



**PENINGKATAN SUMBER DAYA MANUSIA (SDM)  
BIDANG AIR MINUM MELALUI PROGRAM  
CENTER OF EXCELLENCE (COE)**



# **MODUL EFISIENSI ENERGI**

**TAHUN 2018**



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT  
DIREKTORAT JENDERAL CIPTA KARYA  
DIREKTORAT PENGEMBANGAN SISTEM PENYEDIAAN AIR MINUM**  
Jalan Pattimura Nomor 20 - Kebayoran Baru - Jakarta Selatan 12110 Telp: (021) 72796823 Fax: (021) 72796905



# LEMBAR INFORMASI

EFISIENSI ENERGI



PROGRAM PENINGKATAN KOMPETENSI  
SUMBER DAYA MANUSIA (SDM)  
PROFESIONAL BIDANG AIR MINUM MELALUI  
POLA *CENTER OF EXCELLENCE* (COE)



Pelatihan : Efisiensi Energi	Kode : EE-1
Topik : Efisiensi Energi	Edisi : Januari 2018
Tujuan Pelatihan	Setelah menyelesaikan pelatihan ini, peserta diharapkan mengetahui dan mampu untuk: "Meningkatkan pengetahuan dan ketrampilan dalam melakukan langkah – langkah peningkatan efisiensi energi"
Sasaran Peserta	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Kepala seksi dan Supervisor (setara atau lebih tinggi) di bidang produksi, mekanikal/elektrikal maupun bagian yang terkait dengan upaya peningkatan efisiensi energi.</li><li>2. Staf/operator ) di bidang mekanikal/elektrikal maupun bidang yang terkait dengan upaya peningkatan efisiensi energi</li></ol>
Syarat peserta	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Mampu mengoperasikan microsoft office</li><li>2. Pengalaman minimum 2 tahun bekerja di PDAM</li><li>3. Bekerja dibagian perencanaan, mekanikal/elektrikal, maupun bagian-bagian lain yang terkait dengan upaya peningkatan efisiensi energi</li></ol>
Isi Modul	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Bab 1 : Efisiensi Energi di PDAM</li><li>2. Bab 2 : Teori Dasar Listrik</li><li>3. Bab 3 : Teori Dasar Hidrolika</li><li>4. Bab 4 : Langkah Efisiensi Energi</li><li>5. Bab 5 : Kajian Tarif Listrik PLN</li><li>6. Bab 6 : Mengukur Kinerja Sistem</li><li>7. Bab 7 : Memilih Pompa</li><li>8. <b>Bab 8 : Peluang untuk Efisiensi Energi</b></li><li>9. <b>Bab 9 : Proposal dan Laporan Program</b></li><li>10. <b>Bab 10 : Peningkatan Lebih Jauh untuk Efisiensi Energi dan Biaya Operasional</b></li><li>11. Bab 11 : Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)</li><li>12. Bab 12 : Pengenalan Alat Ukur</li></ol>
Durasi	28 JP

Susunan Acara	<p>Bab 1: (teori – 2 JP)  Bab 2: (teori – 2 JP)  Bab 3: (teori – 3 JP)  Bab 4: (teori – 2 JP)  Bab 5: (teori – 2 JP)  Bab 6: (teori – 2 JP)  Bab 7: (teori – 2 JP)  Bab 8: (teori – 2 JP)  Bab 9: (teori – 2 JP)  Bab 10: (teori – 2 JP)  Bab 11: (teori – 1 JP)  Bab 12: (teori – 3 JP)  Kunjungan dan Praktek Pengukuran Lapangan (praktek – 6 JP)  Diskusi Hasil Praktek Pengukuran Lapangan (diskusi – 3 JP)</p>
Materi (Kelas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Sesion Notes</i> bagi pembina</li> <li>• Presentasi <i>Powerpoint</i></li> <li>• Modul</li> <li>• Panduan dan naskah latihan dan simulasi</li> <li>• <i>Handout</i> untuk peserta</li> </ul>
Materi (Lapangan)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -</li> </ul>
Tindak Lanjut	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasil latihan dan simulasi yang dibuat aplikatif sesuai data yang dibawa</li> <li>• Pengawasan</li> </ul>
Evaluasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Pre-test</i> dan <i>post-test</i></li> <li>• Kuis singkat usai tiap sesi</li> <li>• Kuis harian</li> <li>• Akhir pelatihan: ujian akhir + umpan balik peserta</li> <li>• Setelah <i>training</i>: kunjungan/kuesioner dan/atau pelatihan ulang</li> </ul>

# DAFTAR ISI

EFISIENSI ENERGI

## DAFTAR ISI

## BAB 1 EFISIENSI ENERGI DI PDAM

1.1.	LATAR BELAKANG .....	1
1.2.	TUJUAN .....	2
1.3.	PENGERTIAN EFISIENSI ENERGI .....	4
1.3.1.	Efisien.....	4
1.3.2.	Efisiensi .....	4
1.3.3.	Energi.....	4
1.4.	MANFAAT DARI SISTEM PERPOMPAAN YANG EFISIEN .....	4
1.5.	PERMASALAHAN ENERGI DI PDAM .....	6
1.5.1.	Permasalahan Umum PDAM di Indonesia .....	6
1.5.2.	Sikap PDAM terhadap Penggunaan Energi untuk Sistem Pompa.....	12
1.5.3.	Yang perlu diaudit di PDAM.....	13

## BAB 2 TEORI DASAR LISTRIK

2.1.	LISTRIK DC, AC 1 DAN 3 PHASE.....	14
2.2.	SIMBOL BESARAN LISTRIK .....	19
2.3.	SEGITIGA DAYA.....	26
2.4.	FASE VEKTOR BESARAN LISTRIK .....	26
2.5.	ALAT UKUR BESARAN LISTRIK .....	28

## BAB 3 TEORI DASAR HIDROLIKA

3.1.	PENGERTIAN .....	32
3.2.	HUKUM/ RUMUS HIDROLIKA.....	32
3.3.	ALIRAN DALAM PIPA .....	36
3.4.	ALIRAN GRAVITASI .....	39
3.5.	ALIRAN SISTEM POMPA .....	41

## BAB 4 LANGKAH EFISIENSI ENERGI

4.1.	KONSEP EFISIENSI ENERGI.....	43
4.1.1.	Audit.....	43
4.1.2.	Pengertian Audit Energi.....	43
4.1.3.	Sasaran : .....	43
4.1.4.	Tujuan : .....	44
4.2.	TEKNIK AUDIT ENERGI .....	44
4.3.	ANALISA HASIL AUDIT .....	44
4.4.	REKOMENDASI .....	44
4.5.	FEASIBILITY STUDY .....	45
4.6.	IMPLEMENTASI .....	45
4.7.	MONITORING DAN EVALUASI .....	46

## BAB 5 KAJIAN TARIF LISTRIK PLN

5.1. KEBIJAKAN TARIF LISTRIK PLN.....	55
5.2. SISTEM TARIF PLN .....	57
5.3. KAJIAN FAKTOR DAYA.....	64

## BAB 6 MENGUKUR KINERJA SYSTEM

6.1. PENILAIAN KINERJA CATU DAYA LISTRIK.....	67
6.2. PENILAIAN KINERJA ELEKTROMOTOR .....	68
6.3. PENILAIAN KINERJA SISTEM.....	71
6.4. PENILAIAN EFISIENSI SISTEM.....	72

## BAB 7 MEMILIH POMPA

7.1. PENGANTAR PEMILIHAN POMPA.....	76
7.1.1. Tujuan penggunaan pompa .....	76
7.1.2. Pertimbangan dalam memilih pompa.....	76
7.1.3. Menentukan debit pompa.....	76
7.1.4. Merencanakan head pompa .....	76
7.1.5. Memahami Karakter Pompa utk memilih Diameter Impeler & Titik Kerja Pompa ...	77
7.1.6. Menghitung Daya.....	77
7.1.7. Landasan Teori.....	77
7.1.8. Konsep Penggantian, Penambahan dan Modifikasi Pompa .....	80
7.2. POMPA PENDAMPING.....	80
7.2.1. Pompa Cadangan.....	81
7.3. POMPA PENGGANTI.....	82
7.4. MODIFIKASI POMPA.....	82

## BAB 8 PELUANG UNTUK EFISIENSI ENERGI

8.1. BAGAIMANA KITA DAPAT MEMULAI PENINGKATAN EFISIENSI ENERGI .....	90
8.1.1. Menilai Sendiri Terhadap Fasilitas yang Ada untuk Peningkatan EE.....	90
8.1.2. Apa Kesempatan Anda?.....	90
8.2. SOLUSI 1 – MENINGKATKAN EFISIENSI DARI SISTEM YANG TELAH ADA.....	92
8.2.1. Masalah yang Sering Muncul dan Tindakan untuk Meningkatkan Efisiensi.....	92
8.2.2. Evaluasi Sistem Perpompaan yang Ada .....	93
8.3. SOLUSI 2 –PERANCANGAN SISTEM BARU .....	101
8.3.1. Langkah 1: Nilai Peralatan Produksi dan Perkecil Kebutuhan Perpompaan.....	101
8.3.2. Langkah 2: Rancangan dengan Pendekatan Sistem Menyeluruh .....	101
8.3.3. Langkah 3: Perhitungan Perencanaan dan Pemilihan Pompa yang Efisien.....	102
8.3.4. Langkah 4: Pilih Komponen Perpompaan yang Efisien.....	106
8.3.5. Ringkasan Pertimbangan Rancangan untuk Sistem Perpompaan.....	107

**BAB 9 PROPOSAL DAN LAPORAN PROGRAM**

9.1. PENGANTAR .....	109
9.1.1. Arti Penting Penyusunan Proposal Program Efisiensi Energi bagi PDAM.....	109
9.1.2. Maksud dan Tujuan Pembuatan Proposal/ Laporan Efisiensi Energi .....	110
9.1.3. Jenis Kegiatan Efisiensi Energi.....	110
9.2. PEMBUATAN PROPOSAL DAN ANALISIS EKONOMI PENERAPAN PROGRAM EFISIENSI ENERGI .....	111
9.3. PEMBUATAN LAPORAN PROGRAM EFISIENSI ENERGI .....	118

**BAB 10 PENINGKATAN LEBIH JAUH UNTUK EFISIENSI ENERGI DAN BIAYA OPERASIONAL**

10.1. RENCANA PENINGKATAN LAIN UNTUK EFISIENSI ENERGI .....	124
10.1.1. Pengenalan Pompa VSD: AC Inverters/Variable Speed Drives (VSD). .....	124
10.1.2. Instalasi Listrik (Gardu induk, <i>phase-advancing capacitor</i> , dan sebagainya) .....	124
10.1.3. Pengenalan Energi Terbarukan.....	125
10.2. PENGURANGAN BIAYA OPERASIONAL.....	125
10.2.1. Sistem Tarif Listrik, Analisis Faktor Daya .....	126
10.2.2. Peningkatan berlanjut terhadap EE dengan PDCA.....	127

**BAB 11 KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA**

11.1. PENDAHULUAN.....	129
11.2. PENGERTIAN DAN DEFINISI .....	130
11.3. FAKTOR PENGARUH DALAM PELAKSANAAN K3.....	133
11.4. NILAI AMBANG BATAS GANGGUAN DI TEMPAT KERJA.....	135
11.5. ALAT PELINDUNG DIRI DALAM KERJA.....	143
11.6. PANDANGAN DAN SIKAP POSITIF DALAM KERJA .....	145
11.7. KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA “KELISTRIKAN” .....	148
11.7.1. Pertolongan pertama pada kecelakaan listrik.....	152
11.7.2. Cara membebaskan penderita dari aliran listrik.....	152
11.7.3. Kasus k3 kelistrikan: .....	153

**BAB 12 PENGENALAN ALAT UKUR**

12.1. ALAT UKUR KELISTRIKAN .....	155
12.2. ALAT UKUR HIDROLIKA.....	166
12.3. ALAT UKUR MEKANIKAL .....	176

## DAFTAR TABEL

<b>BAB 2 TEORI DASAR LISTRIK</b>	
Tabel 2.1 Perbedaan antara Listrik DC, AC 1 Fase Dan AC 3 Fase .....	16
Tabel 2.2 Hubungan antar Besaran yang Berlaku pada Kelistrikan .....	19
<b>BAB 5 KAJIAN TARIF LISTRIK PLN</b>	
Tabel 5.1 Tarif Listrik untuk Keperluan Bisnis Permen ESDM No.31 Tahun 2014 .....	55
Tabel 5.2 Tarif Listrik untuk Keperluan Bisnis Permen ESDM No. 19 Tahun 2014 .....	56
Tabel 5.3 Tarif Tenaga Listrik untuk Keperluan Industri berdasarkan Permen ESDM No. 31 Tahun 2014.....	56
Tabel 5.4 Tarif Tenaga Listrik untuk Keperluan Industri berdasarkan Permen ESDM No. 19 Tahun 2014 (belum ada perubahan).....	57
Tabel 5.5 Golongan Tarif dan Batas Daya .....	58
Tabel 5.6 Contoh Rekening Listrik .....	61
Tabel 5.7 Rekening Listrik Tidak ada Penggantian Meter.....	64
<b>BAB 6 MENGUKUR KINERJA SISTEM</b>	
Tabel 6.1 Contoh Perhitungan Unbalance Tegangan.....	69
<b>BAB 7 MEMILIH POMPA</b>	
Tabel 7 1 Contoh Periode Penggunaan Pompa Pendamping.....	81
<b>BAB 8 PELUANG UNTUK EFISIENSI ENERGI</b>	
Tabel 8.1 Masalah Perpompaan yang Biasa Muncul dan Tindakan untuk Meningkatkan Efisiensi	93
Tabel 8.2 Hambatan dalam Pelaksanaan, Umum.....	95
Tabel 8.3 Instrumen Pengukuran .....	96
Tabel 8.4 Lembar Perhitungan Efisiensi Pompa .....	100
Tabel 8.5 Pertimbangan Rancangan untuk Sistem Perpompaan yang Efisien.....	108
<b>BAB 10 PENINGKATAN LEBIH JAUH UNTUK EFISIENSI ENERGI DAN BIAYA OPERASIONAL</b>	
Tabel 10.1 Penyebab Kebocoran Air dan Tindakan Pencegahannya.....	126
<b>BAB 11 KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA</b>	
Tabel 11.1 Nilai Ambang Batas Kebisingan .....	137
Tabel 11.2 Nilai Ambang Iklim Kerja (ISBB yang diperkenankan).....	138
Tabel 11.3 Nilai Ambang Batas Getaran .....	140
Tabel 11.4 Risiko Bahan Kimia terhadap Badan.....	140
Tabel 11.5 Tempat Kerja dalam Ruang Sempit (Terbatas) .....	142
Tabel 11.6 Tahanan Badan Manusia .....	150
Tabel 11.7 Respon Tubuh yang Terkena Sengatan Listrik .....	150
Tabel 11.8 Proteksi Bahaya (Jarak Aman) (PUIL 2000) .....	151
Tabel 11.9 Tegangan Sentuh yang Dijinkan (IEC) .....	151
Tabel 11.10 Pengaruh Arus Listrik Terhadap Tubuh Manusia .....	151
<b>BAB 12 PENGENALAN ALAT UKUR</b>	
Tabel 12.1 Beberapa jenis alat pengukur listrik .....	156
Tabel 12.2 Spesifikasi alat ukur .....	178

## DAFTAR GAMBAR

<b>BAB 1 EFISIENSI ENERGI DI PDAM</b>	
Gambar 1.1 Sistem Pasokan Air (Tipikal).....	3
Gambar 1.2 Proses Penyediaan Air dan Faktor-faktor yang mempengaruhi EE .....	3
Gambar 1.3 Proses Penyediaan Air dan Faktor-faktor yang mempengaruhi EE .....	5
Gambar 1.4 Stasiun Pompa.....	5
Gambar 1.5 Pendekatan dasar untuk EE .....	6
Gambar 1.6 Kondisi Pengelolaan Energi PDAM.....	9
Gambar 1.7 Titik Potensi Pemborosan Energi pada Sistem PDAM.....	11
<b>BAB 2 TEORI DASAR LISTRIK</b>	
Gambar 2.1 Bentuk Arus Bolak-balik 1 fasa .....	18
Gambar 2.2 Perubahan Listrik 3 Phase menjadi 1 Phase .....	21
Gambar 2.3 Hubungan Nilai antar Besaran Listrik.....	21
Gambar 2.4 Simbol Kelistrikan.....	22
Gambar 2.5 Segi tiga daya.....	27
Gambar 2.6 Beda Sudut Fase.....	28
Gambar 2.7 Pemasangan Kapasitor Bank .....	29
Gambar 2.8 Alat Ukur Besaran Listrik.....	32
<b>BAB 3 TEORI DASAR HIDROLIKA</b>	
Gambar 3.1 Hukum Hidrostatika.....	32
Gambar 3.2 Hukum Bejana Berhubungan.....	33
Gambar 3.4 Hukum Kontinuitas Aliran.....	33
Gambar 3.5 Rumus Bernoulli.....	34
Gambar 3.7 Arah Aliran Gravitasi.....	40
Gambar 3.8 Sistem Aliran Gravitasi antar Reservoir .....	41
Gambar 3.9 Skema Head dalam Sistem Pompa .....	42
<b>BAB 4 LANGKAH EFISIENSI ENERGI</b>	
Gambar 4.1 Jenis Rekomendasi.....	46
Gambar 4.2 Flow Chart Metodologi Audit Energi .....	47
<b>BAB 5 KAJIAN TARIF LISTRIK PLN</b>	
Gambar 5.1 Pembagian waktu beban puncak .....	59
<b>BAB 6 MENGUKUR KINERJA SISTEM</b>	
Gambar 6.1 Contoh Hasil Pengukuran besaran-besaran Listrik dengan menggunakan Power Analyzer .....	68
Gambar 6.2 Ilustrasi Kenaikan Suhu dan Kerugian (losses) Motor Listrik karena Pengaruh Besarnya Nilai Unbalance Voltage .....	70
Gambar 6.3 Ilustrasi Pembatasan Beban Motor Listrik yang mempunyai Unbalance Voltage Lebih dari 1 % .....	71
<b>BAB 7 MEMILIH POMPA</b>	
Gambar 7-2 Dimensi dan Bentuk Intake Pompa .....	84
Gambar 7-3 Kriteria Jarak Pipa Isap Pompa.....	84
Gambar 7-4 Konstruksi Pipa Masuk Pompa.....	85
Gambar 7-5 Instrumen pada Jaringan Pipa Isap dan Tekan Pompa.....	85
Gambar 7-6 Kurva Pompa dengan Kecepatan Putar Berbeda.....	86
Gambar 7-10 Kurva Susunan Gabungan Pompa dengan Karakter Sama secara Paralel.....	87
Gambar 7-11 Konstruksi Instalasi Pompa .....	88
Gambar 7-12 Tata Letak Motor dan Pompa .....	89

<b>BAB 8 PELUANG UNTUK EFISIENSI ENERGI</b>	
Gambar 8.1 Tindakan untuk Peningkatan EE .....	91
Gambar 8.2 Pemilihan metode dan teknik yang dibutuhkan .....	92
Gambar 8.3 Pengukuran tekanan dan daya listrik.....	98
Gambar 8.4 Kurva Sistem Pompa .....	105
<b>BAB 9 PROPOSAL DAN LAPORAN PROGRAM</b>	
Gambar 9.1 Tahapan Pemasangan Kapasitor Bank.....	120
Gambar 9.2 Tahapan Pemasangan Pompa Pendamping.....	121
Gambar 9.3 Tahapan Penggantian Pompa.....	122
Gambar 9.4 Tahapan Penggantian Motor .....	123
<b>BAB 10 PENINGKATAN LEBIH JAUH UNTUK EFISIENSI ENERGI DAN BIAYA OPERASIONAL</b>	
Gambar 10.1 <i>Variable Speed Drives</i> (VSD) .....	124
Gambar 10.2 Transformer berefisiensi tinggi .....	124
Gambar 10.3 Sistem penyimpanan daya listrik pada baterai Na-S dengan energi terbarukan..	125
Gambar 10.4 Efek sinergis antara berbagai analisis dan aktifitas.....	127
Gambar 10.5 Siklus PDCA.....	128
<b>BAB 11 KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA</b>	
Gambar 11.1 Himbauan .....	130
Gambar 11.2 Peringatan meletakkan tangan yang selamat .....	132
Gambar 11.3 Peringatan kecelakaan.....	135
Gambar 11.4 Peringatan untuk selalu pakai alat pelindung diri .....	142
Gambar 11.5 Alat Pelindung Diri.....	144
Gambar 11.6 Peringatan dini keselamatan kerja diarea proyek .....	145
Gambar 11.7 Alat Keselamatan Diri .....	145
Gambar 11.8 Peringatan Perlindungan telinga dan masker.....	153
Gambar 11.9 Tanda tanda Peringatan.....	154
<b>BAB 12 PENGENALAN ALAT UKUR</b>	
Gambar 12.1 Power Analyzer "Jenis A" .....	157
Gambar 12.2 Kelengkapan Power Analyzer.....	158
Gambar 12.3 Power Analyzer dan Clamp Meter.....	158
Gambar 12.4 Clamp Meter .....	159
Gambar 12.5 Tampilan Layar Hasil Pengukuran .....	160
Gambar 12.6 Tampilan Layar Hasil Pengukuran dalam bentuk Curva .....	160
Gambar 12.7 Konfigurasi kawat yang akan diukur.....	161
Gambar 12.8 Konfigurasi Pemasangan Kawat Sensor .....	161
Gambar 12.9 Kunci Pengoperasian Tombol.....	162
Gambar 12.10. Tampilan Layar Operasi .....	163
Gambar 12.11 Tang Ampere.....	163
Gambar 12.12 Multimeter Analog .....	164
Gambar 12.13 Multimeter Digital.....	164
Gambar 12.14 Merger .....	165
Gambar 12.15 Oscilloscope.....	166
Gambar 12.16 Ultrasonic Flow Meter "Jenis A" .....	167
Gambar 12.17 Jenis jenis Tombol pada Ultrasonic Flow Meter .....	169
Gambar 12.18 Pemasangan transducer pada ultrasonic flowmeter.....	171
Gambar 12.19 Beberapa model pemasangan transducer terhadap asesoris .....	172
Gambar 12.20 Detail Pemasangan Transducer yang ideal.....	173

---

Gambar 12.21 Ventury Meter .....	175
Gambar 12.22 Water Meter .....	175
Gambar 12.23 Manometer .....	176
Gambar 12.24 Tacho Meter .....	176
Gambar 12.25 Stroboscope.....	177
Gambar 12.26 Infrared Thermography.....	179
Gambar 12.27 Dial Gauge.....	180
Gambar 12.28 peragaan dan simulasi pengukuran .....	182

# **BAB 1**

## **EFISIENSI ENERGI DI PDAM**

**EFISIENSI ENERGI**

## BAB 1 EFISIENSI ENERGI DI PDAM

### 1.1. LATAR BELAKANG

Efisiensi energi sebagai salah satu materi yang disampaikan di Program COE memiliki peran yang signifikan dalam meningkatkan kinerja PDAM. Sebagian besar PDAM dengan kategori “kurang sehat” dan “sakit” memiliki masalah dengan penggunaan energi yang tidak tepat guna seperti pemilihan pompa yang tidak efisien, penggunaan mesin yang tidak produktif, biaya listrik yang tinggi, dan sebagainya. Tim ahli JICA untuk Proyek Penguatan Program COE untuk PDAM di Republik Indonesia akan berkontribusi dalam mengembangkan dan memperbaiki Modul Efisiensi Energi (EE) yang ada. Sebagai langkah awal dalam pengerjaan pengembangan modul, akan diadakan beberapa analisis seperti analisis masalah PDAM, analisis modul yang ada, dan arahan untuk revisi modul selanjutnya.

Sebagai tambahan, di dalam laporan ini akan diperkenalkan pula praktik yang baik bagi PDAM untuk menemukan beberapa contoh penerapan isi pelatihan dalam kegiatan PDAM di lapangan.

Pada laporan pertemuan/diskusi tanggal 23/Juni/2016 untuk Energy Efficiency Working Group Meeting, ada beberapa persoalan yang dikemukakan sebagai berikut:

1. Masalah Operasional PDAM Terkait Efisiensi Energi
2. Terdapat empat kategori utama dalam masalah PDAM terkait efisiensi energi, yaitu: masalah terkait biaya, masalah terkait pasokan listrik, masalah dari perencanaan yang buruk dan masalah dari sistem pompa yang tidak efisien.
3. Arahan untuk Revisi Modul Pelatihan / Materi Tambahan

Revisi lebih lanjut akan dibuat sesuai dengan arahan atau petunjuk berikut:

1. Versi 2016 akan digunakan sebagaimana adanya, dan pemilihan pompa yang tepat dan metode operasional dalam hal efisiensi energi dari keseluruhan sistem akan diperkenalkan.
2. Subjek berikut akan ditambahkan: transmisi air dan perencanaan sistem distribusi untuk meningkatkan efisiensi energi dan perencanaan sistem perpompaan untuk efisiensi energi yang lebih baik.
3. Isi dari EE harus membahas lebih banyak tentang pemilihan pompa dan revolusi pengendalian kecepatan.
4. Teks EE 2016 yang telah direvisi berfokus pada pelatihan teoretis EE untuk unit perpompaan dan fasilitas terkait listrik.
5. Sebagian besar konten akan mudah dipahami bagi teknisi namun konten tersebut masih perlu disesuaikan untuk operator.

Tantangan-tantangan dari modul yang telah ada diringkas sebagai berikut:

1. Kurikulum EE harus dipersiapkan berdasarkan tingkat kemampuan peserta pelatihan.
2. Masalah-masalah EE dari sudut pandang keseluruhan sistem penyediaan air tidak disertakan di dalam modul.
3. Pendekatan untuk meningkatkan EE di keseluruhan sistem penyediaan air tidak diperkenalkan namun, peningkatan berdasarkan unit disertakan di dalam modul.
4. Pendekatan - pendekatan untuk meningkatkan kualitas peralatan yang telah ada tidak disertakan di dalam modul.

## 1.2. TUJUAN

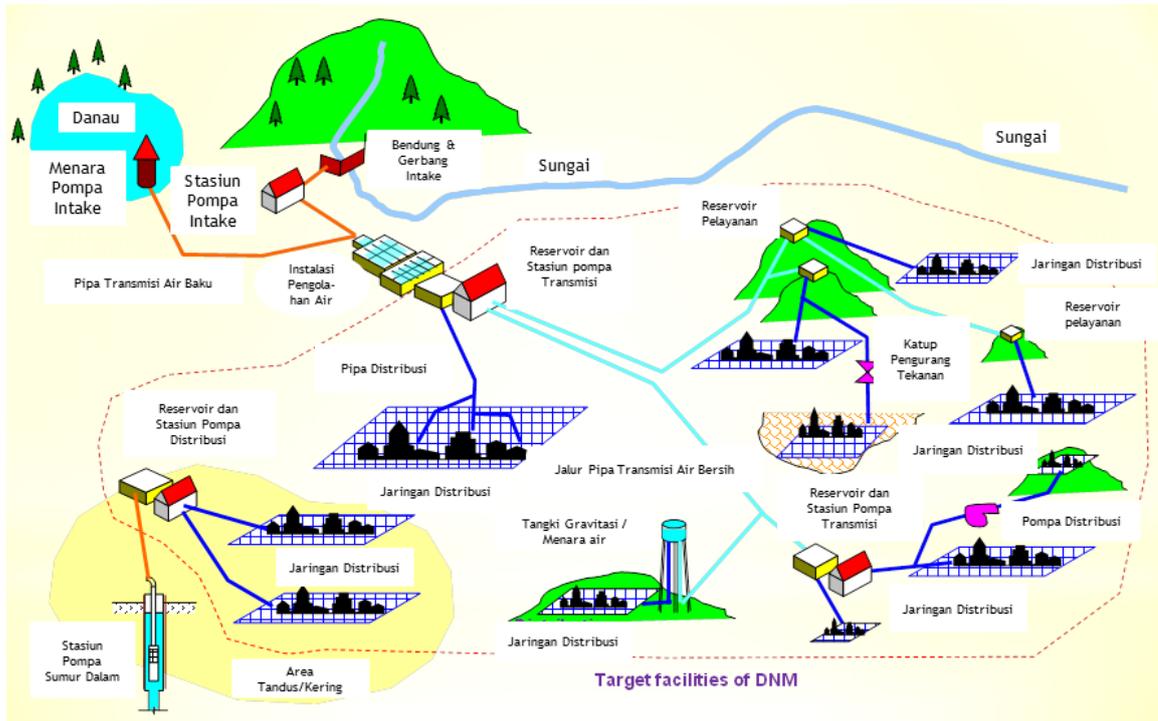
Diktat Instruksional dari Modul Peningkatan Efisiensi Energi mencakup semua materi yang penting untuk staf PDAM seperti teori listrik, teori hidrolis, konsep efisiensi energi, teknik pengukuran, analisis tarif, pemilihan pompa, proposal dan pelaporan, HSE atau kesehatan, keamanan dan lingkungan, dan sebagainya seperti pada uraian berikutnya.

Pada pelaksanaan praktek dilapangan, tindakan praktis ini belum ditetapkan sepenuhnya sebagai pekerjaan rutin dan / atau berkala. Ini merupakan tantangan bagi para pihak terkait untuk memfasilitasi dan menyebarluaskan kegiatan EE di antara PDAM sebagai pekerjaan rutin dengan mengatasi berbagai kesulitan dan / atau keterbatasan saat ini dalam pandangan yang positif. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi energi pada sistem pompa dan pemompaan, tampaknya diperlukan panduan langkah demi langkah untuk kerja lapangan yang sesuai pada tahap ini.

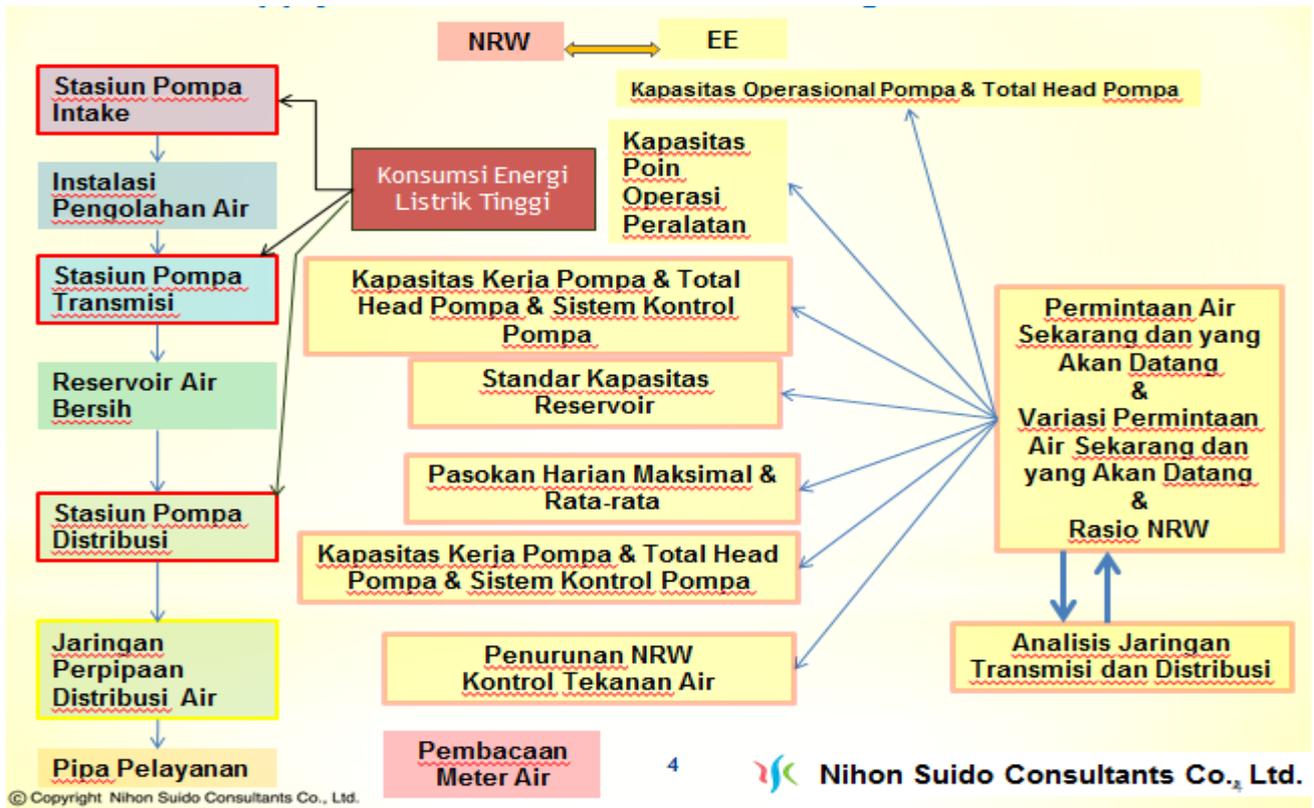
Panduan langkah demi langkah ini merupakan informasi best practice pada sistem pompa dan pemompaan dan pada saat yang sama juga menjelaskan peluang untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem akan menghasilkan keuntungan bagi bisnis Anda.

Ada beberapa pertanyaan atau masalah yang biasanya berhubungan dengan sistem pemompaan, termasuk diantaranya :

1. Apa saja komponen dan prinsip dasar dari sistem perpompaan?
2. Bagaimana cara untuk dapat mengetahui bahwa sistem perpompaan berfungsi dengan efisien?
3. Pada area mana sajakah sistem perpompaan dapat ditingkatkan untuk beroperasi secara efisien?



Gambar 1.1 Sistem Pasokan Air (Tipikal)



Gambar 1.2 Proses Penyediaan Air dan Faktor-faktor yang mempengaruhi EE

### 1.3. PENGERTIAN EFISIENSI ENERGI

#### 1.3.1. Efisien

Efisien diartikan sebagai nilai/ tingkat penghematan, yang menggambarkan berapa banyak “besaran/ nilai” yang terpakai (tidak banyaknya “nilai” yang terbuang), atau berapa besar tingkat penghematan atau nilai daya guna suatu sistem.

#### 1.3.2. Efisiensi

Adapun efisiensi diartikan sebagai penggunaan Sumber Daya secara bijak atau upaya melakukan tindakan dengan menggunakan kuantitas sumber daya sekecil mungkin namun dengan hasil besar, atau melakukan tindakan dengan memperhitungkan nilai penggunaan (= hasil guna).

Dalam arti lain efisiensi adalah merupakan perbandingan antara nilai yang diperlukan terhadap jumlah nilai yang disediakan, yang berarti merupakan selisih antara nilai semula dengan nilai yang hilang.

Dalam perhitungan teknik atau industri, efisiensi disetarakan dengan istilah rendemen. Nilai rendemen yang baik adalah 100 % (karena nilai  $\eta < 1$ ).

Efisiensi merupakan nilai (prosen) perbandingan antara nilai output dengan nilai input.

#### 1.3.3. Energi

Pengertian Fisika: Energi adalah tenaga kerja atau kemampuan untuk melakukan usaha.

Pengertian bahasa/ harfiah: Energi adalah gaya untuk berbuat sesuatu.

Energi dihasilkan oleh sumber alami atau besaran fisika (yang nilainya bergantung pada besaran massa dan waktu).

##### Macam Jenis Energi

1. Energi Alami: Matahari, Angin/ Gas, Panas, Potensial (ketinggian), Kinetik (kecepatan), Mekanik (gerak), hewan, dll.
2. Energi Kimia/ Biologi Buatan: Atom/ Nuklir, BBM, Bio Massa, Elektron (listrik), dll.

Pada bahasan ini yang dimaksud energi adalah energi listrik atau Bahan Bakar Minyak (fosil) sebagai penggerak Motor/ Sistem Pompa.

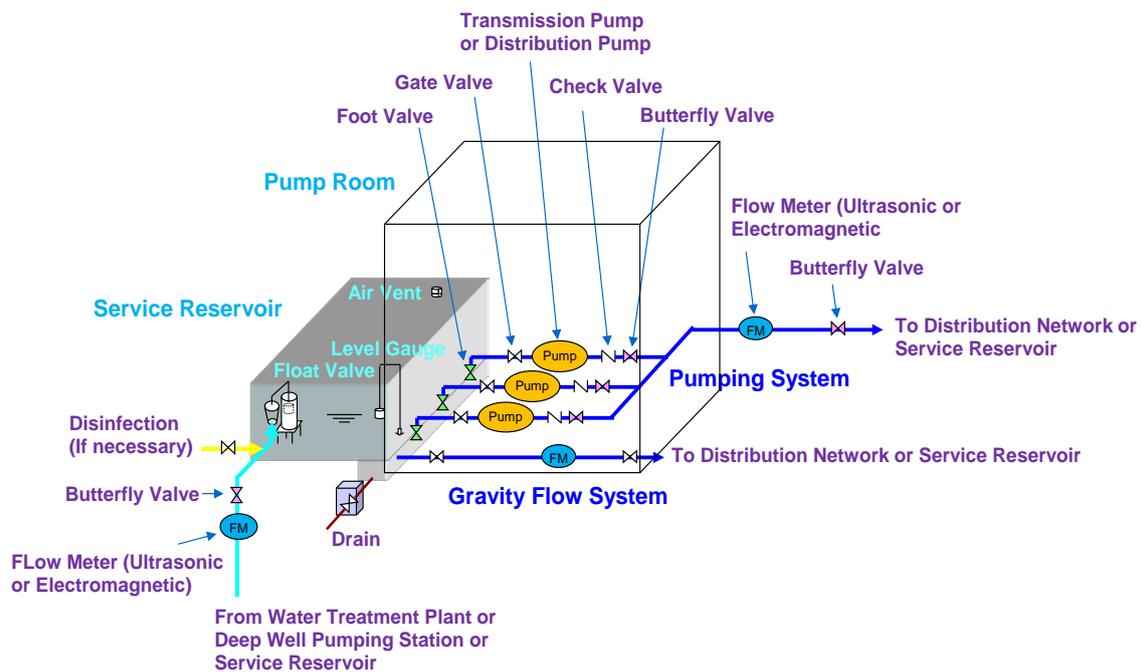
### 1.4. MANFAAT DARI SISTEM PERPOMPAAN YANG EFISIEN

Sistem perpompaan yang ada sekarang dapat menjadi kesempatan yang baik untuk peningkatan efisiensi karena rancangan sistem perpompaan terkadang sulit untuk dioptimalkan sebelum

instalasi. Selain itu, upaya rancangan biasanya berfokus pada memperkecil biaya modal atau kemungkinan kegagalan sistem. Konsekuensi dari hal tersebut adalah kurangnya pertimbangan terhadap aspek biaya energi dan pemeliharaan.



**Gambar 1.3** Proses Penyediaan Air dan Faktor-faktor yang mempengaruhi EE

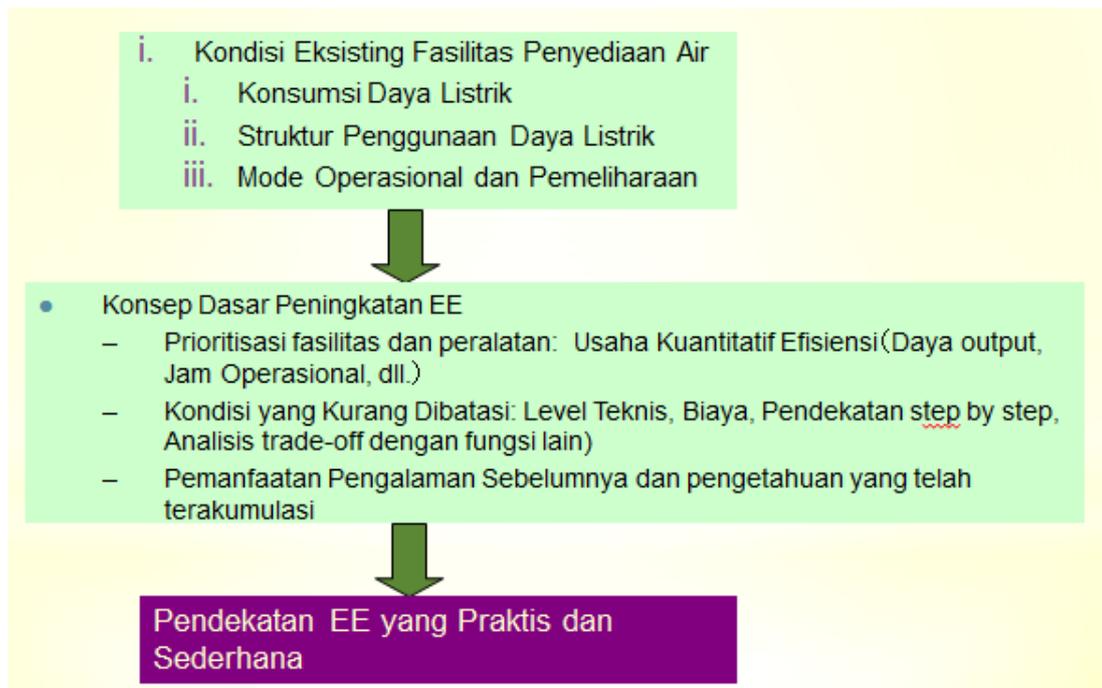


**Gambar 1.4** Stasiun Pompa

Menurut beberapa sumber, biaya energi dan pemeliharaan memakan 50-95% dari biaya kepemilikan pompa dengan biaya awal kurang dari 15% dari life cycle cost pompa. Saat memilih pompa baru, pertimbangan harus didasarkan pada life cycle cost pompa termasuk biaya pemeliharaan, biaya energi dan biaya awal. Pompa dengan kualitas yang baik, dapat diandalkan

dan akan mempunyai life cycle cost yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pompa yang lebih murah dan pompa jenis ringan meskipun pompa jenis ini lebih efisien. Peningkatan dalam efisiensi sistem pompa dapat membantu dalam hal-hal berikut:

1. Mengurangi biaya energi.
2. Mengurangi kebutuhan pemeliharaan.
3. Lebih baik dalam mencocokkan kapasitas sistem pompa dengan kebutuhan produksi



Gambar 1.5 Pendekatan dasar untuk EE

## 1.5. PERMASALAHAN ENERGI DI PDAM

### 1.5.1. Permasalahan Umum PDAM di Indonesia

Berdasarkan data dari BPPSPAM tahun 2014, jumlah PDAM di seluruh Indonesia berjumlah 359 PDAM.

Dari keseluruhan PDAM tersebut kondisinya dapat digolongkan sebagai berikut:

- Kondisi Sehat : 182 PDAM (50,7 %)
- Kondisi Kurang sehat : 103 PDAM (28,7 %)
- Kondisi Sakit : 74 PDAM (20,6 %)

Penyebab PDAM tidak sehat, antara lain:

1. Kebanyakan PDAM kecil-kecil dengan pelanggan <10.000 sambungan.
2. Pemekaran wilayah, menyebabkan banyak PDAM membelah diri sehingga semakin banyak PDAM memiliki pelanggan kecil sehingga banyak PDAM dinyatakan tidak sehat.
3. Rendahnya tarif air yang masih di bawah full cost recovery.
4. Sulitnya penyesuaian tarif untuk memenuhi full cost recovery.
5. Kondisi keuangan PDAM “yang sulit” menyebabkan nilai biaya pemeliharaan yang tersedia, rendah.
6. Belum adanya kesamaan persepsi tentang tugas pokok PDAM. Kebanyakan Pemerintah Daerah menargetkan setiap PDAM harus memperoleh laba dan memberi kontribusi terhadap PAD, sehingga PDAM lebih memprioritaskan laba dibanding mengalokasikan biaya pemeliharaan. Kondisi tersebut mempengaruhi PDAM yang sehat dalam mengalokasikan biaya pemeliharaan.

**a. Permasalahan Sistem Produksi**

1. Instalasi yang dikelola beberapa PDAM, sebagian berkapasitas kecil, yaitu kurang dari 50 l/det, dan lokasinya tersebar (khususnya PDAM kabupaten) sehingga biaya *fix cost* cukup mahal dibanding dengan biaya operasional (rupiah/m<sup>3</sup>) .
2. Sumber Air Potensial, seperti mata air, semakin sulit diperoleh. Sementara Air baku dari Sumur memerlukan Biaya Tenaga Listrik dan permasalahan tingginya unsur Fe dan Mn yang terlarut.
3. Air baku dari air permukaan merupakan salah satu alternatif yang paling mahal, meskipun memerlukan pengolahan, jumlah tenaga kerja yang lebih banyak, membutuhkan biaya pembelian energi listrik sebagai penggerak mula yang akhir-akhir ini tarifnya semakin naik.

**b. Permasalahan Sumber Daya Manusia**

1. Sebagian PDAM masih *kurang memiliki tenaga* mekanik dan elektrik yang handal, sehingga jumlah teknisi dengan peralatan yang dimiliki tidak sebanding, serta program pemeliharaan tidak dapat berjalan dengan baik.
2. *Sulit melakukan pengkaderan* dan perekrutan teknisi mekanik-elektrik dengan sistem manajemen PDAM saat ini, dan pengkaderan berjalan sulit dan lambat. Pertambahan peralatan dan kemajuan teknologi mekanikal-elektrikal tidak sebanding dengan peningkatan kemampuan teknisnya sehingga sistem pemeliharaan sistem berlangsung kurang baik.
3. *Kurangnya tenaga teknis yang memahami sistem hidrolika* yang mampu mengevaluasi sistem jaringan pipa agar efisien.

4. Sebagian personel PDAM *tidak mengetahui sistem evaluasi dan monitoring* dengan baik, termasuk tidak mengetahui kalau kondisi peralatan (performancenya) menurun yang berdampak pada terjadinya pemborosan energi.
5. Kurangnya pelatihan/ training tentang masalah mekanikal dan elektrikal yang memadai yang mengarah pada efisiensi energi.

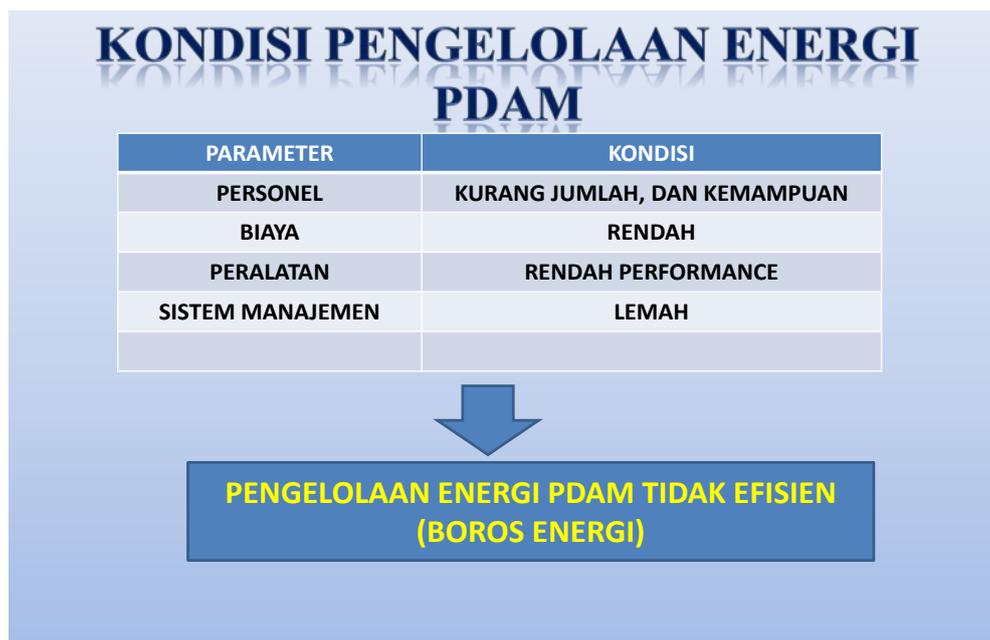
**c. Permasalahan Operasi dan Pemeliharaan**

1. Sebagian PDAM *mengalokasi biaya pemeliharaan masih rendah*, sehingga pemeliharaan tidak sesuai dengan ketentuan. Oleh karena itu, sering terjadi kerusakan peralatan/ mesin yang memerlukan tindakan (emergency) dengan biaya tinggi.
2. *Lemahnya manajemen pemeliharaan*, kurangnya pemeliharaan yang bersifat preventif dan kurangnya kemampuan perencanaan, mengakibatkan kondisi peralatan tidak terkontrol, tidak tahu kondisi peralatan dan tidak dapat mengantisipasi terjadinya kerusakan.
3. *Lemahnya sistem pemeliharaan* sehingga kondisi peralatan menjadi semakin menurun performancenya.
4. Menurunnya performance peralatan mengakibatkan peralatan sering rusak, yang membutuhkan tindakan emergency sehingga mengakibatkan terjadi gangguan pelayanan.
5. Kurangnya sistem monitoring dan evaluasi terhadap setiap peralatan yang dimiliki. Karena tidak mengetahui *penurunan performance (kinerja) peralatan* maka sistem terus dioperasikan, dengan *biaya operasi yang mahal*.
6. Dengan terbatasnya dana pemeliharaan maka petugas PDAM sering melakukan *rekayasa/ jalan pintas dalam perbaikan* peralatan, seperti melakukan perbaikan motor ke bengkel (bukan pabrik) yang kualitasnya tidak dapat dipertanggung jawabkan, sehingga membuat *pemborosan* energi.
7. Dengan terbatasnya dana pemeliharaan, sering pula dilakukan penggantian *spare part* yang tidak orisinal, yang berakibat disamping *life time* pendek juga boros energi.
8. Karena kurang pemahaman personel terhadap pengelolaan sistem, maka muncullah semboyan sinis: *"Yang penting peralatan cepat baik dan dapat beroperasi kembali"*.
9. Jumlah, spesifikasi dan *merek alat beraneka ragam*, sehingga menyulitkan personel pemelihara dalam penyediaan *spare part* dan perbaikan.
10. *Terbatasnya sarana dan peralatan-peralatan untuk memeriksa/ mengukur kemampuan (kinerja) peralatan*, sehingga manajemen tidak dapat melakukan evaluasi dan monitoring dengan baik.

11. Terhadap *instalasi bantuan dari pusat*, PDAM *tidak dapat memilih* menentukan merek dan jenis peralatan yang diinginkan dan familiar bagi PDAM, sehingga menyulitkan dalam pemeliharaan.
12. Sistem pengadaan peralatan dengan sistem pelelangan umum membuat PDAM sulit untuk menentukan merek dan jenis peralatan yang diinginkan dan familiar bagi PDAM, sehingga memunculkan merek-merek baru yang kemampuan dan keawetannya kurang memadai.
13. Kondisi alokasi biaya pemeliharaan yang kecil serta kondisi peralatan dengan kapasitas kecil dan tersebar lokasinya tidak menarik bagi pihak swasta untuk ikut berperan dalam program pemeliharaan sistem di PDAM.

**d. Permasalahan Pengelolaan Energi**

1. Biaya untuk energi listrik mencapai 55 % dari biaya produksi, atau senilai 25 % dari Harga Pokok Produksi.
2. Konsumsi listrik PDAM (SEC) kebanyakan masih tinggi, yaitu diatas 0,4 kWh per m<sup>3</sup>.



**Gambar 1.6 Kondisi Pengelolaan Energi PDAM**

**e. Potensi Energi Losses pada PDAM**

Kehilangan energi pada sistem Air Bersih PDAM terjadi pada :

1. Sistem Instalasi Listrik (Energi Listrik)

Instalasi PDAM yang membutuhkan listrik PLN pada umumnya jauh dari daerah permukiman, karena mendekati sumber air baku. Jaringan listrik yang dibutuhkan berasal dari tiang atau gardu yang jaraknya cukup jauh. Oleh sebab itu, maka kehilangan energi di perjalanan akan mempengaruhi kinerja sistem. Pada umumnya tegangan yang diterima sampai di lokasi kurang dari kebutuhan yang dipersyaratkan sistem.

2. Sistem Perpompaan (Energi Listrik & BBM)

Pada sistem pompa yang mempergunakan Motor Bakar sebagai Daya Penggerak Mula, untuk perhitungan Neraca Energi, diperlukan konversi nilai bahan bakar ke dalam nilai energi listrik yang dihasilkan. Sebagai mana mesin lainnya, kinerja mesin ditentukan oleh Efisiensi (Randemen) Mesin. Efisiensi ini mencerminkan berapa tingkat kehilangan energi dan berapa energi yang termanfaatkan.

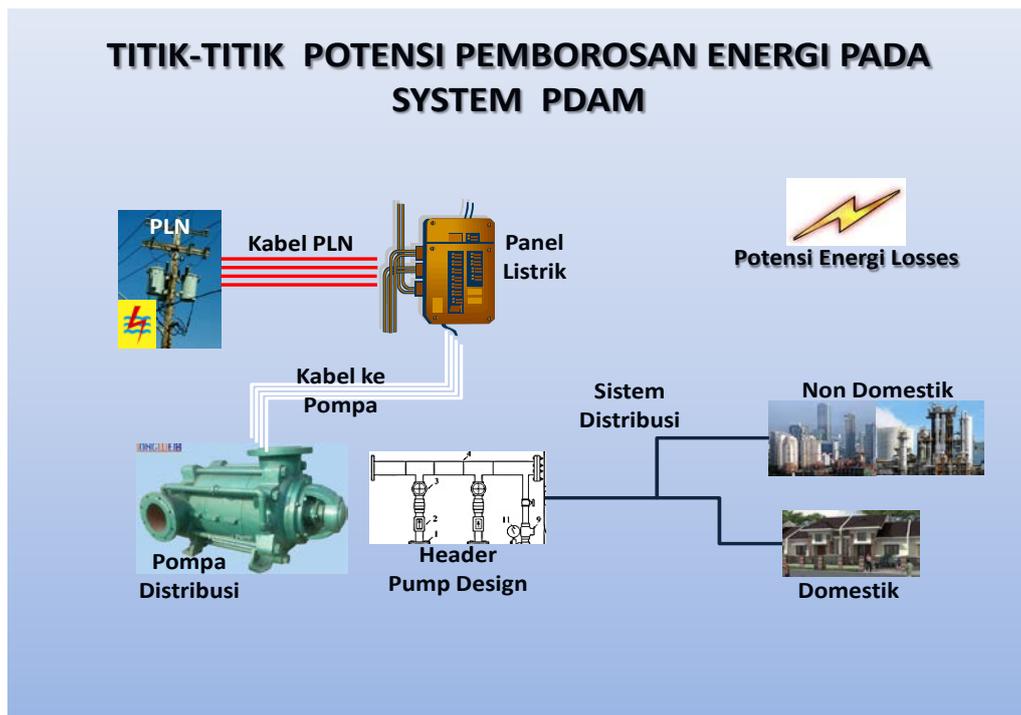
Adapun listrik PLN yang dipakai oleh sebagian besar PDAM sebagai penggerak sistem pompa, Tarif Dasar Listrik (TDL), semakin hari semakin memberatkan.

3. Sistem Perpipaan (Sistem Hidrolika)

Sistem instalasi PDAM, kadangkala dibangun belum memperhatikan kaidah/ kriteria teknik khususnya hidrolika. Accessories yang dipakai kadangkala pesanan, dengan bahan besi tuang yang mempunyai koefisien gesekan tinggi. Beberapa sistem perpipaan pipa header menggunakan Tee dengan sudut  $90^\circ$  atau Bend  $90^\circ$  yang mempunyai jari-jari kelengkungan kecil. Accessories semacam ini akan mengakibatkan head loss tinggi. Pada akhirnya nilai head loss akan membebani biaya energi penggerak hidrolis itu sendiri.

4. Sistem Operasional (How To Manage)

Sistem pompa pada umumnya tidak direncanakan dengan tepat. Adakalanya sistem direncanakan sampai pada tahun proyeksi/ kebutuhan 10 tahun ke depan. Pada saat operasi awal jumlah konsumen masih jauh dari kondisi yang direncanakan, sehingga penggunaan pompa dengan energi besar sementara kebutuhan masih sedikit. Kadang kala sistem tidak dioperasikan secara hemat energi, misalnya dengan modifikasi Putaran Poros/ Inverter atau perubahan diameter impeller. Akibatnya energi yang terpakai akan dibayar mahal karenanya.



**Gambar 1.7 Titik Potensi Pemborosan Energi pada Sistem PDAM**

**f. Permasalahan Biaya Investasi**

Meskipun Pemerintah dari tingkat Pusat sampai di Daerah telah membantu dalam penyertaan modal untuk perkuatan manajemen PDAM, namun masih banyak hal yang perlu dilakukan oleh PDAM dalam rangka peningkatan Cakupan maupun kualitas Pelayanan.

Investasi PDAM tidak sebatas pada pengembangan cakupan pelayanan semata yang pada akhirnya akan secara langsung dapat menyehatkan PDAM, namun lebih dari itu bahwa pembenahan Sistem Jaringan, Sistem Catu Daya, dan peningkatan SDM serta penerapan sistem teknologi operasi yang memadai (hemat energi) masih memerlukan biaya yang tidak sedikit.

Sebenarnya secara konseptual telah ditentukan aturan Tarif yang mengarah pada kondisi PDAM yang lebih baik/ sehat, namun karena berbagai kebijakan, pelaksanaannya selalu mendapat perlawanan dari berbagai pihak.

Meskipun investasi dapat dilakukan dengan bantuan Bank Internasional atau Lokal, namun kemampuan pengembaliannya (sebagaimana contoh di masa lalu) masih dirasa membelit/ memberatkan PDAM.

*Masihkah terbuka peluang untuk melakukan efisiensi energi yang dapat menekan biaya operasional dari sektor pemanfaatan energi ?*

### 1.5.2. Sikap PDAM terhadap Penggunaan Energi untuk Sistem Pompa

Pada umumnya PDAM menghendaki perolehan laba perusahaan sebesar mungkin (meskipun dikatakan bahwa PDAM bukan “profit oriented”). Laba dapat meningkat mana kala nilai biaya (cost) dapat ditekan. Kenyataan di lapangan, beberapa PDAM belum berhasil menekan nilai biaya, utamanya pada biaya operasional, khususnya biaya beban listrik sebagai penggerak sistem pompa. Satu hal lagi yang selalu dijadikan “momok” bagi PDAM adalah nilai kehilangan air (NRW), yang rata-rata masih tinggi.

Berbagai upaya telah ditempuh oleh PDAM, baik yang mengetahui maupun belum sepenuhnya mengetahui bahwa upaya tersebut dapat mengurangi penggunaan/ biaya energi. Namun kadang kala ada yang mengambil langkah untuk penghematan, dengan melakukan hal yang berlawanan dengan tujuannya, karena belum dilandasi dengan pemahaman dasar.

Berikut kasus di beberapa PDAM dalam upaya mengendalikan penggunaan energi sebagai penggerak sistem pompa.

#### a. Kasus

- Mengganti energi listrik PLN ke energi fosil (BBM).
- Mengadakan pengaturan waktu operasi pompa.
- Memasang *Pressure Reducing Valve* (PRV) pada instalasi Pumping System.
- PDAM memandang bahwa efisiensi energi hanya dapat dilakukan dengan pemasangan Kapasitor Bank dan/atau *Variable Speed Drive* (Inverter).
- Membiarkan pompa *over capacity* tetap dioperasikan.
- Memasang Booster Pump tanpa perhitungan hidrolika.
- Melakukan Zoning Pelayanan tanpa memperhitungkan kemampuan Pompa dan Air.
- Memasang Variable Speed Drive (Inverter) pada aliran konstan.
- Mempertahankan penggunaan “Non Fuse”, sebagai penyelesaian “Tripping” .
- Menggunakan alternatif catu daya “Genset” saat Waktu Beban Puncak Listrik PLN .
- Memandang bahwa monitoring fluktuasi pembiayaan energi hanya kewajiban administrasi.
- Sistem pompa belum pernah dilakukan audit.

#### b. Tahapan

- PDAM telah melakukan implementasi efisiensi energi, namun belum ditindaklanjuti dengan kegiatan Monitoring dan Evaluasi.

- PDAM belum melakukan audit, karena belum tahu maksudnya, belum tahu bagaimana caranya atau belum mempunyai alat yang “mumpuni”.
- Panel listrik tidak dilengkapi dengan alat ukur yang lengkap, atau kalau ada tidak menunjukkan nilai yang reliable dan tidak dipergunakan sebagai data bahan analisis.
- Jaringan distribusi tidak dilengkapi atau sukar diukur dengan alat ukur debit, baik yang stable atau portable.
- Khawatir tekanan pompa akan menambah angka kehilangan air, kelebihan debit dan tekanan air dibuang kembali ke reservoir.
- Membiarkan pipa hubung antara pompa ke header dengan “L” atau “T” radius pendek, bersudut 90°.
- Sistem pompa pernah dilakukan audit oleh pihak lain, namun hasil audit (rekomendasi) belum diimplementasikan, atau bahkan belum diketahui maksudnya atau belum disampaikan kepada pihak yang kompeten.
- Membiarkan penggunaan pompa paralel, sementara kualitas aliran tetap kurang baik.

### **1.5.3. Yang perlu diaudit di PDAM**

Kegiatan yang dilakukan PDAM yang memungkinkan dilakukan audit, antara lain :

1. Pengelolaan Sumber Daya Manusia
2. Pengelolaan Sumber Daya Energi dan Bahan Kimia
3. Pengelolaan Sumber Daya Alam (barang/ bahan baku)
4. Pengelolaan Waktu
5. Pengelolaan Uang
6. Pengelolaan Produk

# **BAB 1 TEORI DASAR LISTRIK**

**EFISIENSI ENERGI**

## BAB 2 TEORI DASAR LISTRIK

### 2.1. LISTRIK DC, AC 1 DAN 3 PHASE

1. Apa yg dimaksud "Listrik"?
2. Apa yg dimaksud Listrik "DC" dan "AC"?
3. Apa yg dimaksud Listrik "Fase Tunggal" dan "3 Fase"?
4. Satuan Listrik (Tahanan, Tegangan, Kuat arus, Induktansi, Kapasitansi, Daya, Energi, Faktor daya, Specific Energy Consumption, Torgue, Frekuensi)
5. Sirkuit Listrik (Paralel, Seri dan Gabungan)
6. Fase Vektor (Vasor)
7. Alat Ukur (Amp-m, f-m, V-m, W-m, kwh-m, Cos $\phi$ -m, VAR-m)
8. Sumber Listrik (Battery, Generator)
9. Manajemen Fasilitas Listrik (dapat menggunakan, mengatur penggunaan dan menghindari kecelakaan)

#### Pengertian Arus Listrik

1. Arus Listrik Konvensional: "aliran muatan positif dari kutub positif ke kutub negatif "
2. Pada hakekatnya yang bergerak adalah elektron, *JJ Thomson* sang penemu elektron: "aliran listrik mengalir berlawanan dengan arah gerak elektronnya "
3. *Andre Marie Ampere* :

$$I = \frac{q}{t}$$

I = kuat arus listrik (Ampere)

q = muatan listrik (Coulomb)

t = waktu (sekon)

#### Beda Potensial Listrik

*Allesandro Volta* : " Muatan Positif q yang dapat dipindah dalam satu medan listrik menghasilkan energi potensial listrik = tegangan listrik, satuan Volt"

**Hukum Ohm**

*Gerge Simon Ohm :*

$$V = I(R)$$

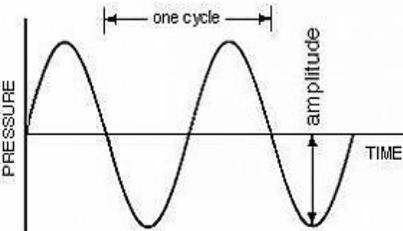
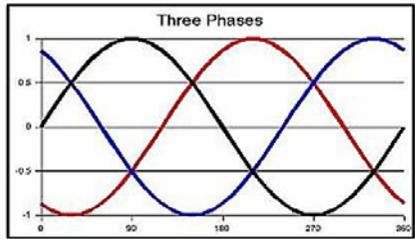
R = Hambatan Listrik (ohm =  $\Omega$ )

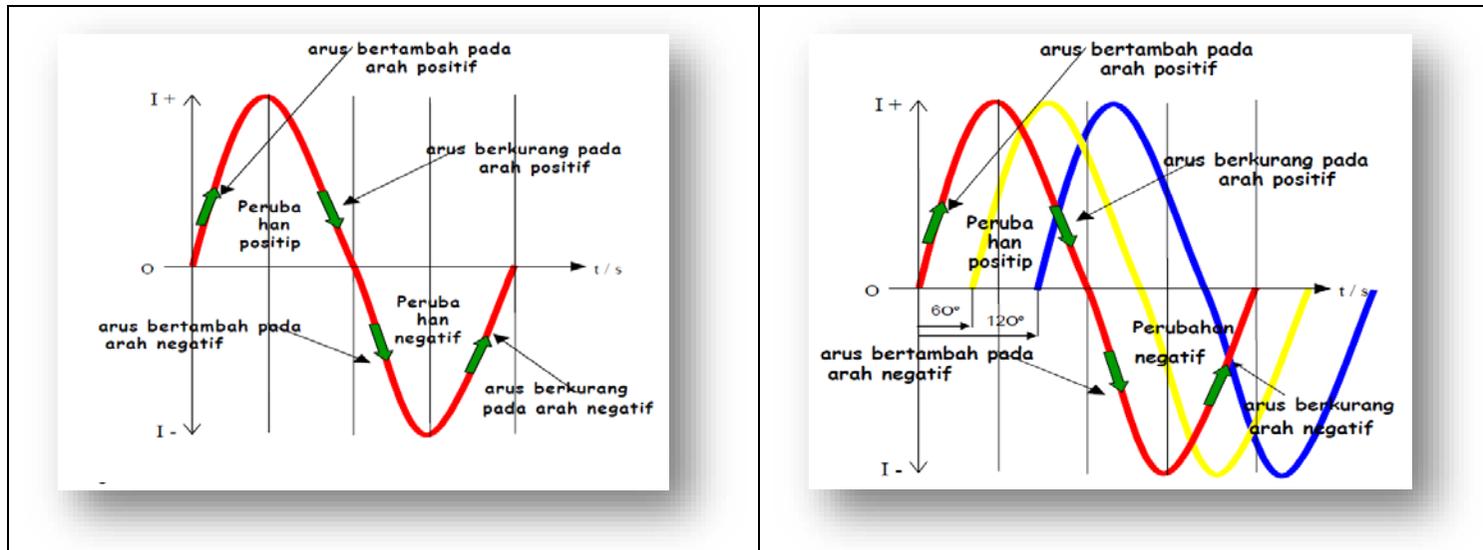
V = Tegangan Listrik (Volt= V)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere = A)

Tabel 2.1 Perbedaan antara Listrik DC, AC 1 Fase Dan AC 3 Fase

UNSUR	LISTRIK ARUS SEARAH	LISTRIK ARUS BOLAK BALIK	
		SATU FASE	TIGA FASE
<b>Mengamati perbedaan</b>	Untuk melihat perbedaan bentuk gelombang antara tegangan <i>AC dan DC</i> dapat digunakan alat ukur <i>Oscilloscope</i>		
<b>Besaran Kuat Arus</b>	Ampere	Ampere	Ampere
<b>Besaran Tegangan</b>	Volt	Volt	Volt
<b>Besaran Daya</b>	Watt $P = V \times I$	Watt $P = V \times I \times \cos\phi$	Watt $P = V \times I \times \sqrt{3} \times \cos\phi$
<b>Nilai V, I dan P</b>	Tetap besar dan arahnya	Berfase (berubah nilai dan arahnya)	
<b>Frekuensi</b>	Berfrekuensi "Nol"	Berfrekuensi dengan perubahan arah 50 kali dalam tiap detik	
<b>Faktor Daya</b>	Mempunyai Faktor Daya "Satu"	Nilai Faktor Daya antara "Nol" sampai dengan "Satu"	
<b>Polaritas</b>	Mempunyai polaritas yang tetap, yaitu Positif, Negatif dan Nol. Nilainya tetap terhadap waktu.	Kuat Arus mempunyai nilai dan arah (polaritas) yang berubah ubah secara beraturan terhadap waktu, sehingga mempengaruhi nilai Tegangan dan Daya.	Kuat Arus mempunyai nilai dan arah (polaritas) yang berubah ubah secara beraturan untuk tiap fasenya, sehingga mempengaruhi nilai Tegangan dan Daya.
<b>Sifat Kutub Penghubung</b>	Pemasangan kutub yang berbeda, akan berdampak tidak berfungsinya peralatan.	Pemasangan kutub yang berbeda, akan berdampak tidak peralatan tetap berfungsi.	Pemasangan kutub yang salah, akan berdampak kerja peralatan berbalik.
<b>Perubahan</b>	Merubah DC ke AC dengan menggunakan peralatan Converter/Inverter	Merubah AC ke DC dengan menggunakan peralatan Diode/adaptor	
		Tiga kabel satu fase dapat menjadi AC 3 fase, apabila masing masing dapat dikondisikan sehingga mempunyai beda fase 120° satu	Kabel fase pada AC 3 fase dapat dijadikan AC satu fase dengan menghubungkan sembarang kabel fase dengan Netral

UNSUR	LISTRIK ARUS SEARAH	LISTRIK ARUS BOLAK BALIK	
		SATU FASE	TIGA FASE
		dengan yang lain	
<b>Fase dan Kabel</b>	Positif : Merah Negatif : Hitam	Fase (satu) : Merah/Hitam  Netral : Biru Ground : Loreng Hijau Kuning	Fase R : Merah Fase S : Kuning Fase T : Hitam Netral : Biru Ground : Loreng Hijau Kuning
<b>Bentuk Gelombang</b>	Bentuk Gelombang 	Bentuk Gelombang AC 1 Fase 	Bentuk Gelombang AC 3 Fase 



Gambar 2.1 Bentuk Arus Bolak-balik 1 fasa

## 2.2. SIMBOL BESARAN LISTRIK

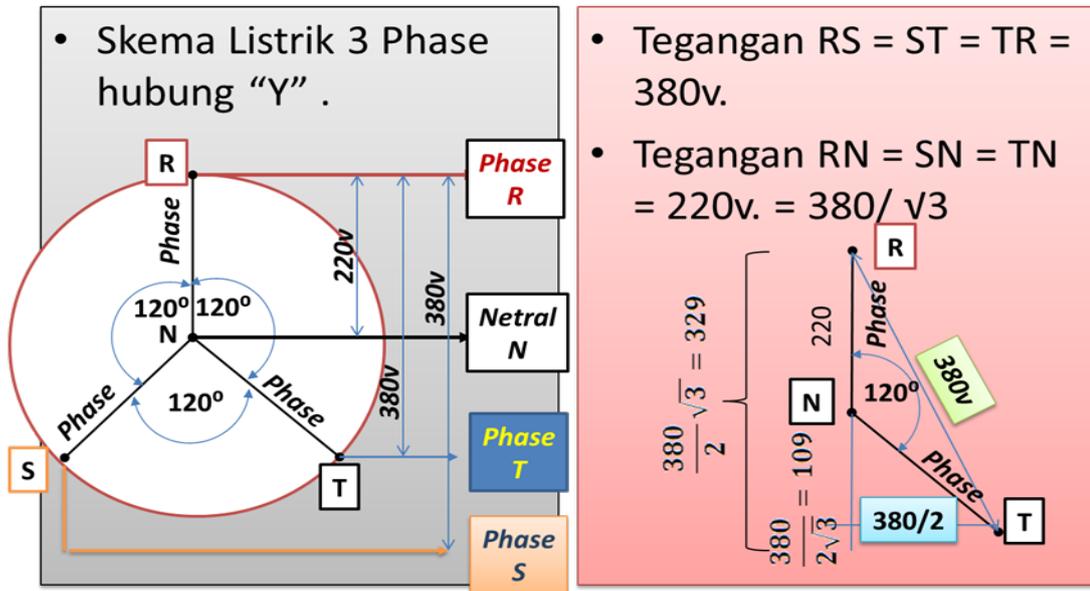
Notasi Besaran Listrik

- U** : Tegangan Sumber Tenaga (Volt)  
**V** : Tegangan Beban (Volt)  
**I** : Kuat Arus Listrik (Ampere)  
**R** : Tahanan Murni = Resistor (ohm =  $\Omega$ )  
**C** : Kapasitas Kondensator (Farad)  
**L** : Kapasitas Induksi (Henry)  
**X<sub>c</sub>** : Reaktansi Kapasitif = Kondensator = Kapasitor (ohm =  $\Omega$ )  
**X<sub>L</sub>** : Reaktansi Induktif = Belitan (ohm =  $\Omega$ )  
**Z** : Impedansi = Jumlah Vektor Reaktansi (ohm =  $\Omega$ )  
**f** : Frekuensi Gelombang Listrik (cps = Hz)  
 $\pi$  : Konstanta = 3,14 = 22/7  
**P** : Daya Nyata = daya aktif (watt)  
**S** : Daya Semu = daya apparent (VA)  
**Q** : Daya Reaktif (VAR)  
**Cos  $\phi$**  : Faktor Daya = P/S

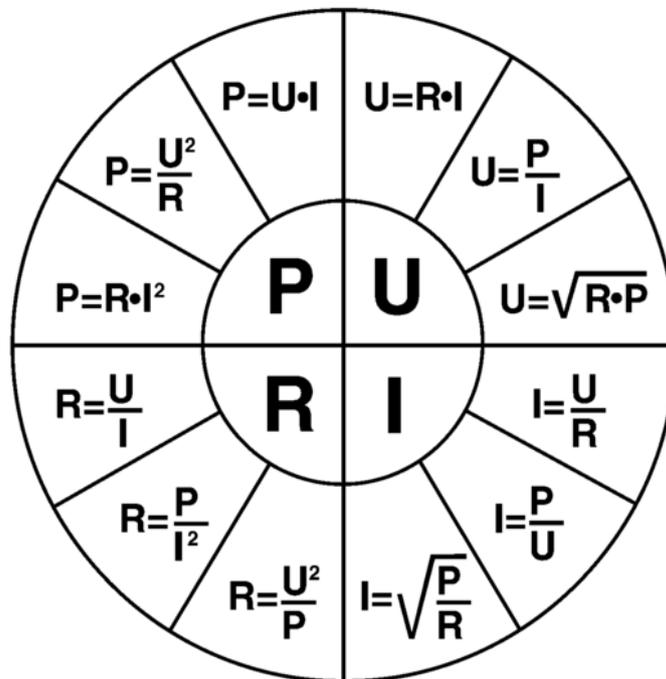
Tabel 2.2 Hubungan antar Besaran yang Berlaku pada Kelistrikan

ISTILAH	BESARAN	RUMUS	KETERANGAN
Tahanan	R (ohm)	$R = \frac{S \times L}{A}$	S = Tahanan Jenis (ohm.m) L = Panjang (m) A = Luas Penampang (m <sup>2</sup> )
Tegangan	V (Volt)	$V = I \times R$	I = Kuat Arus (Ampere) R = Tahanan (Ohm)
Reaktansi Induktif	X <sub>L</sub> (ohm)	$X_L = 2 \pi \times f \times L$	f = Frekuensi (Hz) $\pi = 3,14$ L = Induktasi (Henry)
Reaktansi Capasitif	X <sub>c</sub> (ohm)	$X_c = \frac{1}{2 \pi \times f \times C}$	C = Kapasitansi (Farad)
Impedansi	Z (ohm)	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L^2 - X_C^2)^2}$	
Daya Nyata	P (Watt)	$P = V \times I$ $P = V \times I \times \text{Cos}\phi$	V = Tegangan (Volt) I = Kuat Arus (Ampere)

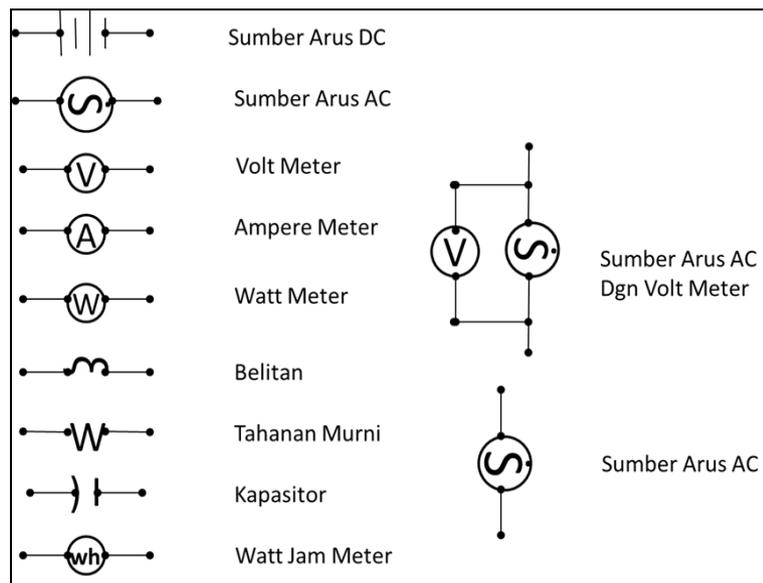
ISTILAH	BESARAN	RUMUS	KETERANGAN
		$P = V \times I \times \sqrt{3} \times \text{Cos}\phi$	Cos $\phi$ = Faktor Daya $\sqrt{3} = 1,732$
Daya Reaktif	Q (VAR)	$P = V \times I \times \text{Sin}\phi$ $P = V \times I \times \sqrt{3} \times \text{Sin}\phi$	$\Phi$ = Sudut Fase ( $^{\circ}$ )
Daya Semu	S (VA)	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	P = Daya Nyata (Watt) Q = Daya Reaktif (VAR)
Faktor Daya	Cos $\phi$	$\text{Cos}\phi = \frac{P}{S}$	S = Daya Semu
Efisiensi	$\eta$ (%)	$\eta = \frac{P_{\text{Keluar}}}{P_{\text{Masuk}}} \times 100\%$	P Masuk = Daya Masuk (Watt) P Keluar = Daya Keluar (Watt)
Ratio Trafo		$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$	V <sub>1</sub> = Tegangan Primer (Volt) V <sub>2</sub> = Tegangan Sekunder (Volt) N <sub>1</sub> = Jumlah Beliran Primer N <sub>2</sub> = Jumlah Beliran Sekunder
Penurunan Tegangan pada Jaringan	$\Delta V$ (Volt)	$\Delta V = I \times R$	I = Kuat Arus pada Jaringan R = Jumlah Tahanan Jaringan
Kehilangan Daya pada Jaringan	$\Delta P$ (Watt)	$\Delta P = I^2 \times R$	I = Kuat Arus pada Jaringan R = Jumlah Tahanan Jaringan
Tegangan dan Kuat Arus pada AC 3 Fase	Hubungan Bintang	$V_{\text{Jaringan}} = \sqrt{3} \times V_{\text{Fase}}$ $I_{\text{Jaringan}} = I_{\text{Fase}}$	V Jaringan = V Line to Line ( Volt) I Jaringan = Line to Line (Amp)
	Hubungan Delta	$V_{\text{Jaringan}} = V_{\text{Fase}}$ $I_{\text{Jaringan}} = \sqrt{3} \times I_{\text{Fase}}$	V Fase = V Line (Volt) I Fase = I Line (Ampere)



Gambar 2.2 Perubahan Listrik 3 Phase menjadi 1 Phase



Gambar 2.3 Hubungan Nilai antar Besaran Listrik



Gambar 2.4 Simbol Kelistrikan

## 1. Landasan Teori

Rumus dan dasar perhitungan yang biasa dipergunakan dalam Perhitungan Energi Listrik, antara lain:

### a) Daya Listrik

Daya Listrik adalah daya yang diberikan sumber Energi Listrik untuk keperluan sistem penggerak mekanik (mesin).

$$P = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos\phi$$

$P$  = Daya Listrik Aktif (Watt)

$U$  = Tegangan Line-to-Line (Volt)

$I$  = Kuat Arus listrik (Ampere)

$\sqrt{3}$  = Angka ketetapan untuk listrik 3 Phase

$\cos \phi$  = Nilai Faktor Daya

### b) Daya Semu (*Apparent Power*)

Daya Semu adalah besaran daya yang disediakan oleh Sumber Energi Listrik, sesuai dengan kapasitas (paket) yang diminta konsumen.

$$S = U \times I \times \sqrt{3}$$

- $S$  = Daya Semu (Volt Ampere)  
 $U$  = Tegangan Line-to-line (Volt)  
 $I$  = Kuat Arus listrik (Ampere)

**c) Daya Nyata (Active Power)**

Daya Nyata adalah besaran daya yang dipergunakan oleh sistem (mesin).

$$P = S \times PF$$

- $P$  = Daya Nyata (Watt)  
 $PF$  =  $\cos \theta$  = Nilai Faktor Daya

**d) Daya Reaktif (Reactive Power)**

Daya Reaktif adalah besaran daya yang menimbulkan pengaruh terhadap efektivitas penggunaan Daya Semu dan besar Faktor Daya .

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

- $Q$  = Daya Reaktif (Volt Ampere Reaktif)  
 $S$  = Daya Semu (Volt Ampere)  
 $P$  = Daya Nyata (Watt)

**e) Reaktansi Induktif**

Reaktansi Induktif adalah nilai tahanan pada rangkaian (sirkuit) listrik yang ditimbulkan oleh keberadaan belitan dalam rangkaian.

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

- $X_L$  = Reaktansi Induktif (Ohm)  
 $\pi$  = Ketetapan radian (22/7)  
 $f$  = Frekuensi gelombang listrik (Hertz)  
 $L$  = Kapasitas Induktif (Henry)

**f) Reaktansi Kapasitif**

Reaktansi Kapasitif adalah nilai tahanan pada rangkaian (sirkuit) listrik yang ditimbulkan oleh keberadaan kapasitor dalam rangkaian.

$$X_c = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$$

$X_c$  = Reaktansi Kapasitif (Ohm)

$\pi$  = Ketetapan radian (22/7)

$f$  = Frekuensi gelombang listrik (Hertz)

$C$  = Kapasitas Kapasitif (Farad)

**g) Kecepatan Putaran Elektro motor**

Kecepatan putaran motor listrik adalah jumlah putaran poros motor listrik, yang nilainya tergantung dari nilai frekuensi sumber energi listrik dan jumlah kutub magnet pembangkit fluks.

$$n = \frac{120 \times f}{p}$$

$n$  = Jumlah putaran tiap menit (rpm)

$f$  = Frekuensi gelombang listrik (Hertz)

$p$  = Jumlah kutub magnet (unit)

**h) Slip**

Slip adalah nilai perbedaan kecepatan putar antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan putar rotor ( $n_r$ ).

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

$S$  = Slip (%)

$n_s$  = Jumlah putaran tiap menit/ kecepatan medan putar stator (rpm)

$n_r$  = Jumlah putaran tiap menit/ kecepatan putar rotor (rpm)

**i) Unbalanced Voltage**

*Unbalanced Voltage* adalah nilai perbedaan (ketidak seimbangan) antara besar tegangan (suatu phase) terhadap nilai tegangan rata-rata.

$$U_{Unbl} = \frac{U_x}{U_r} \times 100 \%$$

$U_{unbl}$  = Ketidak seimbangan tegangan listrik (%)

$U_x$  = Nilai Tegangan Phase yang bermasalah (Volt)

$U_r$  = Nilai Tegangan Phase Rata-rata (Volt)

#### j) Unbalanced Current

*Unbalanced Current* adalah nilai perbedaan (ketidak seimbangan) antara besar kuat arus tiap phase terhadap nilai kuat arus rata-rata.

$$I_{Unbl} = \frac{I_x}{I_r} \times 100 \%$$

$I_{unbl}$  = Ketidak seimbangan arus listrik (%)

$I_x$  = Nilai Kuat Arus Phase yang Bermasalah (Ampere)

$I_r$  = Nilai Kuat Arus Phase Rata-rata (Ampere)

#### k) Faktor Daya = Power Factor = Cos Ø

Faktor Daya adalah nilai perbandingan antara Daya Aktif dengan Daya Semu, yang merupakan tolok ukur nilai efektivitas penggunaan listrik suatu sistem.

$$PF = \text{Cos } \varphi = \frac{P}{S}$$

$PF$  = Cos Ø = Nilai Faktor Daya

$S$  = Daya Semu (Volt Ampere)

$P$  = Daya Nyata (Watt)

#### l) Nilai Tegangan Maksimum

Harga Tegangan maksimum adalah nilai tegangan terbesar, saat dicapai nilai  $\text{Sin}(\omega t) = 1$

$$U = U_{Mak} \times \text{Sin } \omega t$$

$U$  = Tegangan Sesaat (Volt)

$U_{mak}$  = Tegangan Maksimum (Volt)

$\text{Sin } \omega t$  = Nilai Fase yang Ditempuh.

**m) Nilai Tegangan rata-rata**

Harga Tegangan rata-rata adalah nilai tegangan dalam periode 0,25 gelombang, yaitu selama selang getar  $(0,5) \times \pi$

$$U_{rata-rata} = \frac{U_{Mak}}{(0,5)\pi} = 0,636 U_{Mak}$$

$U_{rata}$  = Tegangan rata-rata (Volt)

$U_{mak}$  = Tegangan maksimum (Volt)

$\pi$  = Ketetapan radian ( $22/7$ )

**n) Nilai Tegangan Efektif = RMS (=Nilai Purata Kuadrat)**

Harga Tegangan Purata Kuadrat (Root Mean Square = RMS) adalah nilai tegangan saat berada pada sudut phase  $45^\circ$ , saat dicapai nilai  $\text{Sin}(\omega t) = (0,5) \times \sqrt{2}$ .

$$U_{RMS} = U_{Mak} (0,5)\sqrt{2} = 0,707 U_{Mak}$$

$U_{RMS}$  = Tegangan Efektif (Volt)

$U_{mak}$  = Tegangan Maksimum (Volt)

**RMS** = Root Mean Square

**2.3. SEGITIGA DAYA**

Segitiga daya menggambarkan hubungan nilai (besaran) dan arah (polaritas) antara daya daya yang bekerja pada sistem listrik Bolak Balik (AC).

Daya yang dimaksud adalah:

## 1. Daya Semu:

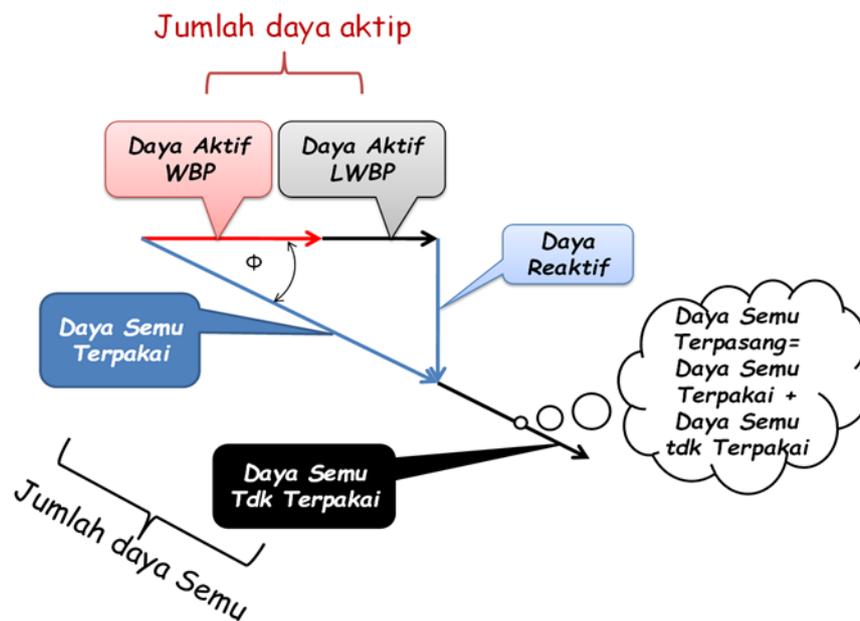
daya yang diambil dari penyedia jasa listrik (PLN) (satuan Volt Ampere)

## 2. Daya Nyata:

daya yang benar benar dipergunakan oleh pemakai energi listrik (satuan Watt)

## 3. Daya Reaktif:

daya yang ditimbulkan karena sistem listrik sebagai beban menghasilkan daya yang bersifat merugikan (satuan Volt Ampere Reaktif)

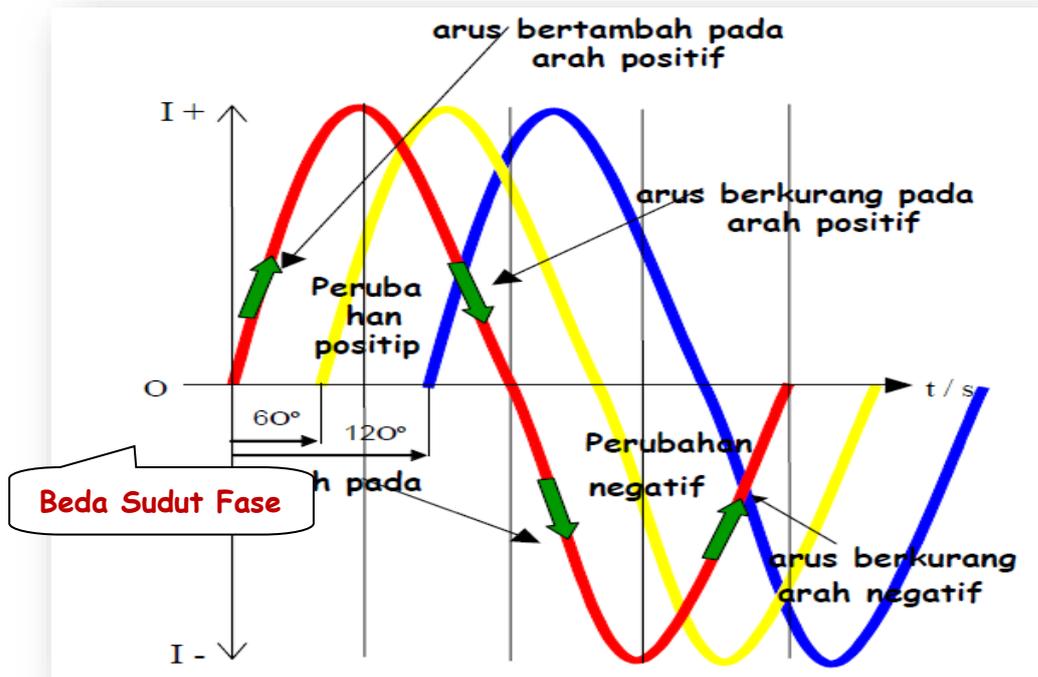


Gambar 2.5 Segi tiga daya

#### 2.4. FASE VEKTOR BESARAN LISTRIK

Fase vektor menggambarkan nilai besaran listrik serta arah vektor yang ditimbulkan sebagai akibat nilai sudut fase yang dihasilkan, sebagai akibat dari sifat listrik AC yang mempunyai kurva Sinusidal (yang nilainya bergantung pada nilai dan arah besaran besaran listrik lainnya).

Sudut Fase adalah sudut yang dibentuk oleh besaran listrik satu dengan yang lain. Beda sudut fase juga menggambarkan selisih kecepatan gelombang antara besaran listrik.

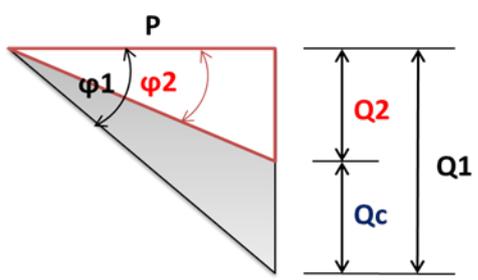
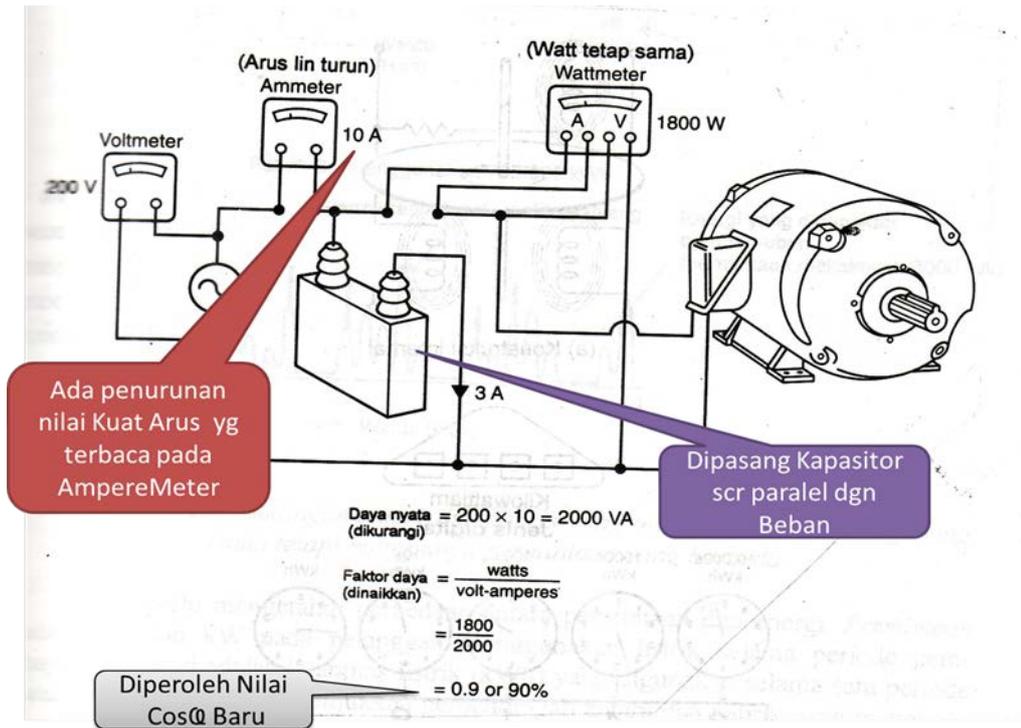


**Gambar 2.6 Beda Sudut Fase**

Faktor Daya adalah Nilai Cosinus sudut (fase) antara Daya Nyata dengan Daya Semu. Makin besar nilai sudut Fase, semakin kecil nilai Faktor Dayanya, yang menggambarkan semakin jauh perbedaan antara Daya Nyata ( $P \sim \text{Watt}$ ) terhadap Daya Semu ( $S \sim \text{Volt Ampere}$ ). Besarnya perbedaan tersebut dipengaruhi oleh timbulnya Daya Reaktif Induktif ( $Q_i \sim \text{Volt Ampere Reaktif}$ ).

Untuk memperkecil sudut fase tersebut atau untuk mengurangi nilai  $Q_i$ , perlu dilawan dengan Daya Reaktif Capasitif ( $Q_c \sim \text{Volt Ampere Reaktif}$ ) yang arahnya berkebalikan dengan arah  $Q_i$ . Peristiwa ini yang selanjutnya disebut sebagai peristiwa Perbaikan Faktor Daya, yang biasanya komponen yang dipergunakan untuk keperluan tersebut adalah Kapasitor (Bank).

Pemasangan Kapasitor Bank tersebut tersusun paralel terhadap beban.



- KETERANGAN :**
- Q1 = Daya Reaktif Awal
  - Qc = Daya Reaktif Kapasitif
  - Q2 = Daya Reaktif Sisa
  - $\phi_1$  = Sudut Phase Awal
  - $\phi_2$  = Sudut Phase Akhir

$$\begin{aligned} \text{Tan}\phi &= Q/P \\ Q_c &= Q_1 - Q_2 \\ &= P \text{ Tan}\phi_1 - P \text{ Tan}\phi_2 \\ &= P (\text{Tan}\phi_1 - \text{Tan}\phi_2) \end{aligned}$$

$\text{Cos } \phi = 0,85 \gg \phi = 31,79^\circ \gg \text{Tan } 31,79^\circ = 0,62$

Kalau  $\text{Cos } \phi < 0,85 \gg$  Sudut  $\phi$  makin besar  $\gg$  Nilai  $\text{Tan } \phi$  makin besar

Gambar 2.7 Pemasangan Kapasitor Bank

**2.5. ALAT UKUR BESARAN LISTRIK**

Alat ukur besaran listrik merupakan alat bantu operator sistem peralatan listrik dalam memonitor perilaku peralatan listrik setiap saat. Alat ukur pada dasarnya menyajikan:

1. Nilai besaran listrik (Ampere meter, Volt Meter, Cos  $\phi$ -meter, kWh –meter, Watt/meter, dll)
2. Kondisi (aktif/ tidaknya) peralatan listrik (Lampu Indikator)
3. Peringatan apabila terjadi nilai besaran yang melebihi ketentuan yang ditetapkan (Alarm)
4. Penyelamat/ pengaman sebelum terjadi ancaman bencana (Fuse)

Berdasarkan frekuensi penggunaannya, dibedakan :

1. Alat ukur permanen (stable): alat ukur yang dipasang melekat pada sistem peralatan listrik yang diamati. Nilai penunjukkannya dapat dilihat setiap saat. Alat dimaksud sebagaimana di sebutkan di atas.
2. Alat ukur portable (tidak tetap): alat ukur yang dipergunakan manakala diperlukan pengukuran sesaat (audit). Alat tersebut dapat berupa :
  - Tang Ampere: mengukur kuat arus
  - AVO Meter (Multy Tester): mengukur kuat arus, tegangan dan tahanan
  - Merger: mengukur kebocoran insulasi/ tahanan
  - Power Quality Analyzer: mengukur tegangan, kuat arus, daya, faktor daya ,dll
  - Stroboscope atau tachometer: mengukur putaran poros motor



*Volt Meter*



*Ampere Meter*



*Watt Meter*



*kWh Meter*



*Tang Ampere dan AVO  
Meter*



*Merger*



*Multy Meter atau  
AVO Meter*



*Watt Meter*



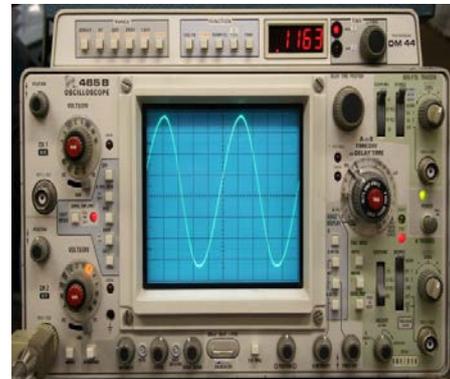
*Power Quality Analyzer*



*Stroboscope*



*Tachometer*



*Oscilloscope*

**Gambar 2.8 Alat Ukur Besaran Listrik**

## **BAB 111 TEORI DASAR HIDROLIKA**

**EFISIENSI ENERGI**

## BAB 3 TEORI DASAR HIDROLIKA

### 3.1. PENGERTIAN

1. **Hidrolika:** merupakan cabang ilmu fisika yang mempelajari tentang zat cair.
2. **Hidrostatika:** mempelajari tentang perilaku dan sifat zat cair dalam kondisi statis (tidak mengalir).
3. **Hidrodinamika:** mempelajari perilaku dan sifat zat cair dalam keadaan bergerak (mengalir).

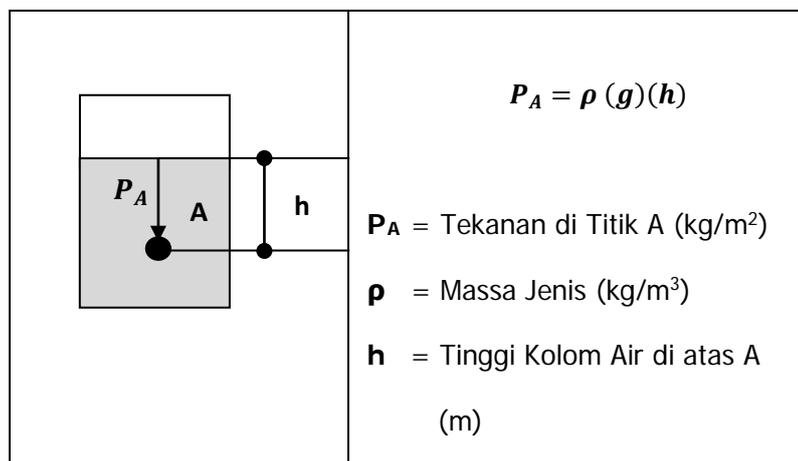
Aliran air dalam pipa menyimpan energi tekanan, adapun yang mengalir di permukaan saluran tidak mempunyai tekanan.

### 3.2. HUKUM/ RUMUS HIDROLIKA

Dalam pembahasan ini dipakai hukum atau rumus hidrolika yang sering dijumpai, antara lain:

#### 1. Hukum Hidrostatika

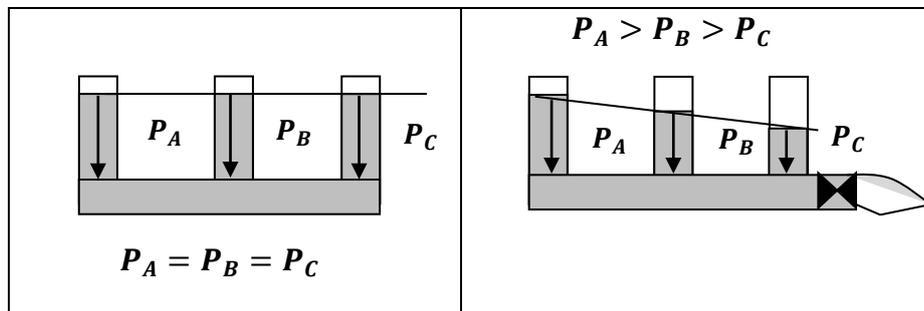
Tekanan zat cair pada suatu titik dalam kolom air besarnya =  $\rho (g) (h)$



Gambar 3.1 Hukum Hidrostatika

## 2. Hukum Bejana Berhubungan

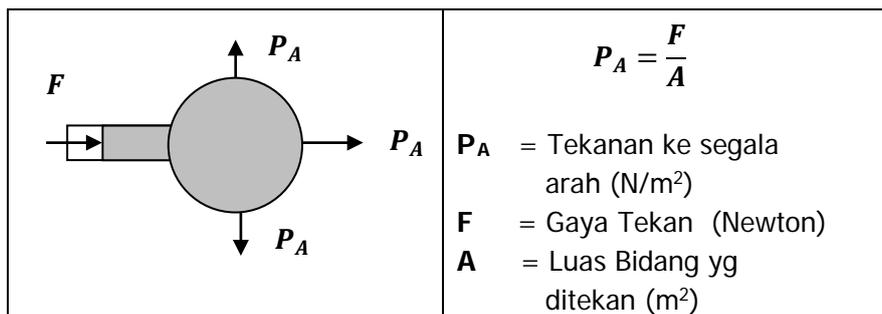
Dalam kondisi air tidak mengalir, ketinggian permukaan air di tiap bejana sama.



Gambar 3.2 Hukum Bejana Berhubungan

## 3. Hukum Pascal

Tekanan zat cair akan diteruskan ke segala arah dengan nilai yang sama besar.



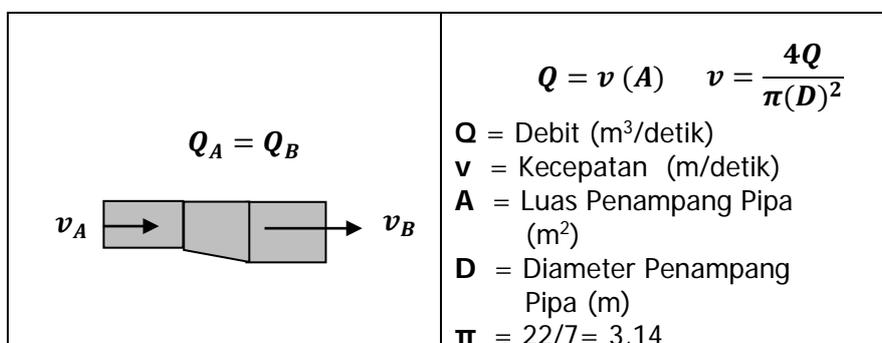
Gambar

Hukum Pascal

3.3

## 4. Rumus Kontinuitas Aliran

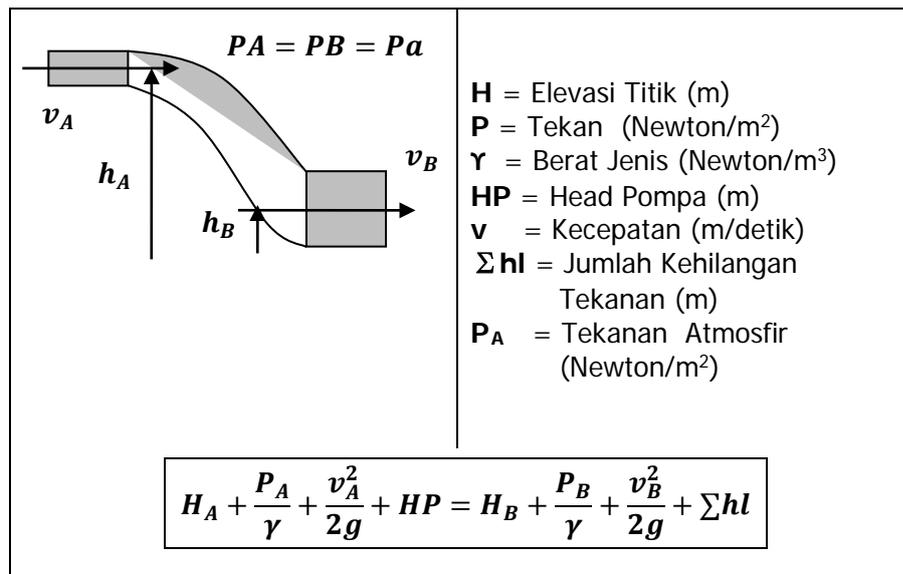
Debit aliran yang melalui sembarang bentuk dan ukuran pipa nilainya tetap. Perbedaan yang terjadi hanya pada nilai kecepatannya.



Gambar 3.4 Hukum Kontinuitas Aliran

### 5. Rumus Bernoulli

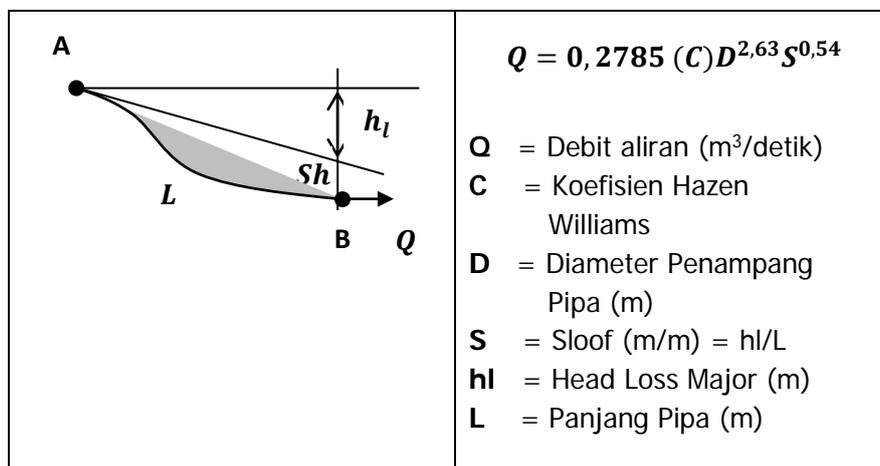
Nilai jumlah energi pada sembarang tempat pada aliran zat cair mempunyai nilai yang tetap. Perubahan jenis dan nilai energi (yang selanjutnya disebut *losses*) menyebabkan nilai besaran energi tertentu berubah. Disebut sebagai Hukum Kekekalan Energi.



Gambar 3.5 Rumus Bernoulli

### 6. Rumus Hazen Williams

Nilai debit aliran zat cair dalam pipa berbanding lurus dengan diameter pipa, koefisien gesekan pipa terhadap zat cair yang bersangkutan dan nilai kehilangan tekanan tiap satuan panjang pipa.



### Gambar 3 6 Rumus Hazen – Williams

#### 7. Landasan Teori Fisika

Rumus Fisika dasar yang biasa dipergunakan dalam Perhitungan Hidrolika, antara lain:

##### o Massa Jenis

**Massa jenis** yang disimbolkan dengan “ $\rho$ ” adalah perbandingan antara massa dengan volume suatu benda.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\begin{array}{ll} \rho & = \text{massa jenis (kg/m}^3\text{)} \\ m & = \text{massa (kg)} \\ V & = \text{volume (m}^3\text{)} \end{array}$$

##### o Percepatan

**Percepatan** yang disimbolkan dengan “ $a$ ” adalah perbandingan antara kecepatan dengan waktu.

$$a = \frac{v}{t}$$

$$\begin{array}{ll} a & = \text{percepatan (m/s}^2\text{)} \\ v & = \text{kecepatan (m/s)} \\ t & = \text{waktu (s)} \end{array}$$

##### o Gaya

**Gaya** yang disimbolkan dengan “ $F$ ” adalah perkalian antara massa dengan percepatan.

$$F = m (a)$$

$$\begin{array}{ll} F & = \text{gaya (kg. m/s}^2\text{ = Newton)} \\ m & = \text{massa (kg)} \\ a & = \text{percepatan (m/s}^2\text{)} \end{array}$$

##### o Gaya Berat

Gaya yang disebabkan oleh gaya tarik bumi yang disimbolkan “ $w$ ” disebut sebagai “**gaya berat**” adalah perkalian antara massa dengan percepatan gravitasi bumi.

##### o Berat Jenis

**Berat Jenis** yang disimbolkan dengan “ $\gamma$ ” adalah perbandingan antara Gaya Berat dengan Volume

$$\gamma = \frac{w}{V}$$

$$\begin{array}{ll} \gamma & = \text{massa jenis (N/m}^3\text{)} \\ w & = \text{berat (N)} \end{array}$$

$$V = \text{volume (m}^3\text{)}$$

- **Usaha**

**Usaha yang** disimbolkan dengan "W" adalah perkalian antara Gaya dengan jarak yang ditempuh

$$W = F (s)$$

$$W = \text{usaha (N.m = Joule)}$$

$$F = \text{gaya (N)}$$

$$s = \text{jarak (m)}$$

- **Momen**

**Momen** yang disimbolkan dengan "T" adalah perkalian antara gaya dengan panjang lengan gaya, mempunyai satuan yang sama dengan usaha.

- **Daya**

**Daya** yang disimbolkan dengan "P" adalah perbandingan antara usaha dengan waktu.

$$P = \frac{W}{t}$$

$$P = \text{daya (N.m/s = watt)}$$

$$W = \text{Usaha (N.m), satuan usaha yang lain adalah watt.sekon yang kemudian diturunkan menjadi Kwh (1 kwh = } 36 \times 10^5 \text{ Joule)}$$

$$t = \text{waktu (s)}$$

- **Energi**

**Energi** yang disimbolkan dengan "E" adalah bentuk yang setara dengan usaha. Satuan energi yang lain adalah kalori.

### 3.3. ALIRAN DALAM PIPA

- **Energi Potensial**

**Energi Potensial** : adalah energi yang nilainya didasarkan pada perubahan tinggi tempat suatu benda.

$$E_p = (m)(g)(h)$$

$$E_p = \text{Energi Potensial (Joule)}$$

$$m = \text{Massa (kg)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi bumi (m/s}^2\text{)}$$

$$h = \text{Tinggi letak benda (m)}$$

- o **Energi Kinetik**

**Energi Kinetik** : adalah energi yang nilainya didasarkan pada perubahan kecepatan suatu benda.

$$E_k = (\frac{1}{2})(m)(v^2)$$

$E_k$  = Energi Kinetik (Joule)

$m$  = Massa (kg)

$v$  = Kecepatan (m/s)

- o **Energi Tekanan**

**Energi Tekanan** : adalah energi yang nilainya didasarkan pada perubahan tekanan yang bekerja di suatu titik (sering disebut sebagai "Tekanan" saja).

$$p = \frac{F}{A}$$

$p$  = Energi Tekanan ( $N/m^2$ )

$F$  = Gaya (N)

$A$  = Luas ( $m^2$ )

- o **Tekanan (Sisa Head)**

**Pressure atau Sisa Head** adalah besaran tekanan zat cair pada suatu titik dalam jaringan pipa.

$$S_h = H_a - \sum hl$$

$S_h$  = Sisa Head (meter)

$H_a$  = Head Awal (meter)

$\sum hl$  = Head Loss (meter)

- o **Kecepatan**

**Velocity atau kecepatan** aliran adalah jarak yang ditempuh partikel zat cair tiap satuan waktu.

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$v$  = Kecepatan (meter/detik)

$Q$  = Debit ( $meter^3/detik$ )

$D$  = Diameter Pipa (meter)

- o **Debit**

**Flow atau Debit** adalah volume zat cair yang melalui suatu titik dalam jaringan pipa dalam satuan waktu.

$$Q = v \times A = v \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$Q$  = Debit (meter<sup>3</sup>/detik)

$v$  = Kecepatan (meter/detik)

$D$  = Diameter Pipa (meter)

$A$  = Luas Penampang Pipa (meter<sup>2</sup>)

- o **Head**

**Head (Total)** adalah besaran yang menyatakan total ketinggian energi zat cair pada suatu titik dalam jaringan pipa. Merupakan penjumlahan antara besaran Elevasi Titik yang ditinjau dengan besaran Tekanan (Sisa Tekan) pada titik tersebut.

$$H_A = Elv A + Sh$$

$H_A$  = Total Head (meter)

$Elv A$  = Elevasi Titik A (meter)

$Sh$  = Sisa Head (meter)

- o **Head Total Pompa**

**Head (Total) Pompa** adalah besaran atau kemampuan pompa menghasilkan tekanan pada awal titik operasinya.

$$H_p = h_t + \sum h_l + E_k$$

$H_p$  = Head Pompa (meter)

$h_t$  = Head Total Statis (meter)

$\sum h_l$  = Elevasi Titik A (meter)

$E_k$  = Energi Kinetik Akhir Lintasan (meter)

- o **Head Loss Major (Friksi)**

**Head Loss Friksi** adalah nilai kehilangan tekanan (head) pada jaringan pipa.

$$h_f = \left( \frac{Q}{0,2785(C)D^{2,63}} \right)^{1,8519} L$$

$h_f$  = Head Loss Friksi (meter)

$Q$  = Debit Aliran (meter<sup>3</sup>/detik)

$C$  = Koefisien Hazen Williams

$D$  = Diameter Pipa (meter)

$L$  = Panjang Pipa (meter)

o **Head Loss Minor (Accessories)**

**Head Loss Minor** adalah nilai kehilangan tekanan (head) pada Accessories.

$$h_m = \sum K x E_k$$

$h_m$  = Head Loss Minor (meter)

$\sum K$  = Total Nilai Koefisien Kehilangan Tekanan (meter) Nilai "K" untuk accessories harganya diperoleh dari Tabel

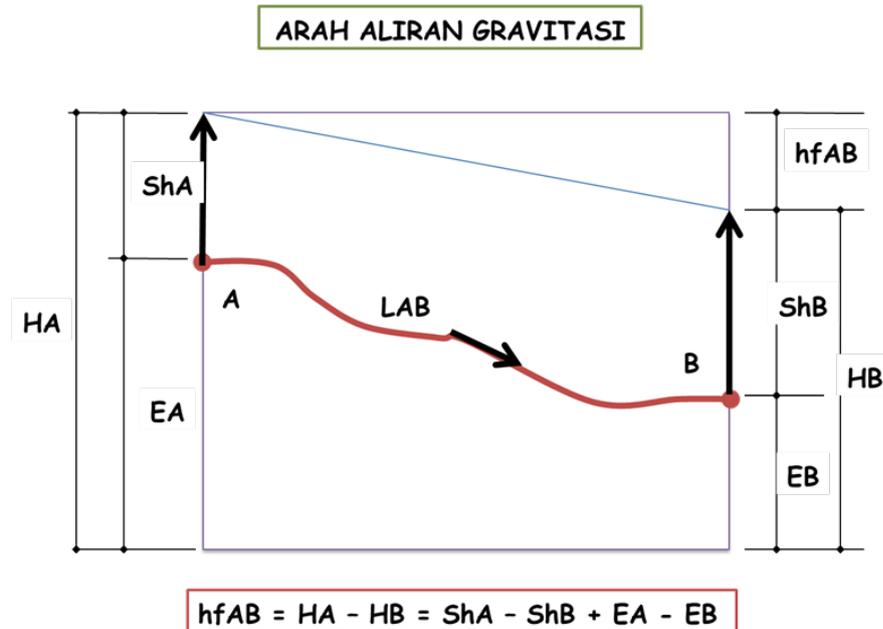
$E_k$  = Energi Kinetik (meter)

### 3.4. ALIRAN GRAVITASI

Aliran gravitasi adalah aliran alami yang gerakannya dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi.

Sifat hidrolika aliran ini, antara lain:

1. Antar Reservoir (Permukaan Terbuka)
  - o Head awal yang berasal dari Reservoir (permukaan terbuka/ bak), sama dengan elevasi permukaan dari zat cair di titik tersebut.
  - o Head Akhir pada Reservoir (permukaan terbuka), sama dengan elevasi permukaan dari zat cair di titik tersebut, atau tidak ada nilai Sisa Head.
  - o Nilai Head Loss antar dua Reservoir (permukaan terbuka), sama dengan perbedaan elevasi permukaan zat cair di kedua reservoir tersebut.
2. Antar Titik (Permukaan Tertutup)
  - o Head awal yang berasal dari pipa tertutup, merupakan Jumlah antara elevasi titik tersebut dengan Sisa Tekanan di titik tersebut.
  - o Head Akhir pada Pipa (tertutup), sama dengan elevasi permukaan dari zat cair di titik tersebut ditambah dengan nilai Sisa Head di titik tersebut.
  - o Nilai Head Loss antar dua titik dalam pipa (tertutup), sama dengan "hf+hm" yang nilainya dihitung berdasarkan Persamaan Hazen Williams.



Gambar 3.7 Arah Aliran Gravitasi

**KETERANGAN :**

- $Sh_A$  = Sisa Head di Titik A  
 $E_A$  = Elevasi Titik A  
 $H_A$  = Head di Titik A  
 $L_{AB}$  = Panjang Pipa AB  
 $hf_{AB}$  = Headloss antara titik A dan B  
 $Sh_B$  = Sisa Head di Titik B  
 $E_B$  = Elevasi Titik B  
 $H_B$  = Head di Titik B

**Contoh Kasus****Kata P. Lurah :**

" Kami punya sumber air pada ketinggian 54 m dari tempat ini, jaraknya kurang lebih 4 km "

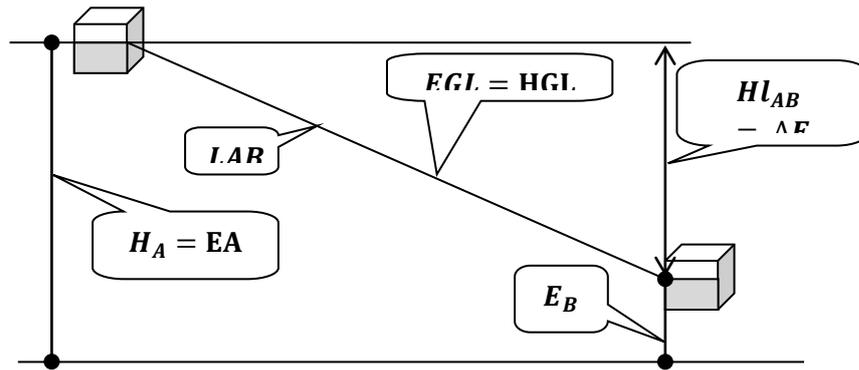
" Agar kami dapat memperoleh debit 10 lps, berapa diameter pipa yang dipergunakan? "

**Kata P. Lurah :**

" Seandainya Kami pakai pipa 3 inchi, akan dihasilkan Debit berapa? "

**Kata P. Lurah :**

" Seandainya pipa 3 inchi kami hanya 3 km sedangkan kekurangannya disambung dengan 4 inchi, akan dihasilkan Debit berapa? "



**Gambar 3.8 Sistem Aliran Gravitasi antar Reservoir**

**KETERANGAN :**

$h_{AB}$  = Kehilangan Tekanan antar Titik A ke B

$E_A$  = Elevasi Titik A

$H_A$  = Head di Titik A

$L_{AB}$  = Panjang Pipa AB

$EGL$  = Energi Grade Line

$HGL$  = Hydraulik Grade Line

$E_B$  = Elevasi Titik B

$\Delta E$  = Selisih Elevasi

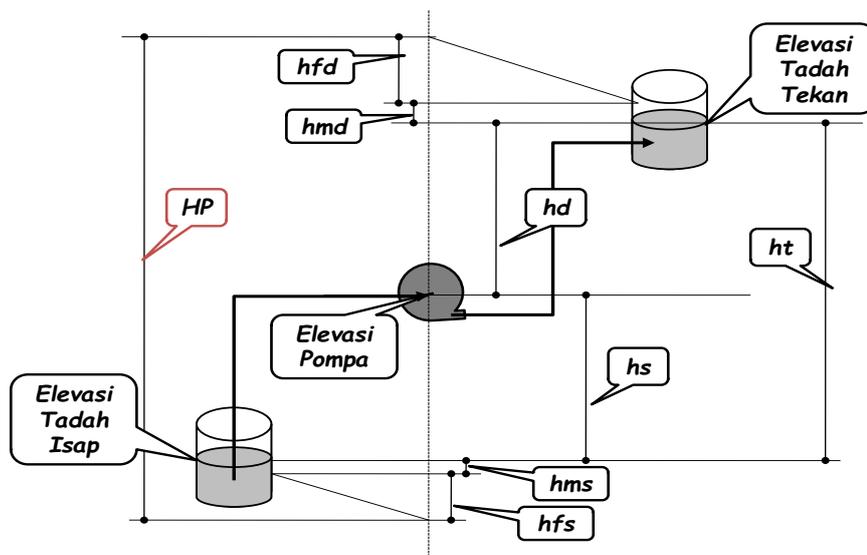
### 3.5. ALIRAN SISTEM POMPA

Aliran Sistem Pompa adalah aliran buatan yang gerak alirannya dipengaruhi oleh kerja pompa. Sifat hidrolika aliran ini, antara lain:

1. Antar Reservoir (Permukaan Terbuka)
  - Head awal yang berasal dari Reservoir (permukaan terbuka/ bak), sama dengan elevasi permukaan dari zat cair di titik tersebut.
  - Head Akhir pada Reservoir (permukaan terbuka), sama dengan elevasi permukaan dari zat cair di titik tersebut, atau tidak ada nilai Sisa Head.
  - Nilai Head Loss antar dua Reservoir (permukaan terbuka) yang selanjutnya disebut sebagai "total head loss statis", sama dengan perbedaan elevasi permukaan zat cair di kedua reservoir tersebut.
  - Perbedaan elevasi antara Tadah Tekan ke Pompa disebut sebagai Head Discharge = Head Tekan.
  - Perbedaan elevasi antara Tadah Isap ke Pompa disebut sebagai Head Suction = Head Isap.

## 2. Antar Titik (Permukaan Tertutup)

- o Head awal yang berasal dari pipa tertutup, merupakan Jumlah antara elevasi titik tersebut dengan Sisa Tekanan di titik tersebut.
- o Head Akhir pada Pipa (tertutup), sama dengan elevasi permukaan dari zat cair di titik tersebut ditambah dengan nilai Sisa Head di titik tersebut.
- o Nilai Head Loss antar dua titik dalam pipa (tertutup) yang selanjutnya disebut sebagai Total Head Loss = " $\sum h_l$ ", sama dengan " $h_f + h_m$ " yang nilainya dihitung berdasarkan Persamaan Hazen Williams.



Gambar 3.9 Skema Head dalam Sistem Pompa

### KETERANGAN :

- hs** = Head Suction = Tinggi Hisap
- hd** = Head Discharge = Tinggi Tekan
- ht** = Head Total Statis = Tinggi Hisap + Tinggi Tekan =  $h_s + h_d$
- hms** = Head Loss Minor Suction = Kehilangan Tekanan Acessories di Sisi Isap
- hfs** = Head Loss Friksi Suction = Kehilangan Tekanan Pipa di Sisi Isap
- hmd** = Head Loss Minor Discharge = Kehilangan Tekanan Acessories di Sisi Tekan
- hfd** = Head Loss Friksi Discharge = Kehilangan Tekanan Pipa di Sisi Tekan
- HP** = Head Total Pompa = Total Kebutuhan Head Pompa  

$$HP = ht + hms + hfs + hmd + hfd + Ek_2$$
- Ek<sub>2</sub>** = Energi Kinetik saat Zat Cair Masuk Ke Tadah Tekan

## **BAB 1V**

### **LANGKAH EFISIENSI ENERGI**

## BAB 4 LANGKAH EFISIENSI ENERGI

### 4.1. KONSEP EFISIENSI ENERGI

Sebagaimana diuraikan di depan bahwa konsep pokok efisiensi energi adalah penggunaan energi secara bijak, dengan visi "Menggunakan Energi Sekecil Mungkin, untuk Mendapatkan Hasil Sebesar Mungkin".

Visi tersebut tidak mudah dicapai tanpa langkah-langkah strategis yang efektif. Untuk mencapainya diperlukan langkah-langkah, sebagai berikut:

- Mengukur tingkat penggunaan energi saat ini, dengan cara "Audit".
- Menganalisa penyebabnya, mengapa nilai penggunaan energi tersebut besar?
- Mencari upaya, adakah peluang untuk diadakan perubahan yang lebih baik, sehingga penggunaan dan atau biaya energi dapat diturunkan.
- Mengimplementasikan peluang penghematan energi.
- Mengadakan monitoring dan evaluasi hasil implementasi hemat energi.

#### 4.1.1. Audit

Audit dapat diartikan sebagai pemeriksaan untuk mengetahui layak/ tidaknya suatu sistem dibandingkan dengan nilai kriteria/ standar, kinerja sistem sejenis atau kinerja masa lalu .

Audit dapat pula diartikan sebagai penilaian kinerja suatu sistem.

#### 4.1.2. Pengertian Audit Energi

Audit energi adalah aktivitas yang dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan energi suatu sistem, guna mengidentifikasi peluang-peluang penghematan yang mungkin/ dapat dilakukan.

#### 4.1.3. Sasaran :

1. Memperoleh gambaran pola penggunaan energi
2. Memperoleh gambaran Fluktuasi penggunaan energi
3. Memperoleh gambaran Neraca energi (input = output)
4. Memperoleh gambaran Intensitas konsumsi energi dengan cara *benchmarking*
5. Memperoleh gambaran Efisiensi penggunaan energi.
6. Mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan energi dan menyusun langkah-langkah pencegahannya.

#### 4.1.4. Tujuan :

1. Rasionalisasi dan optimalisasi penggunaan energi.
2. Dasar untuk melakukan peningkatan efisiensi penggunaan energi
  - Perbaikan manajemen perawatan dan operasi peralatan
  - Perbaikan alat
  - Instalasi peralatan baru/ teknologi hemat energi

#### 4.2. TEKNIK AUDIT ENERGI

Teknik audit energi adalah tahapan dan atau metode dalam melakukan audit energi.

Tahapan dimaksud antara lain berupa:

1. Pengumpulan data (primer dan sekunder).
2. Analisis (yang berdasarkan teori, kriteria/ standar dan perbandingan)
3. Kesimpulan
4. Saran/ Rekomendasi
5. Implementasi
6. Monitoring dan Evaluasi

#### 4.3. ANALISA HASIL AUDIT

Analisa hasil audit adalah kajian (olah data) terhadap besaran (nilai) data yang terkumpul yang selanjutnya dibandingkan dengan besaran kriteria/ standar, besaran awal pembuatan, atau besaran pada masa lalu, dll.

Analisis energi tersebut dapat berupa:

1. Kajian Teknis
  - Tinjauan dari sisi kelistrikan
  - Tinjauan dari sisi mekanikal
  - Tinjauan dari sisi hidrolika
2. Kajian Manajemen
  - Perencanaan
  - Pengorganisasian
  - Pelaksanaan
  - Pengawasan

#### 4.4. REKOMENDASI

Rekomendasi adalah pola tindakan strategis atau bijak dalam mencari peluang yang memungkinkan untuk dilaksanakan tindakan yang lebih efektif dan efisien. Dalam rekomendasi

ditunjukkan peluang apa yang masih memungkinkan untuk ditempuh dalam rangka peningkatan/ perbaikan nilai efisiensi energi.

#### 4.5. FEASIBILITY STUDY

Yang dimaksud dengan Feasibility Study adalah kajian yang lebih detail tentang objek yang dikaji (objek studi), yang ditinjau dari berbagai analisis. Tujuan dilakukan analisis agar diperoleh rencana tahapan implementasi secara runtut, taktis dan dapat dipertanggungjawabkan secara administratif .

Analisis dimaksud meliputi aspek:

- Pasar dan pemasaran
- Hukum
- Teknis Operasi
- Management/ Organisasi
- Sosial dan Ekonomi
- Dampak Lingkungan, atau
- Keuangan, PP, ARR, NPVPI, IRR, dll, atau minimal berupa perhitungan BEP (Break Event Point).

#### 4.6. IMPLEMENTASI

Implementasi merupakan realisasi/ pelaksanaan terhadap hasil kajian sebagai dicantumkan dalam rekomendasi.

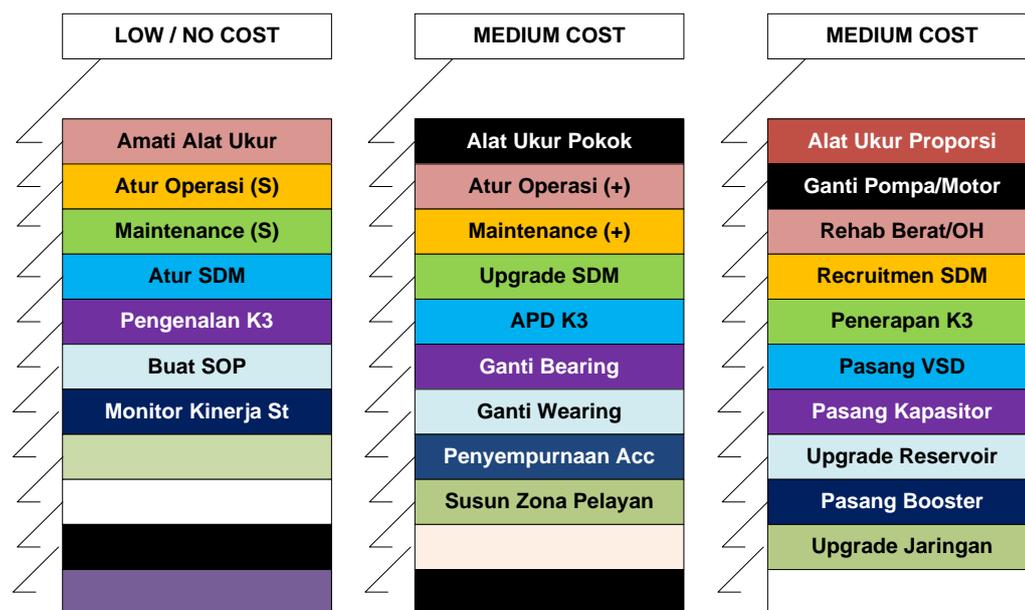
Tingkatan implementasi didasarkan pada kemampuan teknologi, biaya dan urgensi (kepentingan mendesak). Sehingga dapat dikategorikan sebagai:

- *Low/ No Cost* (yang membutuhkan relatif sedikit biaya).
- *Medium Cost* (yang membutuhkan biaya tidak terlalu besar).
- *High Cost* (yang membutuhkan biaya banyak).

Upaya efisiensi energi yang banyak ditempuh:

- Pasang Kapasitor Bank
- Pasang Inverter (Variable Speed Drive)
- Ganti Pompa Submersible
- Beralih dari penggunaan BBM ke listrik
- Penurunan NRW
- Pemasangan Pressure Reducing Valve (PRV)
- Pemasangan Pompa Booster

- Pengoperasian pompa ganda/ Pompa Pendamping
- Pengaturan jam operasi pompa
- Penggunaan Genset Waktu Beban Puncak daerah tertentu
- Revisi SOP
- Pelatihan dan penggalakan K3
- Revisi Bisnis Plan
- Peningkatan Kapasitas Jaringan
- Pembuatan/ Peningkatan Kapasitas Reservoir
- Pemetaan Pelanggan (GIS)
- Pembentukan Zona Pelayanan
- Pembentukan Distric Meter Area
- Studi Kinerja Jaringan
- Studi Kinerja Instalasi Pengolahan Air
- Pengaturan dan Pengendalian Jam Pompa



Gambar 4.1 Jenis Rekomendasi

#### 4.7. MONITORING DAN EVALUASI

Monitoring adalah kegiatan yang bertujuan untuk mengamati perkembangan kinerja suatu sistem, utamanya setelah dilakukan perbaikan atau pembenahan baik secara sederhana atau penggantian beberapa komponennya. Perangkat lunak maupun perangkat keras dalam monitoring serupa pada kegiatan audit. Letak perbedaannya, bahwa monitoring dilaksanakan dalam periode yang lebih pendek namun sederhana, dengan memfungsikan peralatan ukur atau

tanda bukti administratif yang secara rutin dilakukan namun tidak mendapat perhatian khusus karena yang bersangkutan belum memahami maksud dan fungsinya.

Contoh yang sederhana adalah monitoring Meter Listrik PLN atau Rincian Pembayaran Listrik PLN.

Evaluasi merupakan tindakan mengamati hasil dan perkembangan yang dicapai sebagai implementasi yang telah dilakukan. Hasil evaluasi (yang menunjukkan penurunan) dapat dipergunakan sebagai bahan kajian ulang/ lanjutan guna memperoleh langkah perbaikan di masa yang akan datang.

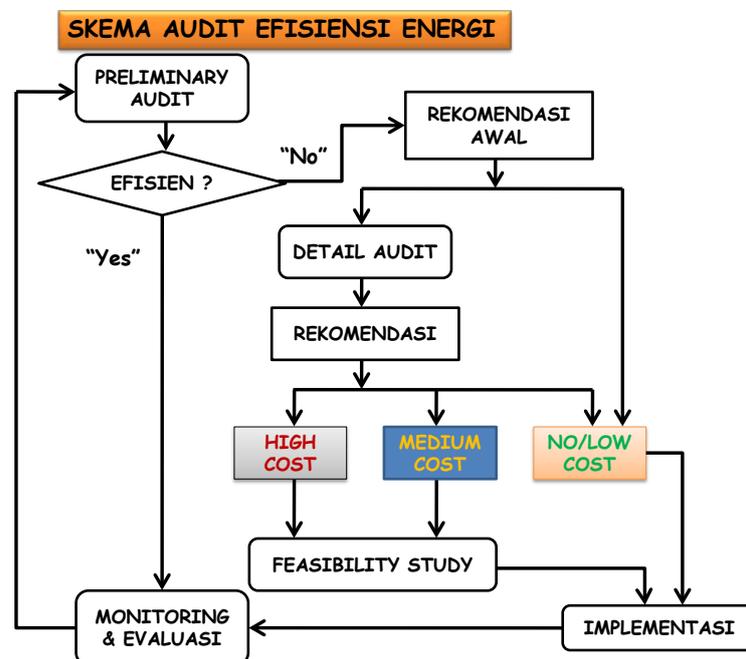
Pada evaluasi diperoleh informasi tentang:

1. Adakah hasil yang dicapai sesuai dengan hasil saran/ rekomendasi atau mengalami kegagalan atau tidak mendapatkan hasil?
2. Apakah pada waktu-waktu berikutnya mengalami kenaikan atau bahkan penurunan dari nilai kinerja sebelumnya?

### **METODOLOGI AUDIT ENERGI**

Berdasarkan lingkup audit energi yang dilakukan maka audit energi bisa dibedakan menjadi dua jenis audit energi, yaitu audit energi awal (walkthrough energy audit) dan detail audit energi.

Secara umum metodologi audit energi ditunjukkan pada alur diagram berikut ini:



**Gambar 4.2 Flow Chart Metodologi Audit Energi**

## 1. Audit Energi Awal

Audit awal dilakukan untuk memperoleh gambaran umum pola penggunaan energi, melakukan benchmarking dan identifikasi kasar potensi penghematan serta menyusun rekomendasi awal yang sifatnya segera dapat dilakukan. Keluaran audit awal juga menentukan lokasi dan kebutuhan untuk melakukan audit rinci.

Audit awal menggunakan data-data sekunder dan kuesioner sebagai dasar untuk melakukan evaluasi penggunaan energi secara umum dan cepat. Pengukuran dibutuhkan untuk verifikasi beberapa angka yang dianggap kurang rasional.

Pengamatan lapangan dan interview dengan operator dilakukan guna memperkaya dan memperdalam isi audit.

Jangka waktu untuk audit awal di satu lokasi (industri maupun bangunan) sekitar 1 sampai dengan 2 minggu mulai dari survey hingga pembuatan laporan.

### a. Tahapan Audit Awal

Audit Awal sebaiknya dilaksanakan secara menyeluruh pada semua sistem. Data yang akurat sangat diperlukan sebagai bahan analisa. Data sekunder yang telah ada ditambah data primer yang berasal dari hasil pengukuran dan penjelasan operator atau orang yang terlibat dalam pengelolaan energi di lokasi tersebut, selanjutnya akan diolah sebagai bahan analisa.

Pada Audit Awal data tersebut akan dianalisa agar menghasilkan produk yang berupa Rekomendasi dan Daftar Urutan Tingkat Keborosan Sistem.

Guna memperoleh data tersebut, perlu dilakukan:

#### Identifikasi Permasalahan

1. Permasalahan Gangguan & Keluhan Pelayanan  
Dengan cara ini diharapkan dapat diperoleh informasi tentang kekurangan yang terjadi pada sistem yang pada akhirnya berdampak langsung kepada konsumen.
2. Permasalahan Kelayakan & Kelengkapan Jaringan  
Dengan melihat sepintas (*Side Seeing*), mungkin ditemukan kurang lengkap atau kesalahan dalam pemilihan *accessories*, baik yang berfungsi sebagai pengendali maupun sebagai pengaman sistem.
3. Permasalahan Kondisi Mekanikal & Elektrikal  
Banyak hal yang dapat diperoleh dari pengamatan sistem elektrikal dan mekanikal, antara lain :

- 3a. Apakah ada alat ukur yang terpasang
- 3b. Apakah pemasangannya sudah tepat
- 3c. Apakah alat ukur dapat berfungsi dengan tepat (akurat)
- 3d. Apakah penunjukan alat ukur dicatat dengan tertib
- 3e. Apakah ada personel yang dapat menganalisa nilai-nilai yang ditunjukkan
- 3f. Apakah hasil analisa diteruskan kepada atasan langsungnya
- 3g. Apakah atasan langsungnya merespon terhadap laporan yang disajikan
- 3h. Dll.

#### 1. Permasalahan Sistem Operasi Pompa

Operasi pompa bukan berarti hanya menghidupkan dan mematikan kerja pompa. Lebih dari itu operator pompa seharusnya dipilih dari personil yang benar-benar memahami permasalahan pompa itu sendiri, bagaimana merubah kinerja sistem agar dapat memenuhi kebutuhan pelayanan yang berfluktuasi.

Pompa dalam pengadaannya sering dipasang lebih dari satu unit. Apakah dalam pengoperasian pompa perlu dipakai secara bergantian atau bekerja secara gabungan. Seandainya akan dilakukan penggabungan, lebih efektif secara seri atau paralel.

#### 2. Permasalahan Pemeliharaan

Sebagaimana manusia, pompa mempunyai kerawanan dan penurunan tingkat kinerjanya. Dengan Operasi dan Pemeliharaan yang tepat dimungkinkan usia sistem akan menjadi lebih lama dan kinerjanya akan bertahan sampai lama pula. Pemeliharaan tidak hanya ditentukan oleh kepiawaian operator dan pemeliharanya saja, namun lebih dari itu adalah ketersediaan dana untuk penyempurnaan/ pemenuhan kebutuhan sistem tersebut.

### 1. **Pengukuran Besaran Energi**

#### 1. Analisa Arsip Rekening Pembayaran Listrik PLN

Kadangkala pembayaran listrik PLN dilakukan di Bank, sehingga yang diterima PDAM hanya tanda pembayaran (kuitansi). Dengan kuitansi tersebut kita tidak dapat berbuat banyak. Kita tidak dapat mengetahui hal-hal apa yang dapat dipergunakan sebagai alat evaluasi diri, sebagai contoh :

- 1a. Apakah Faktor Daya yang dihasilkan Sistem akan menambah biaya pemakaian, atau
- 1b. Apakah ada kesalahan hitung oleh petugas atau pencatat pemakaian, atau
- 1c. Apakah pemakaian energi pada waktu beban puncak lebih lama sehingga terkena tarif lebih mahal, atau
- 1d. Masih adakah peluang memilih Golongan Tarif yang lebih hemat.

## 2. Analisa Arsip Pemakaian Bahan Bakar Penggerak Mula

Penggunaan bahan bakar motor bakar mempunyai relevansi terhadap kinerja suatu sistem, artinya bahwa semakin kinerja sistem tinggi, akan dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak.

Setiap mesin dilengkapi dengan *Name Plate*, yaitu data yang menjelaskan tentang karakter mesin tersebut. Sebagai bahan pengawasan melekat terhadap operator, seyogyanya atasan langsung operator dapat mengetahui kejanggalan-kejanggalan yang terjadi di lapangan, dengan menganalisa laporan.

Jumlah pemakaian bahan bakar tersebut selanjutnya akan dikonversi ke dalam satuan energi, guna bahan penilaian apakah sistem tersebut efisien atau tidak.

## 3. Analisa Peralatan Monitor Kelistrikan

Setiap sistem pompa dilengkapi dengan alat monitor berupa lampu pilot dan alat ukur besaran listrik. Ketepatan penunjukkan alat ukur perlu dikalibrasi secara periodik agar dapat dimanfaatkan sebagai pelapor yang handal (*actual*, *factual* dan *responsible*). Apabila operator kurang memperhatikan dan memanfaatkan informasi yang ditunjukkan alat tersebut, maka pemasangan alat monitor akan sia-sia.

## 2. **Pengukuran Besaran Produk**

### 1. Analisa Arsip Laporan Produksi Air

Sebagian jaringan transmisi tidak dipasang alat monitor volume aliran (water meter). Seandainya dipasang, akurasinyapun kadang diragukan karena tidak pernah ditera ulang.

Namun demikian Bagian Teknik setiap bulan selalu melaporkan jumlah volume air yang diproduksi oleh sistem. Meskipun kurang tepat, setidaknya ada acuan dalam menentukan angka dalam laporan tersebut.

### 2. Analisa Arsip Distribusi Air

Sistem jaringan sebaiknya dipisah antara jaringan transmisi dan distribusi. Namun untuk beberapa kasus, terdapat jaringan transmisi yang berfungsi sebagai jaringan distribusi, karena dilakukan penyadapan untuk beberapa sambungan. Oleh karena itu, maka mengetahui air distribusi dapat dijadikan sebagai *cross check* terhadap laporan produksi air.

### 3. Analisa Arsip Kebocoran Air

Kebocoran air sama dengan kebocoran energi manakala sebagai penggerak air (aliran) adalah pompa yang menggunakan energi. Tingkat kebocoran yang tinggi akan mencerminkan kehilangan energi yang tinggi pula.

### 3. Perhitungan *Specific Energy Consumption* (SEC)

#### 1. Perhitungan Nilai *Specific Energy Consumption*

Dengan mengetahui nilai besaran energi yang dipergunakan dan nilai produk yang dihasilkan, maka dapat dihitung Nilai *Specific Energy Consumption* (SEC) sistem.

#### 2. Pembandingan Nilai SEC terhadap Kriteria Standar

Untuk menyimpulkan apakah sistem efisien atau unefisien, diperlukan alat pembandingan (tolok ukur). Alat pembandingan tersebut dapat berupa:

- 2a. Produk yang dihasilkan oleh sistem lain yang sejenis
- 2b. Hasil pengukuran tahun lalu
- 2c. Kriteria standar yang berlaku
- 2d. Name Plate (*characteristic design*)
- 2e. Konversi terhadap bahan bakar terpakai.

#### 3. Penyusunan Daftar Nilai SEC sistem

Hasil dari pengukuran seluruh sistem selanjutnya dibuat dalam daftar yang diurutkan mulai dari yang paling unefisien sampai dengan yang paling efisien.

## 2. Detail Audit Energi

Audit rinci dilakukan untuk menginvestigasi lebih lanjut lokasi terjadinya pemborosan energi dan melakukan analisis besarnya peluang penghematan energi yang dapat dilakukan secara lebih spesifik. Dalam audit rinci dicantumkan lokasi dan besar peluang penghematan serta rekomendasi tindak lanjut yang dapat dilakukan berdasarkan kriteria: *no/ low cost*, *medium cost* dan *high cost*.

Dalam audit rinci dilakukan pengukuran-pengukuran lebih rinci, sebagai dasar untuk melakukan evaluasi lebih lengkap.

Untuk menguraikan permasalahan dapat dilakukan interview dengan personil/ staf bagian yang bertanggung jawab terhadap peralatan yang sedang diaudit.

Jangka waktu yang dibutuhkan untuk audit rinci sekitar 1 sampai dengan 2 bulan untuk satu lokasi (tergantung dari besar dan karakteristik lokasi yang diaudit).

Audit energi yang dilakukan di industri maupun dibangunan akan memberikan rekomendasi potensi penghematan energi yang masuk dalam kategori tanpa biaya, biaya rendah dan biaya tinggi untuk implementasinya. Hasil rekomendasi tersebut (kategori *medium* dan *high cost*) ditindaklanjuti dengan studi kelayakan untuk implementasi proyek penghematan energi yang telah direkomendasikan.

## **Tahapan Audit Lanjutan**

### **1. Inventarisasi Data Sekunder**

#### 1a. Kajian Ulang Arsip Pembayaran Rekening Listrik

Langkah ini dilakukan sebagaimana saat audit awal, dengan mengkonfirmasi data dari berapa sumber.

#### 1b. Kajian Ulang Arsip Pemakaian Bahan Bakar

Langkah ini dilakukan sebagaimana saat audit awal, dengan mengkonfirmasi data dari berapa sumber.

#### 1c. Kajian Laporan Tahunan PDAM

Data yang diperoleh dari laporan tahunan atau kumpulan laporan bulanan dalam satu tahun, akan memberi gambaran yang lebih konkrit tentang kemunduran suatu sistem.

#### 1d. Kajian Data Sistem (*Name Plate*)

*Name Plate* adalah data Rate, data yang mencerminkan tingkat efisiensi sistem pada saat diuji dan dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya. Perbandingan antara kondisi saat ini dengan *Name Plate* merupakan cerminan tingkat kemunduran sistem.

#### 1e. Kajian Sejarah Pembangunan serta Kejadian selama penggunaan sistem.

Kajian sejarah sistem dapat dipergunakan untuk mengevaluasi :

- Latar belakang pembangunan,
- Bagaimana kondisi saat sistem dibangun,
- Siapa yang merancang,
- Maksud pembangunan sistem,
- Dll.

### **2. Pengukuran Besaran-Besaran (Inventarisasi Data Primer)**

#### 2a. Pengamatan Lokasi (Lapangan)

Langkah ini dilakukan sebagaimana saat audit awal, dengan mengkonfirmasi data dari berapa sumber.

2b. Kajian Bagan Penyaluran Energi

Bagan penyaluran energi dipergunakan untuk mengamati terhadap simpul-simpul mana yang berpotensi menghabiskan energi (*energy losses node*).

2c. Kajian Unit Penggerak Mula

Unit Penggerak Mula seharusnya memberikan nilai besaran listrik sebagaimana yang dipersyaratkan oleh *Name Plate* Pompa beserta Elektromotornya. Sumber Penggerak Mula yang berupa Motor Bakar, kadangkala tidak mencukupi catu daya sistem pompa karena kesalahan pengadaan atau penggantian pompa yang kebutuhannya lebih besar dari kebutuhan pompa sebelumnya.

2d. Kajian Kondisi Fisik Pompa dan Instrumentasi Sistem Pompa & Kelistrikannya.

Langkah ini berupa pengukuran sistem kelistrikan dan sistem mekanikal, sekaligus sistem hidroulik jaringan pada satu titik yang sama.

2e. Kajian Jaringan Transmisi & Distribusi Air

Langkah ini dilakukan untuk memperoleh data *accessories* yang terdapat pada jaringan transmisi dan distribusi sekitar pompa, guna memperoleh jawaban apakah *accessories* sesuai atau belum, apakah sudah dilengkapi alat pengaman, alat pengendali, alat monitor atau belum.

2f. Kajian Unit Pengolahan Air

Instalasi Pengolahan Air memerlukan pompa dosing guna pencampuran bahan kimia. Kesesuaian kapasitas dosis dan atau pompa layak diketahui oleh auditor.

2g. Kajian terhadap Keluhan Masyarakat

Langkah ini dilakukan sebagaimana saat audit awal, dengan mengkonfirmasi data dari berapa sumber.

Apabila terjadi keluhan masyarakat pelanggan, pada umumnya adalah sistem penyaluran (distribusi) yang kurang memenuhi kriteria debit dan tekanan, sehingga ada kemungkinan karena operasi pompa atau distribusi yang belum memadai.

2h. Kajian terhadap Prosedur Standar Operasi yang ada

Staf yang baik adalah staf yang disiplin, artinya yang senantiasa menaati ketentuan atau peraturan yang ada. Kesalahan staf adalah tanggung jawab atasan langsungnya, manakala staf telah melakukan tindakan sesuai dengan Standar Operasi yang telah ditetapkan. Prosedur Operasi Standar ditetapkan oleh berbagai pihak lewat kajian sebaik mungkin. Namun SOP tersebut perlu dikaji dalam rangka kesesuaian antara sistem dengan kondisi setempat, termasuk kompetensi operator yang ditugaskan.

2i. Kajian Sistem Pengawasan

Salah satu fungsi manajemen adalah pengawasan. Suatu program yang sudah direncana dengan baik, dalam pelaksanaannya bisa jadi gagal disebabkan kurangnya fungsi pengawasan. Dengan pengawasan maka perilaku SDM dan waktu pelaksanaan serta penggunaan dana dapat dikendalikan.

2j. Pengukuran insidentil besaran Kelistrikan

Pengukuran saat ini (insidentil) dimaksudkan sebagai data koreksi terhadap kondisi kinerja saat ini. Sedang fungsi lain adalah sebagai kalibrasi terhadap penunjukan alat ukur atau koreksi terhadap data yang tidak didasarkan pada penunjukan alat ukur.

2k. Pengukuran insidentil besaran aliran air (debit & tekanan)

Sebagian jaringan outlet tidak dilengkapi dengan alat ukur (water meter). Seandainya dipasang, keakuratannya boleh jadi sudah tidak presisi karena telah berusia tua dan tidak pernah ditera.

2l. Pengukuran insidentil putaran motor

Kondisi putaran poros motor atau pompa saat ini kadang kala sudah tidak sesuai dengan angka yang tertera pada *Name Plate*. Hal itu dapat terjadi karena kinerja mekanis alat yang sudah berubah atau telah dilakukan penggantian motor atau pompa yang tidak sesuai dengan pemasangan saat sistem baru (awal pembangunan)

## **BAB V KAJIAN TARIF LISTRIK**

## BAB 5 KAJIAN TARIF LISTRIK PLN

### 5.1 KEBIJAKAN TARIF LISTRIK PLN

Tarif PLN ditetapkan dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Tarif tersebut dapat diperoleh melalui PLN atau mengunduh dari Internet. Karena frekuensi perubahan struktur tarif yang pendek dan ada ketergantungan dengan kebijakan moneter (pasar minyak dunia/ nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika), maka setiap pengguna listrik PLN agar senantiasa *mengupdate* regulator tersebut.

*Saat ini (awal tahun 2015) Ketentuan Tarif Listrik PLN berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 19 Tahun 2014.*

Sebagai contoh berikut ini TDL untuk pengguna listrik Golongan Industri dan Bisnis.

**Tabel 5.1 Tarif Listrik untuk Keperluan Bisnis Permen ESDM No.31 Tahun 2014**

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	B-1/TR	450 VA	23.500	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 254 Blok II : di atas 30 kWh : 420	535
2.	B-1/TR	900 VA	26.500	Blok I : 0 s.d. 108 kWh : 420 Blok II : di atas 108 kWh : 465	630
3.	B-1/TR	1.300 VA	*)	966	966
4.	B-1/TR	2.200 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.100	1.100
5.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.352	1.352
6.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 1.020$ Blok LWBP = 1.020 kVArh = 1.117 (***)	-

Tabel 5.2 Tarif Listrik untuk Keperluan Bisnis Permen ESDM No. 19 Tahun 2014

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	B-1/TR	450 VA	23.500	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 254 Blok II : di atas 30 kWh : 420	535
2.	B-1/TR	900 VA	26.500	Blok I : 0 s.d. 108 kWh : 420 Blok II : di atas 108 kWh : 465	630
3.	B-1/TR	1.300 VA	*)	966	966
4.	B-1/TR	2.200 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.100	1.100
5.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.352	1.352
6.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 1.020$ Blok LWBP = 1.020 kVArh = 1.117 ***)	-

Tabel 5.3 Tarif Tenaga Listrik untuk Keperluan Industri berdasarkan Permen ESDM No. 31 Tahun 2014

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	I-1/TR	450 VA	26.000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh :160 Blok II : di atas 30 kWh :395	485
2.	I-1/TR	900 VA	31.500	Blok I : 0 s.d. 72 kWh :315 Blok II : di atas 72 kWh :405	600
3.	I-1/TR	1.300 VA	*)	930	930
4.	I-1/TR	2.200 VA	*)	960	960
5.	I-1/TR	3.500 VA s.d. 14 kVA	*)	1.112	1.112
6.	I-2/TR	di atas 14 kVA s.d. 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 972$ Blok LWBP = 972 kVArh = 1.057****)	-
7.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 1.115$ Blok LWBP = 1.115 kVArh = 1.200 ****)	-
8.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan LWBP = 1.191 kVArh = 1.191 *****)	-

**Tabel 5.4 Tarif Tenaga Listrik untuk Keperluan Industri berdasarkan Permen ESDM No. 19 Tahun 2014 (belum ada perubahan)**

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	I-1/TR	450 VA	26.000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh :160 Blok II : di atas 30 kWh :395	485
2.	I-1/TR	900 VA	31.500	Blok I : 0 s.d. 72 kWh :315 Blok II : di atas 72 kWh :405	600
3.	I-1/TR	1.300 VA	*)	930	930
4.	I-1/TR	2.200 VA	*)	960	960
5.	I-1/TR	3.500 VA s.d. 14 kVA	*)	1.112	1.112
6.	I-2/TR	di atas 14 kVA s.d. 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 972$ Blok LWBP = 972 kVArh = 1.057****)	-
7.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 1.115$ Blok LWBP = 1.115 kVArh = 1.200 ****)	-
8.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan LWBP = 1.191 kVArh = 1.191 ****)	-

### Penggunaan Energi Pengguna Listrik PLN

Nilai penggunaan energi listrik PLN diukur/ dicatat dalam Meter Listrik yang mempunyai aneka ragam bentuk dan informasi, antara lain:

1. Informasi yang menyajikan hanya nilai kWh saja.
2. Informasi yang menyajikan nilai kWh (LWBP dan WBP) dan kVArh.
3. Informasi yang menyajikan nilai kWh (LWBP dan WBP), kVArh, Daya P, Daya S dan Daya Q, dan Faktor Daya, dll.

### Rincian Penggunaan Energi Listrik (Rekening Bulanan)

Rekening

## 5.2 SISTEM TARIF PLN

Pengguna Listrik PLN perlu mencermati ketentuan yang tertuang dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral yang berkaitan dengan perubahan ketentuan dan tarif dasar listrik PLN yang berlaku saat itu. Hasil evaluasi sistem tarif dari tahun ke tahun terjadi perubahan bukan saja pada nilai tarif per golongannya saja, namun ketentuan yang lainnyapun mengalami perubahan.

Sistem tarif yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Masa berlakunya tarif

Tarif Dasar Listrik (TDL) diberlakukan untuk masa tertentu. Perubahan nilai TDL tidak dapat diperkirakan oleh pengguna, meskipun Kementerian ESDM sudah memberikan sosialisasi dan mengeluarkan regulasi yang mendasari besarnya nilai TDL.

2. Penggolongan Tarif

Penggolongan tarif saat ini didasarkan pada:

2a. Golongan Masa Bayar:

- a. Reguler (Pasca Bayar)
- b. Pra Bayar
- c. Golongan Jenis Usaha Pemakai:
  - Sosial : (S1/TR, S2/TR, S3/TM)
  - Rumah Tangga : (R1/TR, R2/TR, R3/TR)
  - Bisnis : (B1/TR, B2/TR, B3/TM)
  - Industri : (I1/TR, I2/TR, I3/TM, I4/TT)
  - Pemerintah dan Penerangan Jalan : (P1/TR, P2/TM, P3/TR)
  - Traksi : (T/TM)
  - Penjualan Curah : (C/TM)
  - Layanan Khusus : (L/TR, L/TM dan TT)

**Tabel 5.5 Golongan Tarif dan Batas Daya**

10	BATAS DAYA
I-1/TR	450 VA
I-1/TR	900 VA
I-1/TR	1.300 VA
I-1/TR	2.200 VA
I-1/TR	3.500 VA sd. 14 kVA
I-2/TR	diatas 14 kVA sd. 200 kVA
I-3/TM	diatas 200 kVA
I-4/TT	30.000 kVA ke atas

## 3. Penggolongan Nilai Tegangan :

3a. Tegangan Rendah (TR) :220 VA s.d. 200 kVA

3b. Tegangan Menengah (TM) :200 kVA s.d. 30.000 kVA

3c. Tegangan Tinggi (TT) : &gt; 30.000 kVA

## 4. Beban Tetap

Beban yang bersifat penggunaan nyata, terdiri dari:

4a. LWBP : Penggunaan di luar waktu beban puncak, antara jam 22 s.d. 18

4b. WBP : Penggunaan waktu beban puncak, antara jam 18 s.d. 22

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
LUAR WAKTU BEBAN PUNCAK (LWBP)																		WAKTU BEBAN PUNCAK				LWBP		

Gambar 5.1 Pembagian waktu beban puncak

## 5. Beban Tambahan

## 5a. Denda:

Denda yang disebabkan oleh kelebihan energi Reaktif Induktif yang muncul, dengan pengenaan denda sebesar:

$$[\text{kVARh} - \{0,62(\text{kWh})\}] \times \text{satuan Tarif kVARh}$$

5b. Materai : Rp. 6.000,-

5c. Sewa Travo, dll

## 6. Pajak Penerangan Jalan Umum (PPJ)

PPJ (Pajak Penerangan Jalan Umum) ditetapkan oleh Pemerintah Kabupaten/ Kota setempat, yang nilainya berkisar 3% dari total penggunaan energi (WBP dan LWBP) dan Denda (kVARh).

## 7. Rincian Penggunaan Energi Listrik PLN

Pada umumnya pengguna Listrik PLN membayar rekening bulanan di loket yang telah ditentukan, antara lain: Bank, Kantor Pos, Koperasi, dll . Tanda pembayaran hanya berupa kuitansi yang tidak memerinci jumlah energi yang dipakai atau energi reaktif yang muncul. Akibatnya pengguna tidak tahu apabila terkena denda atau tidak mampu menyiasati penggunaan listrik yang lebih efisien.

Rincian tersebut dapat diminta ke PLN secara langsung atau lewat internet (e-mail), dengan memanggil menggunakan sandi pada Wilayah PLN yang bersangkutan.

Dengan memahami maksud dari perhitungan tersebut, diharapkan pengguna mampu melakukan tindakan efisiensi.

**Berikut Contoh Rincian Rekening Listrik PLN.**

Hal yang perlu dipahami:

- 7a. ID Pelanggan: 538 512 201 801, berguna untuk mencari data pelanggan.
- 7b. Rekening bulan: Juli 2014, berguna untuk monitor pembayaran tiap bulan.
- 7c. Tarif/Daya: I3/345.000 VA , artinya Golongan Pelanggan Industri – 1 dengan Daya terpasang 345 kVA.
- 7d. Tarif/Daya Lama : /0 VA, artinya tidak ada perubahan tarif pada bulan ini.
- 7e. FKT/kWh/kVARh/FRT: 400/400/1, artinya nilai Faktor Kali Meter adalah 400.
- 7f. FKT/kWh/kVARh/FRT LM: 400/N/1, artinya Faktor Kali untuk Meter lama
- 7g. Jam Nyala/Fak "K": 213, nilai ini hasil pembagian antara Nilai Energi Aktif dengan Daya Terpasang =  $73.484.800 : 234.000 = 213$  Jam.

Kepada Yth PDAM KABUPATEN DTII KP PASIR ANGIN 0 RT.000 RW.00 CEMPLANG NPWP : ..... No Invoice : 538512201801-0714		Id Pelanggan : 538512201801 Rekening Bulan : 07-2014 Tarif / Daya : I3 / 345.000 VA Tarif / Daya Lama : / 0 VA FKT kWh/kVarh/FRT : 400 / 400 / 1 FKT kWh/kVarh/FRT LM : 400 / N / 1 Jam Nyala / Fak K : 213								
		<b>CEMPLANG BOGOR</b>								
Catatan Meter	Tanggal	LWBP	WBP	TOTAL	KVARH					
St Meter Akhir	01-07-2014	7,132.799	1,454.980		6,725.642					
St Meter Pasang	26-06-2014	6,978.290	1,425.781		6,574.130					
St Meter Cabut	26-06-2014	6,978.290	1,425.781		6,574.130					
St Awal	01-06-2014	6,978.286	1,425.781		6,574.129					
<b>Pemakaian kWh Total</b>		<b>61,805.200</b>	<b>11,879.600</b>	<b>73.484.800</b>	<b>60.605.200</b>					
1. Biaya Beban				Rp	0					
2. Biaya Pemakaian				Rp	0					
		LWBP		WBP		kVarh				
	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Kelbih kVarh	Biaya kVarh	Sub Total	TOTAL
A	61,805.20	803	49,629,576	11,880	1,204.50	14,068,078	15,044.62	864	12,998,555	76,696,209
B										
C										
D										
		BLOK I		BLOK II		BLOK III				
	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	TOTAL
Baru										
Lama										
3. Rupiah PTL Bruto				Rp	76,696,209					
4. Rupiah Diskon				Rp	0					
5. Jumlah Rupiah PTL Netto				Rp	76,696,209					
6. Jumlah Rupiah Pemakaian Tenaga Listrik (PTL) yang ditagihkan				Rp	76,696,209					
7. Angsuran				Rp	0					
8. PPJ				Rp	2,300,886					
PTL		3,00 (%) x	76,696,209	Rp	2,300,886		Rp			
9. PPN				Rp	0					
10. Biaya Sewa Trafo/Pemakaian Trafo/Kapacitor				Rp	0					
11. Material				Rp	6,000					
<b>TERBILANG</b>				<b>JUMLAH TAGIHAN</b>	<b>Rp</b>	<b>79,003,095</b>				
<i>Tujuh Puluh Sembilan Juta Tiga Ribu Sembilan Puluh Lima Rupiah</i>										
Batas Akhir Masa Bayar 20 Juli 2014										

Tabel 5.6 Contoh Rekening Listrik

1 Catatan Meter	2 Tanggal	3 LWBP (kWh)	4 WBP (kWh)
5 Stand Meter Akhir	6 01/07/2014	7 7.132,799	8 1.454,980
9 Stand Meter Pasang	10 26/06/2014	11 6.978,290	12 1.425,781
13 Stand Meter Cabut	14 26/06/2014	15 6.978,290	16 1.425,781
17 Stand Meter Awal	18 01/06/2014	19 6.978,286	20 1.425,781
21 Selisih I (Cabut - Awal) :		0,004	-
Pemakaian I :		1,600	-
Selisih II (Akhir - Pasang):		154,509	29,199
Pemakaian II :		61.803,600	11.679,600
Pemakaian Total		61.805,200	11.679,600

7h. Pada bulan ini ada penggantian Meter Listrik

7i. Dengan Meter Lama diperoleh perhitungan: Penggunaan LWBP: 0,004 kWh, adapun untuk WBP tidak ada pemakaian. Setelah dikalikan dengan FK 400, diperoleh nilai 1,6 kWh

7j. Dengan Meter Baru diperoleh perhitungan: Penggunaan LWBP: 154,509 kWh, sedang untuk WBP tidak ada pemakaian. Setelah dikalikan dengan FK 400, diperoleh nilai 61.803,6 kWh

7k. Pemakaian Energi Aktif LWBP Total = 1,6 kWh + 61.803,6 kWh = 61.805,200 kWh

7l. Cara yang sama diberlakukan pada penggunaan WBP sehingga diperoleh nilai Pemakaian Energi Aktif WBP Total = 11.679,600 kWh

TOTAL P (kWh)	Q (VARh)
	6.725,642
	6.574,130
	6.574,130
	6.574,129
	0,001
	0,400
	151,512
	60.604,800
<b>73.484,800</b>	<b>60.605,200</b>

7m. Jumlah Pemakaian Energi Aktif Total = EP LWBP + EP WBP = 61.805,200 kWh + 11.679,600 kWh = 73.484,800 kWh

7n. Perhitungan serupa juga diberlakukan pada Energi Reaktif yang muncul, hingga memperoleh nilai : 60.605,200 kVARh

7o. Namun Nilai Energi Reaktif yang diperhitungkan adalah : 60.605,200 – 0,62 (Jumlah Pemakaian Energi Aktif) = 60.605,200 – 0,62 (73.484,800) = 15.044,6 kVARh

7p. **Rincian Tagihan Rekening :**

Aktif LWBP = 61.805,200 kWh x Rp. 803,-/kWh	= Rp. 49.629.576,-
Aktif WBP = 11.679,600 kWh x Rp. 1.204,5,-/kWh	= Rp. 14.068.078,-
Reaktif = 15.044,6 kVARh x Rp. 864,-/kVARh	= Rp. 12.998.555,-
Jumlah Biaya Energi	= Rp. 76.696.209,-
Pajak Penerangan Jalan = 3 % x Rp. 76.696.209,-	= Rp. 2.300.886,-
Materai .....	= Rp. 6.000,-
<b>Jumlah Tagihan</b>	<b>= Rp. 79.003.095,-</b>

7q. Dari rincian Tagihan Rekening tersebut masih ada peluang untuk efisiensi energi, sebagai berikut:

Beban biaya Energi Reaktif bersifat Denda, sehingga apabila dibiarkan saja akan terakumulasi sebagai biaya yang tidak ada gunanya (pemborosan). Dengan memasang Kapasitor Bank denda Energi Reaktif dapat ditiadakan.

7r. Berikut Contoh Tagihan Rekening pada bulan Maret 2015 saat sudah terpasang Kapasitor Bank.

Catatan Meter	Tanggal	LWBP (kWh)	WBP (kWh)
Stand Meter Akhir	01/03/2015	8.437,587	1.694,749
Stand Meter Awal	01/02/2015	8.292,112	1.667,805
Selisih (Akhir - Awal):		145,475	26,944
Pemakaian :		58.190,000	10.777,600
Pemakaian Total		58.190,000	10.777,600

7s. Pada bulan ini tidak ada penggantian Meter Listrik

TOTAL P (kWh)	Q (VARh)
	7.732,792
	7.681,607
	51,185
	20.474,000
68.967,600	20.474,000

**Tabel 5.7 Rekening Listrik Tidak ada Penggantian Meter**

7t. Namun Nilai Energi Reaktif yang diperhitungkan adalah : 20.474,000 – 0,62 (Jumlah

Kepada Yth PDAM KABUPATEN DTII KP PASIR ANGIN 0 RT.000 RW.00 CEMPLANG NPWP : .... No Invoice : 538512201801-0315		Id Pelanggan : 538512201801 Rekening Bulan : 03-2015 Tarif / Daya : I3 / 345.000 VA Tarif / Daya Lama : / 0 VA FKT kWh/kVarh/FRT : 400 / 400 / 1 FKT kWh/kVarh/FRT LM : 400 / N / 1 Jam Nyala / Fak K : 200		<b>CEMPLANG BOGOR</b>						
Catatan Meter			Tanggal	LWBP	WBP	TOTAL	KVARH			
St Meter Akhir			01-03-2015	8,437.587	1,694.749		7,732.792			
St Awal			01-02-2015	8,292.112	1,667.805		7,681.607			
Selisih Stand (st akhir - st awal * fkm)				58,190.000	10,777.600		20,474.000			
Pemakaian kWh Total				58,190.000	10,777.600	68,967.600	20,474.000			
1. Biaya Beban							Rp	0		
2. Biaya Pemakaian										
LWBP			WBP			kVarh		TOTAL		
Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Ketbwh kVarh	Biaya kVarh	Sub Total		
A	58,190	1,057.17	61,516.722	10,777.60	1,585.76	17,090.633	0	1,137.76	0	78,607,355
B										
C										
D										
BLOK I			BLOK II			BLOK III			TOTAL	
Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total		
Baru										
Lama										
3. Rupiah PTL Bruto									Rp	78,607,355
4. Rupiah Diskon									Rp	0
5. Jumlah Rupiah PTL Netto									Rp	78,607,355
6. Jumlah Rupiah Pemakaian Tenaga Listrik (PTL) yang ditagihkan									Rp	78,607,355
7. Angsuran									Rp	0
8. PPJ									Rp	2,358,221
PTL	3.00 (%) x		78,607,355	Rp		2,358,221			Rp	
9. PPN									Rp	0
10. Biaya Sewa Trafo/Pemakaian Trafo/Kapasitor									Rp	0
11. Materai									Rp	6,000
TERBILANG									Rp	80,971,576
Delapan Puluh Juta Sembilan Ratus Tujuh Puluh Satu Ribu Lima Ratus Tujuh Puluh Enam Rupiah										

Pemakaian Energi Aktif = 20.474,000 – 0,62 (68.967,600) = (-) 22.285,9 kVARh, dengan demikian maka pada bulan tersebut bebas dari Denda kVARh .

7u. Rincian Tagihan Rekening :

Aktif LWBP	= 58.190,0 kWh x Rp. 1.057,17,-/kWh	= Rp. 61.516.722,-
Aktif WBP	= 10.777,6 kWh x Rp. 1.204,5,-/kWh	= Rp. 17.090.633,-
Reaktif	= 0 kVARh x Rp. 1.075,-/kVARh	= Rp. 0,-
	Jumlah Biaya Energi	= Rp. 78.607.355,-
Pajak Penerangan Jalan	= 3 % x Rp. 78.607.355,-	= Rp. 2.358.221,-
Materai		= Rp. 6.000,-
<b>Jumlah Tagihan</b>		<b>= Rp. 80.971.576,-</b>

7v. Meskipun telah dilakukan saving dengan memasang kapasitor, namun dari Kajian Rekening Tagihan tersebut di atas masih ada peluang dilakukan efisiensi, sebagai berikut:

Jam Nyala : 200 jam dalam kurun waktu 30 hari, artinya setiap hari hanya menyala 6,7 jam. Dengan Waktu Beban Puncak dari Jam 17.00 sampai dengan 22. 00 atau 6 Jam, maka waktu pengoperasian pompa masih dapat dialihkan saat LWBP, dengan harga satuan tarif yang lebih rendah (Dengan Catatan apabila tersedia Reservoir sebagai penampung saat penggunaan ringan).

Saving yang masih dapat dilakukan =

$$10.777,6 \text{ kWh} \times \text{Rp.} ( 1.585,76 - 1057,1) = \text{Rp.} 5.696.877,7 \text{,- per bulan.}$$

### 5.3 KAJIAN FAKTOR DAYA

Beban biaya yang mestinya tidak perlu dikeluarkan adalah "Denda". Saat ini PLN menerapkan denda bagi golongan tarif tertentu yang menghasilkan nilai Energi Reaktif Induktif melebihi ketentuan. PLN menetapkan denda dengan nilai tertentu bagi golongan tarif Industri (I-2), (I-3) sampai (I-4) dan Bisnis (B-3). Penentuan tersebut berupa pembatasan terhadap nilai energi reaktif yang tercatat pada Meter PLN, dengan Faktor Daya yang kurang dari 0,85.

Solusi untuk mengatasi beban biaya denda "kVARh" ini dapat dilawan (dihilangkan) dengan pemasangan Kapasitor (Bank), yang bersifat menghasilkan Energi Reaktif Capasitif, yang arah Vasornya (Fase Vektor) berlawanan dengan Energi Reaktif Induktif.

Dari pengamatan Tagihan Rekening PLN Bulan Juli 2014 sebagaimana Contoh di atas, dapat dilakukan perhitungan guna memilih kapasitas kapasitor bank yang akan dipasang, sebagai berikut :

Energi Aktif terpakai = EP = 73.484,800 kWh

Energi Reaktif yang timbul = EQi = 60.605,200 kVARh

Energi Semu yang terserap =

$$ES = \sqrt{(EP)^2 + (EQi)^2} = \sqrt{(73.484,8)^2 + (60.605,2)^2} = 95.252,33 \text{ kVA}$$

Nilai Faktor Daya pada kondisi tersebut =  $\text{Cos}\phi = \frac{EP}{ES} = \frac{73.484,8}{95.252,33} = 0,77$  . Dengan demikian nilai  $\phi =$

39,51  $\square$  dan  $\text{Tan}\phi = 0,82$

Perbaiki Faktor Daya dengan Target  $\text{Cos}\phi^2 = 0,99$ , dengan nilai  $\phi^2 = 8,1 \square$  dan  $\text{Tan}\phi^2 = 0,14$  .

Dengan demikian diperlukan Energi Reaktif Capasitif =  $EQc = EP (\text{Tan}\phi - \text{Tan}\phi^2) = 73.484,8 (0,82 - 0,14) = 50.134,183 \text{ kVARh/bulan.}$

Apabila jam nyala diambil 213 jam/bulan, maka Daya Reaktif Capasitif =  $Qc = \frac{EQc}{213} = 235,37 \text{ kVAR.}$

Kapasitas Capacitor dapat dihitung dengan menggunakan Hubung Delta dan asumsi nilai tegangan 380 Volt serta frekuensi 50 Hertz, sebagai berikut :

$$C = \frac{Q_c}{2 \pi \pi f x U^2} = \frac{235.370}{2 \pi \pi x 50 x 380^2} = 5.191,09 \mu F$$

Setelah dilakukan pemasangan Kapasitor Bank maka Rekening Tagihan pada bulan Maret 2015, sebagai berikut :

Kepada Yth PDAM KABUPATEN DTII KP PASIR ANGIN 0 RT.000 RW.00 CEMPLANG NPWP : ... No Invoice : 538512201801-0315		Id Pelanggan : 538512201801 Rekening Bulan : 03-2015 Tarif / Daya : 13 / 345,000 VA Tarif / Daya Lama : / 0 VA FKT kWh/kVarh/FRT : 400 / 400 / 1 FKT kWh/kVarh/FRT LM : 400 / N / 1 Jam Nyala / Fak K : 200		<b>CEMPLANG</b> <b>RAGOP</b>					
Catatan Meter	Tanggal	LWBP	WBP	TOTAL	KVARH				
St Meter Akhir	01-03-2015	8,437.587	1,694.749		7,732.792				
St Awal	01-02-2015	8,292.112	1,667.805		7,681.607				
Selisin Stand (st akhir - st awal * fkm)		58,190.000	10,777.600		20,474.000				
Pemakaian kWh Total		58,190.000	10,777.600	68,967.600	20,474.000				
1. Biaya Beban					Rp	0			
2. Biaya Pemakaian									
LWBP			WBP			kVarh		TOTAL	
Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Kelbih kVarh	Biaya kVarh	Sub Total	
A	58,190	1,057.17	61,516,722	10,777.60	1,585.76	17,090,633	0	1,137.76	0
B									
C									
D									
BLOK I			BLOK II			BLOK III			TOTAL
Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	Pemk kWh	Biaya Pemk	Sub Total	
Baru									
Lama									
3. Rupiah PTL Bruto								Rp	78,607,355
4. Rupiah Diskon								Rp	0
5. Jumlah Rupiah PTL Netto								Rp	78,607,355
6. Jumlah Rupiah Pemakaian Tenaga Listrik (PTL) yang ditagihkan								Rp	78,607,355
7. Angsuran								Rp	0
8. PPJ								Rp	0
PTL	3.00 (%) x		78,607,355	Rp		2,358,221		Rp	2,358,221
9. PPN								Rp	0
10. Biaya Sewa Trafo/Pemakaian Trafo/Kapasitor								Rp	0
11. Materai								Rp	6,000
TERBILANG								Rp	80,971,576
JUMLAH TAGIHAN									
Delapan Puluh Juta Sembilan Ratus Tujuh Puluh Satu Ribu Lima Ratus Tujuh Puluh Enam Rupiah									

Coba dicari, berapa perkiraan nilai :

- Faktor Dayanya saat ini. (Key : 0,9586)
- Kapasitor yang telah dipasang. ( Key : .... μF)

## **BAB VI**

### **MENGUKUR KINERJA SISTEM**

**EFISIENSI ENERGI**

## BAB 6 MENGUKUR KINERJA SISTEM

### 6.1. PENILAIAN KINERJA CATU DAYA LISTRIK

Catu Daya Listrik adalah kualitas (kapasitas/ besaran) listrik yang diterima oleh konsumen. Kualitas yang baik adalah kualitas yang sesuai dengan permintaan konsumen dan sesuai dengan kebutuhan peralatan/ mesin yang akan menggunakan.

Kebutuhan peralatan/ mesin selalu ditunjukkan dengan Name Plate masing-masing peralatan/ mesin yang menyertai saat dibuatnya. Peralatan/ mesin akan menghasilkan kinerja sebagaimana yang tertera dalam Name Plate, apabila memperoleh Catu Daya listrik sesuai dengan yang tertera dalam Name Plate juga.

Selisih perbedaan antara catu daya sebenarnya terhadap Name Plate, disebut sebagai Nilai Deviasi. Semakin besar nilai deviasi, semakin riskan peralatan/ mesin tersebut mengalami kerusakan atau kurangnya kemampuan menghasilkan kinerja.

Pada pelatihan ini kita hanya akan mengamati nilai deviasi Tegangan dan Frekuensi Listrik, dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap Name Plate. Sebagai benchmark/ kriteria/ standar adalah:

#### Parameter:

- Batas Deviasi Tegangan (= DU) yang diijinkan = 10 %
- Batas Deviasi Frekuensi (= Df) yang diijinkan = 5%

#### Dasar Perhitungan:

$$\text{Selisih Nilai Tegangan} = \Delta u = (U_{\text{ave}} - U_{\text{rate}})$$

$$\text{Nilai Deviasi Tegangan} = DU = \left( \frac{\Delta u}{U_{\text{rate}}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Selisih Nilai Frekuensi} = \Delta f = (f_{\text{ukur}} - f_{\text{rate}})$$

$$\text{Nilai Deviasi Frekuensi} = Df = \left( \frac{\Delta f}{f_{\text{rate}}} \right) \times 100\%$$

#### Keterangan:

$U_{\text{ave}}$  : Tegangan rata-rata

$U_{\text{rate}}$  : Tegangan yang tercantum dalam Name Plate

$f_{\text{ukur}}$  : Frekuensi listrik hasil pengukuran

$f_{\text{rate}}$  : Frekuensi listrik yang tercantum dalam Name Plate

Di bawah ini contoh hasil pengukuran besaran-besaran listrik dengan menggunakan peralatan Power Analyzer.

Phase	rms [V]	peak+ [V]	peak- [V]	THD [%]
1	374.6	541.6	-541.4	4.8
2	376.2	549.5	-553.0	4.8
3	373.0	570.6	-575.3	4.4

Phase	rms [A]	peak+ [A]	peak- [A]	KF
1	35.7	0.055k	-0.055k	2.8
2	37.1	0.057k	-0.057k	3.7
3	35.3	0.055k	-0.054k	2.8

Phase	P [W]	S [VA]	Q [var]	PF
1	7.4k	13.4k	11.2k	0.553
2	7.7k	13.9k	11.6k	0.553
3	7.3k	13.2k	10.9k	0.557
sum	22.4k	23.4k	6.6k	0.960

Uave [V]	Iave [A]	Uunb [%]
374.6	36.0	0.3

**Gambar 6.1** Contoh Hasil Pengukuran besaran-besaran Listrik dengan menggunakan Power Analyzer

## 6.2. PENILAIAN KINERJA ELEKTROMOTOR

Kinerja Elektromotor adalah kemampuan elektromotor dalam menghasilkan kecepatan putaran, kekuatan (momen putar), kehalusan (*smoothness*) dan keajegan putaran (kontinuitas).

Nilai *Unbalance* yang melebihi parameter, mengindikasikan bahwa kinerja motor tidak baik (labil), sehingga akan berisiko pada naiknya suhu elektromotor, mengurangnya daya putar dan terbakarnya insulasi belitan motor tersebut.

### Unbalance Voltage dan Unbalance Current

1. Unbalance Voltage adalah perbedaan nilai tegangan antar fase dari sumber listrik 3 fase (Power Supply), sebagai akibat dari penurunan kinerja motor yang tidak sama (tidak

serentak). Sebagian besar disebabkan oleh distribusi beban antar fase yang tidak sama satu dengan lainnya.

2. Cara memperbaiki Unbalance Voltage adalah menambah yang kurang dan mengurangi yang berlebihan beban fase agar memperoleh beban yang seimbang.
3. Cara lain dalam perbaikan Unbalance Voltage dengan memasang Automatic Voltage Regulator (AVR) untuk memperbaiki kelebihan/ kekurangan voltage tiap fase (mengatasi fluktuasi tegangan).
4. Unbalance Voltage selalu berkaitan dengan Unbalance Current. Nilai Unbalance Current berkisar 6 sampai dengan 10 kali dari nilai Unbalance Voltage.
5. Sebab lain terjadinya Unbalance Voltage pada umumnya disebabkan oleh:
  - 5a. Unbalance mulai dari Power Supply (catu daya).
  - 5b. Tapping (pada Travo) yang tidak sama (tidak seimbang).
  - 5c. Salah satu fase sebagai distribusi single phase yang berkapasitas besar.
  - 5d. Terjadi kesalahan atau grounding pada travo power.
  - 5e. Terjadi pembukaan pada sambungan Delta travo.
  - 5f. Terjadi blown fuse (hantaman) pada kapasitor bank 3 fase.
  - 5g. Terjadi Impedansi pada kabel konduktor power supply yang tidak sama.
  - 5h. Ketidakseimbangan distribusi beban single fase, seperti untuk kebutuhan penerangan.
  - 5i. Beban (reaktif) tinggi pada single fase, seperti untuk keperluan mesin las.

### Cara Perhitungan Unbalance Voltage

Berdasarkan The National Electrical Manufacturers Association (NEMA) dalam Motor and Generator Standards (MG1) perhitungan Unbalance Voltage dilakukan sebagai berikut:

#### Percentage Voltage Unbalance

$$= 100\% \times \frac{\text{Maksimum Voltage Deviasion from Average Voltage}}{\text{Average Voltage}}$$

Tabel 6.1 Contoh Perhitungan Unbalance Tegangan

Tegangan	(Volt)	Rata rata	Selisih	Selisih Besar
Ch-1	460	459	1	9
Ch-2	467		8	
Ch-3	450		-9	
Jumlah :	1.377	LOKASI :	CEMPLANG	
U Unbalc =	1,96	%	Rekomendasi :	
Nilai Batas	1,00	%	Motor tidak aman	

Parameter: Tegangan Unbalance > 1%, perlu pembenahan motor

**Parameter :**

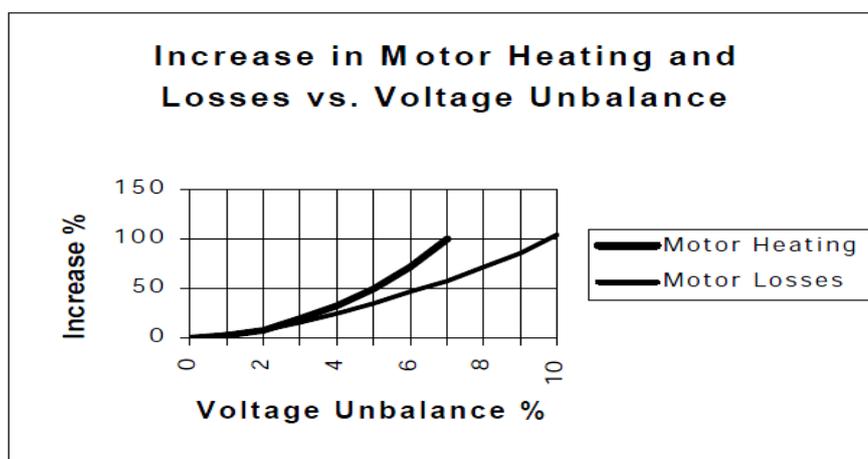
- a. Tegangan *Unbalance* > 1 %, perlu pembenahan motor
- b. Kuat Arus *Unbalance* > 10 %, perlu pembenahan motor

**Tabel 6.2 Ilustrasi Efek Unbalance Voltage pada Motor Listrik yang mempunyai Name Plate**

P = 5 HP	U = 230 V	n = 1.725 rpm	SF = 1,15
Fase : 3	f = 50 Hz		

KARAKTERISTIK	PERFORMANCE			
	1	2	3	4
Tegangan Rata rata (Volt)	230	230	230	230
Prosentase Unbalance Voltage (%)	0,3	2,3	4,5	4,5
Prosentase Unbalance Current (%)	0,4	17,7	40	40
Kenaikan Suhu (° C)	0	30	40	40

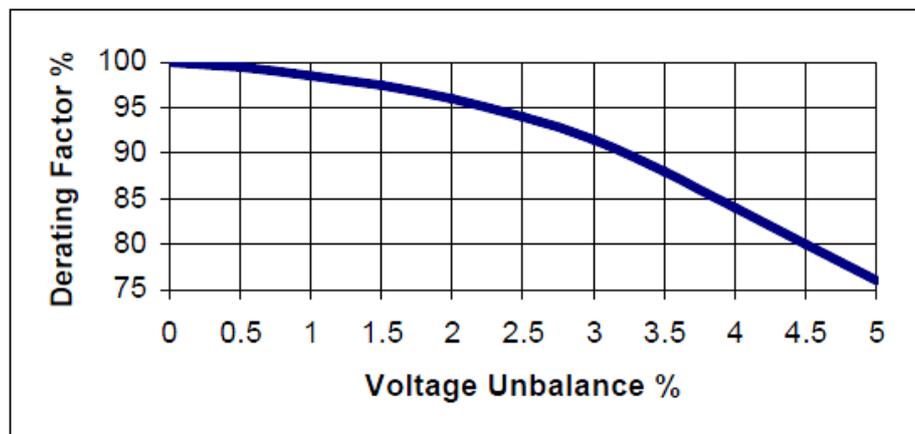
1. Usia Motor berkurang 50 % setiap kenaikan suhu 10°C.
2. Pada kolom 4 menunjukkan bahwa akibat dari perubahan nilai Unbalance dari 0,3 ke 5,4 , mengakibatkan perubahan Unbalance Current 0,4 ke 40 (meningkat sepuluh kalinya) dan kenaikan suhu dari 0°C ke 40°C dengan tingkat harapan hidup  $\frac{1}{16}$  dari keadaan normal.
3. Meskipun Motor Listrik yang mempunyai SF = 1,15, dengan Ubl Volt 4,5 saja sangat berisiko apabila dibebani dengan daya sesuai Name Plate .
4. Frekuensi On-Off motor listrik yang pendek (sering) juga dapat mengakibatkan over heating, sebagai akibat dari tingginya nilai kuat arus listrik saat proses start.



**Gambar 6.2 Ilustrasi Kenaikan Suhu dan Kerugian (losses) Motor Listrik karena Pengaruh Besarnya Nilai Unbalance Voltage**

5. Pada nilai Unbl Volt 4,5 %, kenaikan suhu mendekati nilai 50 %, sedangkan nilai Losses mencapai 37 %, artinya nilai efisiensi motor ( $=\eta_m$ ) hanya 63 %.
6. Pengurangan efisiensi tersebut disebabkan oleh perubahan nilai Kuat Arus (I) dan Tahanan (R) sehingga sebagian energi berubah untuk kenaikan suhu yang menyebabkan peristiwa over heating. Akibat yang lebih parah, insulasi rusak dan terbakarlah Motor Listrik tersebut.

**Derating:** upaya membebaskan Motor Listrik dari kerusakan fatal, dengan mengurangi beban kerja motor sebagaimana yang tertera pada Name Plate, apabila nilai Unbalance Voltage-nya melebihi nilai 1%.



**Gambar 6.3 Ilustrasi Pembatasan Beban Motor Listrik yang mempunyai Unbalance Voltage Lebih dari 1 %**

7. Motor yang mempunyai nilai Unbalance Voltage 4,5%, sebaiknya hanya dioperasikan pada beban 80%.
8. Nema memberikan ilustrasi: Apabila suatu motor listrik mempunyai Unbalance Voltage 5%, maka beban harus diturunkan ke nilai 75% dari beban yang tercantum pada Name Plate.
9. Gejala semacam ini sering terjadi pada sistem pompa yang jika Katup Utama (Gate Valve) dibuka melebihi ukuran (belum terbuka penuh), akan terjadi "Tripping". Apabila terdapat gejala semacam ini, agar segera diukur nilai Unbalance Voltage-nya.

### 6.3. PENILAIAN KINERJA SISTEM

Kinerja sistem merupakan perbandingan antara besaran energi yang dipakai dengan produk yang mampu dihasilkan peralatan/ mesin yang bersangkutan.

Nilai kinerja dapat diukur dari perbandingan antara kapasitas energi (yang dipakai) dengan kapasitas produk (yang dihasilkan) pada kurun waktu yang sama, atau perbandingan antara

Nilai Daya Input (Listrik) dengan Nilai Produk Peralatan/ Mesin (untuk PDAM adalah air yang diproduksi).

Kinerja Sistem dapat diungkapkan dengan Nilai:

1. SEC (*Specific Energy Consumption*)
2. IKE (Intensitas Kebutuhan Energi)
3. KES (Konsumsi Energi Spesifik)

Perhitungan nilai SEC dapat diperoleh dengan cara:

1. Membandingkan antara Jumlah Energi yang dipakai dalam kurun waktu tertentu dengan Volume Produk (Air) yang dihasilkan.
  - 1a. Jumlah energi dihitung berdasarkan selisih antara penunjukkan angka "kWh-meter" akhir dengan awal pengamatan (dalam satuan kWh).
  - 1b. Jumlah volume air yang diproduksi dihitung berdasarkan selisih antara penunjukkan angka "Water Meter" akhir dengan awal pengamatan (dalam satuan meter kubik).
2. Membandingkan antara Nilai Daya Listrik yang Dipakai dengan Nilai Debit Aliran Air yang Dihasilkan.
  - 2a. Nilai Daya Listrik yang dipakai dihitung berdasarkan nilai Tegangan, Kuat Arus, dan Faktor Daya listrik yang masuk ke dalam sistem (dalam satuan watt).
  - 2b. Nilai Debit Air dihitung berdasarkan volume air yang dihasilkan sistem (pompa) dalam kurun waktu pengamatan (dalam satuan meter kubik/ jam).

#### **Parameter :**

Pada umumnya Pompa kering yang mempunyai nilai SEC  $> 400 \text{ w/m}^3$  (atau  $0,4 \text{ kW/m}^3$ ) dinyatakan "unefisien". Apabila SEC  $< 400 \text{ w/m}^3$  (atau  $0,4 \text{ kW/m}^3$ ) dinyatakan "efisien". Pengecualian untuk SEC Pompa *Submersible* Sumur Dalam yang nilai headnya memang dituntut harus besar.

#### **6.4. PENILAIAN EFISIENSI SISTEM**

Efisiensi sistem adalah perbandingan antara output daya peralatan/ mesin (untuk PDAM adalah Daya Air yang diproduksi Pompa) terhadap daya input Listrik pada peralatan/ mesin tersebut (yang masuk pada elektromotor).

Nilai Efisiensi dapat dipergunakan sebagai acuan pengukuran seberapa besar tingkat efektivitas penggunaan energi, atau seberapa besar tingkat kehilangan daya atau energi pada sistem yang diamati.

Pada siklus energi atau daya listrik menjadi energi atau daya air, terdapat beberapa titik yang berpeluang menghilangkan sejumlah energi/ daya, antara lain:

1. Dari Listrik ke elektromotor, terdapat kehilangan energi karena perubahan dari energi listrik menjadi energi panas, getaran dan magnet. Nilai Efisiensi yang diperhitungkan adalah Efisiensi Motor ( $=\eta_m$ ).

$$\eta_m = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

$\eta_m$  = Efisiensi Elektromotor (%)

$P_1$  = Daya atau Energi Input Listrik dari Catu Daya ke Motor Listrik (watt)

$P_2$  = Daya atau Energi Output mekanis dari motor ke poros yang diputar (watt)

2. Dari elektromotor ke poros pompa, terdapat kehilangan energi karena perubahan dari energi mekanik putaran ke energi mekanik putaran lainnya lewat sistem transmisi (kopling/ gear/ belt/ chain) yang hilang menjadi bentuk panas, getaran dan bunyi. Nilai Efisiensi yang diperhitungkan adalah Efisiensi Transmisi ( $=\eta_{tr}$ ).

$$\eta_{tr} = \frac{P}{P_2} \times 100\%$$

$\eta_{tr}$  = Efisiensi Transmisi (%)

$P_2$  = Daya atau energi Input mekanis dari poros motor ke sistem transmisi (watt)

$P$  = Daya atau energi Output mekanis dari sistem transmisi ke poros pompa atau lazim disebut sebagai Daya atau Energi Poros (watt)

3. Dari Poros Pompa ke pancaran air yang dihasilkan pompa, terdapat kehilangan energi karena perubahan dari energi mekanik putar ke energi mekanik air (potensial, kinetik dan tekanan) karena sebagian hilang menjadi bentuk energi suara, panas dan getaran. Nilai efisiensi yang diperhitungkan disebut sebagai Efisiensi Pompa ( $=\eta$ ).

$$\eta = \frac{P_w}{P} \times 100\%$$

$\eta$  = Efisiensi Pompa (%)

$P$  = Daya atau energi input mekanis dari sistem transmisi ke poros pompa (watt)

$P_w$  = Daya atau energi air yaitu daya atau energi Output mekanis dari poros pompa ke pancaran air (watt)

4. Nilai efisiensi total merupakan perkalian antara ketiga nilai efisiensi tersebut di atas.

$$\text{Efisiensi Total} = \eta_t = \eta_m \times \eta_{tr} \times \eta$$

5. Dalam praktik, untuk mengetahui nilai masing-masing efisiensi akan mengalami kesulitan karena diperlukan peralatan serta analisis yang lebih teliti, sehingga dalam bahasan ini perhitungan hanya sampai menghasilkan nilai Efisiensi Total, yang merupakan perbandingan antara Daya Air hasil Pompa ( $P_w = \rho \times g \times H \times Q$ ) dengan Daya Listrik yang masuk ( $P = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos\phi$ ).

$$\eta_t = \frac{\rho g H Q}{U I \sqrt{3} \cos\phi} \times 100\%$$

$\eta_t$	= Efisiensi Total (%)
$\rho$	= Massa Jenis ( $N/m^3$ )
H	= Head Pompa (m)
Q	= Kapasitas Pompa ( $m^3/detik$ )
U	= Tegangan Listrik (Volt)
I	= Kuat Arus Listrik (Ampere)
$\cos\phi$	= Faktor Daya Listrik

#### Parameter :

- a.  $\eta_t > 60\%$  : Pompa masih layak dipergunakan
  - b.  $\eta_t < 50\%$  : Pompa perlu perbaikan total
  - c.  $50 < \eta_t < 60\%$  : Pompa perlu revitalisasi
6. Untuk memperoleh nilai besaran-besaran tersebut di atas, tidak harus dipergunakan peralatan yang canggih. Dengan mempergunakan peralatan yang sederhana pun kita dapat melakukan pengukuran tersebut.
- 6.a. Pengukuran nilai Head Pompa: Dipergunakan Manometer dan Mistar.
  - 6.b. Pengukuran Kapasitas Pompa: Dipergunakan Meter Air atau Ultrasonic Flow Meter (stable atau portable).
  - 6.c. Pengukuran Tegangan Listrik: Dipergunakan Multy Tester (AVO Meter), Tang Ampere atau Power Analyzer.
  - 6.d. Pengukuran Kuat Arus Listrik: Dipergunakan Multy Tester (AVO Meter), Tang Ampere atau Power Analyzer.
  - 6.e. Pengukuran Faktor Daya: Dipergunakan Meter Listrik atau Rekening Listrik PLN, Tang Ampere – AVO Meter atau Power Analyzer.

#### Kriteria Teknik

Parameter dan kriteria batas nilai pada audit efisiensi energi yang dianjurkan, antara lain :

7. Penilaian Penggunaan Energi (pengelolaan penggunaan energi)
  - 10a. Specific Energy Consumption (SEC) :  $SEC < 0,4 \text{ kWh/m}^3$   
atau  
 $SEC < 400 \text{ Wh/m}^3$
  - 10b. Penilaian Efektivitas Penggunaan Energi (elektrik)
  - 10c. Faktor Daya Total :  $\text{Cos } \emptyset > 0,85$
  - 10d. Harmonic Distorsion :  $\text{THD} < 5 \%$
8. Penilaian Kinerja Motor Listrik (elektrik)
  - 8a. Unbalanced Tegangan :  $U_{\text{unbl}} < 1 \%$
  - 8b. Unbalanced Kuat Arus :  $I_{\text{unbl}} < 10 \%$
9. Penilaian Kualitas Catu Daya Listrik (elektrik)
  - 9a. Deviasi Tegangan :  $D_u < 10 \%$
  - 9b. Deviasi Frekuensi :  $D_f < 5 \%$
10. Penilaian Efisiensi Sistem (hidrolik, mekanik & elektrik)  
Efisiensi Total Sistem Pompa:  $\eta_t > 60 \%$
11. Penilaian Efisiensi Penjualan Air (pengelolaan hasil produk)  
Kehilangan Air :  $H < 20 \%$
12. Penilaian Efektivitas Pengaliran Air (hidrolika)
  - 12a. Sisa Tekanan Air pada Jaringan Distribusi :  $Sh > 10 \text{ mka}$
  - 12b. Kecepatan aliran pada jaringan Distribusi :  $0,3 < v < 3 \text{ m/dt}$
  - 12c. Kecepatan aliran pada jaringan Pompa :  $1 < v < 6 \text{ m/dt}$

## **BAB VII MEMILIH POMPA**

## BAB 7 MEMILIH POMPA

### 7.1. PENGANTAR PEMILIHAN POMPA

Dalam pembahasan Efisiensi Energi, pemilihan pompa dimaksudkan untuk memperoleh pompa yang sesuai dengan tugas dan fungsinya, dalam arti bahwa pompa dapat bekerja secara efektif namun juga efisien.

Untuk memperoleh kondisi pompa yang tepat diperlukan perhitungan kebutuhan aliran air (debit) dan tekanan (head) pompa yang masih mampu mengimbangi kebutuhan pelayanan sampai waktu tertentu (tidak hanya saat pembangunannya saja).

Selain Pompa utama yang kapasitasnya diperhitungkan sampai batas waktu tertentu, seyogyanya pompa utama 'ditemani' oleh pompa lain yang jumlah, kapasitas dan fungsinya disesuaikan dengan kondisi dan situasi, dengan perhitungan perencanaan (kajian) hidrolika, mekanika dan elektrik.

#### 7.1.1. Tujuan penggunaan pompa

1. Menggerakkan zat cair (menghasilkan kecepatan =  $v$ )
2. Menghasilkan atau menambah Tekanan ( $=H$ )
3. Menghasilkan atau menambah Debit ( $=Q$ )

#### 7.1.2. Pertimbangan dalam memilih pompa

1. Untuk tugas apa pompa akan digunakan (kesesuaian jenis/ tipenya)
2. Memilih berapa Tekanan/ Head yang akan dibutuhkan (meter)
3. Memilih berapa Debit yang dibutuhkan ( $m^3/detik$ )
4. Memilih berapa Daya listrik yang diperlukan (watt)

#### 7.1.3. Menentukan debit pompa

1. Pertama kita memilih pompa, untuk tujuan pengaliran zat cair
2. Pengaliran zat cair mempunyai dimensi: debit, kecepatan dan tekanan
3. Nilai debit menentukan besar/ kecilnya kecepatan maupun tekanan

#### 7.1.4. Merencanakan head pompa

1. Dari ketinggian berapa zat cair diperoleh?
2. Berapa (titik) ketinggian yang ditargetkan (sasaran)?

3. Berapa Sisa Tekan yang dipersyaratkan pada Titik Target?
4. Berapa Nilai Kehilangan Tekanan (Head Loss) yang dihasilkan sistem?

#### **7.1.5. Memahami Karakter Pompa untuk memilih Diameter Impeler dan Titik Kerja Pompa**

1. Bagaimana bentuk Kurva H-Q nya?
2. Bagaimana bentuk Kurva Efisiensinya?
3. Bagaimana bentuk Kurva *Nett Positive Suction Head Requirement*?
4. Bagaimana bentuk Kurva Daya Poros Pompa?

#### **7.1.6. Menghitung Daya**

1. Menghitung Daya Air (produk yang dihasilkan pompa)
2. Menghitung Daya Poros Pompa
3. Menghitung Kebutuhan Daya Listrik sebagai Penggerak Mula Sistem Pompa

#### **7.1.7. Landasan Teori**

Rumus dan dasar perhitungan yang biasa dipergunakan dalam Perhitungan Pompa, antara lain:

##### **1. Tekanan (Sisa Head)**

*Pressure* atau Sisa Head adalah besaran tekanan zat cair pada suatu titik dalam jaringan pipa. (*Rumus diambilkan dari Materi Hidrolika*)

##### **2. Kecepatan**

*Velocity* atau kecepatan aliran adalah jarak yang ditempuh partikel zat cair tiap satuan waktu. (*Rumus diambilkan dari Materi Hidrolika*)

##### **3. Debit**

*Flow* atau Debit adalah volume zat cair yang melalui suatu titik dalam jaringan pipa dalam satuan waktu. (*Rumus diambilkan dari Materi Hidrolika*)

##### **4. Head**

Head (*Tota*) adalah besaran yang menyatakan total ketinggian energi zat cair pada suatu titik dalam jaringan pipa. Merupakan penjumlahan antara besaran Elevasi Titik yang ditinjau dengan besaran Tekanan (Sisa Tekan) pada titik tersebut. (*Rumus diambilkan dari Materi Hidrolika*)

##### **5. Head Total Pompa**

Head (Total) Pompa adalah besaran atau kemampuan pompa menghasilkan tekanan pada awal titik operasinya.

#### 6. Head Loss Major (Friksi)

Head Loss Friksi adalah nilai kehilangan tekanan (head) pada jaringan pipa.

*(Rumus diambilkan dari Materi Hidrolika)*

#### 7. Head Loss Minor (Accessories)

Head Loss Minor adalah nilai kehilangan tekanan (head) pada Accessories.

*(Rumus diambilkan dari Materi Hidrolika)*

#### 8. *Nett Positive Suction Head (NPSH)*

NPSH adalah Total besaran tekanan (head) pada jaringan Isap yang mencerminkan nilai kemampuan zat cair masuk ke pompa.

Terdapat 2 (dua) jenis NPSH :

8a. NPSH Available adalah NPSH yang nilainya diperhitungkan dari besaran Tekanan atau Head yang bekerja pada sistem Isap Pompa.

$$NPSH = \left( \frac{P_a - P_v}{\gamma} \right) \pm h_s - h_{ls}$$

**NPSH** = *Nett Positive Suction Head Available (meter)*

**$P_a$**  = *Tekanan Atmosfir (Newton/meter<sup>2</sup>)*

**$P_v$**  = *Tekanan Uap Jenuh (Newton/meter<sup>2</sup>)*

**$\gamma$**  = *Berat Jenis (Newton/meter<sup>3</sup>)*

**$h_s$**  = *Head Isap (meter)*

**$h_{ls}$**  = *Head Loss Suction (meter)*

8b. NPSH Requirement adalah NPSH yang nilainya diperhitungkan oleh kondisi (sifat) yang dimiliki Pompa. Nilainya dibaca pada Karakteristik Pompa.

#### 9. Energi

Energi adalah besaran yang diperhitungkan berdasarkan perkalian antara Gaya dengan jarak atau kemampuan menggerakkan materi sepanjang lintasan.

$$E = F \times X$$

**$E$**  = *Energi (Joule)*

**$F$**  = *Gaya (Newton)*

**$x$**  = *Jarak (meter)*

**10. Daya**

Daya adalah besaran yang diperhitungkan berdasarkan perbandingan antara Energi terhadap waktu.

$$P = \frac{E}{t}$$

$P$  = Daya (Watt)  
 $E$  = Energi (Joule)  
 $t$  = Waktu (Detik)

Energi dapat diartikan juga sebagai perkalian antara besaran daya dengan waktu.

**11. Daya Air**

Daya Air adalah nilai daya (teoritis) yang diperlukan untuk menggerakkan air

$$P_w = H \times Q \times \rho \times g$$

$P_w$  = Daya Air (Watt)  
 $H$  = Head Pompa (meter)  
 $Q$  = Kapasitas (debit) pompa ( $m^3/detik$ )  
 $\rho$  = Massa Jenis Zat Cair ( $kg/m^3$ )  
 $g$  = Percepatan gravitasi bumi ( $m/detik^2$ )

**12. Daya Penggerak Mula Pompa**

Daya Penggerak Mula Pompa (*Prime Mover*) adalah daya yang diperlukan mesin penggerak pompa.

$$P_m = \frac{H \times Q \times \rho \times g}{\eta_p \times \eta_{tr} \times \eta_{em}}$$

$P_m$  = Daya Penggerak Mula (watt)  
 $H$  = Head Pompa (meter)  
 $Q$  = Kapasitas (debit) pompa ( $m^3/detik$ )  
 $\rho$  = Massa Jenis Zat Cair ( $kg/m^3$ )  
 $g$  = Percepatan gravitasi bumi ( $m/detik^2$ )  
 $\eta_p$  = Efisiensi Pompa (%)  
 $\eta_{tr}$  = Efisiensi Transmisi (%)  
 $\eta_{em}$  = Efisiensi Elektromotor (%)

### 13. Efisiensi

Efisiensi adalah besaran yang menunjukkan perbandingan antara Nilai daya yang diperlukan (masuk) dengan nilai daya yang dipergunakan (keluar).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{out}$  = Daya Berguna (Watt)

$P_{in}$  = Daya yang dibutuhkan (Watt)

#### 7.1.8. Konsep Penggantian, Penambahan dan Modifikasi Pompa

##### 1. Menyesuaikan kinerja pompa terhadap kebutuhan

- 1a. Penghematan penggunaan energi
- 1b. Peningkatan kemampuan (temporer/ permanen)
- 1c. Perubahan susunan (kontruksi) pompa pompa

##### 2. Pelaksanaan:

- 2a. Menambah accessories
- 2b. Merubah accessories
- 2c. Merubah ukuran komponen
- 2d. Melengkapi sistem dengan alat ukur
- 2e. Melengkapi sistem dengan alat pelindung bahaya (proteksi)
- 2f. Mematuhi Prosedur Operasi Standar (SOP)

Penggolongan Pompa yang perlu disediakan dalam sistem pengaliran air bersih, dijelaskan lebih lanjut dalam subbab berikut.

#### 7.2. POMPA PENDAMPING

Pompa Pendamping adalah pompa yang berkapasitas lebih kecil atau lebih besar dari pompa eksisting yang disediakan sebagai pengganti dalam operasi saat diperlukan kapasitas lebih besar atau kecil dari kapasitas pompa eksisting, dengan maksud untuk:

- a. Menggantikan pompa eksisting yang terlalu besar kapasitasnya saat jam kebutuhan ringan, atau
- b. Menggantikan pompa eksisting saat dibutuhkan kapasitas besar pada saat kebutuhan jam puncak.

Kapasitas pompa pendamping akan lebih efektif apabila dipilih dari nilai selisih kurang/lebih terhadap kapasitas (beban) rata-rata. Tujuan penyediaan pompa jenis ini adalah:

1. Menggantikan operasi pompa eksisting pada saat kebutuhan kapasitas lebih besar dan diistirahatkan pada saat kebutuhan air di jaringan relatif kecil.
2. Menggantikan operasi pompa eksisting pada saat dibutuhkan kapasitas lebih kecil dan diistirahatkan pada saat kebutuhan besar, utamanya saat jam puncak.

Alasan/ Pertimbangan dalam penyediaan Pompa Pendamping, antara lain:

1. Pompa eksisting berkapasitas (H & Q) tinggi dan masih mampu mengatasi kebutuhan air saat Jam Puncak, namun terlalu besar untuk pelayanan pada jam kebutuhan ringan.
2. Pompa eksisting berkapasitas (H & Q) kurang dan tidak mampu mengatasi kebutuhan air saat Jam Puncak, namun masih mampu untuk pelayanan pada jam kebutuhan rata rata dan ringan.
3. Debit (Q) Pompa eksisting tidak dapat memenuhi kebutuhan pada Jam Puncak, sehingga diperlukan pompa pembantu.

Agar dalam memilih pompa pendamping dapat sesuai dan dapat digunakan dalam kurun waktu panjang (long life), maka perlu didahului dengan kajian fluktuasi kebutuhan air saat ini (minimal pengamatan 24 jam) dan proyeksi kebutuhan pada tahun sasaran. Data yang diperoleh dipergunakan untuk melakukan Perencanaan Sistem Pompa.

### 7.2.1. Pompa Cadangan

Pompa Cadangan termasuk pompa pendamping yang disediakan manakala Pompa Eksisting hanya tersedia 1 Unit, sehingga manakala terjadi gangguan pada pompa dikhawatirkan akan terjadi putus aliran/ pelayanan. Kapasitas pompa cadangan pada umumnya sama dengan pompa eksisting.

Periode penggunaan dan jumlah pompa (termasuk pompa cadangan) biasanya 3 (tiga) Unit, yang pengoperasiannya secara bergantian.

**Tabel 7 1 Contoh Periode Penggunaan Pompa Pendamping**

	Shift I	Shift II	Shift III
Pompa 1	Operasi Jangka Pendek Utama	Operasi Jangka Pendek Cadangan	Istirahat
Pompa 2	Operasi Jangka Pendek Cadangan	Istirahat	Operasi Jangka Pendek Utama
Pompa 3	Istirahat	Operasi Jangka Pendek Utama	Operasi Jangka Pendek Cadangan

### 7.3. POMPA PENGGANTI

Pompa Pengganti adalah pompa yang disediakan sebagai pengganti operasi pompa eksisting. Kapasitas pompa pengganti akan lebih efektif apabila dipilih dari nilai yang lebih dari kapasitas eksisting, namun disesuaikan dengan kebutuhan saat ini atau kebutuhan tahun proyeksi.

Tujuan penyediaan pompa jenis ini adalah menggantikan kemampuan pompa eksisting yang saat ini sudah mulai tidak memenuhi kebutuhan (kewalahan).

Untuk memperoleh pompa pengganti yang memenuhi harapan, perlu dilakukan perencanaan sistem pompa. Alasan/ pertimbangan dalam perencanaan Pompa Pengganti, antara lain:

1. Pompa eksisting dinyatakan unefisien baik dari nilai efisiensinya maupun Specific Energy Consumption (SEC).
2. Pompa Eksisting berkapasitas (H maupun Q) terlalu besar sehingga terjadi pemborosan energi sehingga perlu dilakukan relokasi.
3. Pompa eksisting dalam kondisi rusak total.
4. Pompa eksisting dalam kondisi rusak sebagian (motornya atau pompanya saja).

Sebagaimana merencana pompa Pendamping, agar dapat ditentukan Kapasitas (H & Q) sesuai kebutuhan, maka diperlukan Evaluasi atau Kajian Sistem Eksisting, yang dilanjutkan dengan Perencanaan Sistem Pompa yang Baru, sesuai dengan kebutuhan pada tahun rencana (proyeksi).

### 7.4. MODIFIKASI POMPA

Modifikasi Pompa adalah upaya menyasati sistem operasi atau penyempurnaan konstruksi sistem agar sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Yang dimaksud sebagai kondisi yang diharapkan adalah memenuhi aspek efektif (kena sasaran) dan efisien (hemat) dalam penggunaan energi.

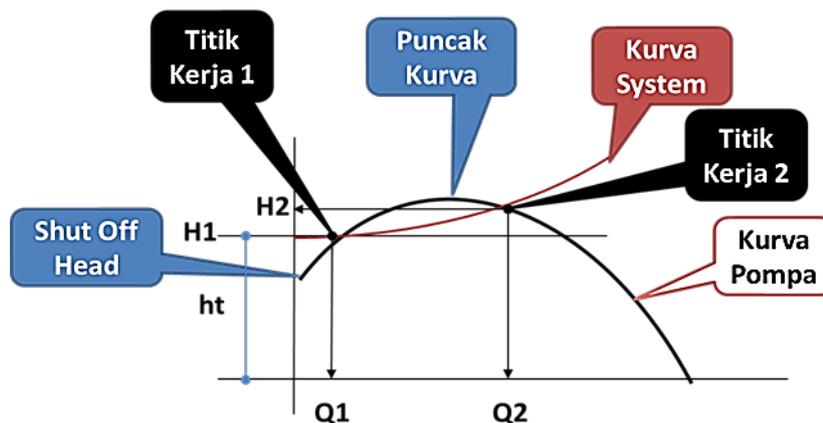
Dalam melakukan modifikasi perlu dipertimbangkan aspek hidrolika, elektrik dan mekanika. Alasan/ pertimbangan dalam modifikasi Pompa dan peralatannya, antara lain:

1. Pompa eksisting sering terjadi gangguan (kavitasi, surging, sumbatan udara atau water hammer).
2. Pompa eksisting kelebihan kapasitas (H, Q atau P).
3. Energi penggerak yang dibutuhkan pompa yang tersusun paralel tinggi, namun mempunyai kinerja (H & Q) tidak memenuhi kebutuhan.
4. Dibutuhkan Kinerja Pompa yang mampu melayani kebutuhan yang fluktuatif (*anytime*).

5. Sistem pompa dan instalasinya dinyatakan tidak efisien dari segi hidrolik, elektrik maupun mekanik.
6. Kualitas Sistem elektrik Catu Daya rendah (Unbalance Voltage/ Current, line 3 fase berubah fase, bertegangan lebih rendah dari tegangan Rated, dll) .

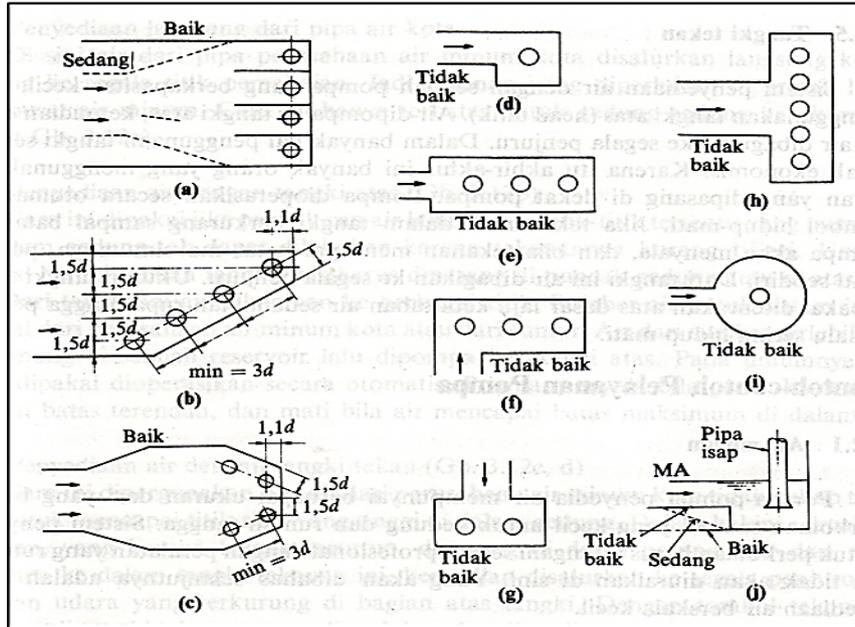
Berikut ini beberapa contoh langkah modifikasi sistem pompa dengan berbagai alasan penyebab dan pertimbangannya.

1. Mencegah Kavitasi
  - 1a. Jaga tinggi muka air tadah isap pada  $NPSH\ Available > NPSH\ Requirement$
  - 1b. Jangan menutup katup utama terlalu lama
  - 1c. Pompa jangan diberi beban melebihi kapasitasnya
2. Mencegah Surging
  - 2a. Pilih kurva pompa yang tidak memberi peluang terjadi Titik Kerja Pompa Ganda
  - 2b. Posisikan tinggi Head Total Statis lebih rendah dari Shut Off Head

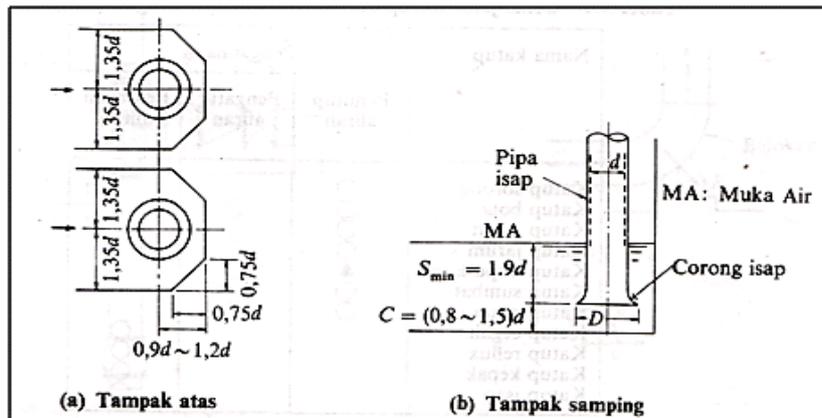


Gambar 7-1 Gangguan Surging

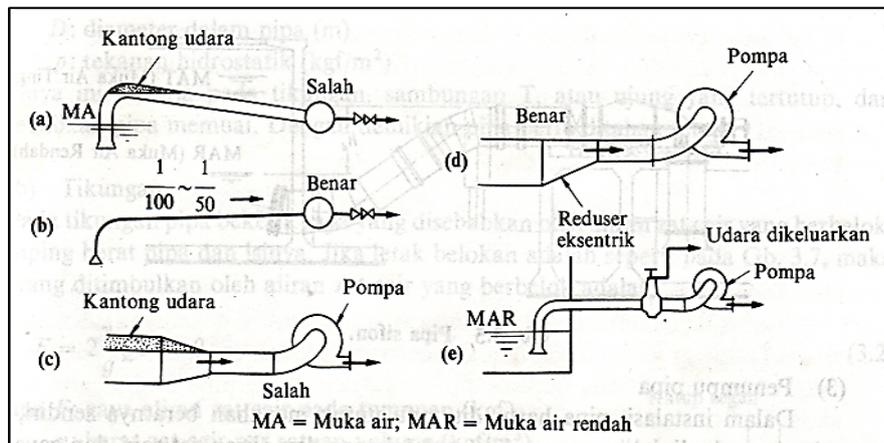
3. Mencegah Sumbatan Udara
  - 3a. Rubah dimensi intake yang memperkecil terjadinya arus turbulen
  - 3b. Hindari kebocoran pada sisi isap
  - 3c. Pakai Concentric Reducer antara Pipa Isap dengan Pompa
  - 3d. Posisikan kemiringan pipa Isap antara 1/50 sampai dengan 1/100
  - 3e. Aktifkan kerja Katup Kaki



Gambar 7-1 Dimensi dan Bentuk Intake Pompa



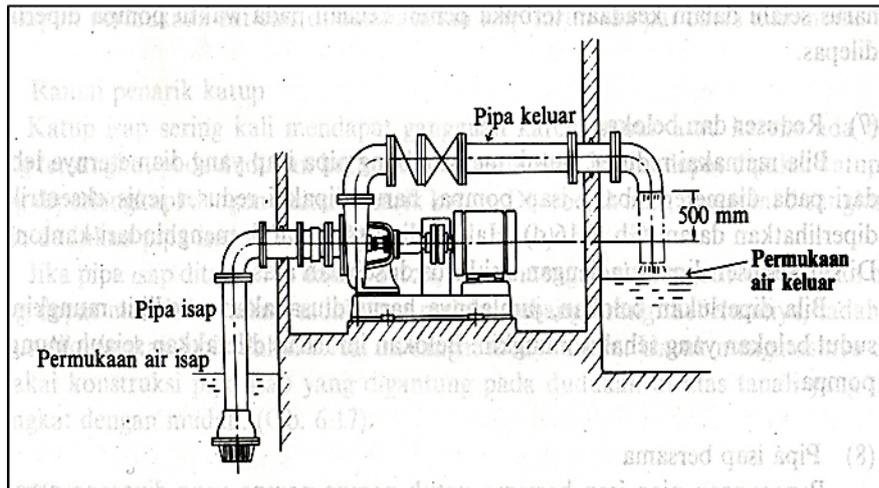
Gambar 7-2 Kriteria Jarak Pipa Isap Pompa



Sumber: Sularso

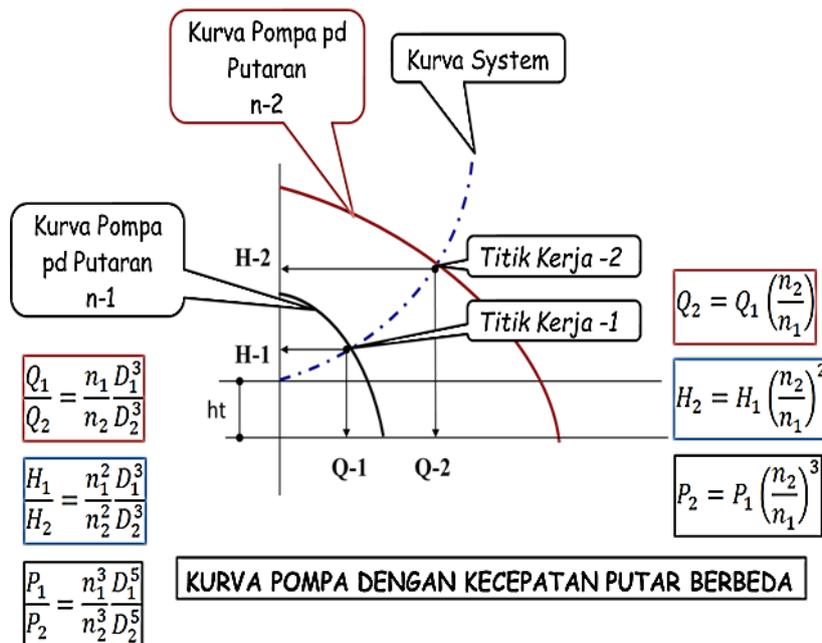
**Gambar 7-3 Konstruksi Pipa Masuk Pompa**

- 4. Mencegah Water Hammer
  - 4a. Lengkapi jaringan isap dengan Check Valve
  - 4b. Pasang Variable Speed Drive (Inverter) pada sistem pompa
  - 4c. Lengkapi jaringan isap dengan Tangki Tekan (hydrophore)



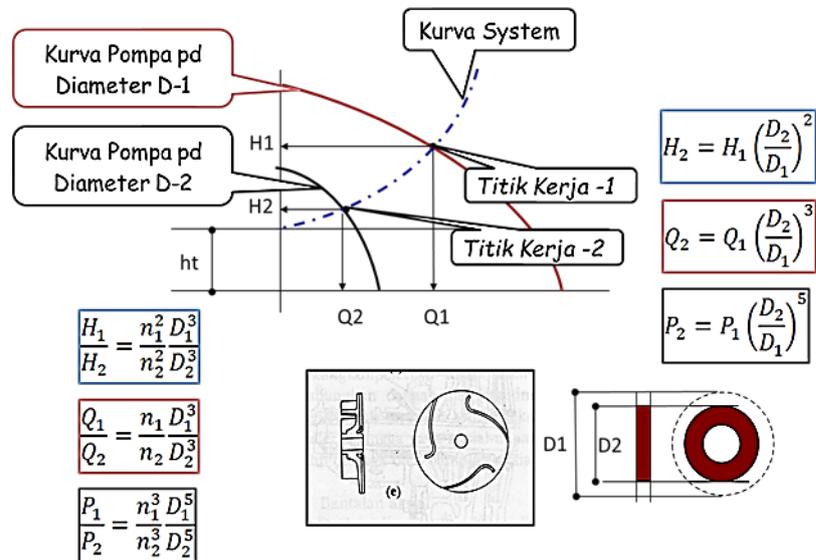
**Gambar 7-4 Instrumen pada Jaringan Pipa Isap dan Tekan Pompa**

- 5. Mengurangi Kapasitas Pompa
  - 5a. Menurunkan rotasi (kecepatan) putaran poros pompa



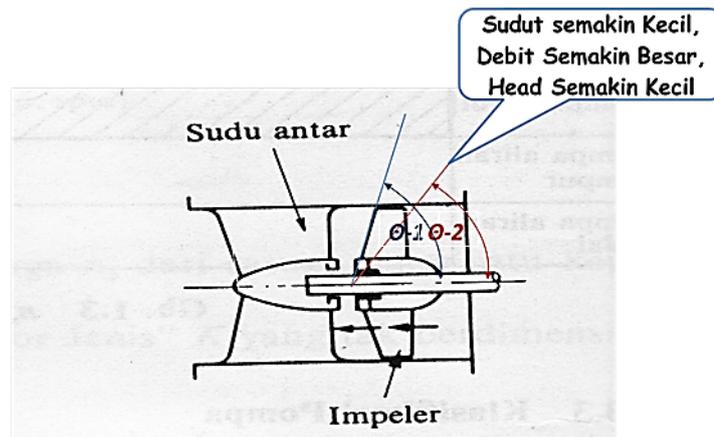
**Gambar 7-5 Kurva Pompa dengan Kecepatan Putar Berbeda**

5b. Mengurangi ukuran diameter impeller



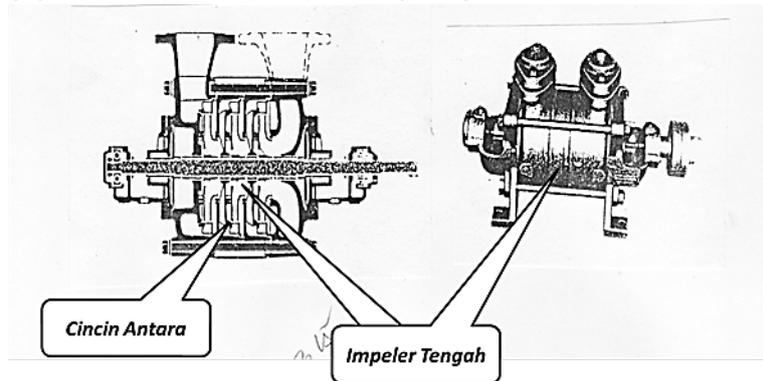
**Gambar 7-7 Kurva Pompa dengan Diameter Impeller Berbeda**

5c. Mengurangi sudut kemiringan sudu impeller (pompa axial)



**Gambar 7-8 Operasi Pompa dengan Perubahan Sudut Sudu Impeler**

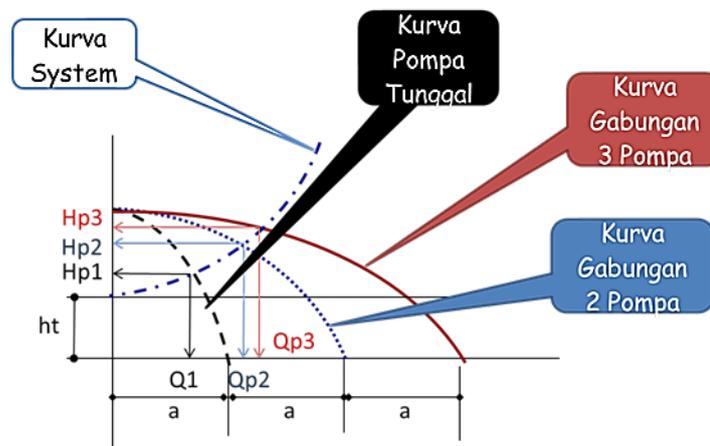
- 5d. Mengurangi jumlah impeller (pompa multy stages)



**Gambar 7-9 Operasi Pompa Multy Stages dengan Pengurangan Impeller**

6. Tindakan efisien pada pompa yang tersusun paralel

Mengganti salah satu (dua, tiga atau semua) pompa yang memenuhi kapasitas (Q dan H) sesuai kebutuhan saat ini

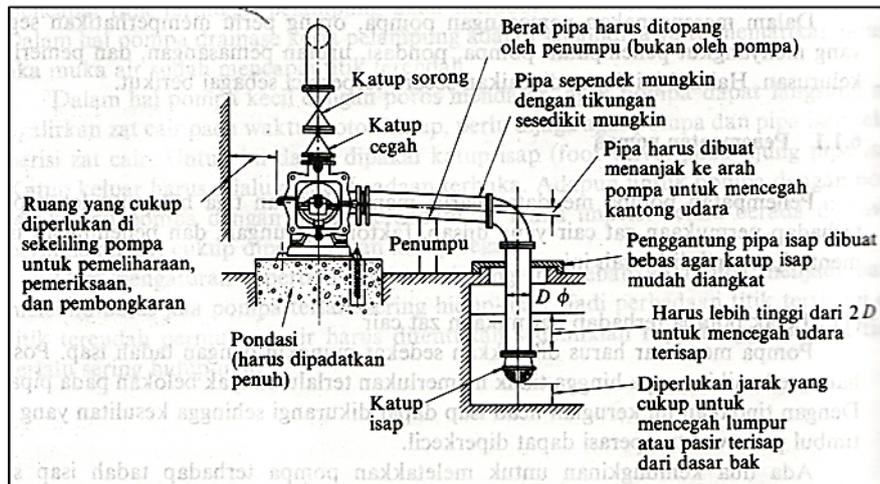


**Gambar 7-60 Kurva Susunan Gabungan Pompa dengan Karakter Sama secara Paralel**

7. Merubah sistem pompa yang mampu bekerja dengan beban fluktuasi
- 7a. Pasang Variable Speed Drive (Inverter) pada sistem pompa
- 7b. Pasang Automatic Pressure Switch atau Automatic Flow Switch pada jaringan tekan

## 8. Tindakan Efisiensi Hidrolik sistem pompa

Sambungkan jaringan outlet pompa ke Header dengan Tee lebih kecil dari  $90^\circ$  (Tee "Y"  $60^\circ$  atau  $45^\circ$ )



**Gambar 7-71 Konstruksi Instalasi Pompa**

## 9. Tindakan Efisiensi Mekanik sistem pompa

- 9a. Periksa dan yakinkan poros pompa dalam kondisi lurus (alignment)
- 9b. Kencangkan sambungan mekanis sehingga tidak terjadi kebocoran udara atau zat cair yang lewat celah packing

## 10. Tindakan Efisiensi Elektrik sistem pompa

- 10a. Pilih jenis Pengasutan yang tidak menimbulkan kenaikan arus tinggi (over current)
- 10b. Memasang Kapasitor (bank) untuk menghindari denda, serta upaya menaikkan efektivitas Daya Semu dan penurunan nilai Kuat Arus

## 11. Mengatasi Unbalance Voltage/ Current

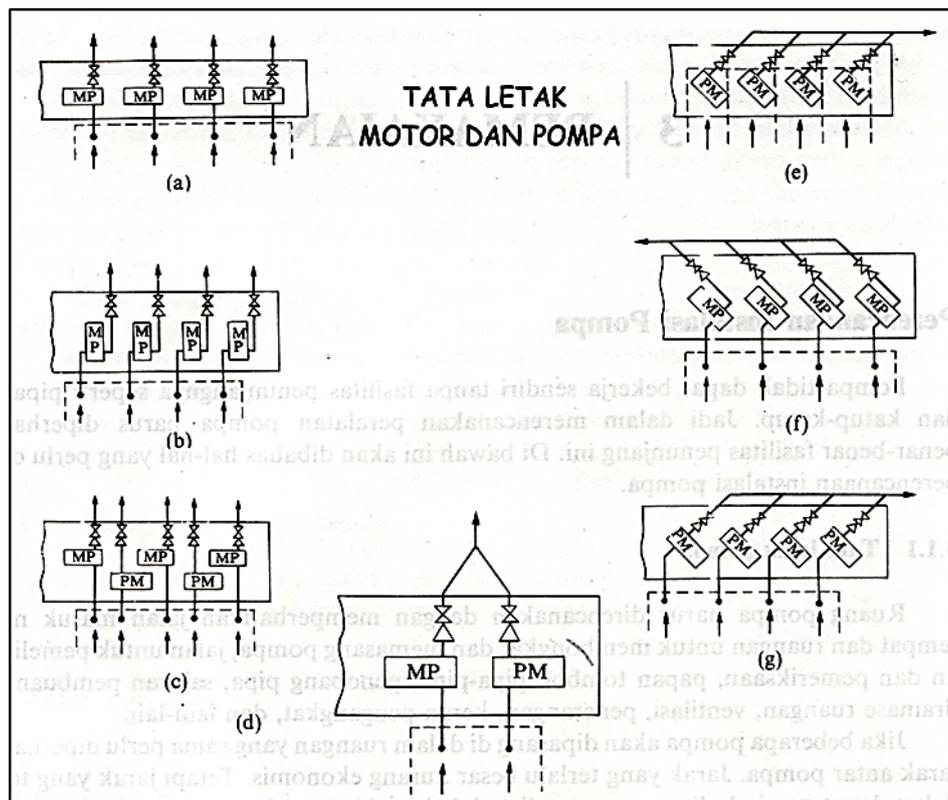
- 11a. Membatasi beban kerja sesuai dengan "Derating Factor" yang ditentukan NEMA
- 11b. Melakukan service (rewinding) atau penggantian motor listrik

## 12. Mengatasi perubahan fase pada kabel (line)

- 12a. Tukat dua terminal dari dua line (fase) yang berbeda
- 12b. Lakukan test putaran motor, apakah terjadi perubahan arah putar

## 13. Mengatasi Tripping akibat tegangan yang tersedia kurang dari tegangan rated

- 13a. Kurangi penggunaan daya motor, dengan mengurangi debit aliran zat cair
- 13b. Pasang Step Up Transformator untuk meningkatkan kualitas tegangan Catu Daya
- 13c. Menaikkan nilai Daya Terpasang catu daya (PLN)
14. Mengatasi over heat (over current) motor
- 14a. Kurangi periode On-Off Motor Listrik
- 14b. Lakukan audit terhadap motor listrik dan yakinkan tidak dalam kondisi unbalance voltage atau current
15. Memberi keamanan dan kenyamanan lingkungan kerja
- 15a. Susun konstruksi Pompa berikut motor listrik dalam posisi yang ideal, sehingga operator atau perbaikan sistem pompa tidak terganggu dan aman terhadap bahaya kecelakaan
- 15b. Pergunakan APD (Alat Pelindung Diri) meskipun tanpa pengawasan
- 15c. Amati dengan seksama penunjukkan nilai pada alat ukur, setting akurasi alat ukur dan pahami gejala dan kemungkinan efek yang ditimbulkan



**Gambar 7-82 Tata Letak Motor dan Pompa**

## **BAB VIII**

# **PELUANG UNTUK EFISIENSI ENERGI**

## BAB 8 PELUANG UNTUK EFISIENSI ENERGI

### 8.1. BAGAIMANA KITA DAPAT MEMULAI PENINGKATAN EFISIENSI ENERGI

#### 8.1.1. Menilai Sendiri Terhadap Fasilitas yang Ada untuk Peningkatan EE

Menerapkan pengetahuan yang didapatkan dari program COE dalam kegiatan PDAM sehari-hari adalah salah satu cara yang paling efektif untuk meningkatkan efisiensi energi. Modul EE menjelaskan tentang bagaimana mengumpulkan data yang dibutuhkan dan lalu menganalisisnya untuk evaluasi. Konsep efisiensi energi juga dijelaskan dengan baik sehingga banyak PDAM dapat memperkenalkan audit EE untuk perencanaan sistem perpompaan di masa depan dan fasilitas lain berdasarkan arahan di modul.

Tidak dapat dipungkiri bahwa audit EE membutuhkan komponen belanja modal seperti instalasi meter instrumen pengukuran dan gauge baik pada jalur listrik maupun hidrolik berikut data-data dari benda fisik. Beberapa PDAM terutama PDAM dengan skala sedang dan skala kecil mungkin tidak dapat langsung memutuskan investasi tersebut untuk memulai audit peningkatan EE. Artinya beberapa PDAM nampaknya enggan mengenalkan serangkaian kegiatan untuk EE dan karenanya disarankan untuk mempertimbangkan metode alternatif untuk mengatasi hambatan tersebut.

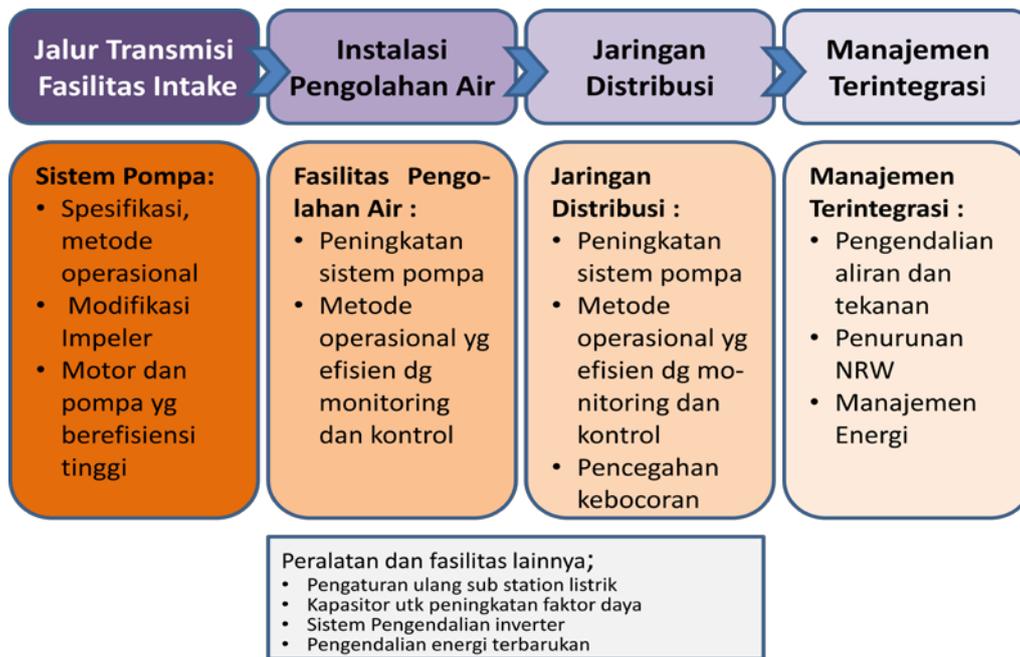
#### 8.1.2. Apa Kesempatan Anda?

Untuk mendapatkan hasil guna (*outcome*) yang paling baik, dibutuhkan pendekatan menyeluruh terhadap rancangan, instalasi, operasi dan pemeliharaan dari sistem perpompaan Anda. Mengenali keterbatasan sistem pemompaan yang ada, merupakan kunci untuk menemukan solusi terbaik untuk mencapai efisiensi energi:

Bagaimana cara membuat sistem yang ada sekarang menjadi lebih efisien?

1. Apakah dibutuhkan perpompaan atau komponen sistem pompa yang baru?
2. Bagaimana kami dapat memperluas sistem?
3. Apa yang perlu diketahui untuk memasang sistem yang baru?

Pedoman ini memperkenalkan solusi langkah demi langkah agar dapat membantu menemukan kesempatan dan cara terbaik dalam menerapkan efisiensi energi untuk suatu sistem perpompaan.



**Gambar 8.1 Tindakan untuk Peningkatan EE**

### **Solusi 1: Meningkatkan Efisiensi dari Sistem yang Telah Ada**

Apakah sistem perpompaan yang ada sekarang dapat memenuhi kebutuhan dengan baik namun tidak dapat bekerja secara lebih efisien? Proses ini mungkin hanya membutuhkan investasi kecil, namun dapat menghasilkan penghematan yang signifikan.

### **Solusi 2: Merancang Sistem Baru**

Jika sistem pemompaan baru sedang direncanakan, proses ini menguraikan langkah-langkah yang diperlukan untuk memastikan disain yang bagus dapat dicapai dan membantu untuk memahami di mana harus menghabiskan modal berharga.

Jika persyaratan layanan telah diubah, misalnya, ada peningkatan yang signifikan pada peralatan dan fasilitas, memasang peralatan yang lebih efisien atau memperluas sistem pemompaan mungkin diperlukan. Ini akan melibatkan unsur kedua solusi tersebut. Pertama, pastikan sistem yang ada berjalan dengan efisien (Solusi 1) dan kedua, desain komponen baru dari sistem yang diperluas (Solusi 2).

Dengan mengikuti proses ini Anda dapat memastikan bahwa uang tidak akan terbuang dengan membeli lebih dari yang dibutuhkan. Sebagai tambahan, informasi yang didapatkan dari meninjau efisiensi dapat membantu dalam memilih dan merancang komponen-komponen baru dari sistem.



**Tabel 8.1 Masalah Perpompaan yang Biasa Muncul dan Tindakan untuk Meningkatkan Efisiensi**

Karakteristik dari Pompa dengan Ukuran yang Terlalu Besar	Deskripsi
Suara aliran yang bising	Pompa yang terlalu besar menghasilkan getaran pipa akibat rangsangan aliran air yang menyebabkan suara bising dan kerusakan pada pipa (termasuk sambungan <i>flanged</i> , sambungan las, dan peralatan perpipaan)
Katup throttle pengendali aliran	Pompa cenderung berada dalam posisi yang terbatas di dalam sistem dengan pompa yang terlalu besar; hal ini meningkatkan tekanan balik yang lalu menurunkan efisiensi
Bantalan dan segel yang terlalu sering diganti	Peningkatan tekanan balik dari laju aliran yang meningkat menciptakan beban radial yang tinggi serta tekanan tinggi pada <i>packing glands</i> dan segel mekanik
Penggunaan jalur <i>bypass</i> yang berlebihan	Sistem yang menggunakan jalur <i>bypass</i> mengindikasikan bahwa sistemnya memiliki pompa yang terlalu besar, tidak seimbang, atau keduanya
Operasi pompa yang terputus-putus	Pompa yang digunakan untuk mengisi atau menguras pompa dan beroperasi dengan terputus-putus mengindikasikan kelebihan ukuran dan maka dari itu mengalami penurunan efisiensi <i>start/stop</i> dan <i>aus</i> , serta mengalami kenaikan gesekan pipa
	Kurva karakteristik pompa dengan <i>duty point</i> dan ukuran <i>impellor</i>

### 8.2.2. Evaluasi Sistem Perpompaan yang Ada

Pendekatan yang baik dalam menilai dan meningkatkan sistem perpompaan adalah dengan menggunakan pendekatan sistem menyeluruh. Keseluruhan sistem perpompaan mulai dari '*need to delivery*' atau '*wire to water*' (hal ini memiliki arti efisiensi dari merubah energi listrik menjadi gerakan fluida) harus dilihat dan dipertimbangkan. Dalam siklus guna (*life cycle*) sebuah sistem perpompaan, akan ada beberapa kesempatan untuk meningkatkan performa sistem perpompaan.

Dua dari beberapa kesempatan utama adalah saat:

1. Sistem pompa yang telah ada dimodifikasi untuk menyelesaikan suatu masalah sistem atau untuk menerapkan laju aliran dan/atau perubahan sistem tinggi tekanan.
2. Sistem perpompaan baru sedang dirancang dan dipasang

Kedua waktu tersebut adalah waktu yang ideal untuk menciptakan sistem dengan energi yang efisien. Ada dua pendekatan umum untuk menilai sistem perpompaan yang sudah ada. Pendekatan yang pertama melibatkan pengamatan operasi sistem perpompaan dan pendekatan yang kedua melibatkan pengumpulan data sistem dan menerapkan perhitungan yang detail dengan menggunakan alat pemodelan sistem perpompaan yang sesuai. Pendekatan yang pertama mengandalkan pengamatan pada sistem; pendekatan yang kedua berfokus pada menciptakan model yang akurat dari sistem tersebut dan lalu menghitung laju aliran dan sistem tinggi tekanan di dalam model.

Mengamati sistem yang beroperasi selama suatu periode waktu tertentu memungkinkan pengamat untuk melihat bagaimana sebuah sistem bekerja untuk suatu cakupan dari kondisi

operasi. Dalam banyak kasus, kebutuhan sistem operasi membatasi suatu cakupan dari kondisi operasi yang dapat dieksplor. Dengan membangun model dari suatu sistem, sebuah perbandingan dapat dihasilkan dari membandingkan kurva resistensi sistem dan kurva karakteristik pompa untuk menentukan titik operasi dari pompa tersebut. Terlepas dari pendekatan yang digunakan, tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan gambaran yang jelas dari bagaimana sebuah sistem dan sebuah komponen sistem beroperasi. Selain itu dapat juga untuk melihat di mana peningkatan dapat diterapkan untuk mengoptimalkan operasi dari sebuah sistem.

Kedua pendekatan tersebut digabungkan dalam strategi yang disarankan berikut untuk penilaian sistem perpompaan Anda yang ada sekarang

### **A. Evaluasi Tren Produksi**

Sebuah penilaian tren produksi mencakup pertanyaan-pertanyaan berikut:

- 1 Laju aliran dan sistem tinggi tekanan apa yang sedang dibutuhkan untuk proses produksi?
- 2 Di mana kedua hal tersebut dibutuhkan?
- 3 Kapan kedua hal tersebut dibutuhkan (waktu dalam hitungan hari atau per kasus)?
- 4 Mengapa kedua hal tersebut dibutuhkan?
- 5 Laju aliran dan sistem tinggi tekanan apa yang akan dibutuhkan di masa depan?

Jawaban untuk kedua pertanyaan di atas, digabungkan dengan hasil survey sistem pompa yang akan dijelaskan di bagian 7.2.2.2 akan mengidentifikasi elemen-elemen berikut:

1. Letak fluida yang digunakan dalam sistem perpompaan.
2. Efektivitas dari semua penggunaan dan apakah sebagiannya tidak diperlukan.
3. Kebutuhan perpompaan maksimal untuk saat ini dan masa depan.
4. Variasi kebutuhan perpompaan untuk saat ini dan masa depan.

### **B. Survey Lapangan untuk Pengumpulan Data**

Catatan dan data PDAM mengenai aset, operasi, pemeliharaan dan perangkat keras mungkin tidak lengkap. Jikapun kedua hal tersebut tersedia, kemungkinan besar kualitasnya tidak baik. Ketersediaan data dan atau perangkat keras dan hambatan yang terkait dengan program dijelaskan di Tabel 8.2 berikut

**Tabel 8.2 Hambatan dalam Pelaksanaan, Umum**

Wilayah Data	Data yang Tersedia	Kebutuhan yang Diminta
Transmisi dan Produksi Air	Sebagian	Aliran dan total produksi
Laporan desain	Sebagian	Asumsi desain, perhitungan dan gambar desain
Stasiun pompa dan gambar reservoir	Sebagian	Layout keseluruhan dan gambar proses
Gambar sistem transmisi	Sebagian	Rencana keseluruhan dan potongan melintang
Gambar sistem distribusi	Tidak ada	Rencana keseluruhan
Data peralatan perpompaan	Sebagian	Kurva karakteristik pompa keseluruhan dan ukuran impellor

### Teknik Tradisional:

Dalam sebuah instalasi pemantauan yang permanen, beberapa ketentuan untuk sistem perpompaan harus ditetapkan untuk mencapai efisiensi pompa. Setidaknya, *pressure tappings* harus dipasang di kedua sisi pompa (hindari bagian dimana aliran dapat terganggu dikarenakan gangguan *flanges* dan gangguan lainnya).

Untuk pompa kritis, efisiensi dapat dimonitor secara terus menerus dengan menggunakan ammeters untuk mengukur arus *drive motor*, inlet dan outlet gauges tekanan, meter kWh pada pompa besar dan meter aliran yang baik. Pencatatan data elektronik dapat digunakan dalam kasus di mana biaya operasi dan biaya air relatif tinggi.

Tabel 8.3 Instrumen Pengukuran

Prosedur	Meter/ Instrumen	Alternatif/Pendekatan	Catatan
1) Pengukuran elektrik Perhatikan voltmeter dan ampere-meter di panel	 	 Instrument pengukuran listrik terpasang tetap  AC Clamp Meter, Penguji sirkuit, dll.	Semua usaha harus dilakukan untuk mengumpulkan data penting yang tersedia.
2) Pengukuran hidrolis Periksa tekanan dan kapasitas pompa dengan membaca manometer dan flowmeter	 	 Clamp-on Flowmeter  Ultrasonic  Perhitungan dengan level meter	Semua usaha harus dilakukan untuk mengumpulkan data penting yang tersedia.

Untuk meninjau sistem perpompaan, tim survey harus:

- 1 Mengumpulkan data untuk menentukan konfigurasi sistem perpompaan (silakan mengacu pada Gambar 1.3).
- 2 Mencari tahu biaya energi dan perkiraan biaya operasi pompa.
- 3 Kumpulkan informasi plat nama pompa dan motor penggerak lalu tentukan penggerak pompa, kecepatan operasi dan nomor tahapan pompa.
- 4 Simpan data waktu operasi dan ukuran atau catat laju aliran sebenarnya dengan menggunakan waktu untuk menyusun profil saat pompa beroperasi.
- 5 Ukur inlet pompa dan tekanan outlet.
- 6 Catat atau tetapkan sistem rancangan maksimal dan variasi dalam laju aliran dan sistem tinggi tekanan.
- 7 Identifikasi fluida yang dipompa, suhunya, kekekatannya, konsentrasi padat dan ukuran partikel, kepadatan atau *specific gravity* dan input lain yang dibutuhkan untuk perangkat lunak pemodelan sistem perpompaan.
- 8 Dapatkan kurva laju aliran dengan karakteristik sistem tinggi tekanan (jika ada) dari produsen pompa untuk menilai rancangan sistem perpompaan dan titik-titik operasi.
- 9 Cari rancangan yang terkait dengan operasi pompa yang tidak efisien, termasuk:
- 10 Katup kendali *throttle* untuk menyediakan laju aliran yang konstan atau bervariasi
- 11 Sistem perpompaan dengan aliran *bypass*

- 12 Pompa yang mungkin terlalu besar beroperasi dalam kondisi *highly throttled* atau dengan laju aliran *bypass* yang besar.
- 13 Sistem perpompaan yang beroperasi dengan laju aliran yang tinggi atau variasi tekanan.
- 14 Laju aliran rendah, penerapan penghentian penggunaan tekanan tinggi. Seluruh sistem perpompaan mungkin beroperasi pada tekanan tinggi untuk memenuhi kebutuhan *single end use*.
- 15 Perubahan dalam konfigurasi sistem perpompaan mulai dari kondisi rancangan awal yang mungkin merubah kurva resistensi sistem yang asli.
- 16 Catat kondisi pemeliharaan yang terkait dengan operasi pompa yang tidak efisien termasuk:
  - 17 Pompa dengan kebutuhan pemeliharaan yang rumit
  - 18 Pompa yang bising dikarenakan kavitasi atau resirkulasi intrenal.
  - 19 Impeller pompa dan selubung yang aus meningkatkan jarak antara bagian tetap dan bagian yang bergerak.
  - 20 Pemakaian wear rings dan bantalan yang berlebih.
  - 21 Penyesuaian packing yang tidak baik menyebabkan terjadinya binding pada batang pompa.
  - 22 Katup pengendali yang bising diakibatkan oleh throttling yang berlebih.
  - 23 Ukur efisiensi pompa.

### C. Urutan Kerja I

Untuk peralatan perpompaan, urutan kerja berikut telah diterapkan di setiap lokasi:

1. Mengumpulkan semua data, catatan dan informasi yang tersedia, lalu mengkaji kondisi dari peralatan perpompaan.
2. Mengidentifikasi poin-poin pengukuran yang dibutuhkan dan melaksanakan pekerjaan yang dibutuhkan (eksposur jalur pipa, instalasi pressure gauge nipple, dll.)
3. Melaksanakan tes pertama pada aliran dan pengukuran tekanan (termasuk hal-hal spesifik yang dibutuhkan untuk sistem transmisi) dan analisa hasilnya. Konsumsi daya listrik diukur secara simultan.



Pengukuran Tekanan



Pengukuran Daya Listrik

**Gambar 8.3 Pengukuran tekanan dan daya listrik**

4. Ulangi tes aliran dan tekanan jika pengukuran pertama tidak menghasilkan hasil yang berarti atau jika terjadi ketidaklengkapan data.
5. Analisa hasil untuk menentukan daya listrik yang digunakan oleh peralatan perpompaan dan daya air yang dikirimkan, dari situ dapat dihasilkan efisiensi perpompaan.
6. Konfirmasi desain aliran yang diperlukan dan pilih peralatan pompa yang sesuai rekomendasi untuk transmisi utama dan untuk memaksimalkan efisiensi dari set pompa.
7. Tentukan biaya anggaran investasi untuk peralatan perpompaan yang baru.
8. Tentukan produksi tahunan yang dibutuhkan untuk peralatan perpompaan.
9. Tentukan biaya perpompaan saat ini dan biaya perpompaan di masa depan dengan peralatan perpompaan yang baru dan lalu dapat diketahui penghematan biaya energi tahunan.
10. Tentukan periode pengembalian biaya investasi untuk peralatan perpompaan yang baru.

#### **D. Urutan Kerja II**

Untuk sistem transmisi, urutan kerja berikut telah secara umum diadaptasi di setiap lokasi:

- 1 Kumpulkan data, catatan, dan informasi yang tersedia. Jika memungkinkan, kaji kondisi pipa transmisi dan perlengkapannya.
- 2 Mengidentifikasi titik-titik pengukuran yang diperlukan dan melaksanakan semua pekerjaan yang diperlukan (paparan dari pipa, pemasangan alat pengukur tekanan, dll)
- 3 Simulasikan hasil aliran dan tekanan dalam sebuah model transmisi utama (atau sistem

- distribusi) untuk menentukan karakteristik headloss (kehilangan tinggi tekanan) untuk sistem sekitar dimana peralatan pompa yang baru harus didesain
- 4 Tentukan tindakan apa saja yang dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi sistem transmisi dan siapkan anggaran perkiraan biaya.
  - 5 Tentukan potensi penghematan energi untuk tindakan sistem transmisi dan hitung periode pengembalian dari biaya investasi pada sistem transmisi.

## E. Kendala Eksekusi

Kendala tipikal sebagai sebuah kasus ditunjukkan dalam Tabel 8.5 berikut:

**Tabel 8.4 Kendala Eksekusi, Umum**

Hambatan	Solusi	Resiko	
		Hasil Akurasi	Tingkat
Kurangnya gambar sistem transmisi potongan memanjang	Membuat gambar potongan memanjang dengan memanfaatkan peta kontur	Kesalahan pada perhitungan kehilangan tinggi tekanan	Rendah, terkecuali jika statis dan gesekan tingkat tinggi tekanan relatif kecil dibandingkan dengan tingkat kesalahan yang diperkirakan, maka tinggi
Kurangnya kurva karakteristik untuk pompa eksisting	Menghubungi supplier pompa atau lakukan step-tests aliran untuk membuat kurva	Tidak ada	
Kurangnya meter daya listrik untuk pompa individu	Sewa dan gunakan meter daya listrik portabel	Tidak ada	
Kurangnya pressure gauge atau point yang berfungsi	Menyewa kemudian menyebarkan gauges dan/atau menyiapkan point baru	Tidak ada	
Kurangnya level air di reservoir (tidak ada catatan)	Perkirakan tingkat altimeter dan/atau Google Earth atau gunakan tingkat tinggi tekanan statis dari pengukuran tekanan	Kesalahan pada perhitungan kehilangan tinggi tekanan	Rendah, terkecuali jika statis dan gesekan tingkat tinggi tekanan relatif kecil dibandingkan dengan tingkat kesalahan yang diperkirakan, maka tinggi
Diameter pipa transmisi utama tidak diketahui	Dengan menggunakan contoh yang telah ada atau dengan menyewa dan menyebarkan flow meter	Kesalahan pada perhitungan kehilangan tinggi tekanan	Rendah selama diameter nominal benar, jika sebaliknya, maka tinggi
Kurang atau adanya flow meter yang tidak bekerja	Sewa dan gunakan flow meter nirkabel, Hitung dari data lain (level air, area, dll.)	Tidak ada	
Kurangnya meter listrik satuan untuk stasiun perpompaan	Perkirakan konsumsi daya dari konsumen lain yang terhubung	Kesalahan pada penghematan energi tahunan	Rendah
Kurangnya <i>flow totalizer</i>	Perkirakan total aliran dari catatan jam operasi pompa dan aliran yang terukur	Kesalahan pada penghematan energi tahunan	Sedang
Kurangnya <i>power quality analyzer</i>	Kumpulkan data terkait listrik dari instrument pengukuran lain seperti <i>ampere pliers</i> dan ampere meter	Kesalahan pada penghematan energi tahunan	Rendah

## F. Analisis Data untuk Penilaian Energi

Efisiensi pompa dapat dihitung dalam tabel 8.6 berikut,

**Tabel 8.4 Lembar Perhitungan Efisiensi Pompa**

1. TOTAL NILAI PERHITUNGAN DAN ENERGI SPESIFIK efisiensi konsumsi													
LOKASI	POMPA DAN MOTOR				P <sub>w</sub>	PARAMETER LISTRIK							SEC (wh / m <sup>3</sup> )
Pengukuran	H	Q	ρ	g		η <sub>T</sub>	U	I	√3	Cos φ	P	S	
	(m)	(m <sup>3</sup> / s)	(kg / m <sup>3</sup> )	(m / s <sup>2</sup> )	(watt)	(%)	(Volt)	(Amp)			(watt)	(VA)	
Pompa Booster Rapak	34.00	.0512	998.20	9.81	17046.51	76.19	374.80	35.90	1.73	0.96	22 373	23 305	121.38
Pompa Booster Daksha	34.00	.0320	998.20	9.81	10654.07	61.49	373.40	28.20	1.73	0.95	17 326	18 238	150.40

DESKRIPSI :

Parameter:

- $\eta > 60\%$  : dapat digunakan
- $\eta < 50\%$  : dibutuhkan untuk perbaikan total
- $50 < \eta < 60\%$  : dibutuhkan untuk revitalisasi
- SEC > 400 : inefisien
- $P_w = QH\rho g$
- $P(\text{watt}) = UI \times \sqrt{3} \times \text{Cos}\phi$

## G. Analisis Sistem Perpompaan

Pendekatan lain untuk menganalisis sistem yang ada sekarang adalah dengan menggunakan perangkat lunak untuk rancangan sistem pompa. Hal tersebut juga dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan manual dan secara grafis dengan menggunakan tangan atau dengan menggunakan lembar tabel. Perangkat lunak untuk rancangan menggunakan input dari sifat fluida, konfigurasi sistem perpompaan dan data yang disediakan oleh produsen pompa untuk menentukan kehilangan gesekan, menyusun kurva resistensi sistem dan menyediakan daftar pompa yang sesuai. Perangkat lunak tersebut sering dihubungkan ke perangkat lunak pemilihan pompa dari beberapa produsen tertentu. Dalam beberapa kasus tertentu, perangkat lunak tersebut memungkinkan evaluasi biaya operasional.

Dengan membangun sistem model, kurva resistensi sistem dan kurva karakteristik pompa dapat digunakan secara bersamaan untuk menentukan poin operasional pompa saat ini untuk tingkat kebutuhan sistem. Hal ini memungkinkan kita untuk membuat perbandingan antara tingkat poin operasi dengan poin efisiensi terbaik. (Silakan mengacu pada Contoh : Nomor kendali unit perpompaan)

### 8.3. SOLUSI 2 –PERANCANGAN SISTEM BARU

Rancangan sistem perpompaan yang baik memperhitungkan seluruh elemen sistem perpompaan termasuk cara meminimalisir kebutuhan perpompaan.

Sebagian besar prinsip yang telah dijelaskan di Solusi 1 dapat digunakan untuk merancang sistem baru. Namun, dengan serangkaian komponen yang benar-benar baru, terdapat potensi yang besar untuk rancangan yang optimal.

Simulasi aliran dan tekanan menghasilkan model sistem transmisi utama (atau sistem distribusi) untuk menentukan karakteristik kehilangan tinggi tekanan untuk sistem di sekitar peralatan perpompaan baru yang harus dirancang.

#### 8.3.1. Langkah 1: Nilai Peralatan Produksi dan Perkecil Kebutuhan Perpompaan

Cara paling utama untuk mengurangi kebutuhan perpompaan adalah dengan membangun proses yang efisien. Hal tersebut dapat diterapkan dengan cara:

1. Gunakan proses dan peralatan air yang efisien.
2. Minimalisir jarak (vertikal dan horizontal) dari pabrik ke lokasi pompa yang dibutuhkan untuk mendukung proses tersebut.
3. Gunakan kembali air atau olah fluida sampai ke tempat penggunaan akhir (*end use*).

#### 8.3.2. Langkah 2: Rancangan dengan Pendekatan Sistem Menyeluruh

Sistem perpompaan baru yang efisien akan memenuhi kebutuhan laju aliran dan tinggi tekanan sistem dengan konsumsi energi yang minimal.

Hal ini berarti mempertimbangkan:

- 1 Harga energi – pastikan bahwa perkiraan harga energi terbaru digunakan dalam menghitung biaya operasional energi. Hal ini akan sangat mempengaruhi pemilihan ukuran pipa, motor dan efisiensi pompa.
- 2 Layout pipa - pertimbangkan potensi untuk pengaturan skala jangka panjang dan sediakan akses pemeliharaan untuk pembersihan. Pastikan layout dapat mendukung penggunaan *variable-speed drives* dan tidak membutuhkan pompa kecepatan tetap untuk beroperasi.
- 3 Layout stasiun pompa – dalam kasus di mana Anda memiliki stasiun pompa ganda, apakah stasiun pompa yang paling efisien digunakan lebih dulu daripada yang lain? Bagaimana stasiun pompa saling berinteraksi?

- 4 Laju aliran maksimal, minimal dan bervariasi – gunakan *variable-speed drives* yang dikoordinasikan dengan penggunaan terbatas dari katup pengatur, dan tidak menggunakan pompa dengan kecepatan tetap yang digunakan dengan katup *throttle* atau katup *by-pass*. Sebagai alternatif, dapat juga menggunakan pompa dengan *multiple-speed* atau beberapa pompa *fixed-speed* dengan ukuran yang lebih kecil. Mana yang akan menghasilkan pengendalian proses dan efisiensi yang lebih baik untuk operasi Anda? Banyak perancang yang memilih pompa dengan ukuran yang lebih besar daripada yang dibutuhkan untuk menyesuaikan dengan beban pompa yang tidak diketahui dan untuk memastikan jaminan keamanan. Anjurkan perancang sistem Anda untuk merancang sistem yang dapat merespon secara efisien terhadap tingkat aliran dan kondisi tinggi tekanan yang beragam dan dapat diperluas secara mudah jika dibutuhkan kemudian.
- 5 Filosofi pengendalian – rancang sistem pengendalian yang selalu menggunakan pompa yang menggunakan energi paling sedikit. Jangan mengasumsikan bahwa pengaturan *duty-standby* tipikal membutuhkan biaya yang paling sedikit saat kita memperhitungkan energi terutama jika satu pompa lebih efisien daripada pompa yang lain.
- 6 Pemasangan meter dan monitoring – pastikan performa dapat terus dipantau.
- 7 Optimalkan rancangan.

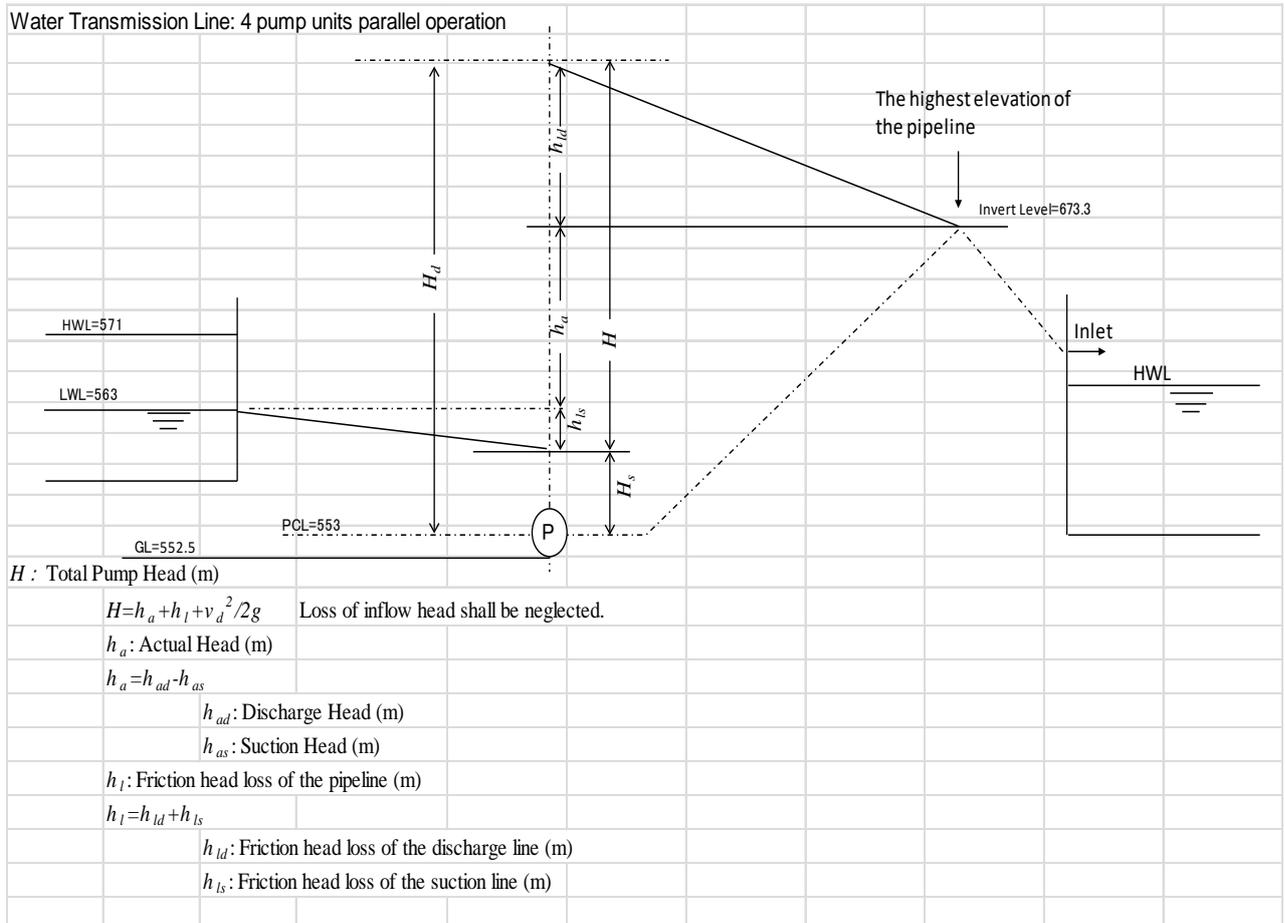
### 8.3.3. Langkah 3: Perhitungan Perencanaan dan Pemilihan Pompa yang Efisien

Anda mungkin telah menggunakan harga energi, layout dan filosofi pengendalian yang tepat. Namun, apakah pompa-pompa yang ada di dalam stasiun pompa bekerja sama atau saling bertolak belakang satu sama lain? Jika terdapat beberapa pompa, apakah pompa-pompa tersebut memiliki ukuran yang tepat untuk kebutuhan aliran? Apakah stasiunnya fleksibel?

Apakah anda memiliki pompa dengan satu variabel kecepatan yang didukung oleh pompa dengan kecepatan tetap? Jika Anda memiliki kebutuhan aliran yang relatif rendah, diselingi dengan *large surges*, apakah Anda juga memiliki pompa kecil yang bekerja berkesinambungan yang didukung oleh pompa yang memiliki kapasitas *surge* yang lebih besar untuk menahan gelombang (dan bukan satu pompa *surge* besar yang beroperasi secara sporadis)?

Simulasi aliran dan tekanan menghasilkan model sistem transmisi utama (atau sistem distribusi) untuk menentukan karakteristik kehilangan tinggi tekanan untuk sistem di sekitar peralatan perpompaan baru yang harus dirancang.

1) Mengumpulkan data dan informasi

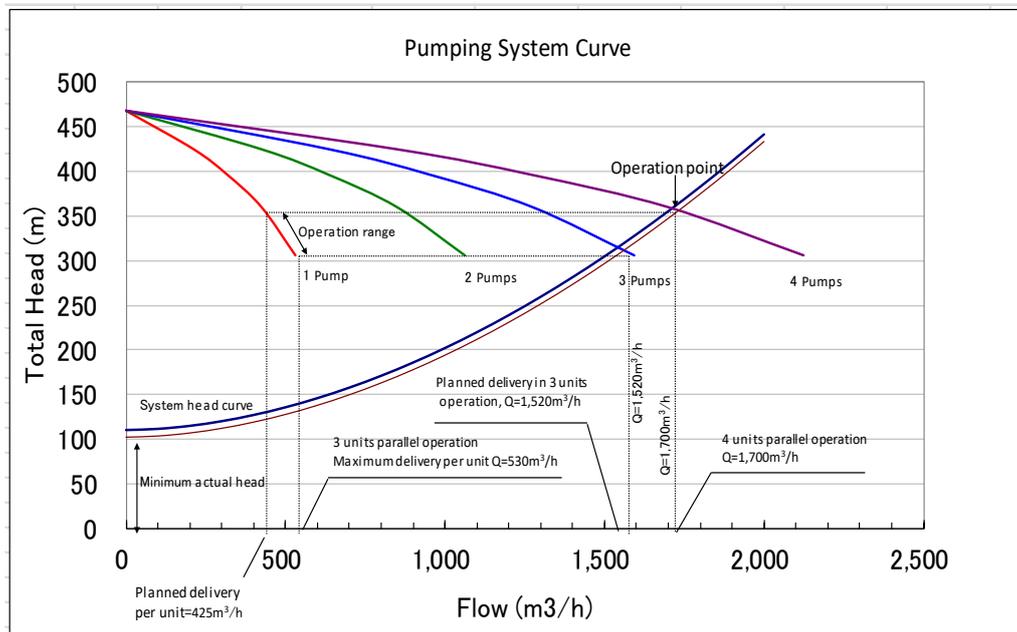


	Unit			
Design conditions are set as follows.				
Pump Station G.L.	m	552.5		
Height of the pump shaft from G.L.	m	0.5		
Level of the pump shaft	m	553.0		
LWL of the pump station reservoir	m	563.0		
LWL of the pump station reservoir	m	571.0		
【Data on the maximum altitude point of the pipeline】				
Level of the tube bottom	m	673.3		
Length: Pump - Highest elevation point	m	51,857.49		
Required pressure at the maximum elevation	m	0.0		
【Data of actual pump head】				
Highest actual head	m	110.3		
Minimum actual head	m	102.3		
【Data on the pipeline】				
Length on suction side ( $L_s$ )	m	250		
Length on discharge side ( $L_d$ )	m	51,857.49		
Diameter of suction pipe	mm	587		
Diameter of discharge pipe	mm	587		
Design runoff	$m^3/h$	1,700		
	$m^3/min$	28.3		
Flow velocity on suction side ( $v_s$ )	m/s	1.746		
Flow velocity on discharge side ( $v_d$ )	m/s	1.746		
Flow coefficient on suction side ( $C_s$ )		110	←Including bends	
Flow rate coefficient on the discharge side ( $C_d$ )		125	←Actual field measurement	
Dynamic hydraulic gradient on suction side		0.0060	$I=10.666*C^{-1.84}*D^{-4.87}*Q^{1.85}$	
Dynamic hydraulic gradient on discharge side		0.0047	$I=10.666*C^{-1.84}*D^{-4.87}*Q^{1.85}$	
Friction loss of suction pipe ( $h_{ls}$ )	m	1.5		
Friction loss of discharge pipe ( $h_{ld}$ )	m	243.7		
Total head ( $H$ )	m	355.5	→	360

Design conditions of the pump are set as follows.				
Number of pumps	台	4		
Discharge amount per pump	$m^3/min$	7.08		
Pump diameter	mm	224	→	250
Estimated Pump specific speed $N_s$ (Volute pump)		300	(100~700の中間)	
Number of stages of pump		7		
$N$ (Pump revolution speed)	rpm	2,165	→	1500 rpm for Motor 50Hz, 4Phase
$s$ (Slip factor of pump)	%	2		
$N_m$ (Actual revolving speed of pump)	rpm	1,470	→	1470 rpm
$N_s$ (recalculation of pump specific speed)		204	→	OK (100~700)

2) Merencanakan kurva sistem pompa

Plotting pump performance curve						
(1) Pump performance curve, 1 unit						
<i>Ns</i>		200				
<i>Pump efficiency</i>		0.735	(JIS B 8322 Both suction centrifugal pump)			
<i>Discharge Ratio</i>	%	0	50	75	100	125
<i>Head Ratio</i>		1.30	1.18	1.10	1.00	0.85
<i>Efficiency Ratio</i>		0.00	0.81	0.95	1.00	0.95
<i>Discharge</i>	m <sup>3</sup> /min	0.0	3.5	5.3	7.1	8.9
	m <sup>3</sup> /h	0.0	212.4	318.6	424.8	531.0
<i>Total Head</i>	m	468.0	424.8	396.0	360.0	306.0
<i>Efficiency</i>	%	0.00	59.54	69.46	73.50	69.46
<i>Shaft Power</i>	kW	266.4	411.7	493.5	565.2	635.5
(2) Pump performance curve, 2 units						
<i>Discharge</i>		0.0	7.1	10.6	14.2	17.7
	m <sup>3</sup> /h	0.0	424.8	637.2	849.6	1,062.0
<i>Total Head</i>		468.0	424.8	396.0	360.0	306.0
<i>Shaft Power</i>		532.8	823.4	987.0	1,130.4	1,271.0
(3) Pump performance curve, 3 units						
<i>Discharge</i>		0.0	10.6	15.9	21.2	26.6
	m <sup>3</sup> /h	0.0	637.2	955.8	1,274.4	1,593.0
<i>Total Head</i>		468.0	424.8	396.0	360.0	306.0
<i>Shaft Power</i>		799.2	1,235.1	1,480.5	1,695.6	1,906.5
(4) Pump performance curve, 4 units						
<i>Discharge</i>		0.0	14.2	21.2	28.3	35.4
	m <sup>3</sup> /h	0.0	849.6	1,274.4	1,699.2	2,124.0
<i>Total Head</i>		468.0	424.8	396.0	360.0	306.0
<i>Shaft Power</i>		1,065.6	1,646.8	1,974.0	2,260.8	2,542.0



Gambar 8.4 Kurva Sistem Pompa

## 3) Analisa Kavitas

【Cavitation Analysis】									
$h_{sv} = H_a - H_p + H_s - h_l$									
Atmospheric pressure		9.67 m (GL=550m)							
Pressure of saturated vapor (Hp)		0.323 m (25°C)							
$Q/Q_n$		-	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.25	1.3
$Q$		m <sup>3</sup> /min	5.7	6.4	7.1	7.8	8.5	8.9	9.2
$h_l$		m	0.952	1.205	1.488	1.800	2.142	2.324	2.514
$h_{sv}$ (Available NPSH)		m	18.395	18.142	17.860	17.547	17.205	17.023	16.833
$N$		rpm	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
$S$		-	1,470	1,475	1,400	1,280	1,095	1,000	870
$H_{sv}$ (Required NPSH)		m	3.264	3.515	4.042	4.854	6.335	7.347	9.080
$h_{sv} - I$		m	17.395	17.142	16.860	16.547	16.205	16.023	15.833
Evaluation		-	OK						
Condition = $H_{sv} < h_{sv} - I$									

## 4) Prosedur pemilihan untuk output motor

$P_m = P (1 + \alpha) / \eta_t$	
P : Pump shaft power	
$\alpha$ : Mechanical margin (Approx. 10%)	
$\eta_t$ : Transmission efficiency (Direct coupling: 1)	
Pump shaft power (P) = $0.163 \times \gamma \times Q \times H / \eta_p$	
(1) Required power at design point	
$P_m =$	621.72
(2) Required power at Maximum delivery point	
In order to prevent overload of the electric motor, required electric motor output <input type="checkbox"/> at the maximum delivery shall be obtained with 5% margin.	
From the system curve of the pumps, discharge amount per unit becomes the maximum in case of the lowest actual head when operating at 3 units.	
$Q =$	530 m <sup>3</sup> /h 8.8 m <sup>3</sup> /min
$H =$	308 m
$\eta_p =$	69.5 %
therefore,	
$P_m(\max) =$	667 kW
Among standard rated output of the electric motor, higher than $P_m(\max)$ shall be selected.	
In case of the horizontal axis high-voltage three-phase induction motor, 4 poles 50Hz	
Rated power output shall be,	
	710 or 810 kW

## 8.3.4. Langkah 4: Pilih Komponen Perpompaan yang Efisien

Sistem perpompaan disusun dari sejumlah komponen yang sama dalam setiap instalasi termasuk pompa, penggerak pompa, pipa dan katup.

Ada dua area kehilangan utama dalam sistem perpompaan:

1. Kehilangan gesekan dalam perpipaan – total kehilangan tinggi tekanan karena gesekan di seluruh pipa termasuk kehilangan energi pada (inlet, tikungan, sambungan, katup, kontraksi dan perluasan pipa dan kehilangan pada outlet).
2. Ketidakefisienan Pompa dan Motor – perhatikan pompa dan ukuran *impeller*, pemilihan motor dan pilihan efisiensi pompa.

Proses rancangan merupakan proses yang dilakukan berulang-ulang. Dalam langkah perancangan, layout perpipaan biasanya menjadi pertimbangan pertama sehingga kehilangan tinggi tekanan dapat dihitung sebelum pompa dipilih.

#### **A. Perancangan dan Pemilihan Pipa**

Rancangan sistem yang baru didampingi oleh diagram sederhana dengan detail berikut:

1. Panjang perpipaan dan sudut sambungan siku yang dibutuhkan antara pompa dan titik pengiriman di *outlet*.
2. Tinggi dari pompa fluida ke *outlet*.

Fluida yang mengalir melalui pipa mengalami penolakan atau kehilangan gesekan yang berakibat pada kehilangan tinggi tekanan. Hal ini disebabkan oleh permukaan kasar dari interior pipa dan diameter pipa. Selain itu juga disebabkan oleh katup, fitting dan perubahan arah (hal ini juga bergantung pada suhu dan tipe fluida yang dipompa). Kehilangan pipa dapat diminimalisir dengan:

1. Memperkecil jarak dan tinggi tekanan.
2. Memperkecil jumlah belokan dan derajat ketajaman belokan.
3. Ukuran pipa yang benar.
4. Materi pipa yang benar.

#### **8.3.5. Ringkasan Pertimbangan Rancangan untuk Sistem Perpompaan**

Tabel 8.6 berikut meringkas pertimbangan rancangan untuk komponen-komponen dalam sistem perpompaan

Tabel 8.5 Pertimbangan Rancangan untuk Sistem Perpompaaan yang Efisien

Komponen	Pertimbangan Rancangan
Pertimbangan sistem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pastikan pendekatan sistem menyeluruh digunakan</li> <li>• Perkecil kebutuhan perpompaaan:</li> <li>• Kurangi kebutuhan perpompaaan melalui rancangan pabrik yang baik</li> <li>• Kurangi kebocoran</li> <li>• Turunkan laju aliran sistem perpompaaan</li> <li>• Turunkan tekanan operasi</li> <li>• Pilih komponen perpompaaan yang efisien</li> <li>• Gunakan harga energi terbaru dalam perhitungan biaya operasional</li> </ul>
Filosofi pengendalian dan operasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pertimbangkan penggunaan <i>variable-speed drives</i> daripada katup <i>throttling</i> untuk pengelolaan aliran</li> <li>• Letakkan sensor tekanan atau aliran di lokasi yang akan membantu memastikan kebutuhan proses dapat terpenuhi tanpa kelebihan energi perpompaaan</li> <li>• Rekam data tren sistem</li> <li>• Sediakan komponen <i>metering</i> (seperti aliran, kWh)</li> </ul>
Instalasi Pompa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pertimbangkan pompa ukuran ganda untuk variasi aliran</li> <li>• Perhatikan rancangan perpipaan dengan pompa ganda</li> </ul>
Konfigurasi sistem perpipaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maksimalkan diameter pipa</li> <li>• Optimalkan layout pipa untuk memperkecil kehilangan tekanan</li> <li>• Perkecil kehilangan tekanan melalui katup dan <i>fitting</i></li> <li>• Perkecil laju aliran <i>bypass</i></li> </ul>
Pengendalian <i>throttling</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hindari jalur <i>bypass</i></li> <li>• Hindari katup <i>throttle</i></li> <li>• Optimalkan penggunaan <i>throttling</i> dan <i>variable speed drives</i> yang dapat disesuaikan</li> </ul>
Pompa dan motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pastikan efisiensi motor tinggi</li> <li>• Pastikan efisiensi pompa tinggi</li> <li>• Pastikan pompa beroperasi mendekati Efisiensi Hidrolik (BEP)</li> <li>• Jangan menggunakan pompa yang terlalu besar</li> <li>• Pastikan ukuran <i>impeller</i> yang tepat</li> <li>• Pastikan tipe pompa yang tepat (aksial, sentrifugal, dan sebagainya)</li> <li>• Pastikan kesesuaian dengan <i>variable-speed drives</i></li> <li>• Periksa metode penyegelan pompa (gland packing, mechanical Seal, dan sebagainya)</li> </ul>
Operasi dan pemeliharaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simpan jadwal pemeliharaan di tempat pemeliharaan</li> <li>• Rancang untuk pemeliharaan yang mudah</li> </ul>
Penyedia layanan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pilih penyedia jasa yang memahami efisiensi energy dan akan membantu anda dengan menyediakan solusi</li> </ul>

**BAB IX**  
**PROPOSAL DAN LAPORAN PROGRAM**  
**EFISIENSI ENERGI**

## BAB 9 PROPOSAL DAN LAPORAN PROGRAM EFISIENSI ENERGI

### 9.1. PENGANTAR

Program Efisiensi Energi meliputi :

1. Audit, yaitu upaya memperoleh data primer maupun sekunder sistem yang menjadi objek bahasan.
2. Analisa data, yaitu upaya untuk mendapatkan nilai kinerja dan kondisi objek.
3. Perbandingan (benchmarking), yaitu kegiatan perbandingan antara nilai kinerja terhadap kriteria standar yang berlaku.
4. Kesimpulan hasil audit, dalam bentuk hasil analisis, peluang, rekomendasi atau saran tindakan.
5. Penyusunan program, dalam bentuk pengajuan anggaran biaya yang didasarkan pada latar belakang, hasil kajian, rencana tindak, gambaran capaian, dan kajian berbagai aspek meliputi teknis, lingkungan, keuangan, dll.
6. Implementasi, yaitu kegiatan pelaksanaan program yang sudah direncanakan dan dilaksanakan dengan seksama.
7. Monitoring, yaitu tindakan pengukuran tingkat perkembangan kinerja pasca implementasi.
8. Evaluasi, yaitu tindakan membandingkan antara nilai capaian program terhadap kinerja sistem pada masa lalu.

#### 9.1.1. Arti Penting Penyusunan Proposal Program Efisiensi Energi bagi PDAM

Program energi di lingkungan PDAM dikandung maksud untuk mencari peluang penurunan biaya energi, khususnya dalam pengoperasian sistem pompa sebagai pemacu gerak/ aliran air. Dengan mengetahui kapasitas (nilai) penggunaan energi saat ini, dapat terukur nilai kehilangannya saat ini. Apakah masih dapat diupayakan pengurangan penggunaan energi di masa yang akan datang atau adakah peluang untuk peningkatan nilai efisiensi penggunaan energi.

Meskipun sebagian besar *Manajemen PDAM* telah memahami betapa besarnya nilai biaya dalam penggunaan energi pada sistem yang dikelolanya, namun kadang kala kurang yakin terhadap keberhasilan program yang direncanakan oleh unit kerja yang dipercaya menanganinya.

Materi ajar ini akan memberi arah bagaimana membuat Proposal yang secara taktis ekonomis yang digabungkan dengan langkah teknis dengan harapan mampu memberi gambaran kepada beberapa pihak terkait atas keberhasilannya di masa yang akan datang dan kemampuan dalam pembiayaannya saat ini, baik yang menggunakan dana sendiri maupun bantuan pihak lain.

Dengan pembuatan proposal dan pelaporan monitoring terhadap program efisiensi yang akan/ telah dilaksanakan, PDAM diharapkan mampu:

1. Memberi gambaran terhadap rencana kegiatan yang akan dilaksanakan yang sepadan dengan anggaran biaya yang akan diserap.
2. Memberi gambaran terhadap nilai capaian implementasi yang telah dilakukan.
3. Memberi gambaran nilai pengembalian biaya investasi yang akan dikeluarkan (Pay Back Period), terhadap nilai *saving* atas biaya kerugian/ pemborosan yang terjadi saat ini.

### **9.1.2. Maksud dan Tujuan Pembuatan Proposal/ Laporan Efisiensi Energi**

1. Mengukur kemampuan diri dalam menyerap konsep pelatihan Efisiensi Energi.
2. Mampu mengaplikasikan pengetahuan Efisiensi Energi di tempat kerja.
3. Mengajak alam pikiran orang lain memahami konsep Efisiensi energi.
4. Membantu Pimpinan/ stakeholders dalam menentukan langkah solusi permasalahan energi.
5. Sebagai bentuk pertanggung jawaban atas penggunaan dana dalam kegiatan efisiensi energi.
6. Mengukur dan membandingkan (capaian) antara biaya dan hasil yang akan/ sudah dicapai.
7. Memotivasi diri untuk senantiasa memonitor perkembangan sistem penggunaan energi.

### **9.1.3. Jenis Kegiatan Efisiensi Energi**

1. Perbaikan kerusakan sistem peralatan/ mesin.
2. Perbaikan sistem operasi peralatan/ mesin (management/ SOP).
3. Penggantian kerusakan (redisgn) sistem peralatan/ mesin.
4. Modifikasi sistem peralatan/ mesin.
5. Pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi Program Efisiensi Energi.
6. Peningkatan SDM dalam bidang Audit Efisiensi Energi (Mekanikal, Elektrikal dan Hidrolika).
7. Menyusun perencanaan berjangka tentang Program Efisiensi Energi.

## **9.2. PEMBUATAN PROPOSAL DAN ANALISIS EKONOMI PENERAPAN PROGRAM EFISIENSI ENERGI**

**Sasaran:** Menyusun Program Efisiensi Energi yang akan dilaksanakan

1. Mengamati objek apa yang dapat ditingkatkan nilai efisiensinya (dilakukan penghematan) (audit).
2. Menyusun strategi penghematan berdasarkan pengetahuan yang telah diterimanya (aplikasi).
3. Menyusun Jadwal dan Tim Kerja.
4. Menyusun Rencana Anggaran Biaya (usulan keuangan).
5. Memberi gambaran hasil (fisik dan keuangan) yang akan dicapai (analisis).

### **Analisis Ekonomi**

Setiap Perusahaan diharapkan mampu untuk membiayai dirinya sendiri (mandiri) dan tidak tergantung pada donatur, sehingga dalam praktek orientasi pengelolaannya mengarah ke pencarian keuntungan (PDAM, Rumah Sakit, Sekolah, dll).

Pemikiran setiap manajemen perusahaan adalah seberapa lama pengembangan dana yang ditanamkan di proyek (investasi) dapat segera kembali. Artinya bahwa rencana yang akan dilakukan tersebut perlu diperhitungkan terlebih dahulu. Usaha yang akan dilakukan benar-benar dapat mengembalikan uang yang telah diinvestasikan proyek dalam jangka waktu tertentu dan dapat memberikan keuntungan finansial sebagaimana diharapkan.

Perusahaan yang ingin melakukan investasi, terlebih dahulu perlu mendahuluinya dengan studi atau kajian, dengan maksud dan tujuan agar dapat menilai apakah investasi yang akan ditanamkan layak atau tidak untuk dijalankan (dalam arti memberi manfaat dan sesuai dengan tujuan perusahaan).

Dalam praktek, sekalipun suatu investasi telah dilakukan studi secara baik dan benar kegagalan suatu usaha bisa saja terjadi dan menemui hambatan serta risiko .

Lalu bagaimana seandainya suatu usaha yang tidak dilakukan studi ?

1. Untuk menghindari kegagalan suatu usaha, diperlukan studi. Studi ini selanjutnya disebut **Studi Kelayakan**. Tujuan utama dari studi adalah untuk mencari jalan keluar agar dapat meminimalkan hambatan dan risiko yang mungkin timbul di masa yang akan datang.
2. Mengapa hal ini perlu dilakukan ?
3. Karena di masa yang akan datang penuh dengan ketidakpastian, sehingga apa yang sudah direncanakan berpeluang untuk meleset dari sasaran atau tidak mencapai tujuan, sehingga risiko kerugian tidak dapat terelakkan.
4. Studi kelayakan dilakukan untuk mengidentifikasi masalah di masa yang akan datang, sehingga dapat meminimalkan kemungkinan melesetnya hasil yang akan dicapai dalam suatu investasi.

5. Studi kelayakan akan memperhitungkan hal-hal yang akan menghambat atau peluang dari investasi yang akan dijalankan.
6. Hasil studi akan memberikan pedoman atau arahan kepada suatu usaha yang akan dijalankan.

### **Pengertian Investasi dan Studi Kelayakan Investasi**

Menurut William F Sharfe (dalam Investment) "**Investasi adalah mengorbankan dolar sekarang untuk dolar di masa yang akan datang**".

Mengorbankan dolar/ uang, artinya menanamkan sejumlah uang/ dana dalam suatu usaha saat sekarang, saat investasi di mulai dan Dana Investasi tersebut pasti dikeluarkan.

Dengan harapan pengembalian investasi yang disertai keuntungan di masa yang akan datang (dalam waktu tertentu), yang bersifat tidak pasti tergantung kondisi masa tersebut.

Investasi dapat diartikan pula sebagai penanaman modal dalam suatu kegiatan melibatkan berbagai sumber daya

1. dalam suatu wadah (organisasi) yang
2. memiliki jangka waktu relatif panjang
3. dalam berbagai bidang usaha, baik bersifat fisik (pendirian pabrik, pengadaan mesin, pembuatan gedung/ jalan,dll) atau non fisik (penelitian dan pengembangan)
4. untuk mencapai suatu sasaran yang telah ditetapkan

Investasi meliputi berbagai usaha, antara lain:

1. Investasi Nyata: Investasi berupa harta tetap (tanah, bangunan, peralatan atau mesin).
2. Investasi Finansial: Investasi dalam bentuk kontrak kerja, pembelian saham, atau surat berharga lainnya.
  - 2a. Bentuk kegiatan investasi biasanya berupa:
    - 2a1. Pembangunan Fasilitas Baru
    - 2a2. Semula belum pernah ada, sehingga ada penambahan usaha baru.
    - 2a3. Perbaikan Fasilitas yang Sudah Ada
    - 2a4. Sudah ada kegiatan sebelumnya, kelanjutan dari suatu usaha berupa tambahan atau perbaikan.
    - 2a5. Penelitian dan Pengembangan
    - 2a6. Penelitian dilakukan untuk suatu fenomena yang muncul, lalu dikembangkan sedemikian rupa sesuai dengan harapan.
  - 2b. Faktor timbulnya investasi:

- 2b1. Adanya Permintaan Pasar  
Produk yang sudah ada belum mencukupi atau belum ada.
- 2b2. Untuk Meningkatkan Kualitas Produk  
Disebabkan tingginya tingkat persaingan.
- 2b3. Kegiatan Pemerintah  
Memenuhi kebutuhan masyarakat.

### **Studi Kelayakan**

Studi Kelayakan **“adalah kegiatan yang mempelajari secara mendalam tentang suatu kegiatan atau usaha yang akan dijalankan, dalam rangka menentukan layak atau tidak usaha tersebut untuk dijalankan”**

1. Mempelajari secara mendalam:
  - meneliti secara sungguh sungguh data dan informasi yang ada,
  - kemudian diukur, dihitung dan
  - dianalisis dengan metode dan kriteria tertentu
  - guna memperoleh hasil yang optimal.
2. Kelayakan:  
Artinya penelitian yang dilakukan untuk menentukan apakah usaha yang akan dijalankan akan memberikan manfaat yang lebih besar dibandingkan dengan biaya yang akan dikeluarkan, dalam arti memberikan keuntungan finansial atau non finansial sesuai dengan tujuan yang diinginkan.
3. Layak:  
artinya akan memberikan keuntungan tidak hanya pada perusahaan yang menjalankan namun lebih dari itu dapat memberikan keuntungan bagi investor, kreditor, pemerintah dan masyarakat.

### **Tujuan dan Manfaat Studi Kelayakan**

Tujuan mengapa sebelum suatu usaha atau investasi dijalankan perlu dilakukan studi kelayakan, antara lain:

1. Menghindari Risiko Kerugian  
Masa yang akan datang adalah kondisi ketidakpastian, ada yang dapat diramalkan, ada yang tidak dapat, sehingga fungsi studi adalah meminimalkan risiko.
2. Memudahkan Perencanaan  
Hasil studi akan dapat meramalkan apa yang akan terjadi, maka dengan mudah direncanakan:

- Berapa nilai dana yang diperlukan
  - Kapan investasi akan dilaksanakan
  - Dimana investasi akan dilaksanakan
  - Siapa yang akan melaksanakan
  - Bagaimana cara pelaksanaannya
  - Berapa besar keuntungan yang akan diperoleh
  - Bagaimana mengawasi terhadap penyimpangan yang mungkin terjadi
3. Memudahkan Pelaksanaan Pekerjaan
- Pelaksanaan investasi dapat dilaksanakan secara sistematis, tepat sasaran dan sesuai rencana. Dengan mengetahui gambaran masa yang akan datang, beberapa risiko dapat dipersiapkan pemecahannya.
4. Memudahkan Pengawasan
- Pengawasan dilakukan dalam upaya agar pelaksanaan tidak melenceng dari hasil studi, perencanaan dan pelaksanaan yang kesemuannya sudah mempunyai dasar acuan pelaksanaannya.
5. Memudahkan Pengendalian
- Pengendalian adalah upaya untuk mengarahkan kembali tujuan dari investasi, manakala akan keluar dari tujuan awalnya. Pengendalian harus dapat mendeteksi secara dini berkaitan dengan kegagalan yang berpeluang menimbulkan penyelewengan.

### **Kriteria Penilaian Investasi**

Penilaian Investasi dimaksudkan untuk mengukur layak atau tidaknya suatu investasi dari aspek keuangan. Untuk keperluan tersebut ada beberapa kriteria standar untuk usaha yang sejenis dengan membandingkan terhadap *Rata-rata Industri* atau target yang telah ditentukan.

Kriteria yang dipakai tergantung dari kebutuhan dan penilaian masing-masing perusahaan terhadap metode yang layak dipergunakan. Penilaian dengan menggunakan beberapa metode semakin memberikan gambaran yang lebih lengkap, sehingga diharapkan dapat menghasilkan produk yang lebih sempurna.

Kriteria yang biasa dipergunakan untuk menentukan kelayakan suatu usaha atau investasi, antara lain :

1. Payback Period (PP)
2. Average Rate of Return (ARR)
3. Internal Rate of Return (IRR)
4. Net Present Value (NPV)
5. Profitability Index (PI)

6. Serta berbagai Rasio Keuangan, seperti :
- o Rasio Likuiditas
  - o Solvabilitas
  - o Aktivitas dan profitabilitas

### Daftar Istilah dalam Analisis Keuangan

- **Payback Period (PP)** : Merupakan jangka waktu/ periode yang diperlukan untuk membayar kembali semua biaya-biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi suatu proyek.

#### Indikator Payback Periods :

Semakin cepat kemampuan proyek mampu mengembalikan biaya biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi proyek maka proyek semakin baik (satuan waktu).

- **Average Rate of Return (ARR)** : merupakan cara untuk mengukur rata rata pengembalian bunga dengan cara membandingkan antara rata-rata laba setelah pajak (EAT) dengan rata-rata investasi.

#### Indikator ARR:

Jika nilai Investasi dapat kembali sebelum umur ekonomis berakhir. Pada umumnya, apabila nilai ARR > 40 %, dinyatakan Layak.

- **Internal Rate of Return (IRR)** : merupakan tingkat pengembalian internal yaitu kemampuan suatu proyek menghasilkan pengembalian biaya (satuannya %).

#### Indikator IRR:

Jika IRR > Tingkat Discount rate yg berlaku maka proyek layak ( go ) untuk dilaksanakan.

Jika IRR < Tingkat Discount rate yg berlaku, maka proyek tidak layak (not go) untuk dilaksanakan.

- **Net Present Value (NPV)** : merupakan manfaat bersih tambahan (nilai kini bersih) yang diterima proyek selama umur proyek pada tingkat *discount factor* tertentu.

#### Indikator NPV:

Jika NPV > 0 (positif), maka proyek layak (go) utk dilaksanakan

Jika NPV < 0 (negatif), maka proyek tidak layak (not go) utk dilaksanakan.

- **Profitability Index (PI)** : atau Benefit and Cost Ratio (B/C Ratio) merupakan rasio aktivitas dari jumlah nilai sekarang, penerimaan bersih dengan nilai sekarang, dan pengeluaran investasi selama umur investasi.

#### Indikator PI:

Apabila PI > dari 1 atau 100 % maka diterima

Apabila PI < dari 1 atau 100 % maka ditolak

**Rasio Keuangan** : adalah salah satu teknik dalam menganalisis laporan keuangan, diantaranya dengan penghitungan rasio likuiditas, rasio solvabilitas, dan rasio rentabilitas. **Dengan** mengetahui tingkat likuiditas, solvabilitas dan rentabilitas maka dapat menunjukkan kemampuan perusahaan dalam menghasilkan keuntungan serta mengetahui kemampuan perusahaan untuk dapat memenuhi kewajibannya, baik kewajiban jangka pendek maupun jangka panjang.

**Rasio Likuiditas** : merupakan suatu indikator mengenai kemampuan perusahaan membayar semua kewajiban finansial jangka pendek pada saat jatuh tempo dengan menggunakan aktiva lancar yang tersedia.

**Solvabilitas** : merupakan rasio yang mengukur kemampuan Perusahaan untuk membayar semua kewajibannya baik kewajiban jangka pendek maupun kewajiban jangka panjang.

**Solvabilitas** suatu perusahaan menunjukkan kemampuan perusahaan untuk memenuhi segala kewajiban finansialnya apabila sekiranya perusahaan tersebut pada saat itu dilikuidasi.

#### **Aktivitas dan profitabilitas :**

Rasio **Aktivitas** adalah rasio yang menggambarkan kemampuan serta efisiensi perusahaan dalam menghasilkan penjualan dengan kemampuan aktiva yang dimiliki.

Rasio **Profitabilitas** adalah rasio yang menggambarkan kemampuan perusahaan dalam menghasilkan laba dengan kemampuan dan sumber yang dimiliki.

**Investasi** : penanaman modal dalam suatu kegiatan. Investasi sering juga diartikan sebagai program kegiatan (proyek).

**Modal Kerja** : adalah dana yang ditanamkan dalam aktiva lancar, dapat berupa kas, piutang, surat – surat berharga, persediaan dan lain-lain. Modal kerja bruto adalah keseluruhan dari aktiva/ harta lancar yang terdapat dalam sisi debet neraca. Modal kerja neto adalah keseluruhan harta lancar dikurangi utang lancar. Dengan perkataan lain modal kerja neto adalah selisih antara aktiva lancar dikurangi dengan hutang lancar.

**Umur Ekonomis** : Umur ekonomis adalah Depresiasi atau penyusutan dalam akuntansi adalah penyebaran biaya asal suatu aktiva tetap (bangunan, alat, komputer, dll) selama umur perkiraannya. Penerapan depresiasi akan mempengaruhi laporan keuangan, termasuk penghasilan kena pajak suatu perusahaan.

#### **Penyusutan :**

Atau depresiasi dalam akuntansi adalah alokasi sistematis jumlah yang dapat disusutkan dari suatu aset selama umur manfaatnya, atau menurunnya nilai ekonomi suatu aset.

**Contoh :**

Anda membeli sebuah motor seharga Rp 15 juta, tahun depan harga motor tersebut akan berkurang menjadi Rp14,5 juta, tahun berikutnya menjadi Rp14 juta. Nah ini lah yang disebut depresiasi yaitu penurunan nilai barang akibat penggunaan dan umurnya.

**Cost of Capital** : adalah **biaya riil** yang harus dikeluarkan oleh perusahaan untuk memperoleh dana baik hutang, saham preferen, saham biasa, maupun laba ditahan untuk mendanai suatu investasi perusahaan.

**Discount Factor** : adalah bilangan yang diperoleh dari :  $DF_n = \frac{1}{(1+r)^n}$

**Earn After Tax (EAT)** : nilai laba (pendapatan) setelah dikeluarkan sebagian untuk pajak.

**Cash Flow** : (aliran kas) merupakan sejumlah uang kas yang keluar dan yang masuk sebagai akibat dari aktivitas perusahaan. Dengan kata lain adalah aliran kas yang terdiri dari aliran masuk dalam perusahaan dan aliran kas keluar perusahaan serta berapa saldo setiap periode.

**Akumulasi** : pengumpulan; penimbunan; penghimpunan atau tambahan secara periodik suatu dana dari bunga atau tambahan lain pada tambahan laba neto pada laba yang ditahan.

**Interpolasi** : penyisipan kata, kalimat, atau nilai, dalam susunan data atau naskah.

**Kas Bersih (Proceed)** : adalah penjumlahan antara pendapatan setelah dikurangi pajak (EAT) dengan nilai penyusutan investasi tiap tahun.

**Present Value Interest Factor For A One Dollar Annuity (PVIFA)** : adalah nilai yang dipergunakan dalam perhitungan Discount Factor yang tersaji dalam bentuk Tabulasi.

**Tingkat Bunga** : Bunga adalah imbal jasa atas pinjaman uang. Imbal jasa ini merupakan suatu kompensasi kepada pemberi pinjaman atas manfaat kedepan dari uang pinjaman tersebut apabila diinvestasikan. Jumlah pinjaman tersebut disebut "pokok utang" (*principal*). Persentase dari pokok hutang yang dibayarkan sebagai imbal jasa (bunga) dalam suatu periode tertentu disebut "**suku bunga**".

**Rasio Tingkat Pengembalian Investasi (Return on Investment, ROI)** : metode untuk mengetahui tingkat sampai seberapa jauh aset yang digunakan dapat menghasilkan laba.

**Contoh Kasus :**

PDAM Tirta Pancar, akan melakukan Penggantian 50 Unit Pompa dengan :

- Nilai investasi Rp. 5.000.000.000,-,
- Modal kerja yang tersedia senilai Rp. 1.000.000.000,-.
- Umur ekonomis ditentukan selama 5 tahun
- Penyusutan dengan metode garis lurus tanpa nilai sisa.
- Pengembalian tingkat bunga yang diinginkan (cost of capital) adalah 20 %.
- Perkiraan laba sesudah pajak (EAT) selama 5 tahun masing-masing:
  1. Rp. 950.000.000,-
  2. Rp. 1.100.000.000,-
  3. Rp. 1.250.000.000,-
  4. Rp. 1.400.000.000,-
  5. Rp. 1.650.000.000,-

**Buat :**

1. Tabel Cash Flow selama umur ekonomi
2. Perhitungan Nilai :
  - a. Payback Period (PP)
  - b. Average Rate of Return (ARR)
  - c. Net Present Value (NPV)
  - d. Internal Rate of Return (IRR)
  - e. Profitability Index (PI)

*Catatan : Jawaban Terlampir*

**9.3. PEMBUATAN LAPORAN PROGRAM EFISIENSI ENERGI**

**Sasaran :** Melaporkan Hasil Pelaksanaan Program Efisiensi Energi yang pernah dilaksanakan.

1. Melaporkan kegiatan yang berhubungan dengan Efisiensi Energi yang pernah dilaksanakan.
2. Mengadakan evaluasi tingkat keberhasilan Program Efisiensi Energi yang telah dilaksanakan.
3. Memberi gambaran korelasi (hubungan) antara kegiatan yang telah dilaksanakan terhadap teori Audit Efisiensi Energi.
4. Mengungkapkan hambatan/ kendala dalam pelaksanaan Efisiensi Energi di lapangan.
5. Memberi saran penyempurnaan untuk masa yang akan datang.

**Hasil Monitoring dan Evaluasi Efisiensi Energi**

Dari hasil pelatihan Efisiensi Energi ini, diharapkan Peserta mampu melakukan Monitoring dan Evaluasi, sehingga mampu menjawab:

1. Berapa nilai penggunaan energi dalam satu bulan atau satu tahun ? kWh/bl
2. Diantara sistem yg ada, mana yg paling besar penggunaan energinya? Rangkling Penggunaan Terbesar
3. Dari sistem yang sejenis, mana yg paling boros ? Ranking Boros
4. Berapa hasil (air) yg diperoleh (produk) tiap penggunaan 1 kWh energi? kWh/m<sup>3</sup>
5. Berapa harga per kWh listrik? Rp/kWh
6. Berapa Denda tiap bulan yang dikenakan kepada sistem? Rp/bulan
7. Berapa besar nilai energi terhadap pengeluaran total? Rp Energi/ Rp Total Produksi
8. Untuk tiap m<sup>3</sup> air, diperlukan berapa rupiah? Rp/m<sup>3</sup>
9. Setelah penghematan, berapa kWh yg dapat diturunkan?  $\Delta$  kWh/bl
10. Berapa rupiah uang dapat diselamatkan?  $\Delta$  Rp/bl
11. Apakah penggunaan energi listrik semakin naik?  $\Delta$  kWh/bl
12. Apakah biaya energi semakin memberatkan?  $\Delta$  Rp/bulan

#### **TAHAPAN DALAM PELAKSANAAN PENINGKATAN NILAI EFISIENSI ENERGI**

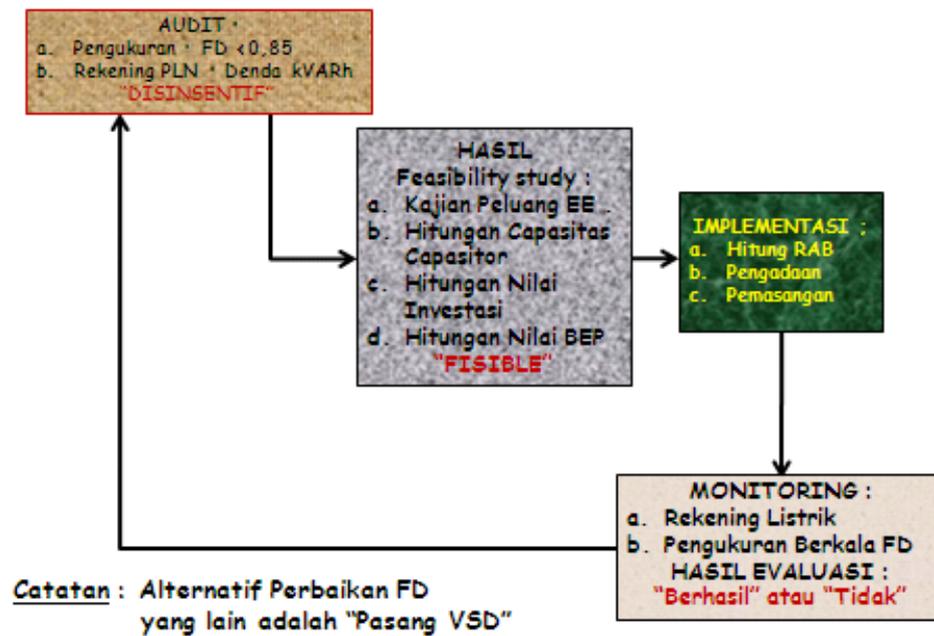
##### **a. Pemasangan Kapasitor Bank atau Variable Speed Drive**

Permasalahan munculnya nilai Daya Reaktif Induktif yang menyebabkan timbulnya denda PLN terhadap beberapa Golongan Pelanggan yang mempunyai nilai Faktor Daya kurang dari 0,85, dapat diperbaiki dengan:

- o Pemasangan kapasitor bank, atau
- o Pemasangan variable speed drive

yang mampu menghasilkan daya reaktif kapasitif yang berlawanan, sehingga memperbaiki nilai Faktor Daya.

Tahapan perbaikan Faktor Daya dapat dilakukan, sebagai berikut :



Gambar 9.1 Tahapan Pemasangan Kapasitor Bank

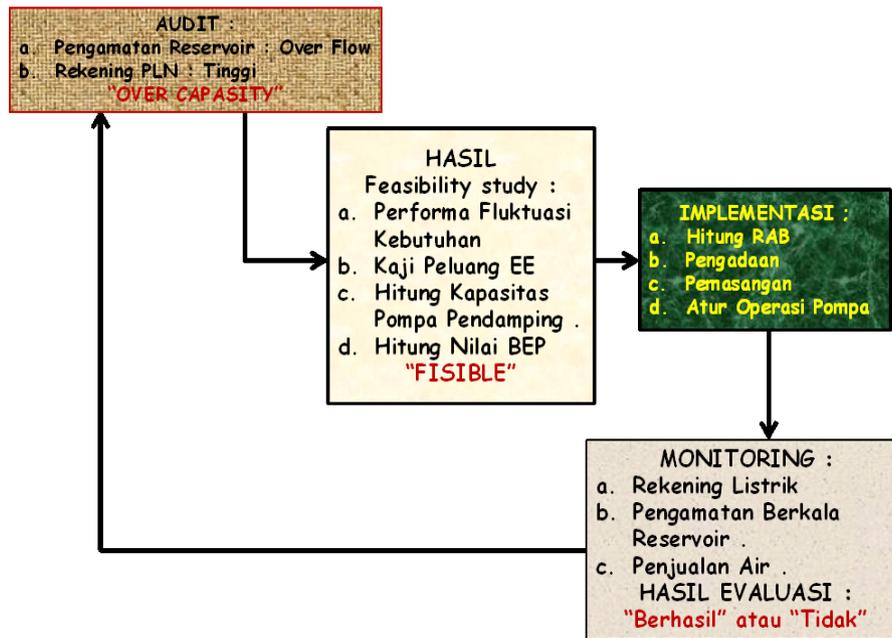
## b. Pemasangan Pompa Pendamping

Kebutuhan air untuk pelayanan berfluktuasi tiap waktu. Fluktuasi kebutuhan/ kapasitas air oleh konsumen tersebut dapat diukur dengan pengamatan keluaran pada reservoir atau pompa dengan menggunakan peralatan *Logger* atau Meter Air, Ultrasonic Flow Meter dan sejenisnya. Perubahan kapasitas tersebut sebaiknya dilakukan tiap jam minimal dalam kurun waktu 24 jam agar diperoleh nilai Faktor Kebutuhan Rata-rata, Ringan serta Faktor Kebutuhan Puncak.

Pada saat kebutuhan puncak, ada kemungkinan pompa yang terpasang (eksisting) tidak mampu memenuhi, atau sebaliknya bahwa pompa eksisting terlalu besar kapasitasnya terlalu besar saat kebutuhan pelayanan biasa atau ringan. Untuk menghemat penggunaan energi, maka dapat dilakukan berbagai upaya, antara lain:

1. Pemasangan Pompa Pendamping,
2. Pemasangan Variable Speed Drive,
3. Pengaturan Katup Utama,
4. Modifikasi impeller,
5. Dll .

Tahapan penghematan energi tersebut dapat dilakukan, sebagai berikut:



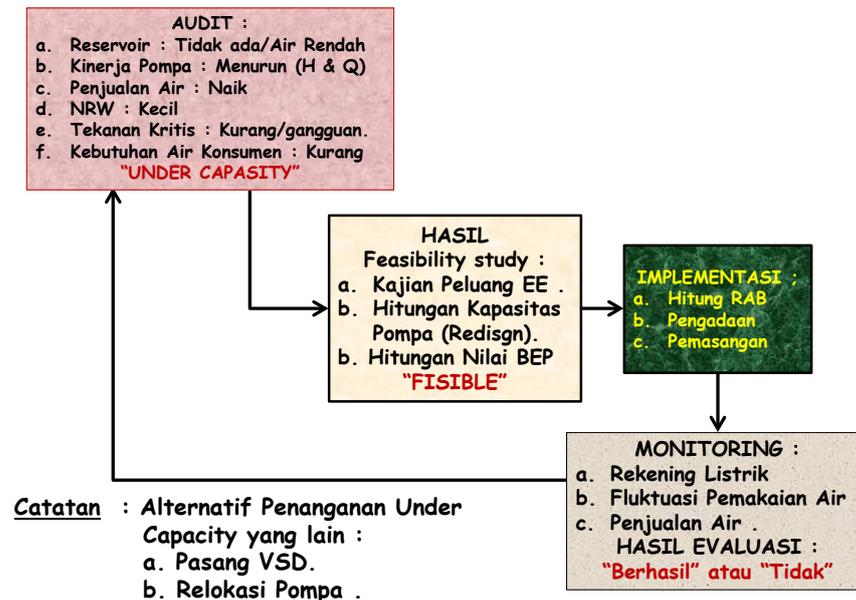
Gambar 9.2 Tahapan Pemasangan Pompa Pendamping

### c. Penggantian Pompa

Audit energi dapat menghasilkan nilai kinerja sistem yang sudah kurang baik. Apabila kondisi tersebut terus dilakukan, akan semakin banyak menggunakan energi, sementara hasil yang diperoleh semakin berkurang. Nilai tersebut dapat diukur dengan membandingkan antara nilai penggunaan energi terhadap produk yang dihasilkan sistem. Rendahnya kinerja sistem tersebut bisa jadi karena motor listrik atau fisik pompa, yang pada umumnya sudah berusia lanjut, yang kadangkala juga diikuti dengan ketidakmampuan memenuhi kebutuhan air untuk pelayanan. Kondisi semacam ini banyak dialami oleh beberapa PDAM. Beberapa PDAM sebagian besar memilih melakukan operasi pompa secara paralel, meskipun kapasitas yang dihasilkan bukan merupakan jumlah matematis.

Alternatif yang lebih menjanjikan untuk masa depan adalah dengan mengganti pompa eksisting dengan kapasitas yang dapat diperhitungkan untuk beberapa tahun ke depan, berdasarkan proyeksi beban kebutuhan nyata saat ini.

Tahapan penggantian pompa tersebut dapat dilakukan, sebagai berikut:



**Gambar 9.3 Tahapan Penggantian Pompa**

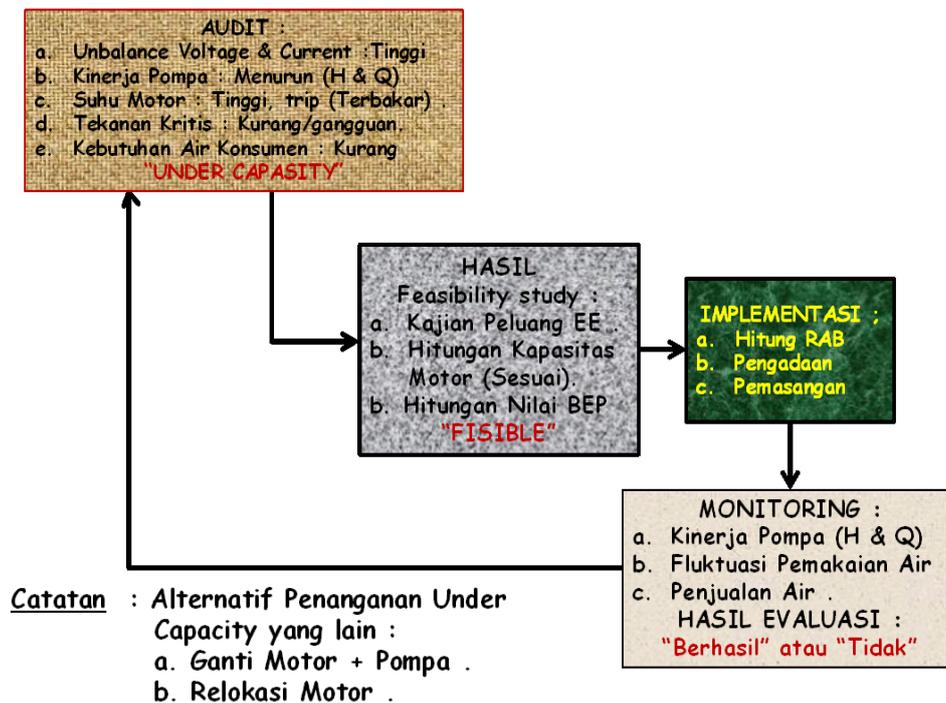
#### d. Penggantian Motor

Motor listrik atau elektromotor adalah perangkat pembangkit tenaga putar bagi sistem pompa. Kinerja sistem pompa sangat tergantung dari tenaga putar yang dihasilkan oleh motor listrik. Kinerja motor listrik dipengaruhi oleh kondisi pembangkit putaran, yang terdiri dari pembangkit fluks magnet dan keutuhan insulasi (belitan) penghantar penghasil tenaga putar. Nilai kinerja dapat dilakukan dengan audit sederhana guna memperoleh nilai Unbalance Tegangan atau Kuat Arus, pemantauan suhu motor, serta suara yang mungkin ditimbulkan oleh gesekan komponen pada motor listrik.

Apabila kondisi motor listrik menunjukkan nilai yang jauh dari kriteria standar yang ditetapkan, maka sudah waktunya dilakukan:

1. Penurunan beban kerja motor,
2. Relokasi motor, atau
3. Penggantian motor, dengan kapasitas yang disesuaikan dengan kondisi nyata saat ini.

Tahapan penggantian motor tersebut dapat dilakukan, sebagai berikut:



Gambar 9.4 Tahapan Penggantian Motor

**Catatan:**

Alternatif Penanganan Over Capacity yang lain:

- Pasang VSD/ Penurunan kecepatan Putar Pompa.
- Peningkatan Kinerja Reservoir (Redesign).
- Operasikan Pompa Cadangan secara Paralel.
- Operasi Penutupan Katup (kecil).
- Modifikasi Pengurangan Diameter Impeler.
- Modifikasi Pengurangan Jumlah Sudu (Impeler).
- Modifikasi Pengurangan Sudut Sudu (Pompa Axial/ Campur).
- Susun Sistem Pompa Baru (Redesign).

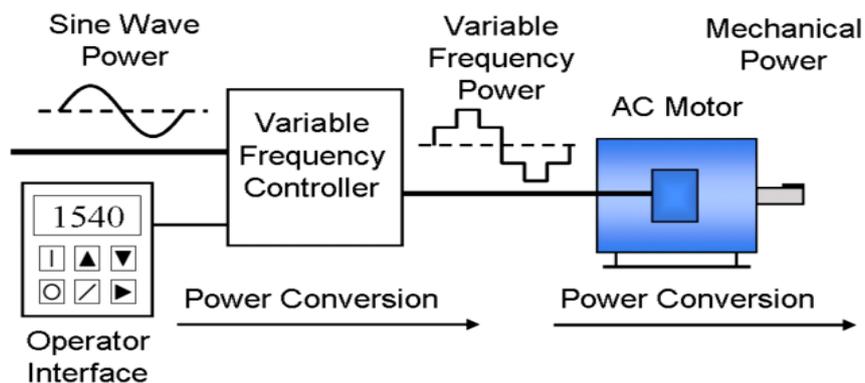
**BAB X**  
**PENINGKATAN LEBIH JAUH UNTUK EFISIENSI ENERGI**  
**DAN BIAYA OPERASIONAL**

## BAB 10 PENINGKATAN LEBIH JAUH UNTUK EFISIENSI ENERGI DAN BIAYA OPERASIONAL

### 10.1. RENCANA PENINGKATAN LAIN UNTUK EFISIENSI ENERGI

#### 10.1.1. Pengenalan Pompa VSD: AC Inverters/Variable Speed Drives (VSD).

Penting untuk mengkaji kemungkinan penghematan energi dengan cara mengganti metode pengendalian pompa dari kendali jumlah/volume ke *variable system drives*.



Gambar 10.1 *Variable Speed Drives (VSD)*

#### 10.1.2. Instalasi Listrik (Gardu induk, *phase-advancing capacitor*, dan sebagainya)

Untuk mengurangi *loadloss/non-loadloss* pada instalasi listrik, diperlukan kajian untuk memperkenalkan transformer berefisiensi tinggi dan untuk mengoptimalkan kapasitas dan konfigurasi peralatan.

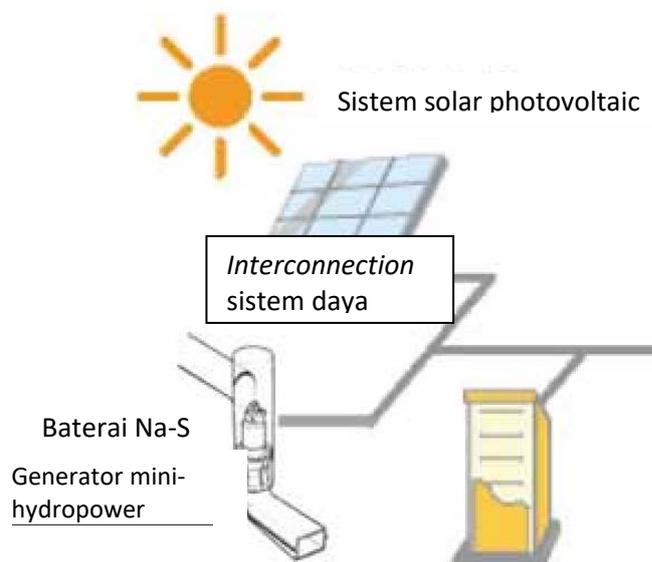


Gambar 10.2 Transformer berefisiensi tinggi

### 10.1.3. Pengenalan Energi Terbarukan

Secara umum, instalasi pengolahan air terletak pada area yang luas dan oleh karena itu, area tersebut cocok untuk pemasangan sistem solar photovoltaic / tenaga surya. Selain itu, terdapat sumber air gravitasi yang besar dan oleh karena itu sangat direkomendasikan untuk pemasangan sistem generator mini-hydropower di sumur penerima pada beberapa instalasi pengolahan air.

Pengenalan sistem ini memiliki banyak efek tidak langsung seperti penyebaran kesadaran lingkungan, profil eksternal, dan lainnya di luar dari efek langsung. Pengambilan keputusan harus didasarkan pada sudut pandang komprehensif seperti itu

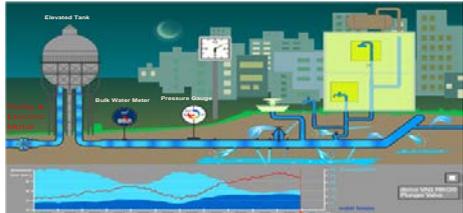


**Gambar 10.3 Sistem penyimpanan daya listrik pada baterai Na-S dengan energi terbarukan**

## 10.2. PENGURANGAN BIAYA OPERASIONAL

Untuk mendapatkan pengurangan biaya secara total, selain melakukan efisiensi energi, analisis dan aktivitas lain juga perlu dipertimbangkan.

Tabel 10.1 Penyebab Kebocoran Air dan Tindakan Pencegahannya

Penyebab	Deskripsi	Catatan
<p>Tekanan tinggi</p>	<p>Sistem distribusi gravitasi dan reservoir gravitasi</p>  <p>Distribution Elevated Tank Reference: Vientiane, Laos</p> <p>Distribution Elevated Tank Reference: Hofu City, Yamaguchi Pref., Japan</p>  <p>Sistem distribusi gravitasi dapat mengurangi frekuensi operasi pompa namun meningkatkan kebocoran air pada malam hari.</p>	<p>Pompa booster dan sistem pengurang tekanan</p>  <p>Distribution Booster Pump Reference: Km 6 Pumping Station, Vientiane, Laos</p>  <p>Distribution Booster Pump Reference: Hofu City, Yamaguchi Pref., Japan</p>  <p>Tekanan air dapat dimaksimalkan dengan menerapkan pompa booster dan alat-alat pengurang tekanan.</p>
<p>Sistem pipa <i>decrepit</i> dan/atau perlengkapan</p>	<p>Sistem pipa <i>decrepit</i> dan/atau perlengkapan untuk menyebabkan kebocoran air</p>  <p>Reference: www.pipa.org (Solomon Islands)</p> <p>Reference: www.its.unj.ac.id (Bandung City in Indonesia)</p> <p>Kebocoran dari segel gland</p>  <p>Reference : Distribution Pump (Jordan)</p>	<p>Pekerjaan inspeksi kebocoran</p>  <p>Pekerjaan perbaikan dengan bagian pengganti</p> 

### 10.2.1. Sistem Tarif Listrik, Analisis Faktor Daya

Kajian yang teliti harus dilakukan terhadap *charge* daya, struktur laju listrik termasuk tarif dasar, kuantitas potongan harga dan/atau premium, laju *off-peak*, penalti pada faktor daya, dan sebagainya



**Gambar 10.4** Efek sinergis antara berbagai analisis dan aktifitas

### 10.2.2. Peningkatan berlanjut terhadap EE dengan PDCA

Peningkatan efisiensi energi harus didasarkan pada konsep peningkatan berkelanjutan. Menerapkan pengelolaan energi satu kali saja tidak cukup. Peningkatan konstan, pembaruan dan pemeriksaan berkala akan membentuk dasar yang kuat. Prosedur ini diterapkan di model PDCA. PDCA merupakan singkatan dari: Plan (Rencanakan) – Do (Lakukan) – Check (Periksa) – Act (Beraksi).

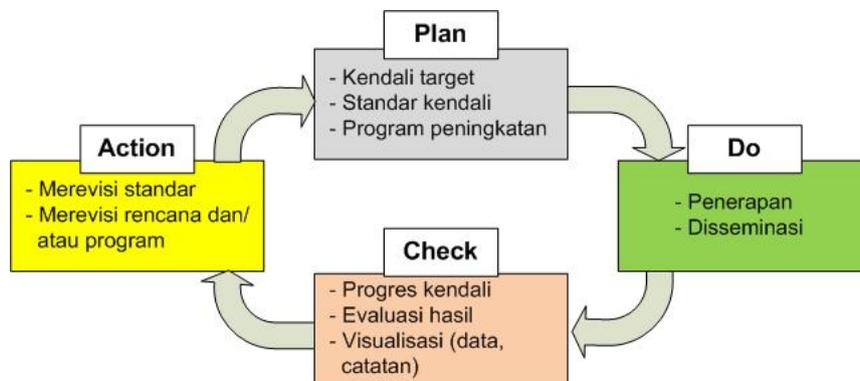
**P** untuk Plan: Perencanaan energi adalah hal pertama yang harus dilakukan. Ini merupakan penentuan dari dasar energi awal, indikator performa energi (EnPIs), tujuan strategis dan operatif energi, dan rencana penerapan. Konsumsi energi pada area berbeda di perusahaan ditentukan dengan menggunakan kajian ini. Data-data dan evaluasi tersebut membentuk dasar dari proses peningkatan berikut. Hal tersebut juga memungkinkan identifikasi potensi peningkatan efisiensi energi.

**D** untuk Do: Dalam fase ini, perencanaan dan penerapan dilakukan berdasarkan tujuan peningkatan. Indikator dan tujuan untuk performa energi ditentukan berdasarkan hasil penilaian energi. Dalam melakukan hal tersebut, perencanaan aksi juga dibuat, di mana tujuan untuk peningkatan performa energi dapat dicapai. Perencanaan yang telah dibuat sebelumnya juga diterapkan pada fase ini.

**C** untuk Check: Aksi baru memiliki nilai jika menghasilkan hasil yang diharapkan. Rencana yang dilakukan pada fase “Do” harus diperiksa secara berkelanjutan untuk memastikan efektivitasnya. Untuk melakukannya, proses yang signifikan terhadap performa energi dimonitor dan diukur dalam fase ini. Hasilnya dibandingkan dengan tujuan yang telah dibuat sebelumnya.

**A** untuk Act: Pengukuran konstan dibagi menjadi laporan. Hal ini membangun dasar untuk studi lanjutan yang akan meningkatkan performa energi dan EMS.

PDCA – Peningkatan yang berkelanjutan dapat dilihat di siklus berikut. Fase-fase tersebut saling tumpang tindih dan oleh karena itu dapat memastikan pergerakan dan pembaruan konstan.



**Gambar 10.5 Siklus PDCA**

# **BAB XI**

## **KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA**

## BAB 11 KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3)

### 11.1. PENDAHULUAN

Penyelenggaraan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) di suatu intitusi/ perusahaan diawasi oleh Pemerintah, yang didasarkan pada Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER.02/MEN/1980 tentang Pemeriksaan Kesehatan Tenaga Kerja dalam Penyelenggaraan Kesehatan Kerja.

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan instrumen yang memproteksi pekerja, perusahaan, lingkungan hidup, dan masyarakat sekitar dari bahaya akibat kecelakaan kerja. Perlindungan tersebut merupakan hak asasi yang wajib dipenuhi oleh perusahaan. K3 bertujuan mencegah, mengurangi, bahkan menihilkan risiko kecelakaan kerja (*zero accident*). Penerapan konsep ini tidak boleh dianggap sebagai upaya pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja yang menghabiskan banyak biaya (*cost*) perusahaan, melainkan harus dianggap sebagai bentuk investasi jangka panjang yang memberi keuntungan yang berlimpah pada masa yang akan datang.

Begitu pula kegiatan Audit Efisiensi Energi dalam Sistem Penyediaan Air Bersih tidak lepas dari peralatan/ mesin Pompa sebagai piranti pemacu aliran, mekanis penggeraknya maupun sistem pengaliran air, sehingga ruang lingkup bahasan meliputi pengaruh kinerja piranti hidrolika, mekanikal dan elektrikal. Faktor lingkungan kerja yang diartikan sebagai potensi-potensi bahaya yang kemungkinan terjadi di lingkungan kerja akibat adanya suatu proses kerja, dimungkinkan akan terjadi pada kegiatan audit energi, antara lain :

#### 1) Lingkup Mekanikal

- a. Sengatan Panas Mesin/ peralatan
- b. Belitan Poros yang berputar
- c. Hisapan gas buang yang beracun
- d. Benturan/ pukulan/ jatuhnya benda yang terbuat dari metal
- e. Ketulian sebagai dampak kebisingan yang berlebihan
- f. Cedera akibat energi lethal dalam bentuk momen
- g. Perubahan posisi organ tubuh yang diakibatkan getaran
- h. Tergelincir akibat tetesan minyak pelumas

#### 2) Lingkup Elektrikal

- a. Sengatan listrik secara langsung atau tidak langsung (kebocoran isolasi)
- b. Cedera akibat munculnya energi laten kapasitor

- c. Kebakaran, sebagai akibat dari ketidakmampuan proteksi dan alarm
- d. Percikan api yang disebabkan oleh kedornya ikatan pada terminal
- e. Insiden yang disebabkan oleh ketidakrapian dan kedisiplinan pemasangan kabel
- f. Overload akibat tambahan potensial dari petir

### 3) Lingkup Hidrolika

- a. Tenggelam pada kolam/ reservoir/ intake
- b. Terpukul/ terjangan air akibat peristiwa water hammer
- c. Tergelincir pada lantai kerja yang tergenang air
- d. Terperangkap dalam bak yang terkunci secara alami
- e. Pukulan benda/ metal akibat pecahnya tangki tekan yang tidak kuat menahan tekanan kerja
- f. Terjepit katup saat pengoperasian
- g. Basah oleh hamburan air karena bocor
- h. Cedera (luar/ dalam) akibat sifat/ pengaruh bahan kimia

Atas dasar pertimbangan tersebut di atas, maka bagi para auditor/ operator dan pengunjung instalasi energi perlu memahami dan mematuhi petunjuk keselamatan kerja (K3) yang sudah dibakukan dan dianjurkan untuk dilaksanakan dengan baik.



Gambar 11.1 Himbauan

## 11.2. PENGERTIAN DAN DEFINISI

### 1 Definisi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

K3 adalah Ilmu dan Penerapan Teknologi pencegahan kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja.

## 2 Tujuan Pengawasan Lingkungan Kerja

### *Upaya perlindungan kepada:*

- a. Tenaga kerja
- b. Orang lain
- c. Barang
- d. Produk
- e. Peralatan dan mesin

## 3 Penyebab terjadinya Kecelakaan Kerja, antara lain :

- a. Tindakan/ perbuatan yang tidak aman (berbahaya), dan atau
- b. Kondisi lingkungan yang tidak aman

## 4 Pengertian Tindakan yang Tidak Aman

Adalah suatu pelanggaran terhadap prosedur keselamatan yang berpeluang menimbulkan suatu kecelakaan.

## 5 Pengertian Kondisi yang Tidak Aman

Adalah suatu kondisi fisik atau keadaan berbahaya yang mungkin dapat langsung mengakibatkan terjadinya kecelakaan.

## 6 Alasan mengapa kita perlu melakukan penerapan K3

- a. Pekerja adalah tumpuan/ harapan keluarga.
- b. Keluarga mengharapkan Pekerja selamat dalam melaksanakan suatu pekerjaan.
- c. Kecelakaan yang diderita pekerja merupakan beban/ tanggungan keluarga.
- d. Kecelakaan dapat berdampak pada penderitaan yang berkepanjangan, baik oleh dirinya sendiri maupun keluarga.

## 7 Perbuatan tidak aman yang dilakukan oleh pekerja, disebabkan oleh :

- a. Kurangnya Pengetahuan
- b. Kurangnya Keterampilan/ Pengalaman
- c. Tidak ada kemauan untuk berbuat aman
- d. Faktor Kelelahan

## 8 Jenis pekerjaan yang tidak sesuai dapat mengakibatkan gangguan psikis

- a. Gangguan Mental
- b. Kesalahan, sifat dan tingkah laku manusia

## 9 Perbuatan Berbahaya (*Unsafe Action*)

- a. Menjalankan mesin/ peralatan tanpa kewenangan
- b. Menjalankan mesin/ peralatan pada kecepatan yang tidak semestinya

- c. Membuat alat pengaman tidak berfungsi
- d. Lalai dalam menggunakan Alat Pelindung Diri
- e. Mengangkat barang dengan cara yang salah
- f. Mengambil posisi pada tempat yang berbahaya
- g. Membetulkan mesin dalam keadaan berjalan
- h. Lalai memberikan peringatan atau lupa mengamankan tempat kerja
- i. Bersenda gurau tidak pada tempatnya
- j. Memaksakan diri bekerja walaupun sakit
- k. Merancang/ memasang peralatan tanpa pengaman

#### 10 Insident (Kontak)

- a. **Struck against:** Menabrak/ membentur benda yang diam/ bergerak
- b. **Struck by:** Terpukul/ tertabrak benda yang bergerak
- c. **Fall to:** Jatuh dari tempat yang lebih tinggi
- d. **Fall on:** Jatuh di tempat yang datar
- e. **Caught on:** Terjepit/ tertangkap/ terjebak diantara objek besar
- f. **Caught in:** Tertusuk/ terjepit /tercubit Benda Runcing
- g. **Caught between:** Terpotong/ Hancur/ Remuk
- h. **Contact with:** Listrik/ Kimia/ Radiasi/ Panas/ Dingin
- i. **Over stress:** Terlalu Berat/ Besar/ Tinggi/ Cepat
- j. **Equipment failure:** Kegagalan Mesin/ Peralatan
- k. **Environmental release:** Masalah Pencemaran Lingkungan



Gambar 11.2 Peringatan meletakkan tangan yang selamat

### 11.3. FAKTOR PENGARUH DALAM PELAKSANAAN K3

#### 1. Lemahnya Kontrol

- a. Lemahnya Pengendalian
- b. Program tidak sesuai
- c. Standar tidak sesuai
- d. Kepatuhan terhadap standar

#### 2. Penyebab Dasar Kecelakaan Kerja

##### a. Faktor Pribadi

- Kemampuan fisik/ fisiologi tidak layak
- Kemampuan mental yang tidak layak
- Stress fisik atau fisiologi
- Stress mental
- Kurang pengetahuan
- Kurang keahlian
- Motivasi tidak layak

##### b. Faktor Kerja

- Pengawasan/ kepemimpinan
- Engineering
- Pengadaan (purchasing)
- Kurang peralatan
- Maintenance
- Standar kerja
- Salah pakai/ penggunaan

#### 3. Penyebab tidak langsung

##### a. Perbuatan yang Tidak Aman

- Operasi tanpa otorisasi (kewenangan)
- Gagal memperingatkan
- Gagal mengamankan
- Kecepatan tidak layak
- Membuat alat pengaman tidak berfungsi
- Pakai alat yang sudah rusak
- Pakai APD yang tidak layak
- Pemuatan yang tidak layak
- Penempatan (peralatan/ mesin/ barang) yang tidak layak

- Mengangkat (barang) dengan tidak layak
- Posisi tidak aman
- Servis peralatan/ mesin yang sedang beroperasi
- Bekerja sambil bercanda/ main-main
- Dalam kondisi mabuk obat/ alkohol
- Gagal mengikuti prosedur

**b. Kondisi yang Tidak Aman**

- Pelindung/ pembatas yang tidak layak
- APD kurang/ tidak layak
- Peralatan rusak
- Ruang kerja sempit/ terbatas
- Sistem peringatan kurang
- Terjadi/ bahaya kebakaran
- Kebersihan/ kerapian kurang
- Kebisingan
- Terpapar radiasi
- Temperatur ekstrim
- Penerangan tidak layak
- Ventilasi tidak layak
- Lingkungan tidak aman

**c. Faktor yang Mempengaruhi Kesehatan Tenaga Kerja**

c1. Beban Kerja

- Fisik
- Mental

c2. Kapasitas Kerja

- Keterampilan
- Kesegaran Jasmani & Rohani
- Status kesehatan/ gizi
- Usia
- Jenis kelamin
- Ukuran tubuh

c3. Lingkungan Kerja

- Fisik
- Kimia

- Biologi
- Ergonomik
- Psikologi

**4. Potensi bahaya dapat berasal dari :**

- a. Mesin, pesawat, alat kerja, bahan dan energi
- b. Lingkungan kerja
- c. Sifat pekerjaan
- d. Cara kerja
- e. Proses produksi



**Gambar 11.3 Peringatan kecelakaan**

**11.4. NILAI AMBANG BATAS GANGGUAN DI TEMPAT KERJA**

Nilai ambang Batas adalah standar nilai gangguan yang diijinkan dalam rangka perlindungan tenaga kerja terhadap timbulnya risiko-risiko bahaya akibat pemaparan faktor bahaya (fisika, kimia dll), sekaligus meningkatkan derajat kesehatan kerja di tempat kerja sebagai bagian dari pemenuhan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja.

Nilai ambang Batas ditetapkan oleh Kementerian Tenaga Kerja, sebagaimana diuraikan dalam **PERATURAN MENTERI TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI NOMOR PER.13/MEN/X/2011 TAHUN 2011 TENTANG NILAI AMBANG BATAS FAKTOR FISIKA DAN FAKTOR KIMIA DI TEMPAT KERJA.**

**1. Faktor-faktor Lingkungan Kerja**

- a. **Fisika:** Bising, Getaran, Radiasi, Penerangan kurang baik, Temperatur ekstrim
- b. **Kimia:** Debu, Gas, Uap, Asap, Kabut
- c. **Biologi:** Virus, Bakteri, Jamur, Parasit, Insect

- d. **Ergonomi:** Tenaga terlalu diforsir, Berdiri lama/ berlebihan, Salah gerakan, Angkat beban terlalu berat, Job monotony
- e. **Psikologi:** Hubungan dengan orang, Hubungan dengan pekerjaan, Hubungan dengan lingkungan kerja

## 2. Faktor Fisika

### a. Kebisingan

**Nilai Ambang Batas (NAB) : 85 dB**

#### **Dampak Kebisingan**

- Trauma akustik : kerusakan gendang telinga secara mendadak yang diakibatkan oleh energi suara yang berlebihan
- Ketulian sementara
- Ketulian permanen
- Gangguan komunikasi
- Gangguan psikologi

#### **Pengendalian Kebisingan**

- Design mesin yang baik (pembatasan losses, pelumasan, pendinginan, penyerapan, getaran, penyaringan, penutupan kebocoran)
- Pengoperasian alat sesuai dengan kemampuan mesin
- Merawat mesin secara teratur
- Rotasi pekerjaan
- Ruang kontrol
- Penyelenggaraan pelatihan dan pendidikan
- Pemeriksaan kesehatan pemantauan lingkungan kerja (pengukuran intensitas kebisingan)
- Alat pelindung diri (sumbat telinga ear plug/ tutup telinga ear muff)

Tabel 11.1 Nilai Ambang Batas Kebisingan

Waktu Pemajanan Per hari		Intensitas Kebisingan (dB.A)
8	Jam	85
4	Jam	88
2	Jam	91
1	Jam	94
30	Menit	97
15	Menit	100
7,5	Menit	103
3,75	Menit	106
1,88	Menit	109
0,94	Menit	112
28,12	Detik	115
14,06	Detik	118
7,03	Detik	121
3,52	Detik	124
1,75	Detik	127
0,88	Detik	130
0,44	Detik	133
0,22	Detik	135
0,11	Detik	139

**Catatan :**

- O Tidak diijinkan terpajan 140 walau sesaat.
- O NAB kebisingan ditetapkan sebesar 85 decibel A (dBA).

**b. Iklim Kerja****b1. Sumber Panas**

- Matahari, tanur, dapur, genset, boiler, bejana uap, lighting

**b2. Tekanan Panas dipengaruhi:**

- Sumber panas, radiasi matahari, panas tubuh, kecepatan udara, kelembaban udara

**b3. Suhu Nyaman:**

- 24 s.d. 26 derajat Celsius
- Selisih suhu di dalam dan di luar tidak lebih dari 5 derajat Celsius

## b4. Kelembaban Udara yang baik :

- 65 s.d. 95 %

Tabel 11.2 Nilai Ambang Iklim Kerja (ISBB yang diperkenankan)

Pengaturan Waktu Kerja Setiap Jam		ISBB (° C)		
		Beban Kerja		
Waktu Kerja	Waktu Istirahat	Ringan	Sedang	Berat
Kerja Terus Menerus (8 Jam/Hari)	-	30,0	26,7	25,0
75 %	25 %	30,6	28,0	25,9
50 %	50 %	31,4	29,4	27,9
25 %	75 %	32,2	31,1	30,0
		Butuh Kalori : >350 s.d. 500 kCal/Jam	Butuh Kalori : >200 s.d. 350 kCal/Jam	Butuh Kalori : 100 s.d. 200 kCal/Jam

ISBB = Indeks Suhu Basah dan Bola (Wet Bulb Globe Temperature Index)

## b5. Dampak Iklim Kerja yang Buruk:

- *Prickly heat/heat rash/mikaria rubra*, yaitu timbulnya bintik-bintik merah di kulit dan agak gatal karena terganggunya fungsi kelenjar keringat.
- *Heat Cramps*, yaitu timbulnya kelainan seperti otot kejang dan sakit, terutama otot anggota badan atas dan bawah.
- *Heat Exhaustion*, yaitu tubuh kehilangan cairan dan elektrolit.
- *Heat Stroke*, yaitu heat stress yang paling berat, mengakibatkan thermoregulatory terganggu, jantung berdebar, nafas pendek dan cepat, tekanan darah naik dan turun dan tidak mampu berkeringat, suhu badan tinggi, hilang kesadaran.

## b6. Pengendalian Tekanan Panas:

Dilakukan dengan cara :

- Isolasi sumber panas
- Local Exhaust Ventilation
- Localized cooling at work station
- Ventilasi Umum
- Pemeriksaan kesehatan sebelum kerja, berkala dan secara khusus
- Pengadaan air minum harus disediakan dalam jumlah yang memadai
- Menyenggarakan pelatihan dan pendidikan
- Pengaturan lamanya kerja dan istirahat
- Alat Pelindung Diri: kacamata (goggles), topi, celemek, pakaian kerja yang dilapisi aluminium, sarung tangan dari kulit atau gauunlets, sepatu kerja

**c. Ventilasi**

- c1. Penting untuk meningkatkan dan memelihara kualitas udara di tempat kerja.
- c2. Tujuan :
  - Meningkatkan dan mempertahankan kondisi udara agar tetap segar dan nyaman.
  - Menurunkan kadar kontaminan di udara.
- c3. Nilai **Ambang Batas**:
  - Pergantian udara per jam di pabrik: 6 kali/jam
  - Volume udara setiap orang: 18 m<sup>3</sup>/jam/orang

**d. Penerangan (iluminasi)**

- d1. **Penerangan yang baik apabila**:
  - Tidak menyilaukan
  - Tidak menimbulkan panas berlebihan
  - Tidak menghasilkan gas
  - Tidak menimbulkan bayangan kontras
  - Tidak berkedip
  - Pencahayaannya rata
- d2. **Sumber Penerangan** :
  - Cahaya alam: Matahari : Luas Jendela 1/6 s.d. 1/10 luas lantai.
  - Cahaya buatan: lampu filament ( pijar ), fluoresen (neon), merkuri.
- d3. **Dampak Penerangan yang Buruk**
  - Kelelahan mata & berkurangnya daya serta efisiensi kerja
  - Kelemahan mental
  - Pegal disekitar mata dan rasa sakit kepala di sekitar mata
  - Kerusakan indera mata
  - Dapat mengakibatkan kecelakaan

**e. Getaran**

- e1. **Jenis Getaran**
  - Whole body vibration (getaran seluruh tubuh) : NAB : 0,5 m/dt<sup>2</sup>
  - Tool hand vibration (getaran tangan : NAB : 4 m/dt<sup>2</sup>
- e2. **Dampak Getaran**
  - Kelainan peredaran darah dan syaraf
  - Kerusakan pada persendian dan tulang, rasa nyeri sampai dengan mati rasa

### e3. Pengendalian Getaran

- Pasang bantalan pada peralatan (mesin) dengan bahan karet atau pegas.
- Penggantian komponen mesin yang sudah aus.
- Penguatan ikatan/ baut yang longgar.

**Tabel 11.3 Nilai Ambang Batas Getaran**

Jumlah Waktu Pemajanan (Per Hari Kerja)	Nilai Percepatan pada Frekuensi Dominan	
	(m/dt <sup>2</sup> )	(Gravitasi = G)
4 Jam dan < 8 Jam	4	0,40
2 Jam dan < 4 Jam	6	0,61
1 Jam dan < 2 Jam	8	0,81
< 1 Jam	12	1,22

**Catatan : 1 G = 9,81 m/dt<sup>2</sup>**

## 3. Faktor Kimia

### a. Batasan

- a.1. Bahan kimia: semua bahan baku yang digunakan dalam proses produksi dan atau proses kerja, serta sisa proses produksi dan atau proses kerja.
- a.2. Dapat berbentuk: gas/uap, cairan atau padatan.
  - Gas/Uap: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Pb, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dll
  - Cairan: Semprotan pembasmi serangga
  - Padatan: Debu, serat atau partikel yang dapat berasal dari debu rokok, debu logam, debu mineral (silika, Asbes, dll)

### b. Pengendalian Faktor Kimia

Pengendalian secara mekanis atau teknis, bertujuan untuk mengeliminasi atau mengurangi paparan dengan cara sebagai berikut :

- b1. Substitusi
- b2. Otomatisasi
- b3. Isolasi Sumber Kontaminan
- b4. Segresi (proses pemisahan atau pemencilan)
- b5. Ventilasi

**Tabel 11.4 Risiko Bahan Kimia terhadap Badan**

Bahaya	Penyebab	Efek	APD
Bahan Kimia	Solvent	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kulit memerah</li> <li>• Rasa nyeri</li> <li>• Timbul lepuhan</li> </ul>	Gunakan Sarung tangan karet vinyl atau sarung tangan yang tahan terhadap asam keras.
	Asam Keras (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) Air Keras (HCl)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cacat lepuhan</li> <li>• Luka</li> <li>• Kerusakan paru</li> </ul>	Gunakan Sarung tangan dan Alat Pelindung Pernapasan.

Bahaya	Penyebab	Efek	APD
	Caustk Soda (Soda Api)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cacat</li> <li>• Luka lepuhan</li> </ul>	Gunakan Sarung tangan dan Cream Pelindung.

#### 4. Faktor Biologi

##### a. Jenis

Mikroorganisme yang mudah berinteraksi dengan manusia, antara lain : virus, bakteri, jamur, cacing dan protozoa.

##### b. Bahaya Faktor Biologi

- b1. Menimbulkan infeksi akut/ kronis
- b2. Parasit dalam tubuh
- b3. Menghasilkan toksin (racun) bagi tubuh
- b4. Menimbulkan reaksi alergi
- b5. Menimbulkan iritasi

##### c. Cara Masuk Biological Agents ke dalam Tubuh

- c1. Inhalasi (pernafasan)
- c2. Digesti (pencernaan)
- c3. Kontak di kulit, mata, hidung dan atau mulut

##### d. Pengendalian Faktor Biologi

- d1. Gunakan peralatan yang bersifat melindungi dari bahaya kontak langsung (safety equipment and facility design).
- d2. Peran pekerja dalam pengendalian bahaya di tempat kerja (worker initiated workplace controls).
- d3. Bekerja/ teknis dengan asas kehati-hatian (carefully executed techniques).
- d4. Gunakan alat pelindung diri.

#### 5. Faktor Psikologi

Stress kerja, karena :

- a. Hubungan dengan orang (relationship)
- b. Hubungan dengan pekerjaan
- c. Hubungan dengan lingkungan kerja

#### 6. Faktor Ergonomi

- a. Posisi Kerja
- b. Cara Kerja

- c. Tata Letak
- d. Beban Kerja

**Tabel 11.5 Tempat Kerja dalam Ruang Sempit (Terbatas)**

Bahaya	Penyebab	Efek	Rincian
Defisiensi (kekurangan) Oksigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Api (pengelasan)</li> <li>• O<sub>2</sub> digunakan</li> <li>• Akumulasi berbagai gas</li> </ul>	Pekerja dapat lemas mendadak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Udara Normal</li> <li>• Kadar O<sub>2</sub> &gt; 18 %</li> <li>• Kadar O<sub>2</sub> &lt; 18% Berbahaya</li> </ul>
Gas Beracun	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karbon Monoksida</li> <li>• Hidrogen Sulfida</li> <li>• Sulfur Dioksida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iritasi Mata, hidung dan Tenggorokan</li> <li>• Menyebabkan Sakit dan Mati</li> <li>• Pekerja Lemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sementara Gas Beracun tidak berbau</li> <li>• Tidak Dapat Dideteksi</li> </ul>
Gas Mudah Terbakar	Termasuk Bahan Bakar Solvent	Dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan	Beberapa gas mudah terbakar, uapnya juga beracun
Bahan Kimia	Solvent Cat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iritasi Kulit</li> <li>• Iritasi Mata</li> <li>• Toksisitas Sistemik</li> </ul>	-
Panas	Suhu Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penyebaran panas</li> <li>• Pusing</li> </ul>	Efek dapat dipercepat bila ventilasi buruk, pelindung panas terhadap muka dan tubuh tidak sesuai
Noise	Suara Berisik (> 85 dB)	Mengganggu komunikasi (Hearing Loss)	Efek tergantung Intensitas, Frekuensi dan Durasi



**Gambar 11.4 Peringatan untuk selalu pakai alat pelindung diri**

## 11.5. ALAT PELINDUNG DIRI DALAM KERJA

### 1. Alat Pelindung Diri (APD) (Personal Protective Equipment)

Menurut OSHA (Occupational Safety and Health Administration) APD didefinisikan sebagai alat yang digunakan untuk melindungi pekerja dari luka atau penyakit yang diakibatkan oleh adanya kontak dengan bahaya (hazards) di tempat kerja, baik yang bersifat kimia, biologi, radiasi, fisik, elektrik, mekanik dan lainnya.

### 2. Hirarkhi Pengendalian Bahaya di Tempat Kerja

- a. Elimination: merupakan upaya menghilangkan bahaya dari sumbernya.
- b. Reduction: mengupayakan agar tingkat bahaya bisa dikurangi.
- c. Engineering Control: artinya bahaya diisolasi agar tidak kontak dengan pekerja.
- d. Administrative Control: bahaya dikendalikan dengan menerapkan instruksi kerja atau penjadwalan kerja untuk mengurangi paparan terhadap bahaya.
- e. Personal Protective Equipment: artinya pekerja dilindungi dari bahaya dengan menggunakan alat pelindung diri.

Dalam hirarkhi hazard control atau pengendalian bahaya, penggunaan alat pelindung diri merupakan metode pengendali bahaya paling akhir.

Artinya, sebelum memutuskan untuk menggunakan APD, metode-metode lain harus dilalui terlebih dahulu, dengan melakukan upaya optimal agar bahaya/hazard bisa dihilangkan, paling tidak dikurangi.

### 3. Jenis-jenis Alat Pelindung Diri

APD diklasifikasikan berdasarkan target organ tubuh yang berpotensi terkena risiko dari bahaya.

#### a. Pengaman Kepala

**Sumber Bahaya:** Tertimpa Benda Jatuh, Terbentur Benda Keras, Rambut Terlilit benda berputar.

**APD:** Helmet, **Bump** Caps.



**Gambar 11.5 Alat Pelindung Diri**

**b. Pengaman Mata**

**Sumber Bahaya:** Cipratan Bahan Kimia atau logam cair, Debu, Katalis Powder, Proyektil, Gas, Uap, dan Radiasi.

**APD:** Safety Spectacles, Goggle, Faceshield, Welding Shield.

**c. Pengaman Tangan**

**Sumber Bahaya:** Temperatur Ekstrim, Benda Tajam, Tertimpa Benda Berat, Sengatan Listrik, Bahan Kimia, Infeksi Kulit.

**APD:** Sarung Tangan (gloves), Armlets, Mitts.

**d. Pengaman Telinga**

**Sumber Bahaya:** Suara dengan tingkat kebisingan > 85 dB.

**APD:** Ear Plug, Ear Muff, Canal Caps.

**e. Pengaman Pernafasan**

**Sumber Bahaya:** Debu, Uap, Gas, Kekurangan Oksigen (oxygen deficiency).

**APD:** Respirator, Breathing Apparatus.

**f. Pengaman Tubuh**

**Sumber Bahaya:** Temperatur Ekstrim, Cuaca Buruk, Cipratan Bahan Kimia atau logam cair, Semburan dan tekanan yang bocor, Penetrasi, Benda Tajam, Dust Contaminacy.

**APD:** Boiler Suits, Chemical Suits, Vest, Apron, Full Body Suits, Jacket.

**g. Pengaman Kaki**

**Sumber Bahaya:** Lantai Licin, Lantai Basah, Benda Tajam, Benda Jatuh, Cipratan Bahaya Kimia dan logam cair, Aberasi .

APD: Safety Shoes, Safety Boots, Legging, Spat.



Gambar 11.6 Peringatan dini keselamatan kerja diarea proyek



Gambar 11.7 Alat Keselamatan Diri

## 11.6. PANDANGAN DAN SIKAP POSITIF DALAM KERJA

### 1. Nilai-nilai budaya kerja

- Integritas apa yang dilakukan sama dengan apa yang diucapkan
- Profesionalisme
- Kepuasan konsumen
- Keteladanan

### 2. Ciri-ciri profesional

- Memiliki keahlian khusus di bidangnya
- Kemampuan mengkonversikan keahlian tersebut dalam praktek
- Bekerja berdasarkan SOP

- d. Mencari cara untuk membuat berbagai hal menjadi lebih mudah
- e. Antisipasi dan inisiatif
- f. Memahami orang yang dilayani
- g. Bertanggung jawab

### **3. Budaya kerja**

- a. Semangat kerja
- b. Profesionalisme
- c. Memiliki sifat ulet
- d. Aspek keteladanan
- e. Suka menolong
- f. Bekerja secara optimal
- g. Komitmen terhadap pekerjaan
- h. Inovatif dan kreatif
- i. Serius dan tuntas dalam pekerjaan
- j. Positive thinking
- k. Loyalitas

### **4. Semangat kerja**

- a. Kerja adalah rahmat, bangga dan bersyukur
- b. Kerja adalah amanah, sehingga harus jujur dan dapat dipercaya
- c. Kerja adalah kesempatan penampilan diri, kompak dan sinergi
- d. Kerja adalah ibadah
- e. Kerja adalah kehormatan, proaktif dan inovatif
- f. Kerja adalah pengabdian, berjuang dan berkorban
- g. Kerja adalah pelayanan, melayani dan menolong

### **5. Profesionalisme**

- a. Perhatian dan menaruh kepercayaan terhadap perusahaan
- b. Peduli dan tanggungjawab
- c. Rasa memiliki

### **6. Sifat ulet yang harus dimiliki**

- a. Tidak mudah putus asa dalam melakukan pekerjaan
- b. Bekerja keras, tekun dan tidak mudah menyerah dalam menghadapi tantangan dan kendala

### **7. Aspek keteladanan**

- a. Aspek moral yang dapat dijadikan panutan pekerja yang memiliki standar moral yang tinggi
  - b. Aspek prestasi kerja
  - c. Aspek sikap yang berkaitan dengan interaksi sesama pekerja
  - d. Aspek penampilan
- 8. Suka menolong**
- a. Membantu rekan kerja atau bagian lain apabila dibutuhkan
  - b. Menjawab pertanyaan dari rekan kerja berkaitan dengan penyelesaian pekerjaan
  - c. Membagi informasi dan pengalaman yang bermanfaat
- 9. Bekerja secara optimal**
- a. Menggunakan seluruh pengetahuan, kemampuan dan keterampilan yang dimiliki untuk bekerja
  - b. Meningkatkan hasil kerja di atas standar
  - c. Menjalankan proses kerja dengan cermat dan teliti
- 10. Komitmen terhadap pekerjaan**
- a. Menjaga dan mempertahankan prestasi kerja
  - b. Melaksanakan pekerjaan sesuai dengan SOP
  - c. Menyelesaikan pekerjaan sesuai dengan target waktu yang ditetapkan
- 11. Inovatif**
- a. Melakukan pekerjaan dengan menghasilkan ide-ide dan metode-metode baru
  - b. Mencari metode yang lebih baik yang ada pada saat ini
  - c. Mengimplementasikan metode-metode terbaru untuk menghadapi daya saing
- 12. Kreatif**
- a. Mencari jalan keluar terhadap permasalahan
  - b. Mencari cara menyelesaikan pekerjaan dengan seefisien mungkin
- 13. Serius dalam melaksanakan pekerjaan**
- a. Melaksanakan pekerjaan dengan sungguh sungguh, konsentrasi penuh dan fokus
  - b. Berpikir sebelum memulai pekerjaan
  - c. Melakukan detail pekerjaan dengan benar
- 14. Tuntas dalam melaksanakan pekerjaan**
- a. Tidak setengah-setengah dalam menyelesaikan pekerjaan
  - b. Menyelesaikan pekerjaan setiap bagian pekerjaan secara menyeluruh
  - c. Melakukan pekerjaan dari awal sampai selesai

**15. Positive Thinking**

- a. Tidak menduga-duga sesuatu tanpa fakta yang jelas
- b. Mengkonfirmasi bila mendengar berita negatif
- c. Tidak berprasangka atau melakukan penilaian buruk terhadap rekan kerja dan atasannya

**16. Loyalitas**

- a. Membela/ cinta terhadap perusahaan
- b. Mempertahankan apabila ada gangguan
- c. Mencari informasi dan inovasi untuk kemajuan perusahaan

**17. Tahapan Pengendalian Risiko**

- a. Peniadaan *timbulnya Risiko*
- b. Substitusi *terhadap terjadinya peluang Risiko*
- c. Engineering *perlindungan diri*
- d. Administrasi *yang baik (peringatan yang efektif dan intensif)*
- e. Organisasi *yang baik (kompetensi)*
- f. Alat Pelindung Diri *yang representatif*

**11.7. KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA “KELISTRIKAN”****1. Objek :**

- a. Pembangkit Listrik (Instalasi Bertegangan, Motor Listrik)
- b. Perubah (Transformator, Gardu Induk)
- c. Pengumpul
- d. Penyimpan
- e. Pembagi (Jaringan distribusi, Panel Hubung-Bagi)
- f. Penyalur (Jaringan Transmisi)

**2. Regulasi :**

- a. Kepmenakertrans No. 05/Men/1970 tentang syarat-syarat K3 dalam pemakaian Lift Listrik untuk pengangkatan orang dan barang.
- b. Permenaker No. 04/Men/1988 tentang SNI 225-1987 mengenai PUIL 1987.
- c. Kepmen No. 75/2002 tentang PUIL Tahun 2000.

**3. Sasaran :**

- a. Terhadap Objek Listrik
  - a.1. Inspeksi dan perawatan
  - a.2. Penggantian komponen (life time)

- b. Terhadap Pelaku
  - b.1. Pendidikan ketrampilan dan pengetahuan
  - b.2. Uji keterampilan (kompetensi)
  - b.3. Uji kesehatan
- 4. Sumber Bahaya Listrik :**
  - a. Tegangan sentuh langsung (kontak langsung) ke konduktor/ peralatan yang bertegangan
  - b. Tegangan sentuh tak langsung (karena kegagalan isolasi)
- 5. Isu Strategis :**
  - a. 50% kasus kebakaran, disebabkan oleh Listrik
  - b. Orang dapat mati atau cedera karena sengatan listrik
  - c. Peralatan terbakar oleh karena aliran listrik yang tidak tepat
- 6. Kondisi Listrik yang tidak aman :**
  - a. Sirkuit dengan beban berlebihan
  - b. Tidak ada sistem pembumian (grounding)
  - c. Penyalahgunaan kabel dan sambungan tidak sempurna
- 7. Konsleting Listrik :**
  - a. Pengertian

Adalah peristiwa terhubungnya dua kawat (fase dan netral untuk listrik satu fase atau fase dengan fase pada listrik 3 fase) secara langsung (= disebut hubung pendek).
  - b. Penyebab
    - b.1. Penghantar panas, karena beban berlebih, sehingga isolasi meleleh
    - b.2. Isolasi bocor (rusak) karena ulah oknum, hewan atau usia tua
  - c. Akibat Terjadi kenaikan kuat arus secara berlebih, sehingga timbul percikan bunga api.
  - d. Cara Pencegahan
    - d1. Pemasangan Pemutus Arus (Sekering) yang sesuai dengan kapasitas aliran dan berfungsi
    - d2. Pemasangan Miniatur Circuit Breaker (MCB) yang peka terhadap perubahan arus
    - d3. Menjaga instalasi terbebas dari air
    - d4. Menjaga isolasi penghantar utuh/ berfungsi dengan baik
- 8. Kebakaran karena "Listrik"**

- a. Pembebanan lebih
- b. Sambungan tidak sempurna
- c. Perlengkapan tidak standar
- d. Pembatas arus listrik tidak sesuai
- e. Kebocoran isolasi
- f. Sambaran petir

**9. Sentuhan langsung dan tidak langsung pada instalasi listrik bisa “Berbahaya” atau “Tidak”, tergantung dari :**

- a. Nilai Tegangan
- b. Nilai Kuat Arus
- c. Waktu Kontak
- d. Kondisi Badan Manusianya

**10. Sengatan Listrik :**

Adalah gejala terjadinya aliran arus listrik melalui tubuh manusia dengan magnitudo tertentu yang dapat membahayakan atau mencederai.

Besar/ kecilnya kejutan listrik yang dirasakan tergantung dari besar/ kecilnya arus yang mengalir.

**Tabel 11.6 Tahanan Badan Manusia**

<b>Kulit Kering</b>	<b>100.000 s.d. 600.000 <math>\Omega</math></b>
<b>Kulit Basah</b>	<b>1.000 <math>\Omega</math></b>
<b>Tubuh Dalam (tangan ke kaki)</b>	<b>400 s.d. 600 <math>\Omega</math></b>
<b>Antar Telinga</b>	<b>100 <math>\Omega</math></b>

**Tabel 11.7 Respon Tubuh yang Terkena Sengatan Listrik**

<b>1 s.d. 2 mA</b>	<b>Kejutan masih dapat ditahan, tidak ada efek yang mencederai</b>
<b>5 s.d. 10 mA</b>	<b>Timbul rasa sakit dan tubuh akan terpentak</b>
<b>10 s.d. 15 mA</b>	<b>Kontraksi otot dan dapat mempengaruhi sistem syaraf</b>
<b>20 s.d. 30 mA</b>	<b>Pernafasan melemah dan kelumpuhan saluran pernafasan sampai terhentinya nafas</b>
<b>&gt; 50 mA</b>	<b>Berpengaruh pada jantung (berdetak cepat), hingga dapat mengakibatkan kematian</b>

**11. Tegangan Sentuh yang Berbahaya (PUIL 2000)**

- a. Tegangan > 50 Volt, di ruangan Normal
- b. Tegangan > 25 Volt, di ruangan Lembab
- c. Daya > 100 Watt

**Tabel 11.8 Proteksi Bahaya (Jarak Aman) (PUIL 2000)**

Tegangan (kV)	Jarak (cm)
1	50
12	60
20	75
70	100
150	125
220	160
500	300

**12. Cara Pencegahan Kecelakaan Listrik :**

- a. Memahami sistem instalasi listrik dan penerapan dalam praktik.
- b. Melaksanakan proteksi pembumian (grounding).
- c. Menggunakan instalasi (kabel, rangkaian pencabangan, pemutus arus, dll) yang sesuai dengan beban aliran.

**Tabel 11.9 Tegangan Sentuh yang Diijinkan (IEC)**

Tegangan Sentuh (Volt)	Waktu Maksimum yg Diijinkan (Detik)
≤	~
50	5
75	1
90	0,5
110	0,2
150	0,1
220	0,05
280	0,03

**Tabel 11.10 Pengaruh Arus Listrik Terhadap Tubuh Manusia**

No.	Arus Listrik (mA)	Pengaruh Terhadap Tubuh Manusia	Waktu (detik)
1	1	Menimbulkan kejutan kecil pada badan namun tidak berbahaya (aman).	10
2	2	Mulai terasa kejang pada bagian badan yang awal dialiri listrik. Rasa kejang akan hilang dalam waktu beberapa hari.	30
3	5	Memberikan stimulasi (rangsangan) yang cukup tinggi pada	20

No.	Arus Listrik (mA)	Pengaruh Terhadap Tubuh Manusia	Waktu (detik)
		otot badan yang awal dialiri arus listrik. Rasa sakit akan hilangnya rasa sakit perlu waktu dan pengobatan.	
4	10	Memberikan stimulasi (rangsangan) yang cukup tinggi pada otot badan (organ tubuh yang peka) sehingga terasa sakit yang hebat. Untuk penyembuhan diperlukan waktu istirahat dan pengobatan.	10
5	15	Memberikan stimulasi (rangsangan) yang cukup tinggi pada otot badan, sehingga menyebabkan terjadinya pengerutan sebagian otot organ tubuh yang peka terhadap aliran listrik (jantung) yang berakibat tingkat kesadaran mulai berkurang karena gerakan jantung sedikit terganggu/ berhenti maka darah ke otak juga ikut terganggu. Untuk penyembuhan memerlukan waktu yang cukup dan pengobatan. Kemungkinan bisa timbul cacat fungsi sebagian badan.	5
6	20	Menyebabkan terjadinya pengerutan pada otot badan yang cukup hebat, khususnya jantung, sehingga aliran darah ke otak berhenti sesaat yang mengakibatkan "Kesadaran Hilang", maka untuk melepaskan sentuhan aliran listrik diperlukan bantuan orang lain.	2
7	30	Menyebabkan pengerutan otot badan yang sangat hebat. Jika tak tertolong kemungkinan cacat fungsi tetap.	1
8	40	Sangat berbahaya bagi orang yang dialiri listrik.	0,2

Catatan : Untuk Listrik tegangan 220/380 Volt

### 11.7.1. Pertolongan pertama pada kecelakaan listrik

1. Penolong harus mengamankan diri dengan menghindarkan dari pengaruh arus listrik,
2. Penolong menghindarkan diri dari sentuhan dengan benda logam,
3. Penggunaan peralatan yang tidak menghantar listrik, seperti kertas, karet, plastik, dll yang dalam kondisi kering.

### 11.7.2. Cara membebaskan penderita dari aliran listrik

1. Penghantar dibuat bebas dari tegangan dengan memutuskan sakelar atau gawai pengaman.
2. Penghantar ditarik sampai terlepas dari penderita dengan menggunakan benda kering bukan logam, kayu atau tali yang diikat pada penghantar.
3. Penderita ditarik dari tempat kecelakaan.
4. Penghantar dilepas dari tubuh penderita dengan tangan yang dibungkus dengan pakaian kering yang dilipat lipat .
5. Penghantar dihubungkan pendekkan atau dibumikan.
6. Berikan pertolongan medis secepatnya



Gambar 11.8 Peringatan Perlindungan telinga dan masker

### 11.7.3. Kasus k3 kelistrikan:

1. Keberhasilan **Program Keselamatan Kerja** tergantung pada: **pemahaman, kepatuhan** dan sikap **kehati-hatian** personal nya.
2. Tiga faktor yg terlibat dalam kejutan listrik adalah **Tahanan, Tegangan** dan **Arus**.
3. Semakin **rendah tahanan** tubuh, **semakin besar potensi** kejutan listrik.
4. Tahanan tubuh luar (= kulit) dan tahanan tubuh dalam (= syaraf, jantung dan darah).
5. **Semakin tinggi tegangan, semakin besar potensi bahaya** kejutan listrik.
6. **Tegangan di atas 30 V**, dianggap **berbahaya**.
7. **Semakin tinggi arus, semakin besar potensi** bahaya kejutan listrik.
8. **Arus di atas 5 mA**, dianggap **berbahaya**.
9. **Semakin lama waktu** alir listrik, **semakin besar potensi bahaya** kejutan listrik.
10. **Arus kejutan listrik** dapat **mempengaruhi syaraf** kesadaran dan membahayakan **jantung**.
11. Bila anda jadi **lintasan listrik ke tanah**, anda dapat **terbakar** serius dan **mati**.
12. **Pakaian kerja yang baik**, disesuaikan dengan **jenis pekerjaan** dan kelengkapan **pengamanannya**.
13. **Petanahan** adalah upaya sengaja membawa tegangan dari instalasi ke **hubungan bumi** secara bersama.
14. **Petanahan yang baik mengurangi bahaya** kebakaran dan sengatan listrik.
15. **Lockout listrik** diperlukan, agar orang **tidak** semaunya **memutar saklar**.
16. **Menerima kejutan listrik** adalah pertanda jelas bahwa **kaidah keselamatan tidak diikuti**.
17. **Hindari bekerja pada rangkaian yang "hidup"**, termasuk menyentuh objek yang sdh ditanahkan sekalipun.

18. **Kosongkan kapasitor**, sebelum memegangnya.
19. Terhadap luka bakar Tahap I, **celupkan** daerah luka **pada air dingin**.
20. Jika **korban tidak dapat bernapas**, lakukan **pernapasan buatan**.
21. Gunakan pemadam kebakaran **CO<sub>2</sub> atau serbuk** untuk memadamkan **kebakaran akibat listrik**.



Gambar 11.9 Tanda tanda Peringatan

## **BAB XII**

### **PENGENALAN ALAT UKUR**

## **BAB 12. PENGENALAN ALAT UKUR AUDIT EFISIENSI ENERGI**

Pada kegiatan audit dan monitoring energi diperlukan beberapa nilai besaran elektrik, mekanikal serta hidrolis yang akan dibandingkan dengan kriteria standar. Untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut diperlukan peralatan yang dapat menunjukkan besaran kinerja suatu sistem yang kita amati.

Beberapa alat yang dapat dipergunakan untuk keperluan audit dan monitoring sistem pompa, antara lain :

### **1. Alat Ukur Kelistrikan**

- a. Power Analyzer
- b. Tang Ampere
- c. AVO Meter (Multy Tester)
- d. Merger
- e. Oscilloscope

### **2. Alat Ukur Hidrolika**

- a. Ultrasonic Flow Meter
- b. Ventury Meter

### **3. Alat Ukur Mekanikal**

- a. Tacho Meter
- b. Stroboscope

Karena keterbatasannya maka hanya beberapa peralatan ukur saja yang mampu dibeli PDAM, atau bahkan ada PDAM yang belum mengetahui peralatan tersebut.

Berikut ini akan diperkenalkan hanya beberapa peralatan audit dan monitoring yang biasa dipergunakan pada pelatihan Efisiensi Energi atau peralatan penggantinya yang mampu menggantikan fungsi dari peralatan yang diperkenalkan.

### **12.1. ALAT UKUR KELISTRIKAN**

Pada pembahasan energi diperlukan perhitungan tentang Nilai Faktor Daya yang kerap kali menjadi permasalahan di PDAM lantaran penerapan sangsi Denda oleh PLN, Nilai Unbalance Tegangan atau Kuat Arus sebagai identifikasi kinerja motor listrik, Nilai Daya Semu sebagai dasar perhitungan kebutuhan daya sistem serta Kapasitor untuk memperbaiki Faktor Daya, Nilai Penggunaan Energi tiap satuan produk sebagai dasar perhitungan Nilai Specific Energy Consumption atau Produktivitas Sistem , Nilai Tegangan dan Kuat Arus Listrik sebagai dasar perhitungan Efisiensi Energi, dan lain-lain.

Alat ukur yang diperlukan untuk mendapatkan nilai besaran tersebut antara lain:

**Tabel 12.1 Beberapa jenis alat pengukur listrik**

No	Nilai Besaran Listrik	Alat Pengganti	Alat Utama
1	Tegangan Tiap Phase	Power Analyzer	AVO Meter, Volt Meter, Meter PLN
2	Kuat Arus Tiap Phase	Power Analyzer	AVO Meter, Ampere Meter, Meter PLN, Tang Ampere
3	Daya Aktif tiap Phase	Power Analyzer	Volt Meter, AVO Meter, Meter PLN
4	Daya Semu tiap Phase	Power Analyzer	Tang Ampere dan AVO Meter
5	Daya Reaktif tiap Phase	Power Analyzer	Tang Ampere dan AVO Meter
6	Faktor Daya	Power Analyzer	Cos $\phi$ Meter
7	Tahanan kawat belitan tiap phase		Merger
8	Frekuensi Listrik	Power Analyzer	Frekuensi Meter

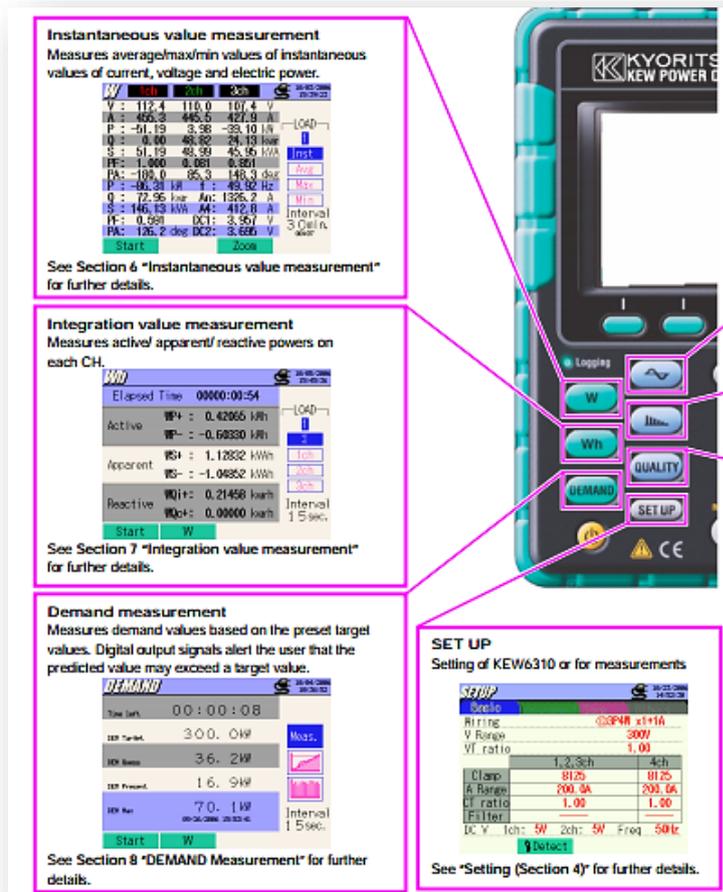
Berikut ini beberapa peralatan yang dipergunakan dalam latihan pengukuran besaran listrik dalam program Efisiensi Energi.

### 1. Power Analyzer

Power Analyzer adalah alat ukur besaran kelistrikan dengan masukan (Input) nilai kuat arus dan tegangan peralatan listrik, yang mampu memberikan keluaran (output) berbagai besaran listrik secara langsung dalam bentuk jadi.

#### Fungsi :

- a. Mengukur Besaran Daya, Tegangan, Kuat Arus, Faktor Daya, Harmonisa, dll.
- b. Merekam semua besaran pengukuran hingga beberapa hari dan minggu dengan menggunakan eksternal memory, yang dilakukan pada panel distribusi utama tegangan menengah dan tegangan rendah.



Gambar 12.1 Power Analyzer "Jenis A"

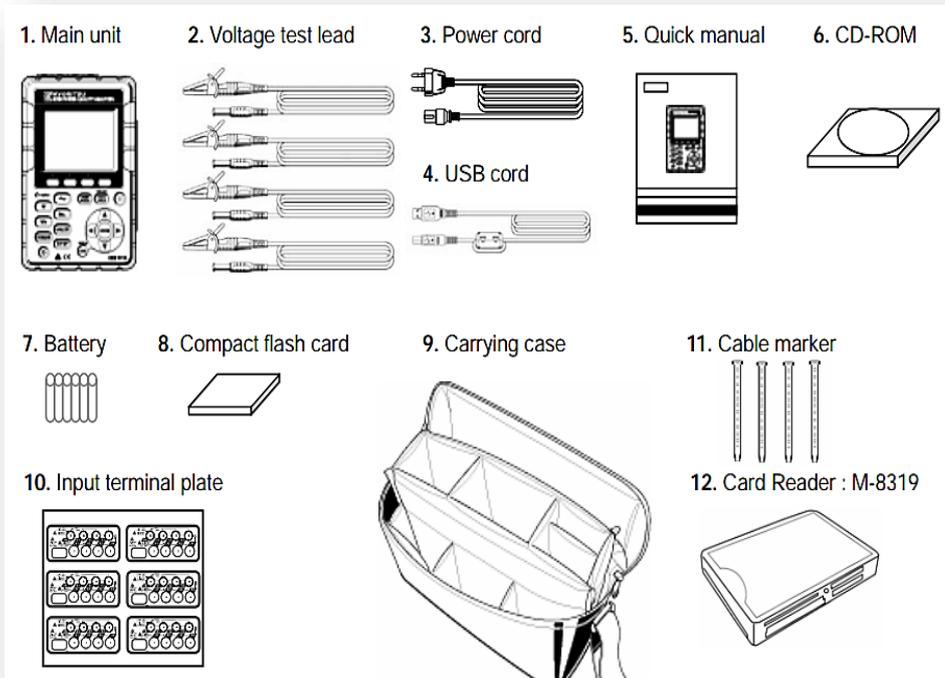
### Persiapan Data Input

Sebelum memulai penggunaan alat ukur ini, perlu diketahui data:

1. Batasan Ruang Lingkup Tegangan Listrik yang akan diukur
2. Batasan Ruang Lingkup Kuat Arus Listrik yang akan diukur
3. Susunan Rangkaian Listrik (Jenis Pengasutan)
4. Kesesuaian Warna dan Jenis Kawat Phase / Bus Bar
5. Batas Kemampuan Clamp CT (Current Transformator) Power Analyzer beserta kelengkapannya

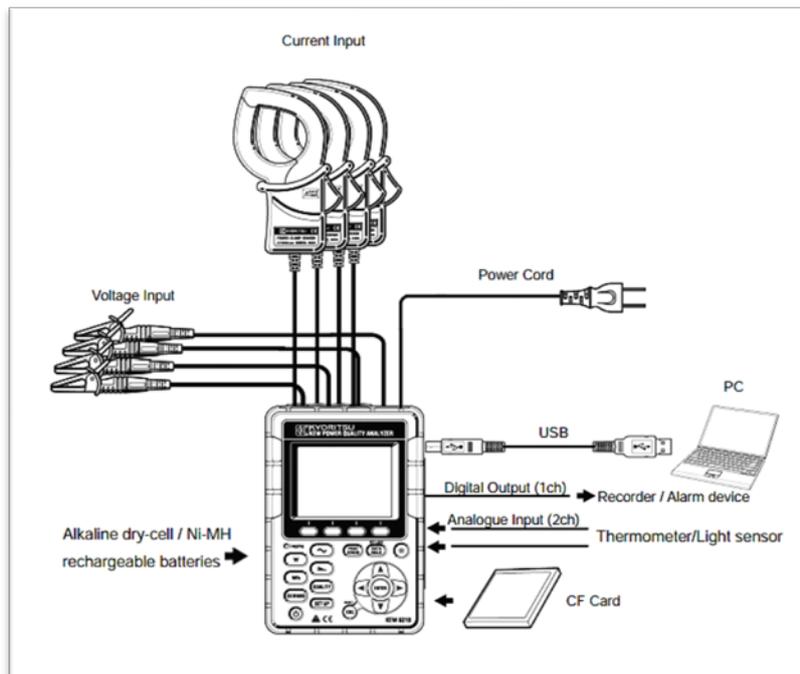
### Tampilan Fisik Alat Ukur

1. *Kelengkapan Power Analyzer yang menyertainya, sebagai berikut:*



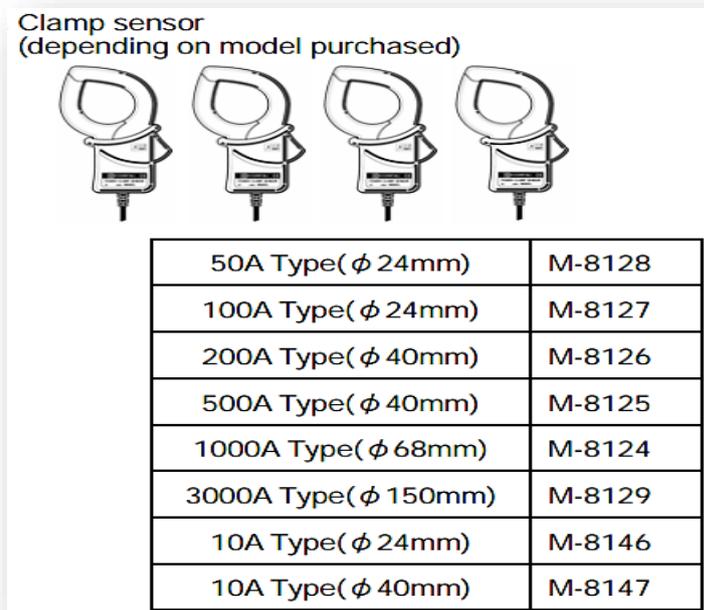
Gambar 12.2 Kelengkapan Power Analyzer

2. Pemasangan Kelengkapan Power Analyzer yang menyertainya, sebagai berikut:



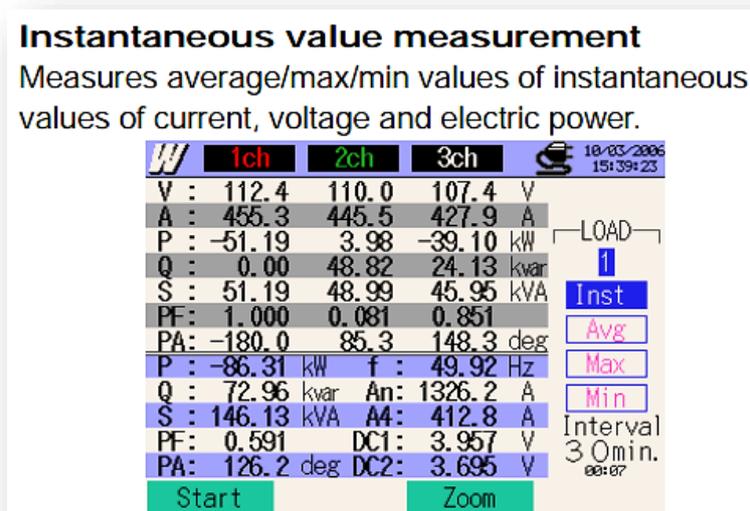
Gambar 12.3 Power Analyzer dan Clamp Meter

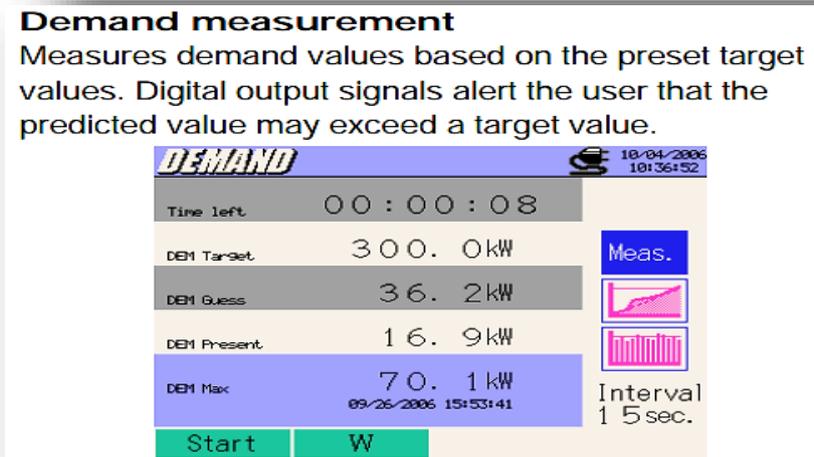
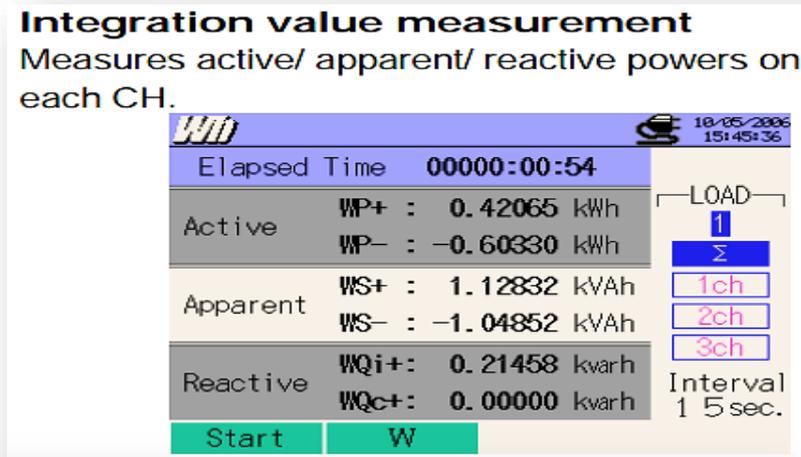
3. Tipe Clamp (CT) yang sesuai dengan besaran yang akan diukur, sebagai berikut:



Gambar 12.4 Clamp Meter

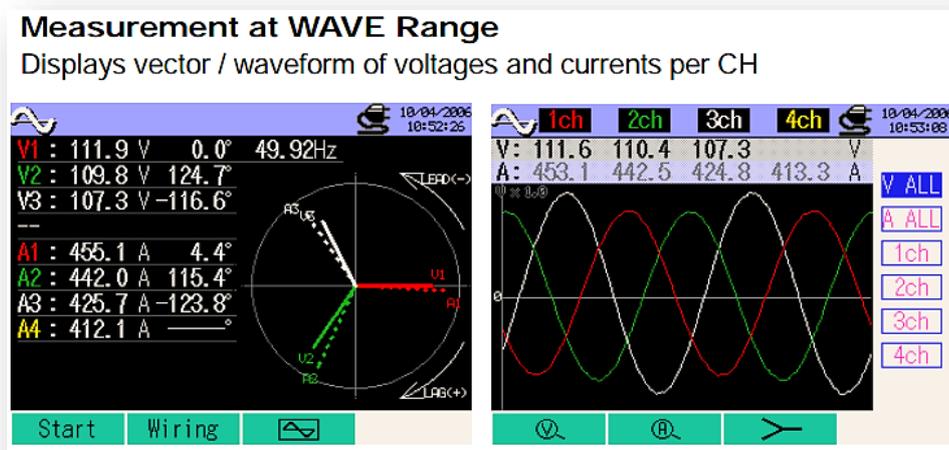
4. Tampilan Layar Hasil Pengukuran, sebagai berikut:





Gambar 12.5 Tampilan Layar Hasil Pengukuran

5. Tampilan Layar Hasil Pengukuran dalam bentuk Kurva, sebagai berikut:



Gambar 12.6 Tampilan Layar Hasil Pengukuran dalam bentuk Kurva

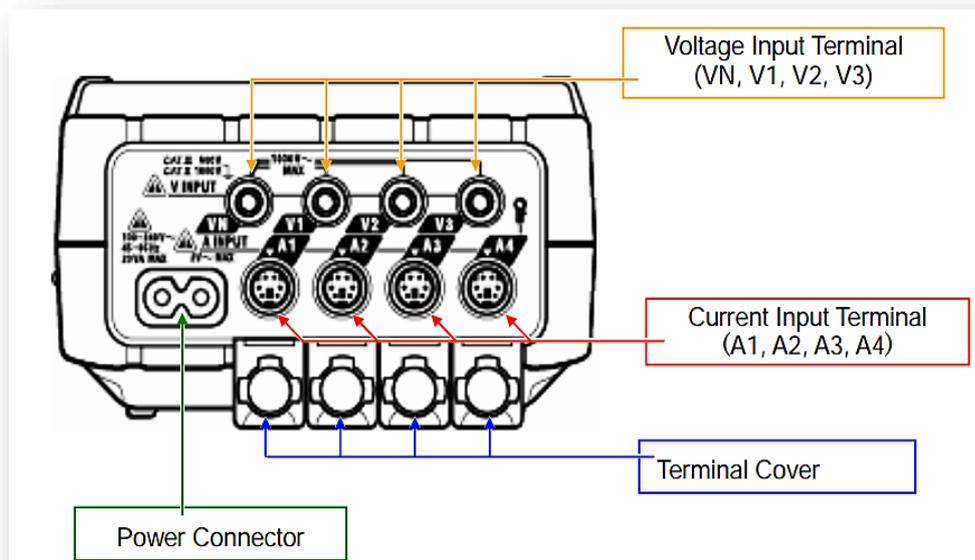
### Langkah Penggunaan (Pengukuran)

#### 1. Konfigurasi Kawat yang akan diukur, sebagai berikut:

Wiring configuration	Voltage Input Terminal	Current Input Terminal	
Single-phase 2-wire (1ch)	"1P2W×1"	VN, 1	A1
Single-phase 2-wire (2ch)	"1P2W×2"	VN, 1	A1, 2
Single-phase 2-wire (3ch)	"1P2W×3"	VN, 1	A1, 2, 3
Single-phase 2-wire (4ch)	"1P2W×4"	VN, 1	A1, 2, 3, 4
Single-phase 3-wire (1ch)	"1P3W×1"	VN, 1, 2	A1, 2
Single-phase 3-wire (2ch)	"1P3W×2"	VN, 1, 2	A1, 2, 3, 4
Single-phase 3-wire (1ch) + 2 Current	"1P3W×1+2A"	VN, 1, 2	A1, 2, 3, 4
Three-phase 3-wire (1ch)	"3P3W×1"	VN, 1, 2	A1, 2
Three-phase 3-wire (2ch)	"3P3W×2"	VN, 1, 2	A1, 2, 3, 4
Three-phase 3-wire (1ch) + 2 Current	"3P3W×1+2A"	VN, 1, 2	A1, 2, 3, 4
Three-phase 3-wire 3A	"3P3W3A"	V1, 2, 3	A1, 2, 3
Three-phase 4-wire (1ch)	"3P4W×1"	VN, 1, 2, 3	A1, 2, 3
Three-phase 4-wire (1ch) + 1 Current	"3P4W×1+1A"	VN, 1, 2, 3	A1, 2, 3, 4

Gambar 12.7 Konfigurasi kawat yang akan diukur

#### 2. Konfigurasi Pemasangan Kabel Sensor, sebagai berikut:



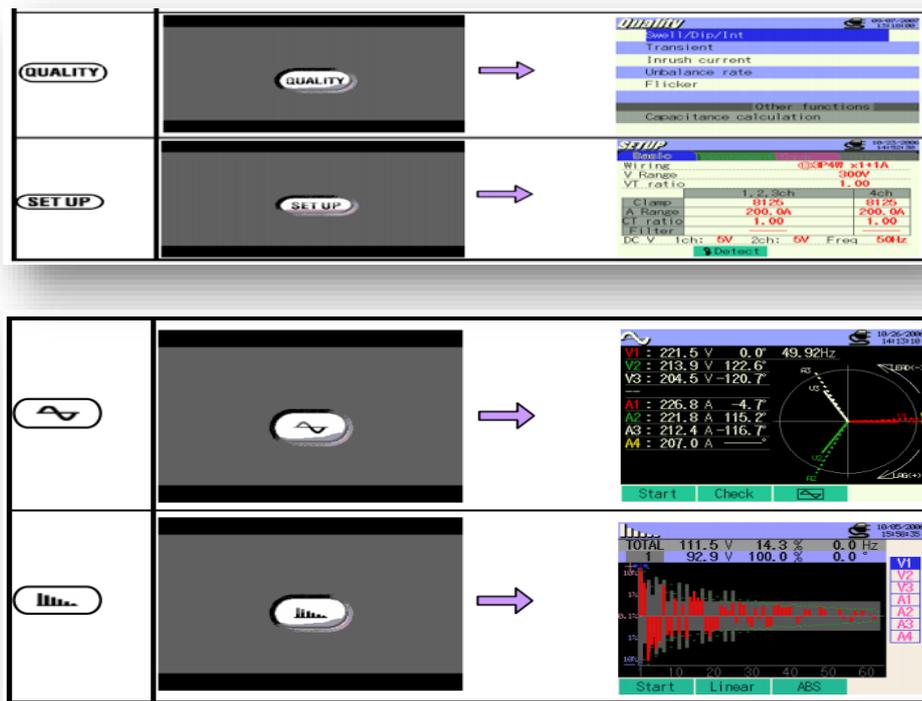
Gambar 12.8 Konfigurasi Pemasangan Kawat Sensor

3. *Kunci Pengoperasian Tombol (Key Operation), sebagai berikut :*

Keys	Details
	<b>Power Key</b> Power on / off the instrument
	<b>LCD ON/OFF Key</b> Display / hide the indications on the LCD
	<b>Cursor Key</b> Select the setting items, switches screens
	<b>ENTER Key</b> Confirm entries
	<b>ESC Key/RESET Key</b> Cancel setting changes, clear integration / demand data selected by <b>Cursor</b> Keys.
	<b>PRINT SCREEN Key</b> Save the displayed screen as a BMP (bitmap) file.
	<b>DATA HOLD Key/KEY LOCK Key</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hold the readings. (can view the item and system with Cursor Keys)</li> <li>* Measurement continues even if screen is frozen.</li> <li>• Key Lock Pressing 2 sec or more disables all Keys to prevent operational error. Another long press (2 sec or more) is required to restore the disabled Keys.</li> </ul>
	<b>Menu Key</b> W : Measure instantaneous values Wh : Measure integration values DEMAND : Measure demand values : Waveform measurement : Harmonic measurement QUALITY: Select any Ch and set threshold values to record swell/ dip/ int/ transient with time information. SET UP : Basic, Measurement, Save and Other settings
	<b>Function Key</b> Execute the displayed function <b>F1, F2, F3, F4</b> Key (from left to right)

Gambar 12.9 Kunci Pengoperasian Tombol

4. *Tampilan Layar Operasi, sebagai berikut:*

Gambar 12.10. Tampilan Layar Operasi

## 2. Tang Ampere

Tang ampere atau juga disebut *Clamp Meter* adalah alat ukur besaran kelistrikan (yang berbentuk Current Transformator) yang mampu memberikan informasi besar kuat arus kawat yang dikelilingi clamp alat tersebut .

**Fungsi :** Mengukur besar kuat arus pada kawat tunggal (fase satu).



Gambar 12.11 Tang Ampere

### 3. AVO Meter (Multy Tester)

Avo Meter (Multy Tester) adalah alat ukur besaran kelistrikan (dapat berupa analog atau digital) yang mampu memberikan informasi besar kuat arus, tahanan, tegangan kawat penghantar.

**Fungsi** : Mengukur Besaran Tegangan, Kuat Arus, Faktor Daya, dll .



Gambar 12.12 Multimeter Analog



Gambar 12.13 Multimeter Digital

#### 4. Merger

Merger adalah alat ukur besaran kelistrikan yang mampu memberikan informasi besar tahanan konduktor kawat.

**Fungsi :** Mengukur Besaran Tahanan Listrik kawat belitan, dll.

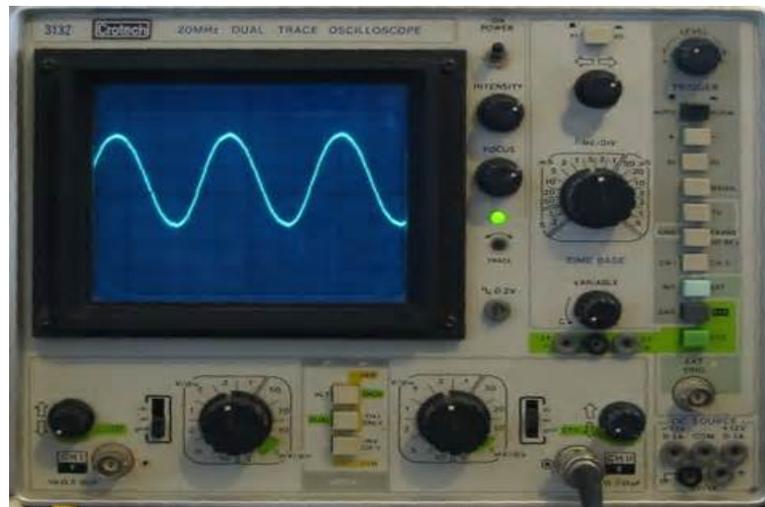


Gambar 12.14 Merger

## 5. Oscilloscope

Oscilloscope adalah alat ukur besaran kelistrikan yang mampu memberikan informasi bentuk, panjang, amplitudo gelombang, dan jenis gelombang listrik (DC, AC dengan Phasenya).

**Fungsi :** Mengukur Besaran dan sifat Gelombang Listrik yang mengalir lewat kawat, dll.



**Gambar 12.15 Oscilloscope**

## 12.2. ALAT UKUR HIDROLIKA

Alat ini dipergunakan dengan maksud untuk mendapatkan nilai besaran besaran:

- o Kecepatan aliran zat cair dalam pipa
- o Debit aliran air dalam pipa

### 1. Ultrasonic Flow Meter

Ultrasonic Flow Meter adalah alat ukur besaran hidrolika yang mampu memberikan informasi besar kecepatan dan atau debit aliran yang melewati pipa.

**Fungsi :**

- a. Mengukur Debit Aliran Zat Cair dalam Pipa
- b. Mengukur Kecepatan Aliran Zat Cair dalam Pipa

### Persiapan Data Input

Sebelum memulai penggunaan alat ukur ini, perlu disiapkan data:

- a. Diameter luar pipa yang akan diukur
- b. Ketebalan dinding pipa (periksa Tabel)
- c. Bahan pipa
- d. Kekasaran dinding pipa bagian dalam
- e. Suhu Air (media)



**Gambar 12.16 Ultrasonic Flow Meter "Jenis A"**

**Langkah Penggunaan (Pengukuran)**

- 1. Jenis Tombol dan cara serta nilai penunjukkan angka dapat diperoleh dengan urutan sebagai berikut:*

By the help of keys  and  you change the values of the menus. Complete every single action by pressing ENTER.

Set up parameters	
	Activate UDM 200.
  <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content;">                 &gt;PAR&lt; mea opt sf                  Parameter             </div>	Press the keys till PAR is marked in the Display. Press ENTER.

Enter the following values below.. Manage the input with keys:	
  	
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content;">                     Outer Diameter                      100.0 mm                 </div>	Outer diameter [mm]
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content;">                     Wall Thickness                      3.0 mm                 </div>	Wall thickness [mm] (make use of tables of the producer or use a thickness gauge on site)

<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content;">                     Pipe Material                       Steel (Normal)                 </div>	Material: set the preferred material by the use of key  .
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content;">                     Lining                      no &gt;YES&lt;                 </div>	If there is a lining, its material, condition and thickness have to be entered, too. Therefore please read this manual carefully. When there is no lining choose "no" and continue by pressing the "Enter"-key
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; width: fit-content;">                     Roughness                      0.4 mm                 </div>	Roughness of the pipe. Choose the roughness from the table in the Annex

<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                 Medium                    ↑                  Water             </div>	Medium: water
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                 Medium Temperat.                  20.0           °C             </div>	Approximate temperature of the medium.
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                 Additional cable                  65.0           m             </div>	Additional cable. Leave this value on <b>0.0m</b> .

<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                 Transd. Distance                  54 mm Diagon             </div>	Transducer distance: Set the distance of the transducers on the straight edge. Set the transducers on the pipe and fix them, using their clamping chains. There has to be enough couplant gel on the transducers. There must not be air between transducers and pipe.
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                 S= ■■■■■■                  ■ &lt; &gt; ■ = 54 mm!             </div>	UDM 200 displays the intensity of the transmitted signal. Please see that the signal is stable!
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                 Transd. Distance?                  53.9           mm             </div>	Confirm once more the transducer distance.
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                 Volume flow                  54.5          m<sup>3</sup>/h             </div>	UDM 200 starts measurement.

Measuring <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                     par &gt;MEA&lt; opt sf                      Measuring                 </div>	Select MEA by the help of the arrow keys and press ENTER.
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                 Meas. Point No.:                  12             </div> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px; margin-top: 10px;">   </div>	OPTIONAL: Enter measuring points: enter any comment by the help of the arrow keys.
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;">                 Sound Path                  1           NUM             </div>	Set sound path: Please leave the proposed value, if possible!!!

**Gambar 12.17 Jenis jenis Tombol pada Ultrasonic Flow Meter**

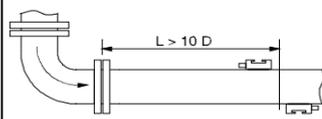
2. Jarak Pemasangan Tranducer terhadap Aecessories yang ideal sebagaimana di bawah ini:

**Correct selection of a measuring point:**

**Disturbance source: 90°-bend**

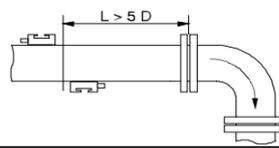
Inlet

$L \geq 10 D$



Outlet

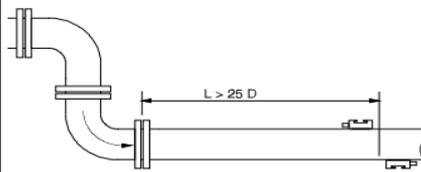
$L \geq 5 D$



**Disturbance source: 2 x 90° bend on the same level**

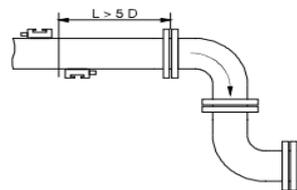
Inlet

$L \geq 25 D$



Outlet

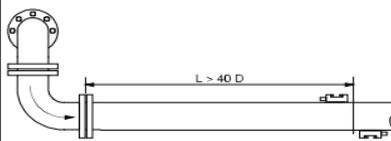
$L \geq 5 D$



**Disturbance source: 2 x 90° bend on various levels**

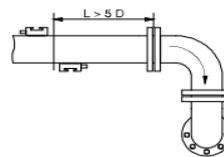
Inlet

$L \geq 40 D$



Outlet

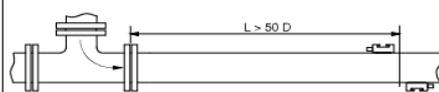
$L \geq 5 D$



**Disturbance source: T-fitting**

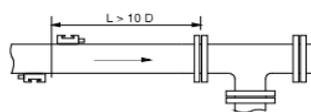
Inlet

$L \geq 50 D$



Outlet

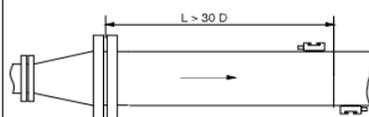
$L \geq 10 D$



**Disturbance source: Widening**

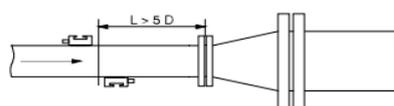
Inlet

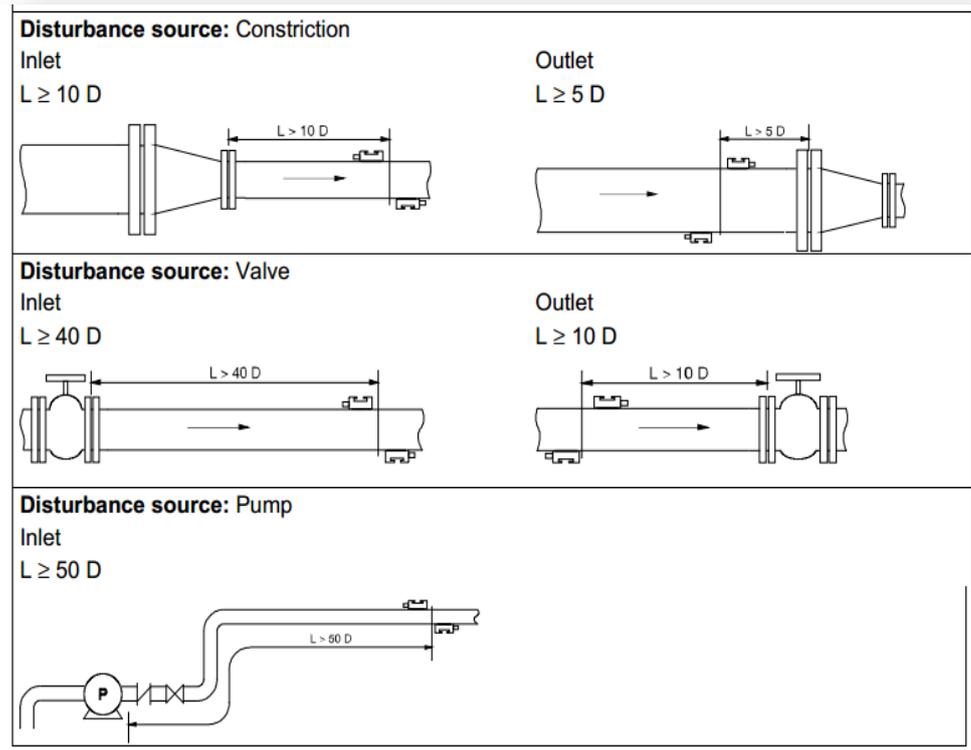
$L \geq 30 D$



Outlet

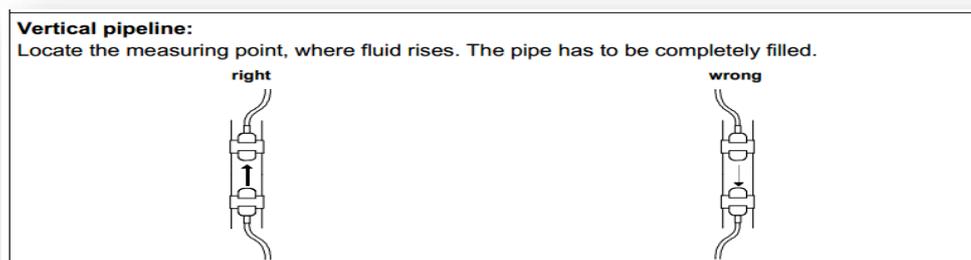
$L \geq 5 D$

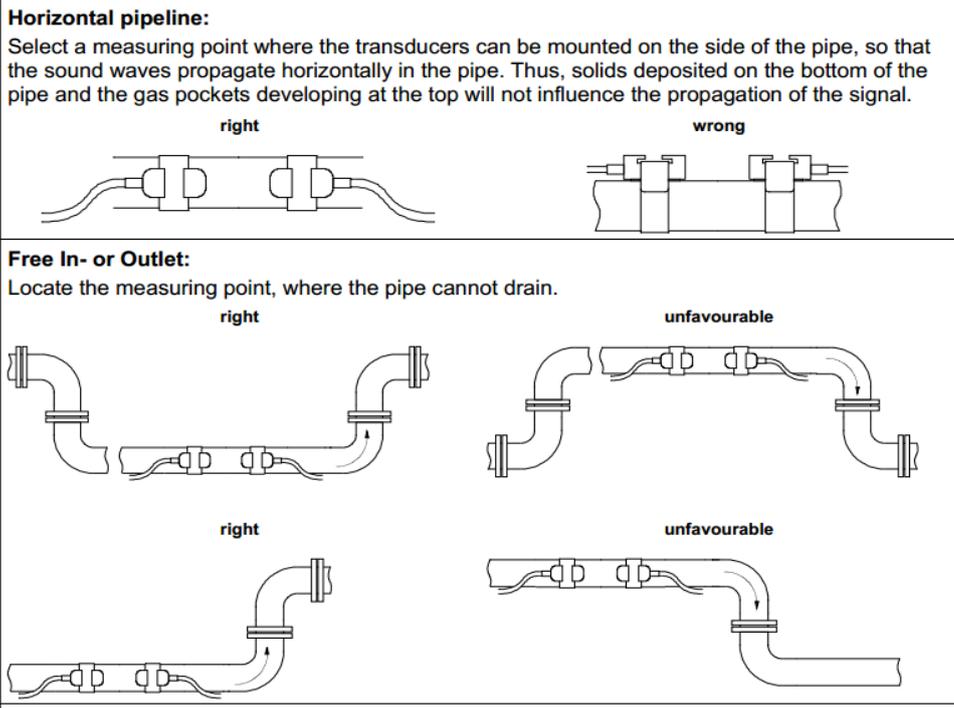




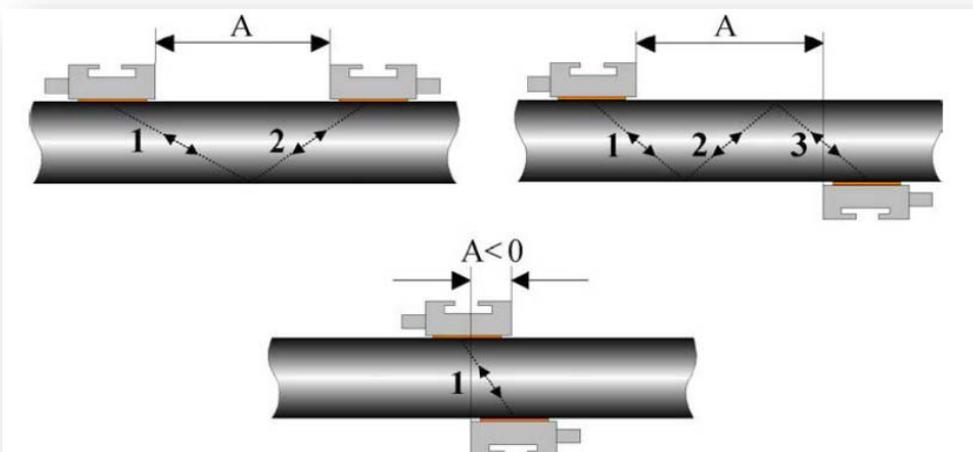
Gambar 12.18 Pemasangan transducer pada ultrasonic flowmeter

3. Model Pemasangan Transducer terhadap Accessories yang ideal sebagaimana di bawah ini:



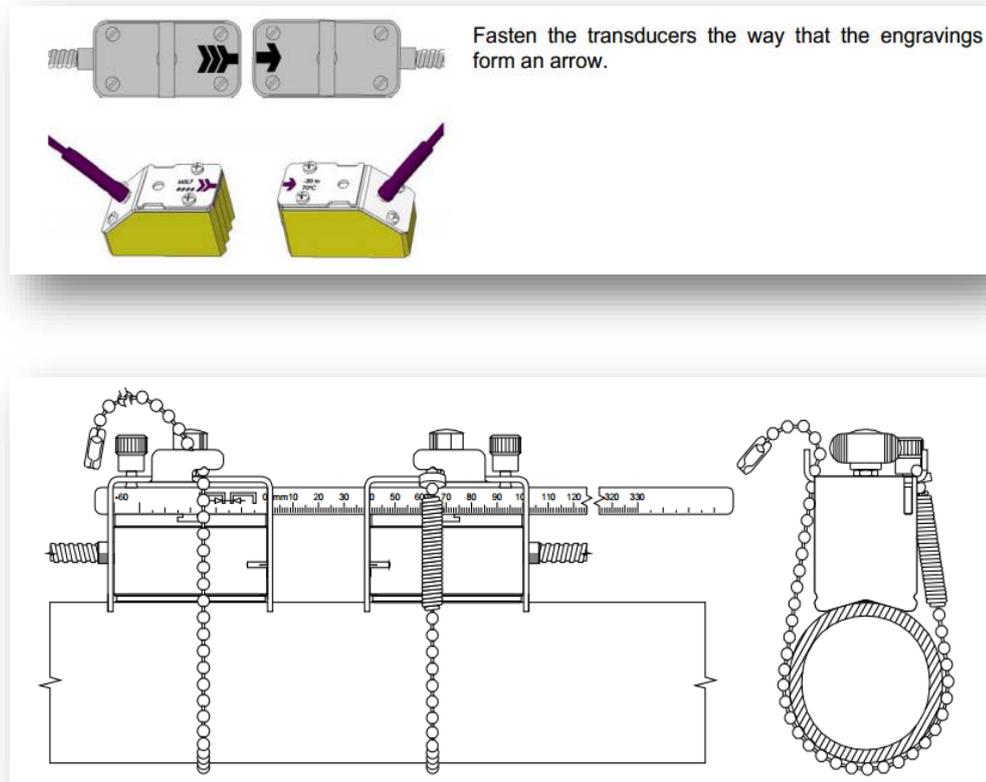


Arrangement of the transducers in diagonal mode		Arrangement of the transducers in reflection mode	
Number of sound paths	Sound path	Number of sound paths	Sound path
1		2	
3		4	
and so on			



Gambar 12.19 Beberapa model pemasangan transducer terhadap asesoris

4. *Detail Pemasangan Transducer yang ideal sebagaimana di bawah ini*



Gambar 12.20 Detail Pemasangan Transducer yang ideal

5. *Data Teknik Ultrasonic Flow Meter, dapat diamati sebagaimana data di bawah ini :*

<b>UDM-200</b>	
Measuring principle	Ultrasonic time difference correlation principle
measurable media	Warm / cold water and all acoustically conductive fluids with < 10 % gaseous or solid content in volume
Flow velocity	0,01 – 25 m/s
Repeatability	± 0.25% of reading ± 0.02m/s
Resolution	0,025 cm/s
Flow measurement	0,3 – 1.000.000 l/min
Accuracy	+ - 1% - 3% of reading + - 0,1 m/s
Average time	0 s to 100s, adjustable
LCD display	2x 16 characters, backlit
Interface	RS 232
Outputs	0/4-20 mA, Impuls/Reed 48V, 100mA
Internal memory capacity	>100.000 values
Operating time	>24 h
Power supply	100 – 240 VAC, 12 V (optional)
Power consumption	<15W
Weight	2,9 kg
Dimensions	230 x 110 x 190 mm
Protection Class	IP 67 (IP 68 closed)
Ex-Protection class	Zone 2
Operating temperature	-10° - 60° C

Measuring cycle	(100...1000) Hz
Response time	1s
Measuring functions	
Physical quantities	Flow velocity, volume flow, mass flow
Totalizers	Volume, mass
Languages	English, German, French, Dutch, Spanish, Danish, Norwegian, Polish (others on request)
Outputs	
Current	0/4...20 mA,
Accuracy	0,1 % v. MW $15 \pm \mu\text{A}$
Active output	$R_{\text{ext}} < 500\Omega$
Binary	
Open Collector	24 V/4 mA
As state output	Limit, sign change or error
As impuls output	Value: (0,01...1000) units Width: (80...1000) ms
Transducer	
(Possible) rated pipe diameter range	25...1000 mm
Dimensions	58 x 28 x 31 in mm (L x B x H)
Operating temperature	-20 °C - 100 °C
Protection Class	IP 67 (IP68 optional)

6. *Nilai besaran kekasaran pipa sebagaimana di bawah ini :*

The values are based on experience and measurements.

Material	Absolute roughness [ $\mu\text{m}$ ]	Material	Absolute roughness [ $\mu\text{m}$ ]		
drawn pipes of non-ferrous metal, glass, plastics and light metal	0 ... 1.5	Cast iron pipes:			
drawn steel pipes	10 ... 50	• bitumen lining	120	...	
fine-planed, polished surface	bis zu ... 10	• new, without lining	250	...	1000
planed surface	10 ... 40	• rusted	1000	...	1500
rough-planed surface	50 ... 100	• encrusted	1500	...	3000
welded steel pipes, new	50 ... 100				
long usage, cleaned	150 ... 200				
lightly and evenly rusted	bis zu ... 400				
heavily encrusted	bis zu ... 3,000				

## 2. Ventury Meter

Ventury Meter adalah alat ukur besaran hidrolika yang mampu memberikan informasi besar debit aliran zat cair yang melewatinya, dengan metode perbandingan perbedaan tekanan antara zat cair dalam pipa besar dengan kecil.

**Fungsi :**

- Mengukur Beda Tekanan
- Mengukur Nilai Head Loss
- Mengukur Dedit Zat Cair



**Gambar 12.21 Ventury Meter**

**3. Water Meter**

Water Meter adalah alat ukur besaran hidrolika yang mampu memberikan informasi besar volume zat cair yang melewatinya.

**Fungsi :**

- Mengukur Volume Zat Cair
- Mengukur Debit Aliran Zat Cair



**Gambar 12.22 Water Meter**

**4. Manometer**

Manometer adalah alat ukur besaran hidrolika yang mampu memberikan informasi besar tekanan zat cair atau udara pada tabung, termasuk aliran zat cair dalam pipa.



**Gambar 12.23 Manometer**

## 12.3. ALAT UKUR MEKANIKAL

### 1. Tacho Meter

Tachometer adalah alat ukur besaran mekanikal (pengukuran secara kontak langsung atau penyinaran dengan laser) yang mampu memberikan informasi jumlah tiap satuan waktu putaran atau frekuensi putaran benda yang berputar secara kontinyu.

**Fungsi :**

- Mengukur Rotasi Putaran per Menit (RPM)
- Mengukur Frekuensi Putaran



**Gambar 12.24 Tacho Meter**

### 2. Stroboscope

Stroboscope adalah alat ukur besaran mekanikal (pengukuran dengan perbandingan frekuensi sinar yang dihasilkan alat ukur) yang mampu memberikan informasi jumlah tiap satuan waktu putaran atau frekuensi putaran benda yang berputar secara kontinyu.

**Fungsi :**

- Mengukur Rotasi Putaran per Menit (RPM)
- Mengukur Frekuensi Putaran



Gambar 12.25 Stroboscope

**Specifications**

Specifications	Nova-Strobe dbx Digital, Battery	Nova-Strobe dax Digital, AC Power
Range Flashes/Minute	30-20,000 FPM / RPM	30-20,000 FPM / RPM
Display	Digital LCD	Digital LCD
Accuracy/Resolution	±0.002% of setting or +/- 1 lsd / 0.01 FPM	
Flash Energy/Duration	230 mJoule (20-50 µsec)	
Average Power-Watts	10W	15W
Flash Tube Life (typical)	100 million flashes	100 million flashes
External Trigger(1/8" Phone Jack)	TTL (24V Max) Provides 5V out	
Tachometer Mode	5-200,000 RPM	5-200,000 RPM
Programmable Memory	Yes	Yes
Internal Phase Shift	Yes	Yes
Operating Time (fully charged batteries)	60 minutes at 6000 FPM	N/A
Power	6 Vdc internal rechargeable batteries	115 Vac, 50-400 Hz or 220-240 Vac, 50-400 Hz
Weight	1.9 Lbs. (1.2 kg)	1.5 Lbs. (0.72 kg)
Size (L x W x H)	Body: 9" x 3.66" x 3.56" (229 x 93 x 90 mm); Reflector Housing: 4.8" (122 mm) diameter; Handle: 4.25" (108 mm) long	
N.I.S.T. Certificate	Included	Included

**Persiapan Data Input**

Sebelum memulai penggunaan alat ukur ini, perlu disiapkan data :

- a. Objek Ukur yang mempunyai frekuensi
- b. Batasan Frekuensi Objek sesuai dengan Spesifikasi (Name Plate)
- c. Penanda yang jelas pada objek
- d. Sumber Listrik (Power)

**Langkah Penggunaan (Pengukuran)****1. Spesifikasi Alat Ukur**

**Tabel 12.2 Spesifikasi alat ukur**

<b>Specifications</b>	<b>Nova-Strobe dbx Digital, Battery</b>	<b>Nova-Strobe dax Digital, AC Power</b>
Range Flashes/Minute	30-20,000 FPM / RPM	30-20,000 FPM / RPM
Display	Digital LCD	Digital LCD
Accuracy/Resolution	±0.002% of setting or +/- 1 lsd / 0.01 FPM	
Flash Energy/Duration	230 mJoule (20-50 µsec)	
Average Power-Watts	10W	15W
Flash Tube Life (typical)	100 million flashes	100 million flashes
External Trigger (1/8" Phone Jack)	TTL (24V Max) Provides 5V out	
Tachometer Mode	5-200,000 RPM	5-200,000 RPM
Programmable Memory	Yes	Yes
Internal Phase Shift	Yes	Yes
Operating Time (fully charged batteries)	60 minutes at 6000 FPM	N/A
Power	6 Vdc internal rechargeable batteries	115 Vac, 50-400 Hz or 220-240 Vac, 50-400 Hz
Weight	1.9 Lbs. (1.2 kg)	1.5 Lbs. (0.72 kg)
Size (L x W x H)	Body: 9" x 3.66" x 3.56" (229 x 93 x 90 mm); Reflector Housing: 4.8" (122 mm) diameter; Handle: 4.25" (108 mm) long	
N.I.S.T. Certificate	Included	Included

## **2. Tahapan Pengukuran Alat Ukur**

- a. Berikan power listrik pada alat sesuai dengan spesifikasinya
- b. Aktifkan Alat dengan memposisikan Tombol Switch pada "On"
- c. Pilih/ Setting Satuan Frekuensi sesuai dengan besaran yang diinginkan (RPM atau Hertz)
- d. Tekan Tombol Setting "Kasar" untuk mendapatkan frekuensi yang sesuai secara lebih cepat
- e. Tekan Tombol Setting "Halus" untuk mendapatkan nilai frekuensi yang lebih teliti

## **3. Cara Operasi Alat**

- a. Aktifkan power supply dengan menekan tombol on/off
- b. Arahkan sinar stroboscope pada benda yang akan diukur putaran (rotasinya)
- c. Pilih nilai putaran mendekati dengan Name Plate (spesifikasi) benda yang diukur

- d. Putar atau tekan setting halus untuk menyesuaikan jumlah putaran per menit nilai hasil pengukuran

### 3. Infrared Thermography

Infrared Thermography adalah alat ukur besaran fisika yang mampu memberikan informasi panas (suhu) benda secara gambaran warna atau digital.



Gambar 12.26 Infrared Thermography

#### **Fungsi dan Penggunaan :**

Kamera yang berfungsi untuk mengukur temperatur benda untuk mendeteksi adanya problem atau masalah, seperti pada sambungan kabel instalasi listrik, dinding boiler, pipa-pipa uap panas, kebocoran dari area HVAC dengan menampilkan gambar infrared dari benda yang diukur yang mencantumkan besar nilai temperaturnya, yang akan langsung tersimpan pada eksternal memory yang ada pada alat tersebut.

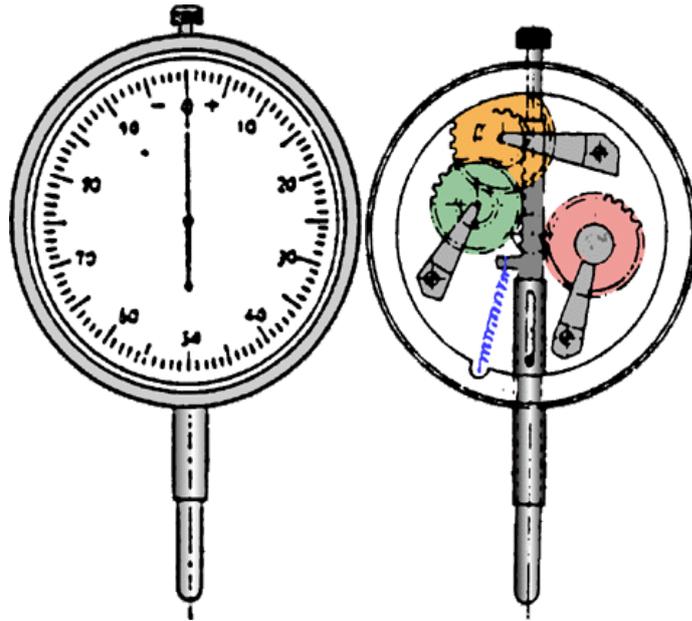
#### ***Cara Pemasangan Sensor***

Thermography diarahkan pada objek yang akan diukur nilai suhunya . Titik-titik yang perlu diukur suhunya antara lain:

- a. Kawat Phase dan Netral, termasuk Busbar
- b. Sekitar Bearing
- c. Kopling
- d. Sirip pendingin motor listrik

### 4. Dial Gauge

Dial Gauge adalah alat ukur besaran mekanikal yang mampu memberikan informasi nilai kelurusan (rata) permukaan benda yang diukur, baik yang bergerak secara kontinyu atau diam.



Gambar 12.27 Dial Gauge

**Fungsi :**

- Mengukur kerataan permukaan benda padat
- Mengukur kelurusan poros (alignment)

**Fungsi dan Penggunaan :**

Alat untuk mengukur kelurusan poros antara poros elektromotor dengan poros pompa yang dihubungkan dengan transmisi kopling.

**a. Peragaan dan Simulasi Pengukuran**

## Penunjukan Power Analyzer Type : A

POMPA DISTRIBUSI MANGGAR UNTUK WILAYAH PELAYANAN KILOMETER 12				
3P3W3M	500 A	380 V	49,95 Hz	
	U (VOLT)			THD (%)
	RMS	PEAK (+)	PEAK (-)	
Ch-1	379,9			
Ch-2	383,0			
Ch-3	383,0			
U AVE	382,0	Volt		
	I (kilo/AMPERE)			
	RMS	PEAK (+)	PEAK (-)	
Ch-1	37,6			
Ch-2	39,5			
Ch-3	39,2			
I AVE	38,8	Ampere		
	S (kVA)	PF	P (kW)	Q (kVAR)
Ch-1	7,2	0,507	14,3	12,3
Ch-2	7,7	0,508	15,1	13,0
Ch-3	7,5	0,496	15,0	13,0
SUM	22,4	0,872	25,7	12,5
U Unbl (%)	0,5			

	1 Ch	2 Ch	3 Ch	
V	379,9	383	383	V
A	37,6	39,5	39,2	A
P	14,3	15,1	15	kW
Q	12,3	13	13	kVAR
S	7,5	7,7	7,5	kVA
PF	0,507	0,508	0,496	
PA				Deg
ΣP	25,7	kW	f	Hz
ΣQ	12,5	kVAR	An	A
ΣS	22,4	kVAR	A4	A
PFt	0,872		DC1	V
PA		Deg	DC2	V

	Σ	Average	Unbal	
Tegangan	328,6	109,5	2,16	%
Kuat Arus	1328,1	442,7	(3,68)	%
Daya Aktif	-20,76			
Daya Reaktif	39,53			
Daya Aparent	145,55			
Faktor Daya	Total	(0,143)		
Sudut Fasor	-59,8			
S	51,05	48,74	45,75	84,03
P	51,05	48,74	23,06	122,85
Q	0	0	39,52	
PF	1	1	0,504	



### NILAI UNBALANCE (KETIDAK SETIMBANGAN) KUAT ARUS DAN TEGANGAN ANTAR PHASE

No.	LOKASI PENGUKURAN	Parameter	Data Hasil Pengukuran			Average	Unbalance (%)	
			Ch-1	Ch-2	Ch-3		Hitung/Baca	Limit
1.	IPA Km 12	U (Volt)	379,9	383	383	382	2,1 V	1%
	Manggar						0,55%	
2.	IPA Km 12	I (Amp)	37,6	39,5	39,2	38,8	1,2 A	10%
	Manggar						3,09	

#### KETERANGAN :

Membandingkan antara Data Hasil Ukur terhadap Kriteria

Parameter :

- Tegangan Unbalance > 1 %, perlu pembenahan motor
- Kuat Arus Unbalance > 10 %, perlu pembenahan motor

#### KESIMPULAN :

- Nilai Unbalance Tegangan masih berada dibawah Batas Kriteria
- Nilai Unbalance Kuat Arus masih berada dibawah Batas Kriteria

Gambar 12.28 peragaan dan simulasi pengukuran

## II . NILAI HASIL PERHITUNGAN EFISIENSI TOTAL DAN SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION

No.	LOKASI PENGUKURAN	POMPA DAN MOTOR				P <sub>w</sub> (watt)	$\eta T$ (%)	PARAMETER LISTRIK						SEC (wh/m <sup>3</sup> )	
		H (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )			U <sub>Ave</sub> (Volt)	I <sub>Ave</sub> (Amp)	$\sqrt{3}$	Cos $\phi$	P (watt)	S (VA)		
	IPA KM 12					HQ $\rho$ g									P/Q
1.	MANGGAR	69	0,013	1.000	9,81	8.800	39,29	382	38,8	1,73	0,872	22.400	25.700	478,63	

### KETERANGAN :

*Membandingkan antara Data Hasil Ukur (Hydroulic) terhadap Data Hasil Ukur lainnya (Electric)*

#### Parameter :

- a.  $\eta > 60 \%$  : masih dapat dipergunakan
- b.  $\eta < 50 \%$  : perlu perbaikan total
- c.  $50 < \eta < 60 \%$  : perlu revitalisasi
- d. SEC > 400 : unefisien

### KESIMPULAN :

- a. Nilai Efisiensi berada di bawah Batasan Revitalisas
- b. Nilai SEC berada di atas Batasan Efisien

### III . NILAI HASIL PERHITUNGAN DEVIASI TEGANGAN DAN FREQUENSI

No.	LOKASI PENGUKURAN	$U_{Rate}$ (V)	$U_{Ave}$ (Volt)	$\Delta U$ (Volt)	$U_{Dev}$ (%)	Dev-U Limit 10%	$f_{Rate}$ (Hz)	$f_{Ukur}$ (Hertz)	$\Delta f$ (Hertz)	$f_{Dev}$ (%)	Dev-f Limit 5%
1.	IPA Km 12 Manggar	380	382	2	0,53	< 10%	50	49,83	0,79	0,34	< 5%

#### KETERANGAN :

*Membandingkan antara Data Hasil Ukur terhadap Name Plate*

$\Delta U = (U_{ave} - U)$ $Dev U = \frac{\Delta u}{U} \times 100 \%$ $\Delta f = (f_{rate} - f)$ $Dev f = \frac{\Delta f}{f} \times 100 \%$	<b>Parameter :</b> 1. Batas Deviasi U = 10 % 2. Batas Deviasi f = 5 %
--	---

#### KESIMPULAN :

- Deviasi Tegangan masih berada dibawah Batas Kriteria*
- Deviasi Frekuensi masih berada dibawah Batas Kriteria*

**IV. TABEL PERHITUNGAN PERBAIKAN FAKTOR DAYA**  
**Berdasarkan Pemakaian Energi Listrik (Rekening Listrik PLN)**

No.	LOKASI PENGUKURAN	ENERGI NYATA (kWh)			EQ (kVARh)	Tan @	Sdt @	Cos @ (Lama)	Cos @ <sup>2</sup> (Target)	Sdt @ <sup>2</sup>	Tan @ <sup>2</sup>	Gol Rek	PERBAIKAN FAKTOR DAYA				
		LWBP	WBP	EP									$\Delta EQ$ (kVARh)	† (Jam/bl)	$\Delta Q$ (kVAR)	U (V)	C ( $\mu F$ )
1.		29.520	0	29.520	15.900	0,54	28,31	0,88	0,99	8,11	0,14	I-2	11.693,63	150	77,96	380	17,19

**KETERANGAN :**

1. Apabila Nilai kVAR tidak terisi angka "0", maka nilai Cos @ tdk terisi
2. Dengan asumsi nilai U = 380 v dan Frekuensi = 50 Hz
3. Golongan Tarif Rawan Pinalty : I-2, I-3, I-4 dan B-3

**LAMPIRAN - 1**  
**PPROPOSAL EFISIENSI ENERGI**

**EFISIENSI ENERGI**

## LAMPIRAN I: Proposal Efisiensi Energi

### **Memuat Judul**

- *Singkat*
- *Kegiatan (Verbal) langsung ke sasaran*
- *Objek (Fokus)*
- *Lingkup Pokok Bahasan*
- *Batasan Lokasi*

### **I. PENDAHULUAN**

#### 1.1. LATAR BELAKANG

- Menguraikan alasan pemilihan topik.
- Berkaitan erat dengan Efisiensi Energi di PDAM.

#### 1.2. RUMUSAN MASALAH

Identifikasi masalah, sehingga diperoleh:

- Pertanyaan tentang pokok bahasan yang akan diuraikan yang diharapkan akan memperoleh jawaban dari pelaksanaan kegiatan tersebut.
- Uraian tentang kegiatan (telah/ tengah/ akan /ide) yang berkaitan dengan Efisiensi Energi.

#### 1.3. MAKSUD DAN TUJUAN

- Manfaat utama yang diperoleh dari kegiatan Efisiensi Energi dimaksud.
- Menjawab atas pertanyaan pada rumusan masalah.

#### 1.4. RUANG LINGKUP

- Batasan lokasi dan fokus (kedalaman pembahasan).
- Berkaitan dengan hidrolika, elektrik dan mekanikal sebagai sarana penggerak air bersih.

**Memuat**

- *Pentingnya Penelitian yang direncanakan*
- *Penunjang bagi PDAM*
- *Pengembangan Institusi*
- *Penggunaan Teknologi*

**II. LANDASAN TEORI**

1. Materi Pelatihan Training of Trainer Efisiensi Energi Center of Excellence.
2. Materi lain yang berhubungan dengan hidrolika, pompa, mesin dan kelistrikan.

**Memuat**

- *Telaahan Pustaka*
- *Kemajuan yang telah dicapai*
- *Kajian Pendahuluan*

**III. METODE PELAKSANAAN**

## 1.1. Pengumpulan Data

- Data Primer (pengukuran besaran hidrolika, mekanikal dan elektrikal)
- Data Sekunder (Name Plate, Laporan Pelaksanaan Kerja, Brosur, Catatan lainnya, dll).

## 1.2. Pengolahan data (konversi/ tabulasi/ inventarisasi)

## 1.3. Input Data

- Data hasil olahan yang diperlukan sebagai bahan dalam proses perhitungan.

## 1.4. Proses

- Perhitungan energi/ daya
- Perhitungan Nilai Efisiensi Total (Pompa, Motor, Transmisi)
- Perhitungan Nilai SEC, Faktor Daya, Unbalanced, Deviasi, dll

## 1.5. Output Data, berupa:

- Nilai Intensitas Konsumsi Energi
- Faktor Daya

- Devisiasi Tegangan
- Devisiasi Frekuensi
- Unbalanced Voltage
- Unbalanced Current
- DII

1.6. Benchmarking (Pembandingan), terhadap besaran yang tercantum/berlaku

- Name Plate
- Kinerja masa yang lalu
- Kinerja objek sejenis
- Kriteria teknik

**Memuat**

- *Analisa Data Jelas*
- *Tahapan Jelas sehingga dapat dirinci bulanan/tahunan*
- *Teknik Sampling (pilot proyek jelas)*
- *Jadwal*
- *Biaya (perincian anggaran)*
- *Kemampuan PDAM*
- *Personalia (penunjang kegiatan dari PDAM)*
- *Sarana dan prasarana (dukungan)*
- *Tahapan dari yang sederhana ke yang lebih rumit*

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1.1. Simpulan

- Penjelasan tentang indikasi logis hasil perbandingan nilai perhitungan terhadap besaran kriteria (benchmark).
- Penjelasan tentang dampak negatif yang ditimbulkan, apabila tidak mendapatkan perlakuan khusus.
- Penjelasan tentang peluang/ alternatif/ solusi yang masih dapat dilakukan sehingga pengelolaan energi menjadi lebih hemat atau
- Pencegahan terjadinya kerusakan yang lebih parah pada peralatan.
- Manfaat yang dapat diambil dari pelaksanaan kegiatan tersebut.

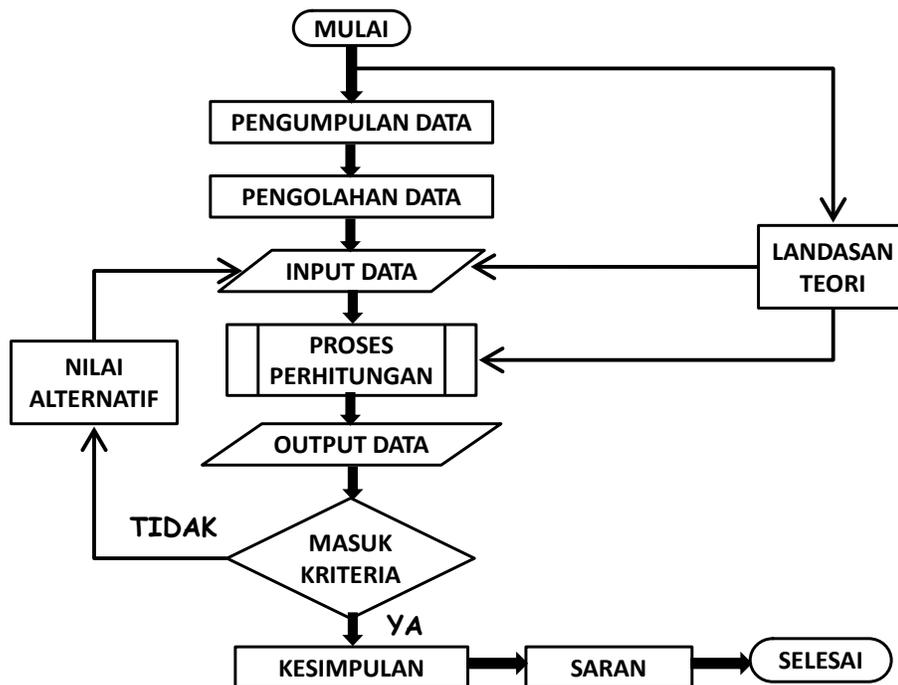
### 1.2. Kendala

- Kebijakan yang berseberangan dengan kegiatan.
- Keterbatasan dana/ pengetahuan SDM tentang Efisiensi Energi/ kuantitas SDM yang berkompeten/ Standar Operasi Prosedur, dll.

### 1.3. Saran

- Pernyataan/ harapan yang untuk mendukung keberhasilan kegiatan di masa yang akan datang.
- Persyaratan suksesnya tindak lanjut hasil kegiatan.

### FLOW CHART KEGIATAN



**LAMPIRAN - 2**  
**PENYELESAIAN KASUS ANALISIS KEUANGAN**

**EFISIENSI ENERGI**

## LAMPIRAN II : Penyelesaian kasus analisis keuangan

### Gambaran Cash Flow (selama umur ekonomi)

TABEL CASH FLOW

dalam ribuan Rupiah

Tahun	2014	2015	2016	2017	2018
EAT	950.000	1.100.000	1.250.000	1.400.000	1.650.000
Penyusutan	800.000	800.000	800.000	800.000	800.000
Kas Bersih (Proceed)	1.750.000	1.900.000	2.050.000	2.200.000	2.450.000
Discount Factor 20% (Tabel PVIF)	0,833	0,694	0,579	0,482	0,402
Present Value Kas Bersih	1.457.750	1.318.600	1.186.950	1.060.400	984.900
Jumlah PV Kas Bersih	6.008.600				

#### Catatan :

- a. Nilai Penyusutan

$$= \frac{\text{Nilai Investasi} - \text{Nilai Modal Kerja}}{\text{Umur}}$$

$$= \frac{5.000.000.000 - 1.000.000.000}{5 \text{ tahun}}$$

$$= \text{Rp.800.000.000,-}$$

- b. Nilai Discount Factor diperoleh dari Tabel PVIF atau diperhitungkan dengan cara

$$\text{Tahun 1} = \frac{1}{(1+r)} = 0,833$$

$$\text{Tahun 2} = \frac{1}{(1+r)^2} = 0,694$$

Dst .

#### **Perhitungan Nilai Kelayakan :**

### a. Payback Period (PP)

Payback Period merupakan teknik penilaian terhadap jangka waktu (periode) pengembalian investasi suatu usaha.

Perhitungannya dapat dilihat dari hasil perhitungan kas bersih (proceed) tiap tahun.

Nilai Kas bersih merupakan penjumlahan dari laba setelah pajak dengan nilai penyusutan (modal sendiri).

- Perhitungan PP apabila nilai Kas Bersih setiap tahun tetap (sama)

$$PP = \frac{\text{Investasi}}{\text{Kas Bersih per Tahun}} \times 12 \text{ bulan}$$

$$PP = \frac{Rp. 5.000.000.000,-}{Rp. 2.500.000.000,-} \times 12 \text{ bulan} = 24 \text{ bulan} = 2 \text{ tahun}$$

- Perhitungan PP apabila nilai Kas Bersih setiap tahun tidak sama

dalam ribuan rupiah

	Investasi	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Kas Bersih</b>		1.750.000	1.900.000	2.050.000 0	2.200.000 0	2.450.000 0
<b>Selisih</b>	(5.000.000 )	(3.250.000 )	(1.350.000 )	<b>700.000</b>	2.900.000 0	5.350.000 0

#### Keterangan :

1. Dengan perkembangan kas bersih setiap tahunnya, maka akumulasi kas berangsur dapat mengimbangi nilai investasi.
2. Nilai investasi dapat terlampaui pada tahun 2016. Pada saat itu nilai selisih antara Investasi dengan kas menunjukkan nilai positif.
3. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa "nilai investasi sudah tertutup pada tahun 2016" atau dalam waktu :

$$PP \text{ Tahun ke } 3 = \frac{Rp. 1.350.000.000}{Rp. 2.050.000.000} \times 12 \text{ bulan} = 7,9 \text{ bulan}$$

**sehingga Nilai PP dinyatakan 2 tahun lebih 8 bulan**

#### Tabel Perhitungan Payback Period (PP)

*Berdasarkan Laba yg terkumpul, nilai Investasi tsb kembali setelah brp tahun + brp bulan ?*

dalam ribuan rupiah

Nilai Investasi :	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000
Modal	Rp 1.000.000	Rp 1.000.000	Rp 1.000.000	Rp 1.000.000	Rp 1.000.000
TAHUN	1	2	3	4	5
	2014	2015	2016	2017	2018
LABA (EAT)	Rp 950.000	Rp 1.100.000	Rp 1.250.000	Rp 1.400.000	Rp 1.650.000
PENYUSUTAN	Rp 800.000	Rp 800.000	Rp 800.000	Rp 800.000	Rp 800.000
KAS BERSIH	Rp 1.750.000	Rp 1.900.000	Rp 2.050.000	Rp 2.200.000	Rp 2.450.000
AKUM KAS BERSIH	Rp 1.750.000	Rp 3.650.000	Rp 5.700.000	Rp 7.900.000	Rp 10.350.000
Sisa Invesasi	Rp 3.250.000	Rp 1.350.000	Rp (700.000)	Rp (2.900.000)	Rp (5.350.000)
Nilai PP =	2	tahun lebih	0,6585	tahun	
	2	tahun lebih	8	bulan	

#### b. Average Rate of Return (ARR)

Average Rate of Return merupakan cara untuk mengukur rata-rata pengembalian bunga dengan cara membandingkan antara rata-rata laba setelah pajak (EAT) dengan rata-rata investasi.

Perhitungan ARR :

$$\text{Rata rata EAT} = \frac{\text{Total EAT}}{\text{Umur Ekonomis (n)}}$$

$$\text{Rata rata Investasi} = \frac{\text{Investasi}}{2}$$

$$\text{ARR (\%)} = \frac{\text{Rata rata EAT}}{\text{Rata rata Investasi}}$$

Dari data tersebut di atas, dapat diperoleh nilai ARR, sebagai berikut:

Jumlah EAT dari tahun 2014 sampai dengan 2018:

	Tahun	Nilai
	2014	950.000.000
	2015	1.100.000.000
	2016	1.250.000.000
	2017	1.400.000.000
	2018	1.650.000.000
	Jumlah :	6.350.000.000

$$\text{Rata rata EAT} = \frac{6.350.000.000}{5} = 1.270.000.000$$

$$\text{Rata rata Investasi} = \frac{5.000.000.000}{2} = 2.500.000.000$$

$$\text{ARR} (\%) = \frac{1.270.000.000}{2.500.000.000} = 50,8 \%$$

**Keterangan :**

Nilai ARR tersebut di atas mencerminkan bahwa nilai Investasi akan dapat kembali sebelum umur ekonomis berakhir.

**Tabel Perhitungan Average Rate of Return (ARR)**

*Berapa kemampuan mengembalikan bunga sampai pada tahun ekonomis Investasi ?*

Nilai Investasi :	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000
Rata rata Investasi	Rp 2.500.000	Rp 2.500.000	Rp 2.500.000	Rp 2.500.000	Rp 2.500.000
TAHUN	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
LABA (EAT)	Rp 950.000	Rp 1.100.000	Rp 1.250.000	Rp 1.400.000	Rp 1.650.000
AKUMULASI EAT	Rp 950.000	Rp 2.050.000	Rp 3.300.000	Rp 4.700.000	Rp 6.350.000
RATA RATA EAT	Rp	Rp	Rp	Rp	Rp

	190.000	220.000	250.000	280.000	330.000
<b>AKUM RATA RATA EAT</b>	Rp 190.000	Rp 410.000	Rp 660.000	Rp 940.000	Rp 1.270.000
<b>ARR (%)</b>	7,60	16,40	26,40	37,60	50,80

**EAT = Earning After Tax = Pendapatan setelah Pajak**

dalam ribuan rupiah

<b>ARR &gt; 40 % :</b>	<b>Layak</b>
------------------------	--------------

### c. Net Present Value (NPV)

Net Present Value atau Nilai Bersih saat ini merupakan perbandingan (selisih) antara PV Kas bersih (PV of proceed) dengan PV Investasi (Capital Outlays) selama umur investasi .

$$NPV = \frac{Kas\ Bersih\ 1}{(1+r)} + \frac{Kas\ Bersih\ 2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Kas\ Bersih\ n}{(1+r)^n} - Investasi$$

#### Keterangan :

- NPV > 0 , maka Investasi dapat diterima
- NPV < 0 , maka Investasi sebaiknya ditolak
- Perhitungan PP apabila nilai Kas Bersih setiap tahun tetap (sama)

Hitungan dalam jutaan rupiah

$$NPV = \frac{2.500}{(1+0,2)} + \frac{2.500}{(1+0,2)^2} + \frac{2.500}{(1+0,2)^3} + \frac{2.500}{(1+0,2)^4} + \frac{2.500}{(1+0,2)^5} - 5.000$$

$$NPV = Rp. 2.475.000.000,-$$

Perhitungan dengan menggunakan Tabel :

dalam ribuan rupiah

Tahun ke	Kas bersih	DF (20%)	PV Kas Bersih
1	2.500.000	0,833	2.082.500
2	2.500.000	0,694	1.735.000
3	2.500.000	0,579	1.447.500
4	2.500.000	0,482	1.205.000
5	2.500.000	0,402	1.005.000
	<b>Jumlah PV Kas Bersih :</b>		<b>7.475.000</b>

Perhitungan selanjutnya :

Total PV Kas Bersih : Rp. 7.475.000.000,-

Total PV Investasi : Rp. 5.000.000.000,- (-)

**NPV : Rp. 2.475.000.000,-**

Perhitungan PP apabila nilai Kas Bersih setiap tahun tidak sama

Hitungan dalam jutaan rupiah

$$NPV = \frac{1.750}{(1+0,2)} + \frac{1.900}{(1+0,2)^2} + \frac{2.050}{(1+0,2)^3} + \frac{2.200}{(1+0,2)^4} + \frac{2.450}{(1+0,2)^5} - 5.000$$

$NPV = \text{Rp. } 1.008.600.000,-$

Perhitungan dengan menggunakan Tabel (dalam ribuan rupiah)

Tahun	EAT	Penyusutan	Kas Bersih	DF (20%)	PV Kas Bersih
2014	950.000	800.000	1.750.000	0,833	1.457.750
2015	1.100.000	800.000	1.900.000	0,694	1.318.600
2016	1.250.000	800.000	2.050.000	0,579	1.186.950
2017	1.400.000	800.000	2.200.000	0,482	1.060.400
2018	1.650.000	800.000	2.450.000	0,402	984.900
	Jumlah PV Kas Bersih :				6.008.600

Perhitungan selanjutnya :

Total PV Kas Bersih : Rp. 6.008.600.000,-

Total PV Investasi : Rp. 5.000.000.000,- (-)

**NPV : Rp. 1.008.600.000,-**

**Tabel Perhitungan Net Present Value (NPV)**

*Setelah tahun ke X apakah nilai uang yg terkumpul sdh dpt melebihi nilai Invest saat itu ?*

<b>Nilai Investasi :</b>	<b>Rp 5.000.000</b>				
<b>Modal</b>	Rp 1.000.000				
<b>TAHUN</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>LABA (EAT)</b>	Rp 950.000	Rp 1.100.000	Rp 1.250.000	Rp 1.400.000	Rp 1.650.000
<b>PENYUSUTAN</b>	Rp 800.000				
<b>KAS BERSIH</b>	Rp 1.750.000	Rp 1.900.000	Rp 2.050.000	Rp 2.200.000	Rp 2.450.000
<b>DF</b>	<b>20%</b>	<b>0,833</b>	<b>0,694</b>	<b>0,579</b>	<b>0,482</b>
<b>PV KAS BERSIH</b>	Rp 1.458.333	Rp 1.319.444	Rp 1.186.343	Rp 1.060.957	Rp 984.600
<b>AKUM KAS BERSIH</b>	Rp 1.458.333	Rp 2.777.778	Rp 3.964.120	Rp 5.025.077	Rp 6.009.677
<b>NILAI INVESTASI</b>	Rp 5.000.000				
<b>Nilai NPV =</b>	Rp (3.541.667)	Rp (2.222.222)	Rp (1.035.880)	Rp 25.077	Rp 1.009.677
<b>Rekomendasi</b>	Belum	Belum	Belum	Layak	Layak

**DF = Discount Factor**

dalam ribuan rupiah

**NPV > 0 : Layak**

#### d. Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return merupakan alat untuk mengukur tingkat pengembalian hasil intern.

**Cara I** : dengan langkah sebagai berikut :

1. Menghitung rata rata Kas Bersih

$$\text{Rata - rata Kas Bersih} = \frac{1.750 + 1.900 + 2.050 + 2.200 + 2.450}{5} = 2.070$$

2. Memperkirakan besar PP

$$PP = \frac{5.000}{(2.070)} = 2,416$$

3. Periksa Tabel A2 pada, angka yang mendekati nilai 2,416 . Diperoleh pada kolom 30 %, nilai 2,436 .

4. Tiap Discount kita kurangi 2 %, menjadi hanya 28 %, dan lihat Tabel A1, sehingga NPV-nya sebagai berikut :

dalam ribuan rupiah

Tahun ke	Kas bersih	DF (28%)	PV Kas Bersih
1	1.750.000	0,781	1.366.750
2	1.900.000	0,610	1.159.000
3	2.050.000	0,477	977.850
4	2.200.000	0,373	820.600
5	2.450.000	0,291	712.950
Jumlah PV Kas Bersih			<b>5.037.150</b>

Sampai diperoleh Nilai NPV = 5.037.150 – 5.000.000 = 37.150 (**Nilai Positif**)

5. Tiap Discount kita kurangi hingga, menjadi hanya 29 %, dan lihat Tabel A1, sehingga NPVnya sebagai berikut :

dalam ribuan rupiah

Tahun ke	Kas bersih	DF (29 %)	PV Kas Bersih
1	1.750.000	0,775	1.356.250
2	1.900.000	0,601	1.141.900
3	2.050.000	0,466	955.300
4	2.200.000	0,361	794.200
5	2.450.000	0,28	686.000
Jumlah PV Kas Bersih :			<b>4.933.650</b>

Nilai NPV = 4.933.650 – 5.000.000 = - 66.350 (**Nilai Negatif**)

6. Penggabungan dari dua tabel di atas diperoleh, sebagai berikut :

dalam ribuan rupiah

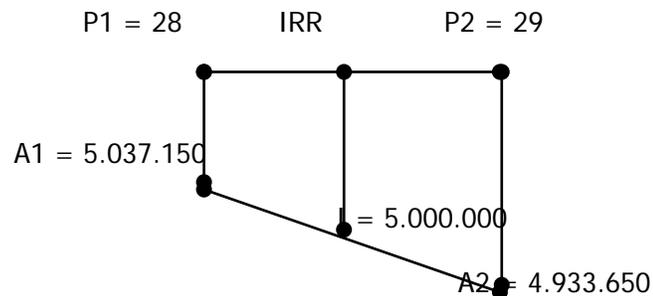
Tahun ke	Kas	Bunga 28 %		Bunga 29 %	
		DF	PV Kas Bersih	DF	PV Kas Bersih
1	1.750.000	0,781	1.366.750	0,775	1.356.250
2	1.900.000	0,610	1.159.000	0,601	1.141.900
3	2.050.000	0,477	977.850	0,466	955.300
4	2.200.000	0,373	820.600	0,361	794.200
5	2.450.000	0,291	712.950	0,280	686.000

Total PV Kas Bersih :	A1	5.037.150	A2	4.933.650
Total PV Investasi :	I	5.000.000	I	5.000.000
NPV :	C1	<b>37.150</b>	C2	<b>(66.350)</b>

Interpolasi	PVIFA		PVIFA
28%	5.037.150		5.037.150
Initial Investment			5.000.000
29%	4.933.650	( - )	( - )
	103.500		37.150

$$IRR = 28 + \frac{37.150}{103.500} \%, \quad \text{sehingga } IRR = 28 + 0,359 = 28,359 \%$$

#### Aturan Interpolasi :



$$\frac{(P_1 - IRR)}{(P_1 - P_2)} = \frac{(A_1 - I)}{(A_1 - A_2)}$$

Apabila :

$$A_1 - I = C_1 \text{ dan}$$

$$A_1 - A_2 = C_1 - C_2$$

maka :

$$\frac{P_1 - IRR}{P_1 - P_2} = \frac{C_1}{C_1 - C_2}$$

$$\frac{P_1 - IRR}{P_1 - P_2} = \frac{C_1}{C_1 - C_2}$$

Dan IRR dapat dihitung dengan rumus :

$$IRR = P1 - \left\{ C1 \frac{(P1 - P2)}{(C1 - C2)} \right\}$$

**Cara II** : Rumus yang dipergunakan :

$$IRR = P1 - \left\{ C1 \frac{(P1 - P2)}{(C1 - C2)} \right\}$$

**Keterangan :**

P1 : Tingkat Bunga 1

P2 : Tingkat Bunga 2

C1 : NPV 1

C2 : NPV 2

Dengan mempergunakan cara coba coba (Trial and Error) dan dengan mempergunakan Tabel di atas, diperoleh nilai :

$$P1 = 28 \%$$

$$P2 = 29 \%$$

$$C1 = 37.150$$

$$C2 = -66.350$$

$$IRR = P1 - \left\{ C1 \frac{(P1 - P2)}{(C1 - C2)} \right\}$$

$$IRR = 28 - \left\{ 37.150 \frac{(28 - 29)}{(37.150 + 66.350)} \right\}$$

$$IRR = (28 + 0,3589) = \mathbf{28,3589 \%}$$

**Kesimpulan :**

- Apabila IRR > dari Bunga Pinjaman, maka diterima
- Apabila IRR < dari Bunga Pinjaman, maka ditolak

### Tabel Perhitungan Internal Rate of Return (IRR)

*Pada Tahun dan tingkat Inflasi berapa Nilai Investasi sama dgn Jumlah Laba terkumpul ?*

Nilai Investasi :	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000
Modal	Rp 1.000.000	Rp 1.000.000	Rp 1.000.000	Rp 1.000.000	Rp 1.000.000
TAHUN	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
LABA (EAT)	Rp 950.000	Rp 1.100.000	Rp 1.250.000	Rp 1.400.000	Rp 1.650.000
PENYUSUTAN	Rp 800.000	Rp 800.000	Rp 800.000	Rp 800.000	Rp 800.000
KAS BERSIH	Rp 1.750.000	Rp 1.900.000	Rp 2.050.000	Rp 2.200.000	Rp 2.450.000
DF	28%	<b>0,781</b>	<b>0,610</b>	<b>0,477</b>	<b>0,373</b>
PV KAS BERSIH	Rp 1.367.188	Rp 1.159.668	Rp 977.516	Rp 819.564	Rp 713.044
AKUM PV KAS BERSIH	Rp 1.367.188	Rp 2.526.855	Rp 3.504.372	Rp 4.323.936	Rp 5.036.979
NILAI PV INVESTASI	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000	Rp 5.000.000
Nilai NPV =	Rp (3.632.813)	Rp (2.473.145)	Rp (1.495.628)	Rp (676.064)	Rp <b>36.979</b>
Rekomendasi	Belum	Belum	Belum	Belum	Layak
<b>Kalau Discount Factor X % maka Modal akan kembali TEPAT pada tahun ke Y</b>					<b>IRR &gt; 0 :</b>

EAT = Earning After Tax = Pendapatan setelah Pajak  
 DF = Discout Factor

dalam ribuan rupiah

Dengan mengganti nilai DF sedemikian rupa (trial & error") agar dihasilkan nilai NPV mendekati nilai "nol", dapat disimpulkan berapa nilai IRR-nya.

Pada percobaan dengan nilai DF = 28,35 % sebagaimana perhitungan di bawah ini, diperoleh nilai IRR mendekati nilai Nol.

Dengan demikian dinyatakan bahwa nilai IRR = 28,35 %.

Artinya, bahwa tingkat bunga 28,35 % merupakan batas tingkat bunga kritis pada tahun ke-5.

Apabila tingkat bunga menjadi 29 % (pada tahun ke-5), nilai IRR akan negatif (-66.417).

<b>Nilai Investasi :</b>	<b>Rp 5.000.000</b>				
<b>Modal</b>	Rp 1.000.000				
<b>TAHUN</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>LABA (EAT)</b>	Rp 950.000	Rp 1.100.000	Rp 1.250.000	Rp 1.400.000	Rp 1.650.000
<b>PENYUSUTAN</b>	Rp 800.000				
<b>KAS BERSIH</b>	Rp 1.750.000	Rp 1.900.000	Rp 2.050.000	Rp 2.200.000	Rp 2.450.000
<b>DF</b>	<b>0,2835</b>	<b>0,779</b>	<b>0,607</b>	<b>0,473</b>	<b>0,287</b>
<b>PV KAS BERSIH</b>	Rp 1.363.459	Rp 1.153.352	Rp 969.541	Rp 810.661	Rp 703.375
<b>AKUM PV KAS BERSIH</b>	Rp 1.363.459	Rp 2.516.811	Rp 3.486.352	Rp 4.297.013	Rp 5.000.388
<b>NILAI PV INVESTASI</b>	Rp 5.000.000				
<b>Nilai NPV =</b>	Rp (3.636.541)	Rp (2.483.189)	Rp (1.513.648)	Rp (702.987)	Rp 388
<b>Rekomendasi</b>	Belum	Belum	Belum	Belum	Layak

#### e. Profitability Index (PI)

Indek Profitabilitas atau Benefit and Cost Ratio (B/C Ratio) merupakan rasio aktivitas dari jumlah nilai sekarang, penerimaan bersih dengan nilai sekarang, dan pengeluaran investasi selama umur investasi .

Rumus yang dipergunakan dalam perhitungan :

$$PI = \left\{ \frac{\Sigma PV \text{ Kas Bersih}}{\Sigma PV \text{ Investasi}} \right\} \times 100 \%$$

- o Dari Contoh di atas diketahui :

Nilai Investasi : Rp. 5.000.000.000,-

Jumlah PV Kas Bersih dengan cash flow tetap : Rp. 7.475.000.000,-

$$PI = \left\{ \frac{\Sigma PV \text{ Kas Bersih}}{\Sigma PV \text{ Investasi}} \right\} \times 100 \%$$

- o Dari Contoh di atas diketahui :

Nilai Investasi : Rp. 5.000.000.000,-

Jumlah PV Kas Bersih dengan cash flow tidak tetap : Rp. 6.008.600.000,-

$$PI = \left\{ \frac{6.008.600.000}{5.000.000.000} \right\} \times 100 \% = 120,2 \%$$

**Kesimpulan :**

- o Apabila PI > dari 1 atau 100% maka diterima
- o Apabila PI < dari 1 atau 100% maka ditolak

**Tabel Perhitungan Internal Rate of Return (IRR)**

*Pada tahun ke berapa Investasi sudah dinyatakan Untung yang sebenarnya ?*

Nilai Investasi :	Rp 5.000.000				
Modal	Rp 1.000.000				
TAHUN	1	2	3	4	5
	2014	2015	2016	2017	2018
LABA (EAT)	Rp 950.000	Rp 1.100.000	Rp 1.250.000	Rp 1.400.000	Rp 1.650.000
PENYUSUTAN	Rp 800.000				
KAS BERSIH	Rp 1.750.000	Rp 1.900.000	Rp 2.050.000	Rp 2.200.000	Rp 2.450.000
DF 20%	<b>0,833</b>	<b>0,694</b>	<b>0,579</b>	<b>0,482</b>	<b>0,402</b>
PV KAS BERSIH	Rp 1.458.333	Rp 1.319.444	Rp 1.186.343	Rp 1.060.957	Rp 984.600
AKUM KAS BERSIH	Rp 1.458.333	Rp 2.777.778	Rp 3.964.120	Rp 5.025.077	Rp 6.009.677
NILAI INVESTASI	Rp 5.000.000				
Nilai PI (%) =	29,1667	55,5556	79,2824	100,5015	120,1935
Rekomendasi	Belum	Belum	Belum	Layak	Layak

EAT = Earning After Tax = Pendapatan setelah Pajak

dalam ribuan rupiah

DF = Discout Factor

PI > 100 % :	Layak
--------------	-------

**KESIMPULAN DARI HASIL SELURUH ANALISIS**

No.	Alat Ukur	Hasil Pengukuran	Rata-rata Industri	Keterangan
1	PP	2 Tahun 8 Bulan	3 tahun	Baik
2	ARR	50,80%	40%	Baik
3	NPV	1.008.600.000	500.000.000	Baik
4	PI	120%	110%	Baik
5	IRR	28,36%	24%	Baik

**LAMPIRAN - 3**  
**AUDIT ENERGI SEDERHANA**

**EFISIENSI ENERGI**

## LAMPIRAN III : Audit Energi Sederhana

### A. MENGHITUNG DEVIASI FREKUENSI LISTRIK UNTUK MENGUKUR KINERJA MOTOR

#### 1. PRINSIP KERJA

- Kinerja Pompa tidak secara langsung ditentukan oleh besaran frekuensi listrik.
- Besaran Frekuensi berbanding lurus terhadap putaran motor listrik.
- Penurunan putaran motor listrik mempengaruhi kinerja pompa.

#### 2. PERALATAN

- Tacho-meter
- Frekuensi-meter (*kadang-kadang tidak aktif*)
- Name Plate

#### 3. DASAR TEORI

- Putaran Motor =  $n = 120 f/P$
- Dev- Freq =  $(f_r - f_a) \times 100\% / (f_r)$
- Limit Deviasi Frekuensi = 5 %
- Hukum Kesebangunan (Affinity Law):
  - $H_2 = H_1 (n_2/n_1)^2$
  - $Q_2 = Q_1 (n_2/n_1)$
  - $P_2 = P_1 (n_2/n_1)^3$

#### 4. PEMBANDINGAN (BENCHMARK)

No.	BESARAN	Name Plate	Hasil Ukur/Hitung	Satuan
a.	Putaran Motor = n	1.500	1.300	rpm
b.	Frekuensi = f	50	43,34	Hz
c.	Kutub = p	4	4	buah
d.	Head Pompa = H	40	30,04	m
e.	Kapasitas = Q	10	8,67	l/s
f.	Daya = P	5,6	3,65	kWatt

#### 5. PERHITUNGAN

- Nilai Frekuensi =  $f_a = p \times n / 120 = (4 \times 1.300) / 120 = 43,34 \text{ Hz}$

b. Deviasi Frekuensi =  $(f_r - f_a) \times 100\% / f_r = (50 - 43,34) \times 100\% / 50 = 13,32 \%$

## 6. ANALISA

- Nilai Deviasi Frekuensi yang diperoleh melebihi nilai batas
- Nilai Head Pompa =  $H_2 = 40 (1.300/1.500)^2 = 30,04 \text{ m}$  (turun 24,9 %)
- Nilai Kapasitas Pompa =  $Q_2 = 10 (1.300/1.500) = 8,67 \text{ l/s}$  (turun 13,3 %)
- Nilai Daya Pompa =  $P_2 = 5,6 (1.300/1.500)^3 = 3,65 \text{ kWatt}$  (turun 34,9 %)

## 7. SIMPULAN

- Penurunan frekuensi lebih dari 5 % akan berakibat pada kinerja mesin menurun jauh (tidak dapat mencukupi kebutuhan).
- Penurunan frekuensi pada Inverter (untuk kerja mesin secara fluktuasi) hanya direkomendasikan +/- 5 % (deviasi terlalu besar mencerminkan pemilihan motor yang tidak tepat, sehingga dimungkinkan berdampak negatif terhadap komponen mekanik yang lain).
- Frekuensi yang tetap tidak menjamin kinerja pompa masih baik (*pengertian jangan dibalik*).

## 8. SOLUSI/SARAN

Ganti Motor Listrik atau perbaikan belitan (rewinding) agar sesuai lagi dengan Name Plate.

## B. MENGHITUNG DEVIASI TEGANGAN LISTRIK UNTUK MENGUKUR KINERJA MOTOR

### 1. PRINSIP KERJA

- Besaran tegangan berpengaruh terhadap catu daya untuk motor listrik.
- Penurunan tegangan listrik dapat berakibat ketidak mampuan motor untuk menggerakkan pompa, sehingga berakibat pada putusnya "fuse" atau "tripping".

### 2. PERALATAN

- Volt-meter
- Ampere-meter
- AVO-meter (Multy Tester)
- Name Plate

**3. DASAR TEORI**

- a.  $P = V \times I \times \sqrt{3} \times \cos \Phi$
- b. Limit Deviasi Tegangan = 10 %
- c.  $V_{in} = V_{out}$
- d.  $I_{in} = \Sigma I_{out}$
- e. Dev -Voltage =  $(V_r - V_a) \times 100\% / (V_r)$

**4. PEMBANDINGAN (BENCHMARK)**

No.	BESARAN	Name Plate	Hasil Ukur/Hitung	Satuan
a.	Voltage = V	380	340	Volt
b.	Daya Motor = P	115	117,31	kWatt
c.	Kuat Arus = I	200	240	Ampere
d.	Factor Daya = $\cos \Phi$	0,87	0,83	

**5. PERHITUNGAN**

- a. Nilai Tegangan =  $V_a = 360$  Volt (terbaca pada Volt Meter)
- b. Deviasi Tegangan =  $(V_r - V_a) \times 100\% / V_r = (380 - 340) \times 100\% / 380 = 10,53 \%$

**6. ANALISA**

- a. Nilai Deviasi Tegangan yang diperoleh melebihi nilai batas.
- b. Nilai Tegangan  $V_a = 340$  Volt (turun 10,53 %)
- c. Nilai Daya  $P = 117,31$  kWatt (naik 2,0 %)
- d. Nilai Daya Kuat Arus  $I = 240$  Ampere (naik 20 %)
- e. Nilai Faktor Daya  $\cos \Phi = 0,83$  (turun 4,6 %)

**7. SIMPULAN**

- a. Penurunan Tegangan lebih dari 10 % akan berakibat pada kinerja mesin menurun jauh.
- b. Penurunan Tegangan direkomendasikan  $< 5 \%$  (deviasi terlalu besar mencerminkan kinerja motor yang menurun, sehingga dimungkinkan berdampak negatif terhadap komponen mekanik dan elektrik yang lain). Salah satunya adalah peristiwa " Tripping".

**8. SOLUSI/SARAN**

- a. Meminta PLN untuk meningkatkan Tegangan catu Daya ke saluran tersebut.
- b. Memasang Step Up Transformator.
- c. Menambah Daya Sambung Terpasang (merupakan langkah unefisien).

### C. MENGHITUNG UNBALANCED TEGANGAN UNTUK MENGUKUR KINERJA MOTOR

#### 1. PRINSIP KERJA

- a. Besaran tegangan berpengaruh terhadap catu daya untuk motor listrik.
- b. Perbedaan tegangan antar fase mengakibatkan terjadinya arus pada kawat netral, sehingga akan berakibat kenaikan suhu motor.
- c. Kenaikan suhu motor akan mengurangi usia (keawetan) motor.

#### 2. PERALATAN

- a. Volt-meter dengan Tombol Selectornya
- b. AVO-meter (Multy Tester)
- c. Name Plate

#### 3. DASAR TEORI

- a. Limit Unbalanced Tegangan = 1 %
- b. Unbalanced Voltage =  $(V_b - V_r) \times 100\% / (V_r)$

#### 4. PEMBANDINGAN (BENCHMARK)

No.	BESARAN	Name Plate	Hasil Ukur/Hitung	Satuan
a.	Voltage Phase 1 (RS) = $V_a$	380	380	Volt
b.	Voltage Phase 2 (ST) = $V_b$	380	360	Volt
c.	Voltage Phase 3 (TR) = $V_c$	380	343	Volt
d.	Voltage Phase r = $V_r$	380	361	Volt

#### 5. PERHITUNGAN

- a. Nilai Tegangan Rata-rata =  $V_r = (380+360+343)/3 = 361$  Volt
- b. Nilai Unbalanced Tegangan =  $(V_r - V_c) \times 100\% / V_r = (380 - 343) \times 100\% / 361 = 10,2\%$

#### 6. ANALISA

Nilai Ketidaksetimbangan Tegangan yang diperoleh melebihi nilai batas 1 %.

## 7. SIMPULAN

- Besarnya nilai Unbalanced Tegangan biasanya akan diikuti dengan naiknya nilai Unbalanced Arus yang 10 kali lebih besar.
- Akibat yang dirasakan adalah putaran motor yang tidak halus (berdengung) dan motor cepat menjadi panas.
- Akibat Unbalanced Voltage yang melebihi ambang batas akan berdampak negatif terhadap komponen mekanik dan elektrik yang lain. Salah satunya adalah menurunnya kinerja motor.

## 8. SOLUSI/ SARAN

- Mengganti Motor Listrik
- Memperbaiki belitan (rewinding)
- Lakukan penyadapan Tegangan 1 Phase yang seimbang
- Penyesuai beban motor

Nilai U-Unbalanced (%)	Nilai Beban (%)	Nilai U-Unbalanced (%)	Nilai Beban (%)
1	98	4	82
2	95	5	75
3	88		

## D. MENGHITUNG FAKTOR DAYA DARI REKENING LISTRIK UNTUK MENGURANGI BIAYA PEMAKAIAN ENERGI REAKTIF

### 1. PRINSIP KERJA

- Faktor Daya yang kurang dari ambang minimum akan berakibat pada beban rekening yang tinggi.
- Faktor Daya dihitung berdasarkan nilai perbandingan antara Daya Semu dengan Daya Aktif.
- Rincian penggunaan Energi Aktif dan Energi Reaktif dapat dijadikan bahan perhitungan Faktor Daya.

## 2. PERALATAN

- a. Rincian Rekening Penggunaan Energi Listrik PLN
- b. Rekapitulasi Pembayaran Listrik Bulanan

## 3. DASAR TEORI

- a.  $EP$  = Jumlah Energi Aktif yang terpakai =  $WBP + LWBP$  (dalam satuan kWh)
- b.  $EQ$  = Jumlah Energi Reaktif yang terpakai (dalam satuan kVARh)

## 4. PERHITUNGAN

No.	BESARAN	Hasil Ukur/Hitung	Satuan
a.	Jumlah Energi Aktip Waktu Beban Puncak = $WBP$	200	kWh
b.	Jumlah Energi Aktip Luar Waktu Beban Puncak = $LWBP$	56	kWh
c.	Jumlah Energi Aktif = $WBP + LWBP = EP$	256	kWh
d.	Jumlah Energi Reaktif = $EQ$	170	kVARh
e.	Jumlah Energi Semu = $ES$	307,3	kVAh

- a. Jumlah Energi Aktif terpakai =  $EP = 256$  kWh
- b. Jumlah Energi Reaktif terpakai =  $EQ = 170$  kVARh
- c. Jumlah Energi Semu terpakai =  $ES = (256^2 + 170^2)^{0.5} = 307,3$  kVAh
- d. Faktor Daya =  $\cos \Phi = P/S = (256/307,3) = 0,83$

## 5. ANALISA

- a. Nilai Faktor Daya yang diperoleh kurang dari nilai batas 0,85 %, sehingga terdapat perhitungan penggunaan Energi Reaktif pada bulan tersebut sebesar Rp. ....,-
- b. Apabila nilai tersebut berlangsung selama setahun, maka nilai energi reaktif yang terbayar = Rp. ....,-

## 6. SIMPULAN

- a. Nilai Energi Reaktif yang bertanggung =  $(EQ - EQs) \times \text{Tarif Energi Reaktif}$  sesuai dengan daya terpasang dan Golongan Tarif Listrik.
- b. Untuk mengetahui Golongan Tarif yang terkena Beban Energi Reaktif, agar mencermati Ketentuan yang tertuang dalam Keputusan Menteri ESDM yang berlaku.

## 7. SOLUSI/ SARAN

- a. Rencanakan pemasangan kapasitor, dengan kapasitas sama dengan besaran Daya Reaktif.
- b. Daya Reaktif dihitung berdasarkan  $EQ/h$ . Dimana  $h$  = waktu nyala dalam sebulan (dihitung dalam satuan jam).

## **E. MENGHITUNG FAKTOR DAYA UNTUK MENGURANGI BIAYA PEMAKAIAN ENERGI REAKTIF DENGAN MEMENFAATKAN PANEL LISTRIK YANG ADA**

### **1. PRINSIP KERJA**

- a. Faktor Daya yang kurang dari ambang minimum akan berakibat pada beban rekening yang tinggi.
- b. Faktor Daya dihitung berdasarkan nilai perbandingan antara Daya Semu dengan Daya Aktif.
- c. Panel Listrik sederhana dapat dipergunakan untuk menganalisa nilai Faktor Daya yang terjadi pada sistem.
- d. kWh-meter adalah alat ukur penggunaan Energi Aktif =  $EP = V \times I \times \sqrt{3} \times \text{Cos}\Phi \times t$

### **2. PERALATAN**

- a. Energi- Meter = kWh-meter
- b. Volt- Meter
- c. Ampere- Meter
- d. Jam (Stop Watch)

### **3. DASAR TEORI**

- a.  $EP$  = Jumlah Energi Aktif yang terpakai (dalam satuan kWh) diukur dalam kWh-meter
- b. Ampere meter menunjukkan nilai besaran kuat arus sesaat
- c. Volt meter menunjukan nilai besaran tegangan listrik sesaat
- d.  $S$  = Nilai Daya Semu =  $V \times I \times \sqrt{3}$  kVA
- e. Faktor Daya =  $\text{Cos}\Phi = EP/S \times t$

### **4. PERHITUNGAN**

No.	BESARAN	Hasil Ukur/ Hitung	Satuan
-----	---------	-----------------------	--------

a.	Jumlah Energi Aktif dalam 1 jam = EP1 (selisih nilai)	110	kWh
b.	Tegangan Listrik selama 1 jam konstan = V1	380	Volt
c.	Kuat Arus Listrik selama 1 Jam konstan = I1	200	Ampere
d.	Waktu Pengamatan = t	1	jam

### 5. ANALISA

- Jumlah Energi Aktif dalam 1 jam terpakai =  $EP/1 = 110 \text{ kWh}/1\text{h} = 110 \text{ kW}$
- Nilai daya Semu =  $S = (V \times I \times \sqrt{3}) = (380 \times 200 \times 1,732) = 131,636 \text{ kVA}$
- Faktor Daya =  $\text{Cos}\Phi = P/S = 110/(131,636) = 0,84$
- Nilai sudut  $\Phi = 32,86^\circ$
- Nilai Daya Reaktif =  $Q = S \text{ Sin } \Phi = 131,636 \times \text{Sin } 32,86^\circ = 71,42 \text{ kVAR}$

### 6. SIMPULAN

Nilai Faktor Daya yang diperoleh 0,84 (kurang dari nilai batas 0,85 %), sehingga nilai penggunaan Energi Reaktif diperhitungkan dalam rekening, yang bersifat Pinalty (pembinaan).

### 7. SOLUSI/SARAN

Rencanakan pemasangan kapasitor, dengan kapasitas sama dengan besaran Daya Reaktif Yaitu sebesar 71,42 kVAR .

**LAMPIRAN - 4**  
**KUNJUNGAN DAN PRAKTEK LAPANGAN**  
**KE PDAM**

**EFISIENSI ENERGI**

---

## LAMPIRAN – 4 kunjungan dan praktik lapangan ke PDAM

### I. PRAKTIK PENGUKURAN

#### LOKASI

Praktik pengukuran dilakukan pada instalasi Mekanikal dan Elektrikal suatu PDAM yang memiliki sistem pompa.

#### PARAMETER YANG DIUKUR

##### 1. Hidrolika

###### Pengukuran

- Head Input (Head Suction)  
Pengukuran dapat dilakukan dengan mengamati nilai manometer yang terpasang pada jaringan pipa isap (suction), atau mengukur ketinggian permukaan air pada tadah isap sampai poros pompa.
- Head Output Pompa (Head Discharge)  
Pengukuran dapat dilakukan dengan mengamati tekanan zat cair yang keluar dari pompa, yaitu pada penunjukan manometer discharge.
- Kapasitas Output Pompa  
Pengukuran dapat dilakukan dengan pengamatan pada Water Meter yang terpasang pada output (discharge) pompa atau dengan pengukuran debit aliran menggunakan Ultrasonic Flow Meter .
- Massa Jenis Zat Cair  
Pengukuran dapat dilakukan dengan hygrometer atau korelasi antara suhu zat cair terhadap massa jenis, atau dengan pendekatan nilai massa jenis air  $1.000 \text{ kg/m}^3$ .

###### Pengamatan/ Pengukuran

- Alat Ukur Hidrolika  
Mengamati keberadaan dan posisi alat ukur hidrolik seperti : Manometer, Water Meter, Thermo Meter, katub udara, lubang pancing, dll .

##### 2. Elektrikal

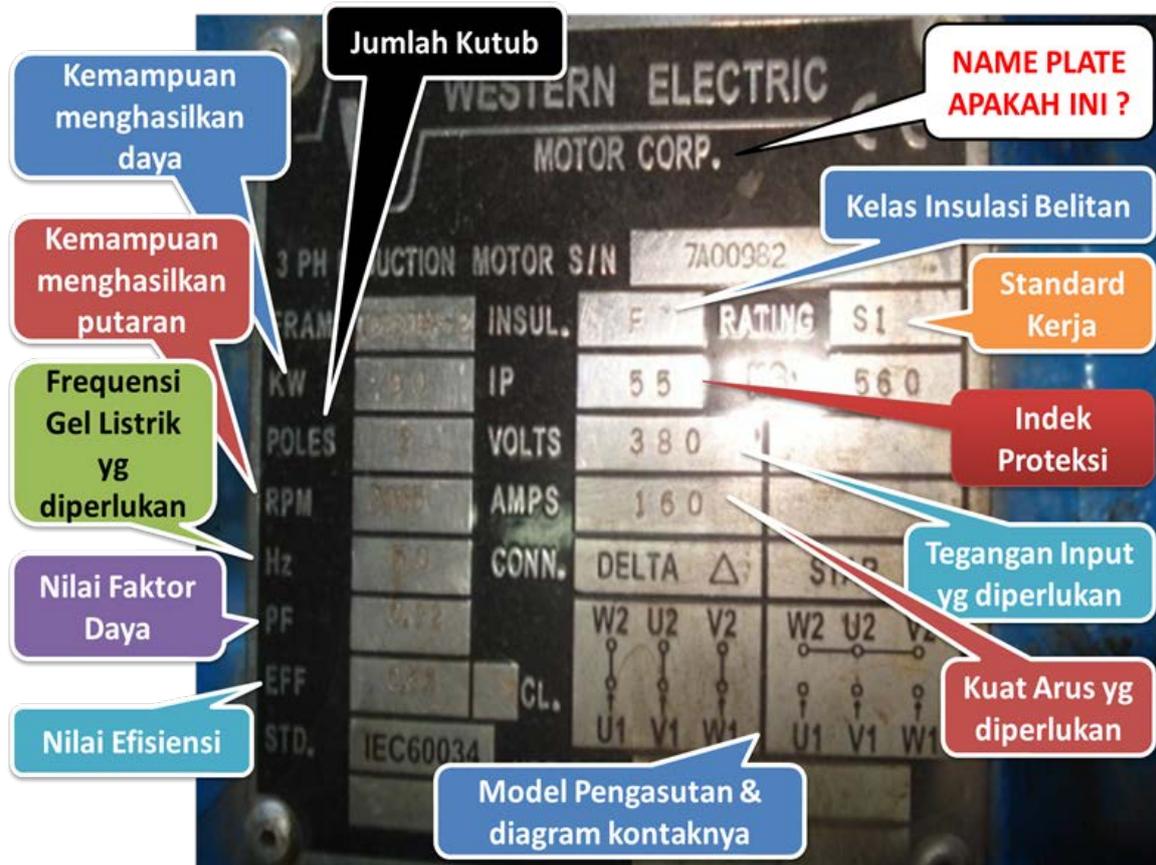
**Pengukuran**

- Tegangan tiap Chanel (Line to Line)  
Pengukuran dapat dilakukan dengan Power Analyzer, Multy Tester (AVO Meter) atau Tang Ampere.
- Kuat Arus tiap Chanel (Line to Line)  
Pengukuran dapat dilakukan dengan Power Analyzer, Multy Tester (AVO Meter) atau Tang Ampere.
- Daya Aktif tiap Chanel (Line to Line)  
Pengukuran dapat dilakukan dengan Power Analyzer, atau perhitungan yang berdasarkan nilai hasil perhitungan/ pengukuran tegangan, Faktor Daya dan kuat arus.
- Daya Semu tiap Chanel (Line to Line)  
Pengukuran dapat dilakukan dengan Power Analyzer, atau perhitungan yang berdasarkan nilai hasil perhitungan/ pengukuran tegangan, dan kuat arus.
- Daya Reaktif tiap Chanel (Line to Line)  
Pengukuran dapat dilakukan dengan Power Analyzer, atau perhitungan yang berdasarkan nilai hasil perhitungan/ pengukuran Daya Semu dan Daya Aktif tiap Chanel.
- Faktor Daya tiap Chanel (Line to Line)  
Pengukuran dapat dilakukan dengan Power Analyzer, atau perhitungan yang berdasarkan nilai hasil perhitungan/ pengukuran Daya Semu dan Daya Aktif tiap Chanel.
- Frekuensi Gelombang Listrik  
Pengukuran dapat dilakukan dengan Power Analyzer, atau Stroboscope.

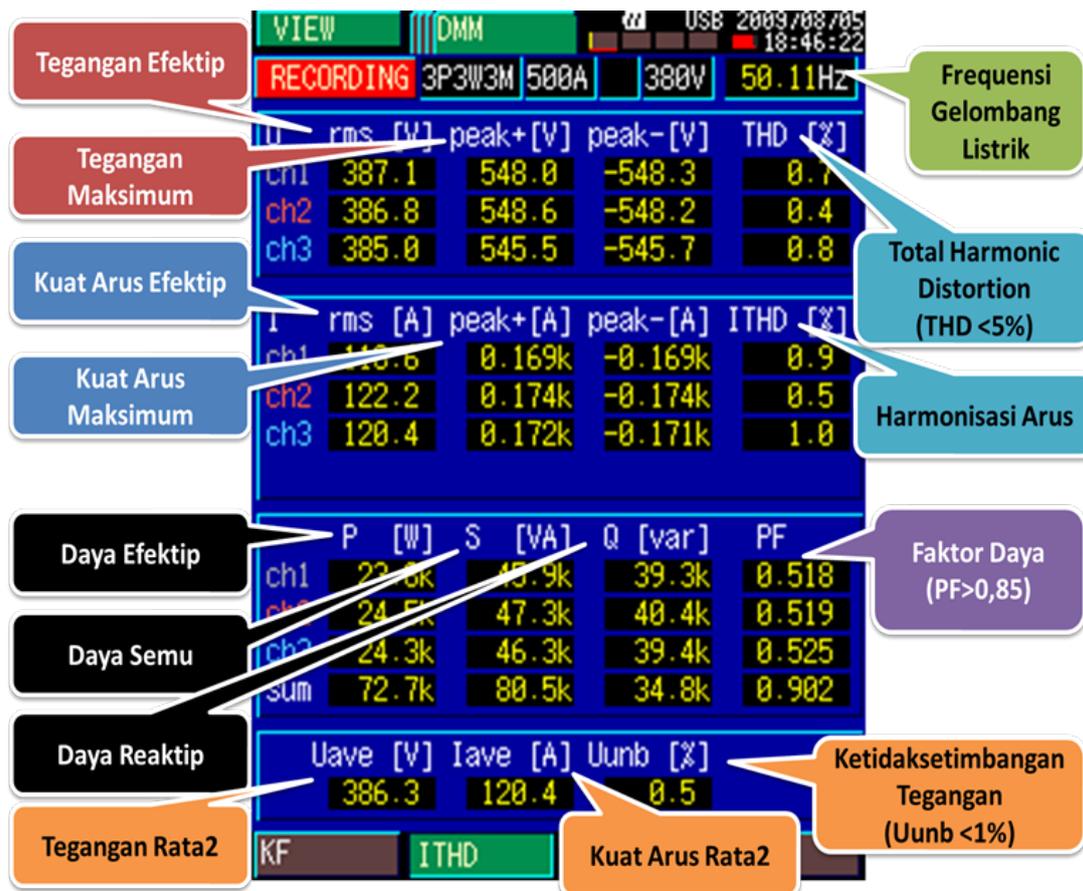
**Pengamatan/ Pengukuran**

- Suhu Elektromotor  
Pengamatan atau pengukuran dapat dilakukan dengan Thermo Meter atau Infra Red Thermografi.
- Alat Ukur Elektrikal  
Pengamatan terhadap keberadaan alat ukur elektrikal, seperti : Ampere Meter, Lampu Alarm (Pilot), Volt Meter, Watt Meter, kWh Meter, Cos  $\phi$  Meter, Selector Switch, dll .
- Name Plate Motor dan Name Plate Pompa

Pengamatan tentang karakter (saat motor/ pompa di-design) Pompa dan Elektromotor (rated), seperti input elektrik/ mekanikal, Tingkat Ketahanan motor, nilai efisiensi, output elektrik/ mekanikal, Faktor daya, dll .



Gambar 1 Name Plate



Gambar 2 Pengukuran Kelistrikan

### 3. Mekanikal

#### Pengukuran

- Rotasi Poros Pompa  
Pengukuran dapat dilakukan dengan Stroboscope atau Tacho Meter.

#### Pengamatan/ Pengukuran

- Kelurusan Poros Pompa (Dial Indikator).
- Keberisikan Suara Pompa (Sound Noise Level Meter Tester atau Noise Figure Analyzer).
- Getaran Pompa/ Motor (dengan alat vibration meter .
- Kebocoran Zat Cair pada seal
- Hubungan Header dengan Pipa Discharge
- Accessories (check valve, gate valve, hydrophore, consentris reducer, Tee , "Y", flexible joint, dll)
- Alat Ukur Mekanikal (Torsi Meter, Tacho meter/stroboscope, dll) .

#### 4. Hidrolika

##### Pengukuran/ Pengamatan

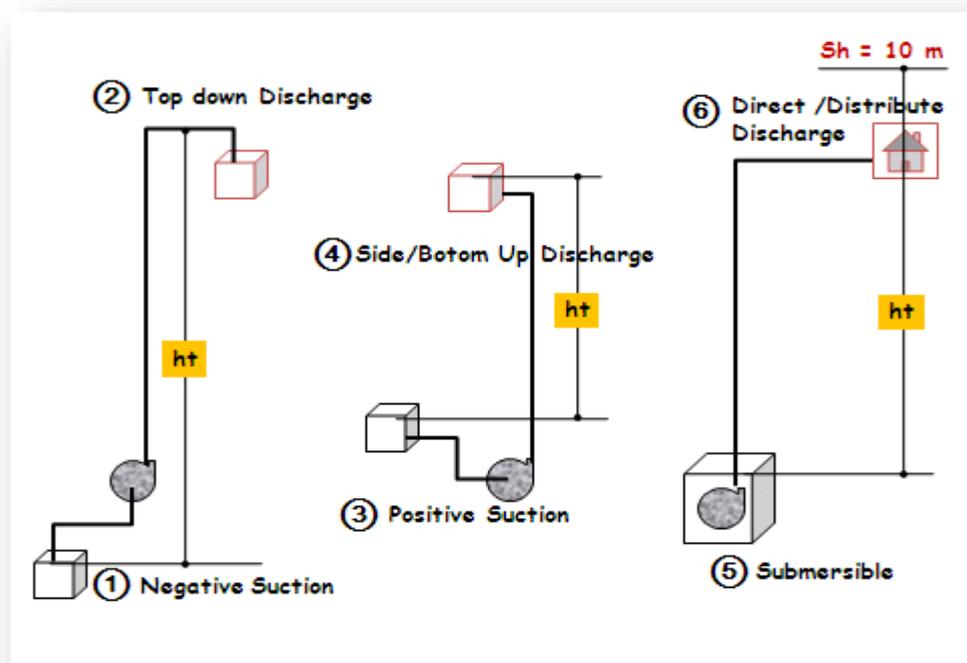
- o Tinggi head suction pompa (dengan mistar)

Nilai Head Pompa (pada Manometer)

Debit aliran air (dengan Ultrasonic Flow Meter atau Water Meter).

Untuk memperoleh Nilai Head (Total) Pompa, kita perlu memahami kondisi Suction (Isap) Pompa.

- ✓ Apabila Sistem Jaringan Isap Pompa termasuk **Positive Suction**, dimana permukaan air yang diisap berada **lebih tinggi** dari pompanya, maka nilai Head Pompa = Head Tekan (Discharge) yang ditunjukkan oleh Manometer **dikurangi** dengan Tinggi Isap (Head Isap).
- ✓ Apabila Sistem Jaringan Isap Pompa termasuk **Negative Suction**, dimana permukaan air yang diisap berada **lebih rendah** dari pompanya, maka nilai Head Pompa = Head Tekan (Discharge) yang ditunjukkan oleh Manometer **ditambah** dengan Tinggi Isap (Head Isap).



**Gambar 3 Jenis-jenis Pompa**

- o Debit Aliran zat cair (keluar dari pompa)
- Pengukuran dapat dilakukan dengan:
- a. Water Meter (bila tersedia), dengan hasil perhitungan:

- ✓ Nilai selisih penunjukkan dalam kurun waktu = volume air yang melewati Meter Air
  - ✓ Waktu pengamatan = kurun waktu
  - ✓ Debit = Volume : kurun waktu
- b. Ultrasonic Flow Meter, dapat menunjukkan langsung nilai:
- ✓ Debit aliran (lps, mph atau m<sup>3</sup>/s)
  - ✓ Kecepatan Aliran (mps)
  - ✓ Volume zat cair yang lewat (m<sup>3</sup>)

## II. PRAKTIK PERHITUNGAN KINERJA SISTEM POMPA

Praktik Perhitungan yang dilakukan antara lain :

- o Unbalanced Tegangan Listrik Chanel

Pengukuran ini bertujuan untuk memperoleh gambaran tentang:

- ✓ Seberapa besar kinerja yang masih dapat diberikan oleh motor
- ✓ Kualitas tegangan listrik yang masuk ke dalam sistem
- ✓ Penyebab terjadinya gangguan pada motor listrik, seperti over heating, tripping, atau gangguan listrik akibat pembukaan katup pompa

**Tabel 1 Perhitungan Unbalance Tegangan**

Tegangan	(Volt)	Rata rata	Selisih	Selisih Besar
<b>Ch-1</b>	<b>374,60</b>	<b>374,60</b>	-	<b>1,60</b>
<b>Ch-2</b>	<b>376,20</b>		<b>(1,60)</b>	
<b>Ch-3</b>	<b>373,00</b>		<b>1,60</b>	
<b>Jumlah :</b>	<b>1.123,80</b>	<b>LOKASI :</b>	<b>IPA PUCUNG</b>	
<b>U Unbalc =</b>	<b>0,43%</b>		<b>Rekomendasi :</b>	
<b>Nilai Batas</b>	<b>1,00%</b>		<b>Motor masih Aman</b>	

Parameter:

Tegangan Unbalance >1%, perlu pembenahan motor

- o Unbalanced Kuat Arus antar Chanel

Sebagaimana pada Unbalance Voltage, Pengukuran ini bertujuan untuk memperoleh gambaran tentang:

- ✓ Seberapa besar kinerja yang masih dapat diberikan oleh motor
- ✓ Kualitas tegangan listrik yang masuk ke dalam sistem
- ✓ Penyebab terjadinya gangguan pada motor listrik, seperti over heating, tripping, atau gangguan listrik akibat pembukaan katup pompa

Tabel 2 Perhitungan Unbalance Kuat Arus

Kuat Arus	(Ampere)	Rata rata	Selisih	Selisih Besar
Ch-1	35,70	36,03	0,33	(1,07)
Ch-2	37,10		(1,07)	
Ch-3	35,30		0,73	
Jumlah :	108,10	LOKASI :	IPA PUCUNG	
I Unbalc =	(2,96)%		Rekomendasi :	
Nilai batas	10,00%		Motor masih Aman	

Parameter:

Kuat Arus Unbalance > 10%, perlu pembenahan motor

- o Deviasi Tegangan antara Name Plate terhadap Average  
Pengukuran ini bertujuan untuk :
  - ✓ Mengetahui kualitas listrik dari Catu daya (utamanya tegangan)
  - ✓ Mengetahui penyebab terjadinya Over Current dan Tripping yang sering terjadi pada sistem pompa
- o Deviasi Frekuensi Listrik antara Name Plate terhadap Average  
Pengukuran ini bertujuan untuk memperoleh gambaran tentang :
  - ✓ Tingkat kinerja motor listrik yang disebabkan oleh penyimpangan kecepatan putar (rotasi) poros pompa dari Name Plate (karakter pembawaannya)
  - ✓ Ketepatan alat ukur perubah putaran (sebagai alat kalibrasi nilai rotasi yang ditunjukkan oleh VSD)

Tabel 3 Perhitungan Nilai Deviasi Tegangan dan Frekuensi

No.	LOKASI	U Rate	U Average	$\Delta U$	Dev U	Nilai Batas
		(Volt)	(Volt)	(Volt)	(%)	10%
1	IPA PUCUNG	380	374,6	5,4	1,42	U Masih cukup

f Rate	f Average	$\Delta f$	Dev f	Nilai Batas
(Hertz)	(Hertz)	(Hertz)	(%)	5%
50	50,03	-0,03	-0,06	f Masih cukup

Parameter Deviasi:

1. Batas Deviasi U= 10%
2. Batas Deviasi f= 5%

- Perhitungan Daya Air yang dihasilkan Pompa  
Perhitungan ini dikandung maksud untuk mengetahui hasil kinerja Penggerak Mula, sehingga mampu menghasilkan besaran hidrolika Debit dan Tekanan (output) pompa.
- Perhitungan Daya Listrik yang dipergunakan sistem pompa  
Perhitungan ini dikandung maksud untuk mengetahui nilai daya listrik yang diperlukan sistem (Daya Input = P1), melalui besaran elektrik.
- Perhitungan Nilai Efisiensi Total  
Perhitungan ini dikandung maksud untuk mengetahui berapa Daya (input) yang termanfaatkan dan berapa daya yang hilang dalam proses transformasi energi (listrik ke aliran zat cair). Disebut sebagai Nilai efisiensi Total, karena terdiri dari (merupakan penggabungan dari) Nilai Efisiensi Pompa, Nilai Efisiensi Transmisi dan Nilai Efisiensi Motor Listrik.
- Perhitungan Specific Energi Consumption (SEC)  
Perhitungan ini dikandung maksud untuk memperoleh nilai efektivitas dan efisiensi sistem, dengan membandingkan antara kebutuhan energi (listrik) terhadap produk (air) yang dihasilkan.

**Tabel 4 Perhitungan Daya, Efisiensi dan Spesifik Energi**

No.	LOKASI	POMPA				Pw (watt)
		H	Q	$\rho$	g	
		(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(kg/m <sup>3</sup> )	(m/s <sup>2</sup> )	
1.	IPA PUCUNG	<b>34,00</b>	<b>0,0512</b>	998,20	9,81	17.046,51

LISTRIK						$\eta$	SEC
Cos $\phi$	$\sqrt{3}$	U	I	S	P		
		(Volt)	(Amp)	(VA)	(watt)	(%)	(wh/m <sup>3</sup> )
<b>0,96</b>	1,7321	374,60	36,03	23.379	22.444	75,95	121,77

Parameter:

- a.  $\eta > 60\%$ , sistem masih dapat dipertahankan
  - b.  $\eta < 50\%$ , sistem perlu pembenahan total
  - c.  $50 < \eta < 60\%$ , sistem perlu pembenahan sederhana
  - d. SEC > 400, sistem tidak ekonomis
- Perhitungan Perbaikan Faktor Daya  
Perhitungan ini dikandung maksud untuk mengetahui korelasi (hubungan) antara besaran besaran listrik yang mempengaruhi Nilai Faktor Daya, sebagaimana dibahas pada Pokok Bahasan Segi Tiga Daya .

- o Dengan mengetahui Nilai Faktor Daya, kita dapat membuat "skenario" perbaikan Faktor Daya yang aman dan efisien, dengan meningkatkan nilainya mendekati Nilai Sempurna "Satu".

Tabel 5 Perbaikan Faktor Daya (Dasar Rekening)

LOKASI			
POMPA	IPA PUCUNG		
LWBP	WBP	EP	EQ
(kWh)			(kVARh)
68.755,60	12.252,00	81.007,60	62.358,00
Tan $\Phi$ 1	$\Phi$ 1	Cos $\Phi$ 1 Lama	Jam Nyala (Jam)
0,77	37,59	0,79	235
Tan $\Phi$ 2	$\Phi$ 2	Cos $\Phi$ 2 Target	DAYA AKTIF (kW)
0,14	8,11	0,99	344,71
Qc	Kapasitas Total Kapasitor Hubung $\Delta$		
(kVARh)	U (V)	f (Hz)	Ct ( $\mu$ F)
216,23	380,00	50,00	4.769,00

Tabel 13.6 Perhitungan Power Factor dan Perbaikan Nilainya

S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)
23.379,37	22.444,20	6.546,22
f (Hz)	U (Volt)	I (Amp)
50,03	374,60	36,03
Cos $\Phi$ 1 Lama	$\Phi$ 1	Tan $\Phi$ 1
0,96	16,26	0,29
Cos $\Phi$ 2 Target	$\Phi$ 2	Tan $\Phi$ 2
0,99	8,11	0,14
KAPASITAS KAPASITOR		LOKASI
Qc (VAR)	Ct ( $\mu$ F) $\Delta$	
3.348,10	75,94	PUCUNG

**Contoh:**

$$P = 25 \text{ kW}$$

$$U_L = 380 \text{ volt}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Berapa kapasitas kapasitor agar faktor daya berubah dari **0,7 menjadi 0,94**

- Rangkaian Bintang
- Rangkaian Segitiga

$$Q_c = 15,9 \text{ kVAR}$$

$$C = \frac{Q_c}{2 \times \pi \times f \times U^2}$$

**a. Rangkaian Bintang :**

$$U_c = U_L / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ Volt}$$

$$C_{tot} = 15.900$$

$$(220)^2 \times 2 \times \pi \times 50$$

$$= 15.900 / 15.197.600$$

$$= 1.046 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_{phase} = 1.046 / 3 =$$

$$= 349 \text{ } \mu\text{F/Phase}$$

**b. Rangkaian Segitiga :**

$$U_c = U_L = 380 \text{ Volt}$$

$$C_{tot} = 15.900$$

$$(380)^2 \times 2 \times \pi \times 50$$

$$= 15.900 / 45.341.600$$

$$= 350,67 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_{phase} = 350 / 3 =$$

$$= 117 \text{ } \mu\text{F/Phase}$$