

628.14

SOE

0

21



**OPTIMALISASI PENGOPERASIAN
SISTEM POMPA DISTRIBUSI
PDAM SOREANG**

TESIS

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh:

Sudigdo Soegondo

L4A002149

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2004

OPTIMALISASI PENGOPERASIAN SISTEM POMPA DISTRIBUSI PDAM SOREANG

Disusun Oleh

Sudigdo Soegondo

Nim : L4A 002 149

Dipertahankan di depan tim Penguji pada tanggal:

14 Oktober 2004

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji:

- | | |
|---------------|---------------------------|
| 1. Ketua | : Dr.Ir. Suharyanto, M.Sc |
| 2. Sekretaris | : Ir. Sri Sangkawati, MS |
| 3. Anggota 1 | : Dr. Ir. Suripin, M.Eng |
| 4. Anggota 2 | : Ir. Hari Nugroho, MT |
| 5. Anggota 3 | : Ir. Syafrudin, CES, MT |

.....
.....
.....
.....
.....

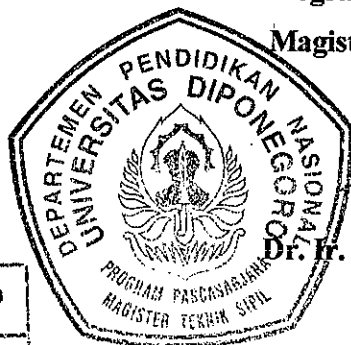
Semarang, Oktober 2004

Universitas Diponegoro

Program Pascasarjana

Magister Teknik Sipil

Ketua,



Dr. Ir. Suripin, M.Eng

UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft:...	3377/H/MTB/e1
Tgl.	20/2 04

ABSTRAK

Pendistribusian air ke pelanggan, berubah-ubah, tergantung keperluannya. Dengan berubah-ubahnya keperluan air oleh pelanggan maka pengoperasian pompa pun berubah-ubah juga. Sedangkan di pendistribusian air Sangkali terdapat 3 buah pompa yang sejenis namun berbeda karakteristik. Karena tarif listrik cukup tinggi sehingga untuk menurunkan biaya operasional perlu dicari suatu cara pengoperasian dari ketiga pompa tersebut yang paling optimal, sehingga memberikan daya pengoperasian yang paling minimal. Kemungkinan pengoperasian secara manual ada 4 macam : (1), pompa I tunggal dengan pompa II dan III secara paralel (2) pompa II tunggal dengan pompa I dan III secara paralel (3) pompa III tunggal dengan pompa I dan II secara paralel (4) pompa terbaik tunggal dengan pompa terbaik paralel.

Dari penelitian ke 4 sistem pengoperasian data listrik yang diperlukan adalah sebagai berikut:

Untuk pengoperasian pertama diperlukan daya listrik sebesar 700,314 kWh/hari, untuk pengoperasian kedua diperlukan daya listrik sebesar 716,012 kWh/hari untuk pengoperasian ketiga diperlukan daya listrik sebesar 677,352 kWh/hari untuk pengoperasian keempat diperlukan daya listrik sebesar 657,210 kWh/hari

Sedangkan sistem pengoperasian yang dilaksanakan sekarang adalah sesuai dengan pengoperasian yang pertama. Selain keempat macam pengoperasian, ada pengoperasian dengan menggunakan Hydrophore, dimana daya listrik yang diperlukan adalah 584,893 kWh/hari.

Dari kelima cara pengoperasian dapat diambil kesimpulan bahwa urutan daya yang terkecil adalah sebagai berikut (1) Pengoperasian dengan menggunakan Hydrophore: 584,893 kWh/hari (2) Pengoperasian keempat 657,210 kWh/hari (3) Pengoperasian ketiga 677,352 kWh/hari. Karena di Sangkali tidak ada Hydrophore Tank, dan tidak dikehendakinya pompa bekerja selama 24 jam, maka disarankan untuk menerapkan sistem pengoperasian yang ke-tiga

ABSTRACT

Distribution of water to customers change from time to time, and it's depend on the customers needs for water.

Due to the changes of needs of water by the customers, it will cause the operational power for the pumps will changes also.

Meanwhile in Sangkali water distribution unit, there are three similar water pumps but has a different characteristics.

Because of the electric tariff is rather high, so to decrease the operational cost we have to look for the most optimal way to operate these three pump, that will give the minimum power needs.

There are four possibilities of operating these pumps manually there are: 1. Pump I single with pump II and III paralel, 2. Pump II single with pumps II and III in paralel, 3. Pump III single with pumps I and II in paralel, 4. The best pump for single and pumps for paralel. From the four possibilities of operation, the electrical power needs are: for the first operation the electrical need are 700,314 kWh/day, for the second operation it will need 716,012 kWh/day, for the third operation it will need 677,352 kWh/day, and for the fourth operation it will need 657,210 kWh/day.

At the present pumps operation system is using the first operation.

Beside this four operation that mentioned above, there are one more operation that using a Hydrophore Tank. The electrical need for this operation are 584,293 kWh/day.

From the five operating system, we can make a conclusion that the rank of electrical needed from the smallest are: 1. Operation using Hydrophore Tank that will need 584,893 kWh/day, 2. Operation using the fourth operation that will need 657,210 kWh/day, 3. Operation using the third operation that will need 677,352 kWh/day. Due to Sangkali do not have a Hydrophore Tank, and do not want a pump operation for 24 hours, so we suggested operating the system using the third operation.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan karuniaNya Penulis telah berhasil menyelesaikan Tesis dengan judul “ Optimalisasi Pengoperasian Sistem Pompa Distribusi PDAM Soreang”.

Pembuatan Tesis ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menempuh ujian Megister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Penulis menyadari bahwa isi dari tulisan ini masih kurang sempurna, maka dari itu kritik dan saran senantiasa penulis tunggu.

Selanjutnya pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada : Bapak Dr.Ir. Suripin, M.Eng, selaku Ketua Pengelola Megister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, juga sebagai Pembahas dan Penguji yang banyak memberikan koreksi dan masukan dalam penyelesaian Tesis. Bapak Dr. Ir. Suharyanto, M.Sc, selaku Pembimbing Utama yang selalu menyediakan waktu untuk bimbingan dan konsultasi serta banyak memberikan pengarahan dan masukan pada pembuatan Tesis ini. Ibu Ir. Sri Sangkawati, M.S. selaku Pembimbing Pendamping, yang juga selalu menyediakan waktu untuk bimbingan dan konsultasi serta memberikan pengarahan, saran, dan masukan kepada penulis.

Bapak Dosen Penguji dan Bapak-bapak serta Ibu-ibu Dosen Megister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuannya selama proses penyelesaian Tesis ini.

Semarang, Oktober 2004

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR NOTASI	x
DAFTAR PUSTAKA.....	84
DAFTAR LAMPIRAN 1	90
DAFTAR LAMPIRAN 2	105
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Lingkup Penelitian	3
 BAB 2 DESKRIPSI DAERAH STUDI	
2.1. Umum	4
2.2. Kondisi Fisik Kota.....	4
2.3. Air Bersih.....	5
 BAB 3 LANDASAN TEORI	
3.1. Optimalisasi	10
3.2. Umum	10
3.2.1 Head	10
3.2.2 Efisiensi.....	11
3.3. Kurva Head Kapasitas dari Pompa.....	11
3.4. Kurva Head Kapasitas Pompa dan Sistem.....	16
3.5. Operasi Paralel dan Operasi Seri.....	18
3.6. Pengaturan Kapasitas.....	19

3.7. Hydrophore Tank	19
3.7.1 Tekanan Kerja Hydrophore	20
3.7.2. Pengaturan Tekanan pada Hydrophore	20
3.7.3 Keuntungan menggunakan “Hydrophore tank”	22

BAB 4 METODE PENELITIAN

4.1. Konfigurasi pengoperasian pompa	23
4.1.1 Konfigurasi Pengoperasian Pompa Tanpa Hydrophore	23
4.2. Pola Beban	26
4.3. Pengumpulan Data	
4.3.1. Daya Air	27
4.3.2. Daya Poros	28
4.4 Konfigurasi Pengoperasian Pompa Dengan Hydrophore	28
4.5 Pengoperasian Sistem Pompa Dengan Menggunakan “Hydrophore Tank “	31
4.6 Spesifikasi Pompa	31
4.7 Ukuran Hydrophore Tank.....	32

BAB 5 PENGOLAHAN DATA

5.1 Pola Debit Pompa Distribusi	35
5.2 Perhitungan Daya Air dan Daya Poros	55

BAB 6 HYDROPHORE TANK

6.1 Fungsi dari “ Hydrophore Tank”	59
6.2 Keuntungan Menggunakan “ Hydrophore Tank”	59
6.3 Pola Debit	59
6.4 Contoh Perhitungan dengan Pola Debit seperti Tabel 4-2	60
6.4.1 Kondisi Pompa Tunggal Debit Minimum (Jam 24 : 00)	60
6.4.2 Kondisi Pompa Tunggal Debit maksimum (Jam 21: 00)	61
6.4.3 Kondisi Pompa Paralel Debit Minimum (Jam 08 : 00)	62

6.4.4 Kondisi Pompa Paralel Debit Maksimum (Jam 17: 00)	64
6.4.5 Grafik-Grafik Hubungan Antara Tekanan, Waktu dan Jumlah Siklus	65
6.5 Perhitungan Pemakaian Daya Listrik dari PLN (kWH) dengan Menggunakan Hydrophore	68
 BAB 7 OPTIMALISASI PENGOPERASIAN	
7.1 Hasil Pengamatan	75
7.2 Hasil Perhitungan	76
7.3 Penggunaan kWh dari PLN	76
7.4 Simulasi dengan Menggunakan "Hydrophore Tank"	77
 BAB 8 KESIMPULAN	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Jumlah Sambungan Untuk Kap Reservoir.....	5
Tabel 5.1 : Perbedaan Debit Pengamatan 3 Bulan Dan 10 Bulan	38
Tabel 5.2 : Pengamatan Tanggal 4 Desember 2003	40
Tabel 5.3 : Debit Pompa Rata-Rata Pengamatan 3 Bulan	42
Tabel 5.4 : Debit Pompa Rata-Rata Pengamatan 10 Bulan	44
Tabel 5.5 : Debit, Daya Air, Daya Poros, Dan Efisiensi	51
Tabel 5.6 : Daya Poros Untuk Tiap Susunan	52
Tabel 5.7 : Penggunaan KWH Perhari Pompa I Tunggal Dan Pompa II + III Paralel	54
Tabel 5.8 : Penggunaan KWH Perhari Pompa II Tunggal Dan Pompa I+ III Paralel	55
Tabel 5.9 : Penggunaan KWH Perhari Pompa III Tunggal Dan Pompa I+ III Paralel	56
Tabel 5.10 : Penggunaan KWH Perhari Pompa III Tunggal Dan Pompa II+ III Paralel	57
Tabel 6.1 : Hubungan Antara Kondisi Hydrophore Dengan Waktu Operasi.....	60
Tabel 6.2 : Pemakaian Daya Listrik Dari PLN	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Peta Orientasi Wilayah Perencanaan	6
Gambar 2.2 : Peta Penggunaan Lahan Exsisting	7
Gambar 2.3 : Peta Penyediaan Air Bersih	8
Gambar 3.1 : Hubungan Antara Head (H) Dengan Kapasitas (Q)	11
Gambar 3.2 : Impeler Dengan Diagram Kecepatan Pada Sisi Masuk Dan Keluar	12
Gambar 3.3 : Kontainer Yang Berputar Terisi Air	13
Gambar 3.4 : Kurva Head Kapasitas Nyata Dan Virtual	15
Gambar 3.5 : Hubungan Antara Kurva Head Kapasitas Pompa Dengan Kurva Head Kapasitas Sistem.....	16
Gambar 3.6 : Head Kapasitas Berubah Dari S_1 Ke S_2	17
Gambar 3.7 : Hubungan Antara H – Q Pompa Dengan H – Q Sistem yang Berubah Dari S_1 Ke S_2	17
Gambar 3.8 : Hubungan Antar Kurva H- Q Pompa Secara Seri Paralel Dengan Kurva H – Q Dari Sistem R_1 , R_2 Dan R_3	18
Gambar 3.9 : Hubungan H – Q Pompa Secara Paralel Dengan H - Q System	19
Gambar 3.10: Penentuan Tekanan Kerja Dari Hydrophore	20
Gambar 3.11: Hubungan Antara Tekanan Dan Volume Dalam Hydrophore	20
Gambar 3.12: Diagram Operasi Dari Hydrophore	21
Gambar 4.1 : Konfigurasi Pemasangan Pompa Tanpa Hydrophore.....	23
Gambar 4.2 : Bagan Alur Pengumpulan Dan Pengolahan Data Tanpa Hydrophore	25
Gambar 4.3 : Konfigurasi Pengoperasian Pompa Dengan Hydrophore	28
Gambar 4.4 : Bagan Alur Perhitungan Daya Dengan Hydrophore	30
Gambar 4.5 : Tangki Hydrophore	32
Gambar 5.1 : Gambar Gabungan Deret Rata-Rata Bulan Oktober 2003 Sampai Dengan Bulan Juli 2004	46

Gambar 5.2 : Pola Debit Untuk Bulan Oktober Sampai Dengan Bulan Desember 2003	47
Gambar 5.3 : Pola Debit Rata-Rata 10 Bulan Dan 3 Bulan	48
Gambar 5.4 : Karakteristik Pompa	49
Gambar 5.5 : Gabungan Pemakaian Daya Listrik Untuk Keempat Susunan	58
Gambar 6.1.A : Tangki Hydrophore	61
Gambar 6.1.B : Tangki Hydrophore	62
Gambar 6.1.C : Tangki Hydrophore	64
Gambar 6.1.D : Tangki Hydrophore	65
Gambar 6.2 : Pemakaian Daya Listrik Dengan Menggunakan Hydrophore	70
Gambar 6.3 : Perubahan Tekanan di dalam Hydrophore Pada Jam 24:00	71
Gambar 6.4 : Perubahan Tekanan di dalam Hydrophore Pada Jam 21:00	72
Gambar 6.5 : Perubahan Tekanan di dalam Hydrophore Pada Jam 08:00	73
Gambar 6.6 : Perubahan Tekanan di dalam Hydrophore Pada Jam 17:00	74

DAFTAR NOTASI

α = Sudut Masuk	[$^{\circ}$]
β = Sudut Keluar	[$^{\circ}$]
γ = Berat Jenis	[kgf/m ³]
g = Percepatan Gravitasi	[m/sek ²]
H = Head (Tinggi Kolom Air)	[m]
P = Tekanan	[kgf/cm ²]
P_w Daya Air	[W]
P = Daya Poros	[W]
Q = Laju Aliran (Kapasitas)	[m ³ /sek]
U = Kecepatan keliling	[m/sek]
V = Kecepatan absolut	[m/sek]
ν = Kecepatan relative	[m/sek]
V_r = Kecepatan radial	[m/sek]
V = Volume	[m ³]
V = Tegangan	[Volt]
I = Arus	[Amper]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu infrastruktur untuk suatu Kota adalah “Instalasi Air Bersih”. Instalasi air bersih dibangun untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk suatu kota. Air bersih didapat dari sumber air baku yang mungkin berasal dari mata air, danau, sungai atau air tanah dalam. Air tersebut kemudian diolah pada instalasi pengolahan air agar air tersebut memenuhi surat keputusan air bersih yang dikeluarkan oleh Menteri Kesehatan.

Air yang telah memenuhi standard air bersih dialirkan ke bak penampungan atau reservoir, dan baru air bersih tersebut dari reservoir didistribusikan ke para konsumen melalui pipa distribusi. Pendistribusian air bersih tersebut dapat dilaksanakan dengan dua cara yaitu:

- Dengan sistem gravitasi
- Dengan menggunakan sistem pompa

Pada pendistribusian air bersih dengan menggunakan pompa, air bersih tersebut ditekan oleh pompa ke konsumen. Kebutuhan air bersih oleh konsumen tidak selalu konstan sepanjang hari. Dengan berfluktuasinya kebutuhan air bersih yang dibutuhkan para konsumen maka beban pompa distribusi pun akan berfluktuasi juga.

Pada beban berfluktuasi dikenal adanya beban puncak, beban rata-rata dan beban minimum. Beban puncak adalah beban dimana sebagian besar konsumen menggunakan air, beban puncak ini terjadi antara pukul 02:00 pagi sampai dengan pukul 08:00 pagi dan pukul 14:00 sampai dengan pukul 20:00. Beban rata-rata adalah beban dimana konsumen menggunakan fasilitas air tidak terlalu banyak, beban rata-rata terjadi antara pukul 08:00 pagi sampai dengan pukul 14:00 sore dimana sebagian besar konsumen hanya menggunakan untuk keperluan rumah tangga saja. Beban minimum adalah beban dimana penggunaan air sangat sedikit, beban minimum terjadi antara pukul 20:00 malam sampai dengan pukul 02:00 pagi.

Pada jaringan air bersih PDAM Soreang, beban pompa distribusi pun berfluktuasi. Pada beban puncak, beban tersebut tidak dapat dipenuhi oleh satu pompa, sehingga perlu pompa lain yang dipasang secara paralel yang diaktifkan ketika beban puncak saja, sebaliknya bila beban berkurang maka pengoperasian pompa secara paralel dinon-aktifkan. Dengan mengatur cara pemasangan pompa tersebut maka diharapkan sistem pompa dapat bekerja secara efisien. Sedangkan pengertian efisien pada pompa adalah perbandingan antara daya air dengan daya poros dari pompa.

Penggunaan pompa yang kurang efisien, mengakibatkan biaya operasional di PDAM Soreang mengalami peningkatan dan dengan meningkatnya biaya operasional maka perusahaan tersebut akan mengalami kerugian karena biaya bulanan yang dikeluarkan tidak sebanding dengan pendapatan yang masuk. Penggunaan pompa yang kurang efisien juga dikarenakan belum adanya suatu sistem yang mengatur penggunaan pompa agar efisien, dimana selama ini penggunaan pompa secara paralel berdasarkan mencoba-coba.

Untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi maka perlu dicari cara pengoperasian yang optimal, sehingga didapat daya yang paling efisien. Untuk itu perlu diadakan penelitian mengenai pengoperasian sistem pompa distribusi yang paling efisien.

1.2. Perumusan Masalah

Reservoir Sangkali dilengkapi 3 buah pompa distribusi dengan karakteristik yang hampir sama. Pengoperasian pompa tidak sesuai dengan kebutuhan, karena debit kebutuhan air berfluktuasi, sehingga terjadi inefisiensi. Untuk itu perlu dicari pengoperasian yang sesuai dengan kebutuhan, yang paling optimal di reservoir Sangkali PDAM Soreang.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari pola pengoperasian sistem pompa di PDAM Soreang baik secara manual ("tanpa Hydrophore Tank") maupun dengan menggunakan "Hydrophore Tank" yang menghasilkan pemakaian energi listrik yang paling minimal.

1.4. Lingkup Penelitian

Penelitian ini mencakup kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

1. Kajian sistem pelayanan PDAM Soreang ke konsumen sesuai dengan kemampuan dan fasilitas yang ada.
2. Kajian pengoperasian sistem pompa distribusi yang dilengkapi "Hydrophore Tank"
3. Kajian pengoperasian sistem pompa dengan berbagai alternatif.
4. Mengkaji penggunaan daya listrik pada pengoperasian tanpa Hydrophore Tank

BAB 2

DESKRIPSI DAERAH STUDI

2.1. Umum

Kecamatan Soreang merupakan salah satu dari 38 Kecamatan yang termasuk dalam wilayah Kabupaten Bandung. lihat Gambar 2.1.

Sedangkan Kecamatan Soreang terdiri dari 18 desa seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.2. dengan jumlah penduduk 99.636 jiwa dan luas wilayah 69,29 km²

Daerah studi yang diteliti dalam penelitian ini adalah kota Soreang, terutama yang telah dilayani oleh PDAM Cabang Soreang seperti terlihat pada Gambar 2.3.

2.2. Kondisi Fisik Kota

a. Geografi

Kabupaten Bandung secara geografis terletak antara 107° - 108° Bujur Timur dan 6° 30' - 7° 06' Lintang Selatan, sedangkan Kecamatan Soreang terletak pada 107° 36' Bujur Timur dan 7°25' Lintang Selatan.

Batas-batas Administrasi Kecamatan Soreang:

- Sebelah Timur : Kecamatan Ketapang dan kecamatan Banjaran.
- Sebelah Selatan : Kecamatan Pasir Jambu
- Sebelah Barat : Kecamatan Cililin
- Sebelah Utara : Kecamatan Cililin dan Kecamatan Marga Asih.

b. Topografi

Kecamatan Soreang terletak pada ketinggian 675 – 2330 meter diatas permukaan laut, wilayah yang datar sampai berombak 35%, berombak sampai berbukit 15%, berbukit sampai bergunung 50%. Sedangkan ketinggian Kota Soreang 700 m diatas permukaan laut.

c. Klimatologi

Dipengaruhi iklim tropis :

- Temperatur tertinggi 33°C
- Temperatur terendah 22° C
- Curah hujan rata-rata 1500 mm/th – 2000 mm/th terjadi pada bulan September sampai dengan Mei.

2.3. Air Bersih

Yang menggunakan air bersih dapat dibagi dalam beberapa kelompok:

1. Kelompok rumah tangga dengan 4814 sambungan.
2. Kelompok dagang atau jasa dengan 56 sambungan.
3. Rumah Ibadat atau Kran Umum dengan 42 sambungan

Kebutuhan akan air bersih tersebut dilayani oleh tiga reservoir:

- Reservoir perumahan dengan kapasitas 1000 m³
- Reservoir Soreang dengan kapasitas 200 m³
- Reservoir Sangkali dengan kapasitas 200 m³

Pembebanan tiap reservoir dapat dilihat pada Tabel : 2-1

Tabel 2-1. Jumlah Sambungan Untuk Tiap Reservoir.

	Rumah Tangga	Dagang/jasa	Kran umum
Reservoir Perumahan	2330	14	9
Reservoir Soreang	1475	20	16
Reservoir Sangkali	1009	22	17
Jumlah	4814	56	42

Ketiga reservoir melayani 4814 sambungan, dimana kalau dapat dianggap tiap sambungan digunakan oleh 6 orang (PDAM Soreang), maka jumlah orang yang dapat terlayani : $4814 \times 6 \text{ orang} = 28.884 \text{ orang}$, sedangkan jumlah penduduk di Kecamatan Soreang = 99.630 jiwa. sehingga perbandingan pelayanan

$$= \frac{28884}{99630} \times 100\% = 28,99 \approx 29\%$$

PETA

ORIENTASI WILAYAH PERENCANA

KETERANGAN :

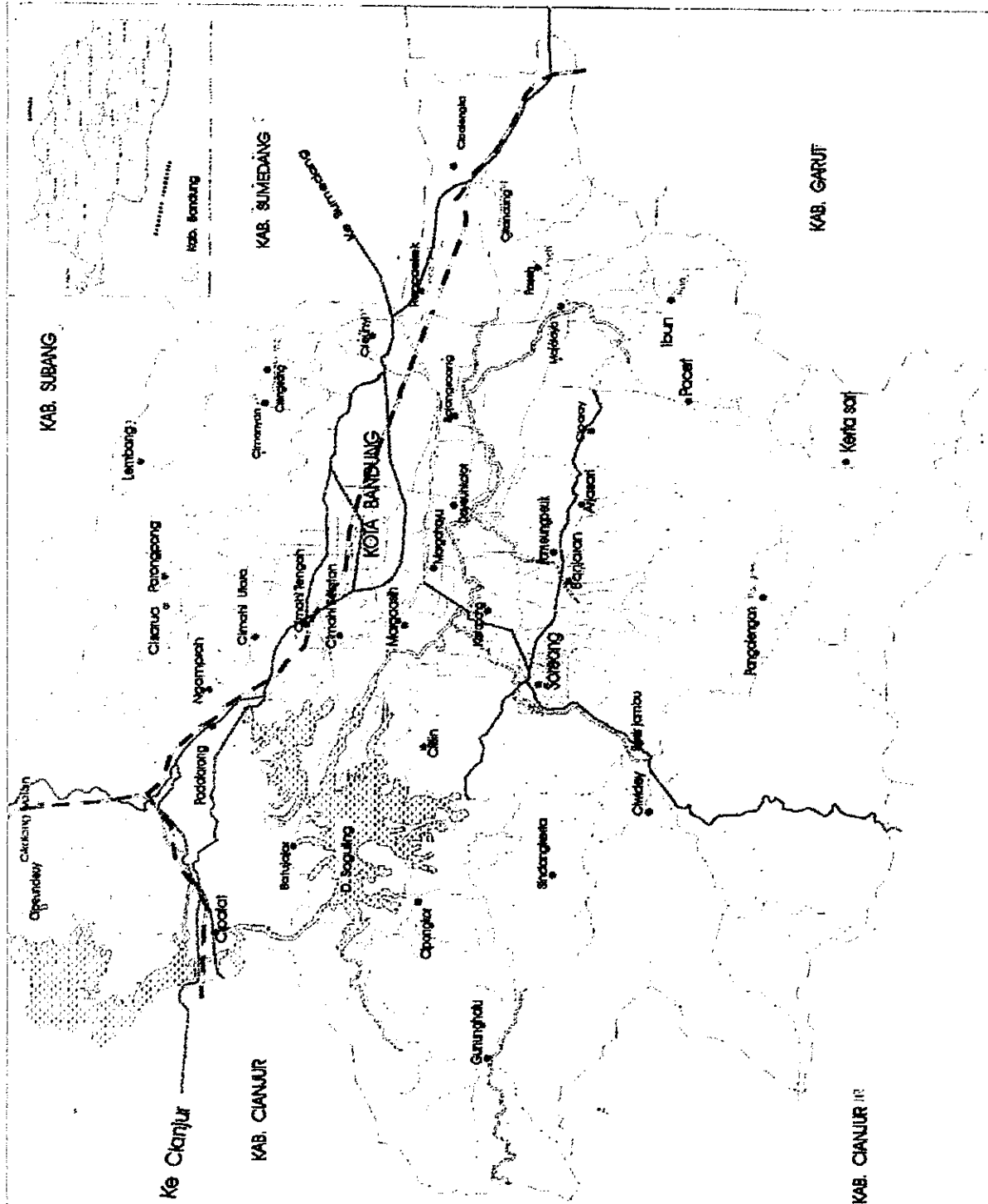
- Batas Kabupaten
- Batas Kecamatan
- Jalan
- Sungai
- Danau
- Ibu kota Kecamatan
- Rel Kereta Api
- Orientasi Wilayah perencanaan

Sumber : RIRW Kabupaten Bandung 2001

DIGAMBAR
DIPERIKSA
DIREKSI
DITETAPILAH

Skala
0 4,4 8,8 13

PEMERINTAH KABUPATEN
BANDUNG



KABUPATEN BANDUNG

Gambar 2-1 | Peta Orientasi Daerah Perencanaan

Untuk kota Soreang keperluan air tiap orang perhari diambil 150 l /orang per hari (Sularso: 1987), sehingga untuk setiap sambungan diperlukan 900 l /hari atau $0,9 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Untuk reservoir Sangkali dengan 1009 sambungan, untuk dapat memenuhi kebutuhannya diperlukan :

$$1009 \times 0,9 \text{ m}^3/\text{hari} = 908,1 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Sedangkan pompa distribusi menghasilkan air sebanyak = $1671 \text{ m}^3/\text{hari}$ sehingga terdapat kebocoran = $1671 - 908 = 763 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau $\frac{763}{1671} \times 100\% = 45,66\%$

- Air Limbah

Dapat di bedakan menjadi air limbah domestik dan air limbah industri.

1. Air Limbah Domestik dibedakan menjadi :

- a. Air kotor diperkirakan 60% - 80% konsumsi air bersih. Pengaliran dengan saluran terbuka.

- b. Limbah Manusia

Frekuensi pengurusan 1 kali dalam 3 tahun

2. Air Limbah Industri

Berbanding lurus dengan pemakaian airnya, yaitu sebesar 70%

- Drainase

Saluran drainase banyak yang tersumbat oleh sampah, yang disebabkan masih kurangnya kesadaran masyarakat terhadap cara-cara pembuangan sampah yang baik. Genangan air dapat terjadi karena ukuran saluran drainase yang kurang memadai

- Persampahan

Masyarakat banyak yang membuang sampah ke selokan atau sungai, sebagian masyarakat membakar atau menimbun sampah dalam lubang yang dibuat sendiri.

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1 Optimalisasi

Optimalisasi adalah suatu tindakan untuk mendapatkan suatu hasil yang terbaik untuk suatu keadaan tertentu dengan tujuan meminimumkan keperluan dan memaksimumkan hasil.

Oleh karena itu *Optimalisasi Pengoperasian Sistem Pompa Distribusi PDAM Soreang* adalah *meminimumkan daya listrik yang diperlukan untuk menjalankan pompa dan memaksimumkan kebutuhan air yang dihasilkan pompa.*

Di PDAM Soreang terdapat 3 buah pompa distribusi yang sejenis tetapi mempunyai karakteristik yang berbeda. Oleh karena itu perlu dicari kombinasi pompa yang sesuai sehingga dapat memenuhi kebutuhan air dengan memerlukan daya listrik yang terkecil.

Dengan dapat diketahuinya daya per meter kubik untuk pompa tunggal dan paralel, maka dapat dipilih kombinasi yang paling optimum.

3.2. Umum

Dalam penelitian ini banyak digunakan istilah-istilah yang perlu dijelaskan supaya terdapat pengertian-pengertian yang sama. Hal-hal tersebut dijelaskan dalam bagian-bagian berikut.

3.2.1. Head

Suatu zat cair yang mengalir melalui suatu saluran akan mempunyai i) tekanan statis $P \left[\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right]$ ii) kecepatan rata-rata $v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ dan iii) ketinggian Z (m) diukur dari bidang referensi. Zat cair tersebut mempunyai head total (m) yang dapat dinyatakan sebagai :

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z \quad (2.1)$$

Dimana $g \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$ adalah percepatan gravitasi dan $\gamma \left[\frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \right]$ adalah berat jenis.

Adapun masing-masing suku dari persamaan tersebut di atas yaitu $\frac{P}{\gamma}$, $\frac{v^2}{2g}$

dan Z berturut-turut disebut head tekanan, head kecepatan dan head potensial. Ketiga head ini tidak lain adalah energi Total yang dikandung oleh satu satuan berat (1 kgf) zat cair yang mengalir pada suatu penampang..

3.2.2. Efisiensi

Dalam penggunaan pompa, efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara daya yang dihasilkan (daya air) dengan daya yang diberikan (daya poros).

Daya air [P_w] adalah energi yang secara efektif diterima oleh air dari pompa per satuan waktu, atau daya yang diperlukan untuk memindahkan air dengan kapasitas aliran Q m^3 per detik pada perbedaan tinggi H . Daya air tersebut dihitung dengan persamaan :

$$P_w = \gamma \times Q \times H \left[\frac{kN}{m^3} \right] \times \left[\frac{m^3}{sec} \right] \times [m] \quad (2.2)$$

Daya Poros [P] yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah pompa adalah sama dengan dengan daya air ditambah kerugian daya di dalam pompa.

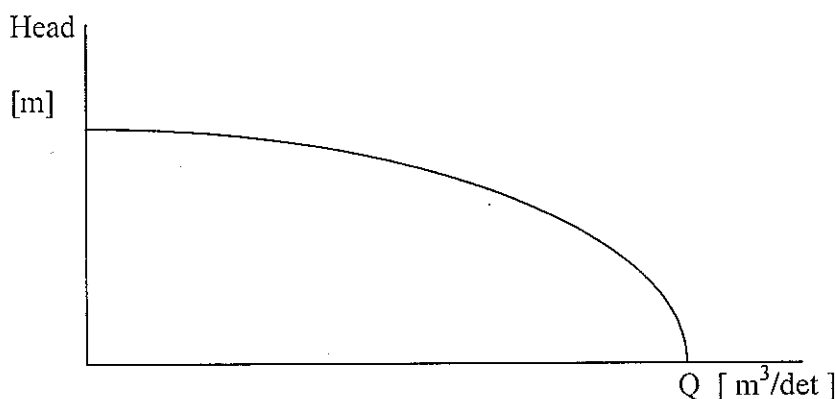
Perbandingan antara daya air dengan daya poros pompa disebut efisiensi pompa:

η_p efisien tersebut dirumuskan sebagai

$$\text{Efisiensi : } \eta_p = \frac{P_w}{P} \quad (2.3)$$

3.3 Kurva Head Kapasitas dari Pompa

Kurva head kapasitas dari suatu pompa merupakan kurva yang menunjukkan hubungan antara kemampuan pompa dalam mengalirkan debit (Q) pada perbedaan tinggi head (H)



Gambar 3-1. Hubungan antara H dan Q (Sularso : 1980)

Penjelasan detail pada penurunan head, saat debit aliran pompa meningkat dijelaskan pada bagian berikut.

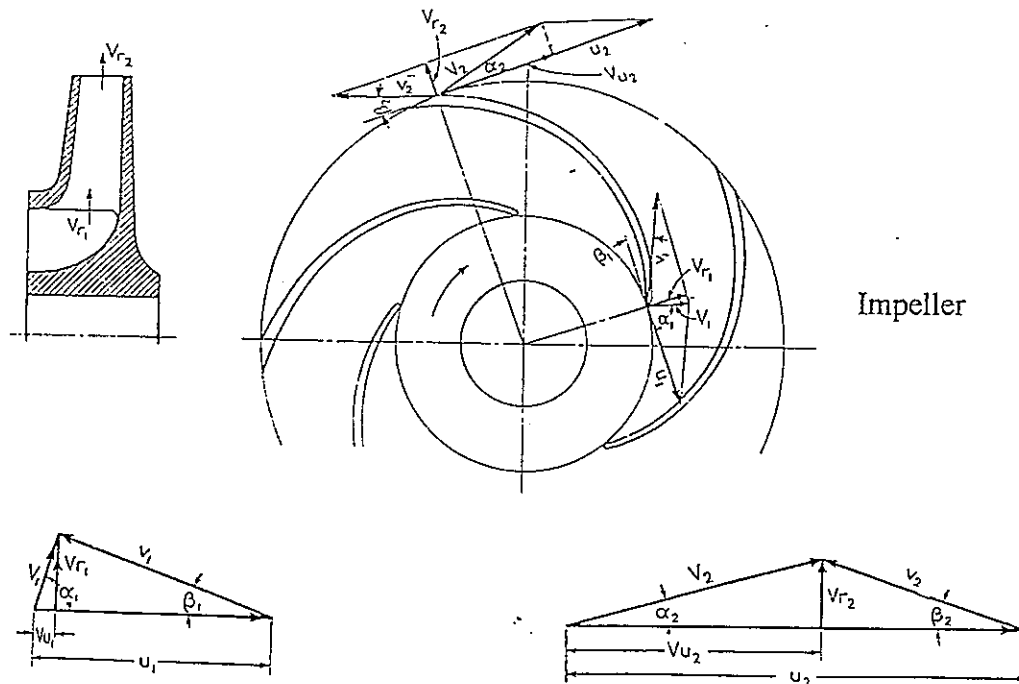


Diagram sisi masuk

Diagram sisi keluar

Gambar 3.2 : Impeler dengan diagram kecepatan pada sisi masuk dan keluar. (Austin H; Church-1956)

Dimana : V_r = Kecepatan radial [m/sek]
 V = Kecepatan absolute [m/sek]
 v = Kecepatan relative [m/sek]
 u = Kecepatan keliling dari satu titik pada impeller [m/sek]
 α = Sudut antara V dan u [$^\circ$]
 β = Sudut antara v dan perpanjangan u (negative u) [$^\circ$]

Persamaan dasar dari pompa berdasarkan beberapa asumsi yaitu:

1. Fluida meninggalkan impeller dengan arah garis singgung pada permukaan sudu atau dengan pengarahannya yang sempurna.
2. Lorong impeler terisi penuh oleh fluida aktif.
3. Kecepatan fluida pada titik dengan kondisi yang sama akan sama.

Head dengan asumsi-asumsi diatas disebut " Virtual Head " dengan notasi H_{viroo}

Suatu fluida yang ada dalam kontainer yang berputar, akan mempunyai kecepatan sudut ω yang sama dengan container akibat pengaruh viskositasnya.

Untuk mengetahui distribusi tekanan pada fluida kita lihat suatu element fluida dengan lebar b dan tebal dR dan panjang lengkungan $Rd\Phi$ yang berputar pada kecepatan sudut ω , seperti terlihat pada Gambar 3.3. Gaya sentrifugal yang bekerja pada elemen adalah:

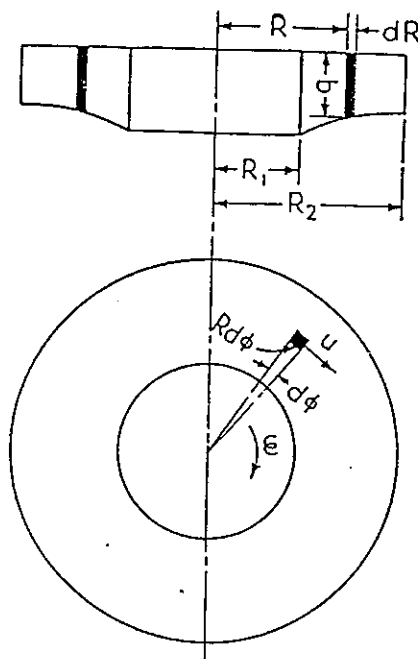
$$dF = dm R \omega^2 \quad (2.4)$$

Dimana :

$$dm = \frac{\gamma}{g} b R d\Phi dR \quad (2.5)$$

Atau :

$$dF = \frac{\gamma}{g} b R^2 \omega^2 d\Phi dR \quad (2.6)$$



Gambar 3.3: Konteiner yang berputar dan terisi air
(Austin H Church : 1956)

Gaya sentrifugal ini akan menaikkan tekanan antara R dan $R + dR$ sebesar:

$$dP = \frac{dF}{dA} = \frac{\gamma}{g} \frac{d.R^2.\omega^2.d\phi.dR}{b.Rd\theta} = \frac{\gamma}{g} R \omega^2 dR \quad (2.7)$$

Integrasikan antara jari-jari R_1 dan R_2 maka kenaikan tekanan total adalah :

$$P_2 - P_1 = \frac{\gamma}{g} \omega^2 \left(\frac{R_2^2 - R_1^2}{2} \right) \quad (2.8)$$

Dimana : $R^2 \omega^2 = u^2$ maka didapat

$$P_2 - P_1 = \frac{\gamma}{g} \left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2} \right) \quad (2.9)$$

Karena $\frac{P}{\gamma} = H$ maka didapat

$$H_2 - H_1 = \left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} \right) \quad (2.10)$$

Head dibentuk oleh head tekanan dan head kecepatan (head potensial = 0)

$$H_{viroo} = H_{poo} + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right)$$

Tekanan statis bertambah akibat adanya gaya sentrifugal ditambah head akibat perbedaan kecepatan relative dalam impeler sehingga didapat:

$$H_{poo} = \left(\frac{u_2^2 - u_1^2 + v_1^2 - v_2^2}{2g} \right) \quad (2.11)$$

Sehingga total head dapat dinyatakan:

$$H_{viroo} = \left(\frac{u_2^2 - u_1^2 + v_1^2 - v_2^2 + V_2^2 + V_1^2}{2g} \right) \quad (2.12)$$

Dari rumus cosinus dan diagram kecepatan akan didapat:

$$v_1^2 = u_1^2 + V_1^2 - 2u_1V_1 \cos \alpha_1 \quad (2.13)$$

$$v_2^2 = u_2^2 + V_2^2 - 2u_2V_2 \cos \alpha_2$$

Maka persamaan diatas dapat ditulis :

$$H_{viroo} = \frac{1}{g} (u_2V_2 \cos \alpha_2 - u_1V_1 \cos \alpha_1) \quad (2.14)$$

Karena $Vu_1 = V_1 \cos \alpha_1$ dan $Vu_2 = V_2 \cos \alpha_2$ maka:

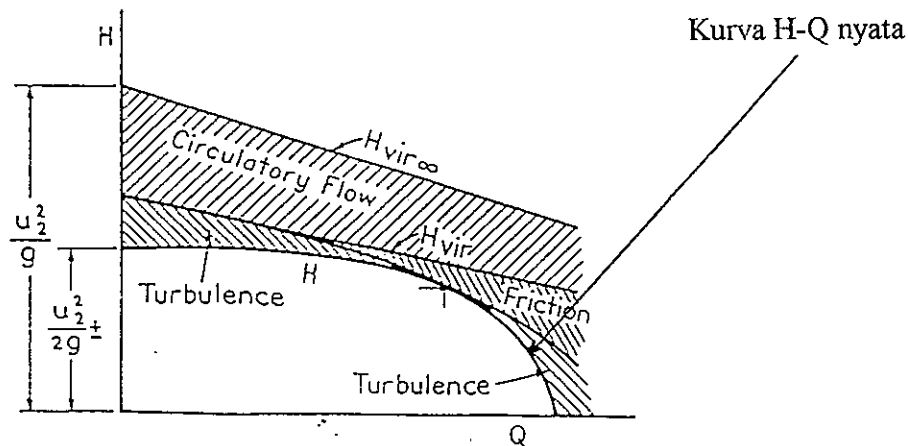
$$H_{\text{vir}\infty} = \frac{1}{g} (u_2 x V u_2 - u_1 x V u_1) \quad (2.15)$$

Pada perencanaan biasa diambil $\alpha_1 = 90^\circ$ sehingga $V u_1 = 0$, dan menyebabkan persamaan diatas menjadi:

$$H_{\text{vir}\infty} = \frac{1}{g} (u_2 x V u_2) \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{g} u_2 \left[u_2 - \frac{V r_2}{\tan \beta_2} \right] \\ &= \frac{1}{g} u_2^2 \left[1 - \frac{V r_2}{u_2 \tan \beta_2} \right] \end{aligned} \quad (2.17)$$

Kapasitas pompa tergantung dari kecepatan radial atau $V r_2$. Sehingga dengan melihat persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa bila kapasitas bertambah maka head ($H_{\text{vir}\infty}$) akan berkurang untuk $\beta_2 < 90^\circ$



Gambar 3.4 : Kurva head kapasitas nyata dan virtual
(Austin H.Church;1956)

Untuk kapasitas nol maka $V r_2$ juga menjadi nol sehingga $H_{\text{vir}\infty} = \frac{u_2^2}{g}$

Dengan memperhatikan circulatory flow, friction dan turbulence maka didapat η_∞ dan η_{Hy} sehingga didapat

$$H = \eta_\infty \eta_{Hy} H_{\text{vir}\infty} \quad (2.18)$$

Perkalian dari η_{∞} dan η_{Hy} kita nyatakan dengan factor K, sehingga didapat :

$$H = K H_{viroo} \quad (2.19)$$

Gejala ini bukan merupakan kerugian tapi sebagai akibat asumsi yang kita ambil.

Dari percobaan didapat untuk kapasitas nol didapat

$$H = \frac{u_2^2}{2g} \quad (2.20)$$

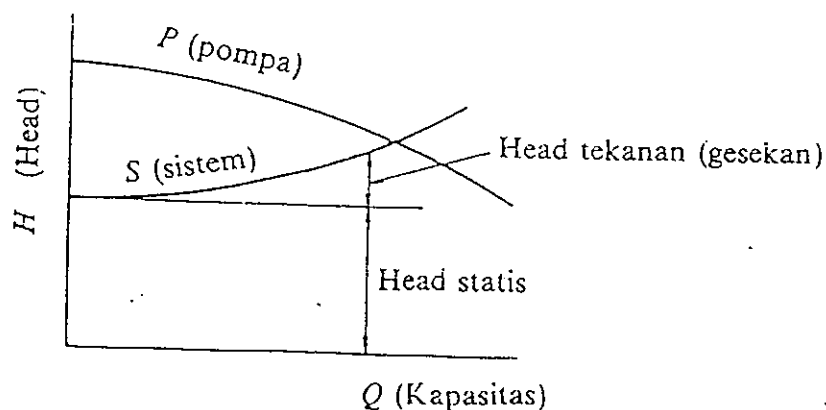
Untuk harga-harga lain akan didapat :

$$H = K \frac{1}{g} u_2 V u_2 \quad (2.21)$$

3.4. Kurva Head Kapasitas Pompa dan Sistem

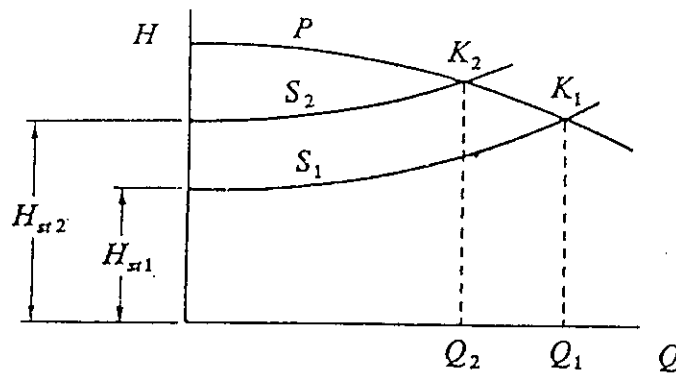
Dalam operasinya, pompa harus dapat memenuhi head yang diperlukan oleh sistem pipa. Karena itu, disamping kurva head kapasitas dari pompa perlu diketahui pula kurva head kapasitas dari sistem. Besarnya head sistem, yaitu head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair melalui sistem pipa, adalah sama dengan head untuk mengatasi kerugian gesek ditambah head statis sistem.

Head statis ini adalah head potensial dari beda ketinggian permukaan dan beda tekanan statis pada kedua permukaan zat cair ditadah isap dan tadah keluar. Lihat Gambar 3.5.



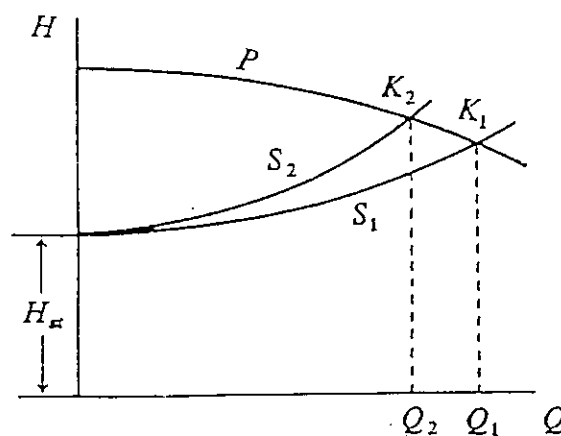
Gambar 3.5 : Hubungan Antara Kurva Head Kapasitas Pompa Dengan Kurva Head Kapasitas Sistem (Sularso : 1987)

Kurva head kapasitas dari sistem dapat berubah misalnya karena head statis berubah misal dimana kurva $H-Q$ sistem berubah dari S_1 ke S_2 karena head statisnya naik dari H_{st1} menjadi H_{st2} . Disini titik kerja berubah dari K_1 ke K_2 dan terjadi penurunan debit aliran dari Q_1 ke Q_2 . Lihat Gambar 3.6



Gambar 3.6 : Head kapasitas sistem berubah dari S_1 ke S_2
(Sularso : 1987)

Contoh lain yaitu perubahan kurva sistem dari S_1 ke S_2 karena kenaikan tahanan sistem pipa. Kenaikan tahanan semacam ini dapat terjadi, misalnya katup pengatur aliran diperkecil pembukaanya. Disini titik kerja akan berubah dari K_1 ke K_2 dan laju aliran mengecil dari Q_1 ke Q_2 . Lihat Gambar 3.7

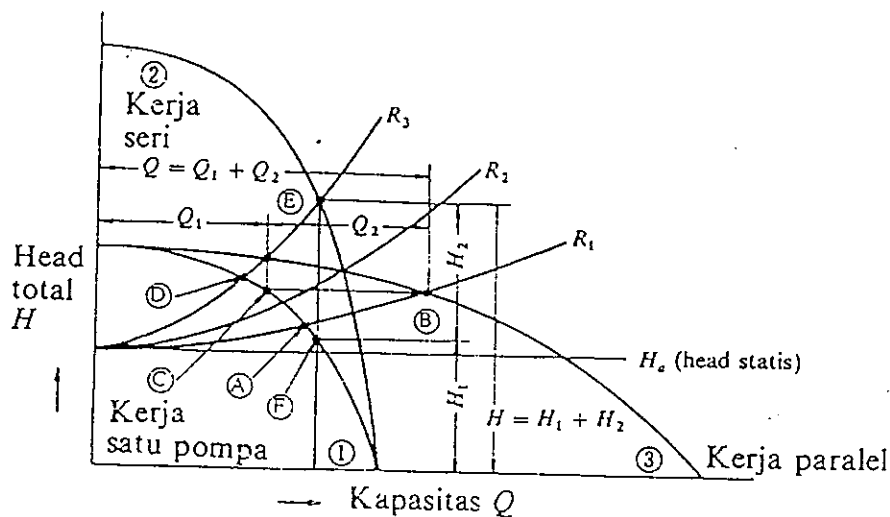


Gambar 3.7 : Hubungan antara $H-Q$ pompa dengan $H-Q$ sistem yang berubah dari S_1 ke S_2 (Sularso : 1987)

3.5. Operasi Paralel dan Operasi Seri

Gambar 3.8. berikut menunjukkan kurva head-kapasitas dari pompa-pompa yang mempunyai karakteristik yang sama yang dipasang secara paralel atau seri. Pada gambar kurva H-Q ada 3 macam yang masing-masing menggambarkan grafik

1. untuk satu pompa tunggal
2. Untuk susunan seri dua buah pompa. Harga head kurva 2 diperoleh dari harga head kurva 1 dikalikan dua untuk kapasitas Q yang sama.
3. Untuk susunan paralel dua buah pompa. Harga kapasitas Q kurva 3 diperoleh dari harga kurva 1 dikalikan dua untuk head yang sama.



Gambar 3.8 : Hubungan antara kurva H-Q pompa secara seri paralel dengan kurva H-Q dari sistem R_1 , R_2 dan R_3 (Sularso ; 1987)

Dalam gambar diatas ditunjukkan pula tiga buah kurva head-kapasitas sistem, yaitu R_1 , R_2 dan R_3 . Jika sistem mempunyai kurva head-kapasitas R_3 , maka titik kerja pompa 1 akan terletak di D. Jika untuk susunan seri maka titik kerjanya pindah ke E.

Jika sistem mempunyai kurva kapasitas R_1 maka titik kerja pompa 1 akan terletak di A dan jika untuk susunan paralel sehingga menghasilkan kurva 3 maka titik kerja pindah ke B.

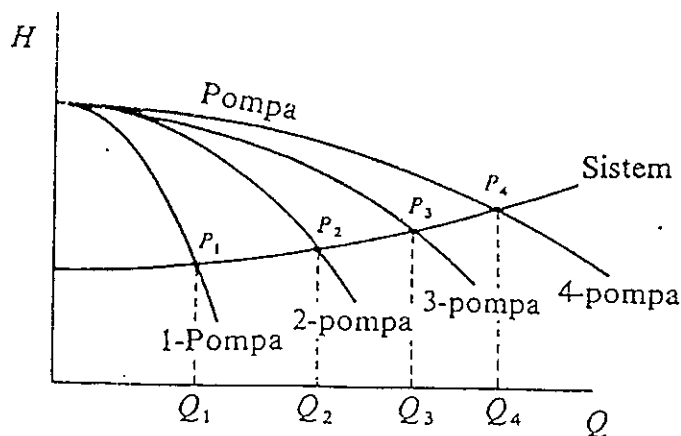
Jika sistem mempunyai kurva kapasitas R_2 maka laju aliran akan sama untuk susunan seri maupun paralel.

Maka dapat disimpulkan bahwa sistem pompa seri digunakan bila head yang diperlukan lebih besar dari head satu pompa, dan sistem pompa paralel digunakan bila debit yang diperlukan lebih besar dari debit satu pompa.

3.6. Pengaturan Kapasitas.

Pengaturan Jumlah Pompa yang Bekerja.

Pada cara pengaturan ini dipergunakan beberapa buah pompa untuk melayani kebutuhan laju aliran yang berubah ubah. Jika terjadi perubahan kebutuhan, maka jumlah pompa yang bekerja dapat diubah dengan menyalakan atau mematikan satu atau beberapa pompa seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.9 : Hubungan H-Q pompa secara paralel dengan H-Q sistem
(Sularso ; 1987)

3.7. Hydrophore Tank

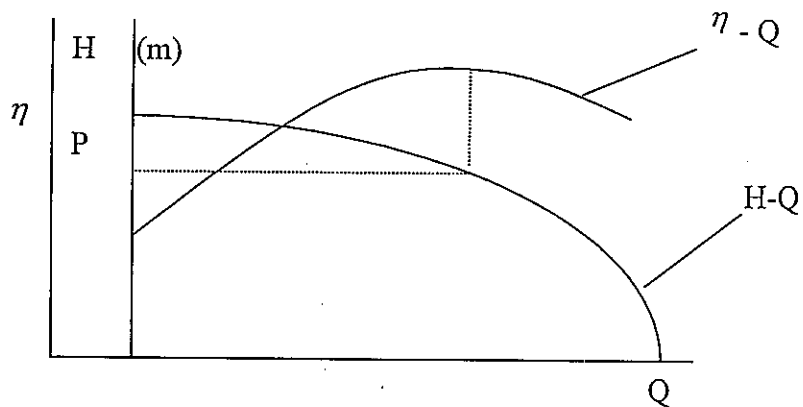
Hydrophore Tank adalah sebuah tangki yang dipasang antara pompa distribusi dan meteran air, tangki ini terisi udara dan air. Massa udara tetap tapi volume dan tekanan dapat berubah-ubah. Perubahan tekanan ini dipergunakan untuk meng-on kan atau off-kan switch pompa.

Fungsi dari Hydrophore adalah:

- Mengaktifkan dan menon-aktifkan sistem pompa secara otomatis.
- Memberikan tekanan yang konstan pada sistem .

3.7.1 Tekanan Kerja Hydrophore

Untuk dapat menentukan tekanan kerja dari Hydrophore, dapat digunakan kurva-kurva efisiensi kapasitas dan kurva head kapasitas. Dari kurva efisiensi maksimum kita dapatkan tekanan kerja dari pompa P m air. Tekanan P m air dirubah menjadi $0,1 P$ atau $(1 + 0,1 P)$ ata

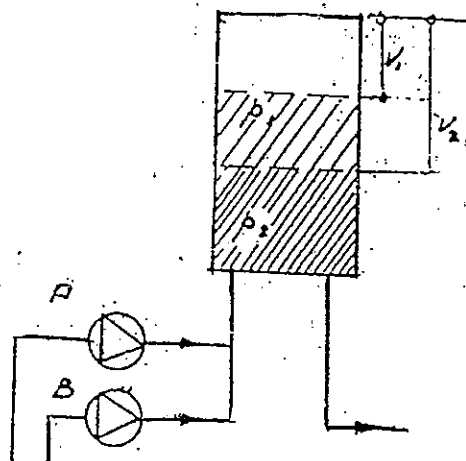


Gambar 3.10 : Penentuan Tekanan Kerja dari Hydrophore.

(Sularso : 1987)

3.7.2. Pengaturan Tekanan pada Hydrophore

Perhitungan penentuan tekanan pada Hydrophore:



Gambar 3. 11 : Hubungan Antara Tekanan dan Volume Dalam Hydrophore

(Philips : 1980)

Dimana : V_1 = Volume udara pada Hydrophore pada kondisi V_1 (m^3)

P_1 = Tekanan udara pada volume V_1 (ata)

V_2 = Volume udara pada Hydrophore pada kondisi V_2 (m^3)

P_2 = Tekanan udara pada volume V_2 (ata)

$$P_1 > P_2 \text{ dan } V_2 > V_1$$

Misalkan tekanan kerja dari Hydrophore didapat = P ata maka pengaturan pengoperasian pompa akan dapat diatur sebagai berikut:

Pompa A : Akan On pada Tekanan ($P - 1,0$) ata

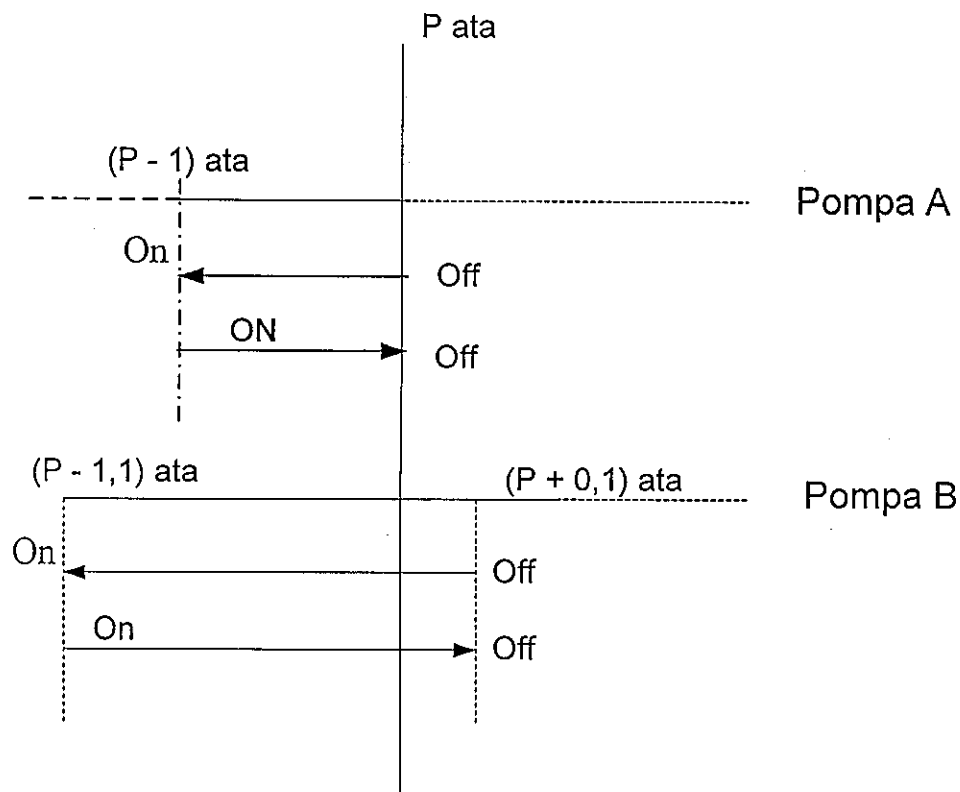
Akan Off pada Tekanan (P) ata

Pompa B : Akan On pada Tekanan ($P - 1,1$) ata

Akan Off pada Tekanan ($P + 0,1$) ata

Perbedaan tekanan 0,1 ata untuk On pompa A dan B berdasarkan acuan (Philips : 1980), yaitu supaya perbedaan tekanan pada Hydrophore Tank tidak terlalu besar, sehingga tekanan pada sistem pun tidak besar.

Dengan melihat pengaturan pengoperasian pompa dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3.12 : Diagram operasi dari Hydrophore dengan dua pompa paralel
(Philips ; 1980)

Bila pada waktu start tekanan pada Hydrophore = P atau tidak ada pompa yang "on" dan tekanan terus menurun sampai $(P-1)$ atau maka pompa A akan "on" dan bila tekanan terus menurun pada tekanan $(P-1,1)$ atau pompa B akan "on" jadi ada dua pompa yang bekerja, dan bila sekarang tekanan pada Hydrophore naik maka pada tekanan P atau pompa A akan "off" dan pompa B masih dalam posisi "on", dan bila pemakaian terus berkurang dan tekanan pada Hydrophore naik sampai $(P+0,1)$ atau, maka pompa B baru akan "off".

Keadaan "off" untuk kedua pompa akan terus berjalan sampai tekanan pada Hydrophore $(P-1)$ atau, dan pompa A akan "on" dan seterusnya akan terulang lagi siklus seperti di atas.

3.7.3 Keuntungan Menggunakan Hydrophore Tank

Seperti dijelaskan pada tujuan penelitian ini, ialah mencari pengoperasian sistem pompa terbaik, secara manual atau dengan menggunakan Hydrophore tank, yang menghasilkan pemakaian energi listrik yang paling minimal.

Pada penggunaan tangki Hydrophore penghematan daya listrik terjadinya pada sistem on-off dari pompa. Pada sistem Hydrophore ini hanya digunakan dua buah pompa distribusi.

Pada penggunaan Hydrophore pompa tidak bekerja selama 1 jam penuh, tapi selalu ada off dan disinilah terletak keuntungannya.

Dengan menggunakan Hydrophore tank untuk satu hari penuh, pompa tidak bekerja selama 24 jam tapi kurang dari itu.

BAB 4

METODE PENELITIAN

Agar diperoleh hasil yang optimal dalam pengoptimalisasian pengoperasian sistem pompa distribusi di PDAM Soreang, maka diperlukan rancangan penelitian yang terarah, dalam hal ini dilakukan beberapa pekerjaan sebagai berikut.

4.1. Konfigurasi Pengoperasian Pompa

Ada dua konfigurasi pengoperasian pompa yang akan dibahas disini, yaitu :

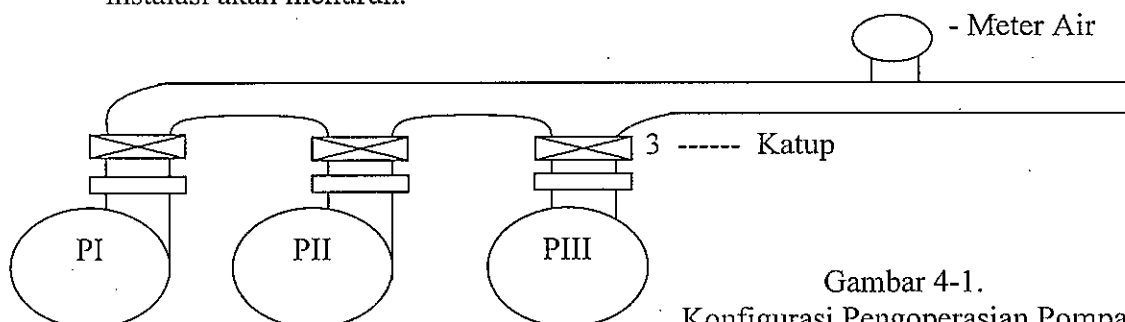
- Konfigurasi pengoperasian pompa tanpa Hydrophore
- Konfigurasi pengoperasian pompa dengan Hydrophore

Pada konfigurasi pengoperasian pompa tanpa Hydrophore , digunakan 3 buah pompa yang digunakan bergantian dengan cara satu pompa bekerja secara tunggal bila beban dari pompa tersebut di bawah $54 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan bila beban lebih besar dari $54 \text{ m}^3/\text{jam}$ maka digunakan 2 buah pompa yang lain di mana pompa yang bekerja tunggal dimatikan.

Pada konfigurasi pengoperasian pompa dengan Hydrophore digunakan 2 buah pompa yang bekerja bersama-sama, yaitu bila bebannya kecil hanya satu pompa yang beroperasi, dan bila bebannya besar kedua pompa itu akan bekerja bersama-sama. On dan Offnya pompa diatur oleh tekanan pada Hydrophore tank.

4.1.1. Konfigurasi Pengoperasian Pompa Tanpa Hydrophore

Dari pola debit dan karakteristik pompa didapat, bahwa bila debit lebih besar dari $54 \text{ m}^3/\text{jam}$ maka akan dipergunakan 2 buah pompa. Ini dapat terjadi karena tekanan pada instalasi akan menurun.



Gambar 4-1.
Konfigurasi Pengoperasian Pompa
Tanpa Hydrophore

Kondisi Pompa Tunggal	: Katup 1 terbuka dan katup 2 dan 3 tertutup
Kondisi Pompa Paralel	: Katup 1 tertutup dan katup 2 dan 3 terbuka

Kemungkinan pengoperasian pompa tanpa Hydrophore :

- Kombinasi I : Pompa Tunggal (PI) dengan Pompa Paralel (PII + PIII)
- Kombinasi II : Pompa Tunggal (PII) dengan Pompa Paralel (PI + PIII)
- Kombinasi III : Pompa Tunggal (PIII) dengan Pompa Paralel (PI + PII)
- Kombinasi IV : Pompa Tunggal terbaik dan Pompa paralel terbaik

Untuk mengetahui kombinasi mana yang paling optimal, maka perlu dicari data-data, tegangan (volt), besar arus (Amper), tekanan (kgf/cm^2) dan debit (m^3/jam)

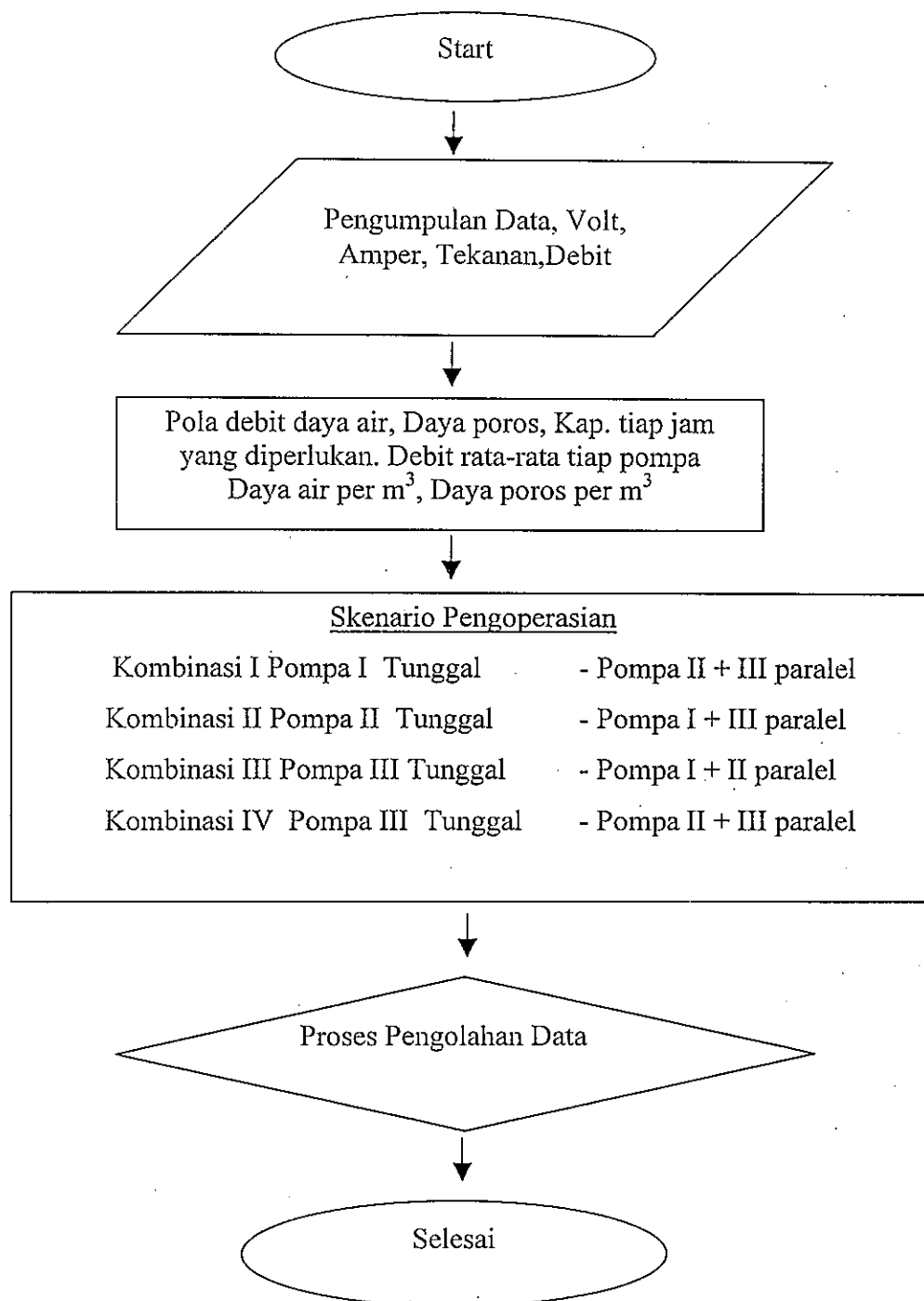
Dengan data-data tersebut di atas dapat dicari pola debit, daya air, daya poros, kapasitas tiap jam yang diperlukan, debit rata-rata tiap pompa, daya air per meter kubik, dan daya poros per meter kubik.

Dengan data-data di atas dimasukkan pada kombinasi pengoperasian, sehingga di dapat beban yang diperlukan untuk tiap kombinasi.

Dari daya air tiap jam : $P_w = \gamma \cdot Q \cdot H$ [K_w] dibagi debit akan di dapat daya air per m^3 .

Dengan cara yang sama, daya poros tiap jam dibagi debit tiap jam, memberikan daya poros per m^3 .

Adapun Bagan Alir Pengumpulan dan Pengolahan Data Tanpa Hydrophore adalah sebagai berikut :



Gambar 4-2. Bagan Alir Pengumpulan dan Pengolahan Data Tanpa Hydrophore Tank

4.2. Pola Beban

Dari hasil pengamatan pengoperasian pompa, akan didapat data-data :

I = Ampere [dari panel listrik]

V = Volt [dari panel listrik]

$\cos \phi$ = [dari panel spesifikasi motor pompa]

Tekanan pompa = [dari gage manometer pada pompa]

Q = kapasitas pompa [dari meter air pipa distribusi]

Karena tujuan penelitian ini adalah mencari cara pengoperasian sistem pompa yang memerlukan energi listrik yang paling minimal, maka disini akan di cari daya pengoperasian tiap-tiap pompa tunggal atau paralel untuk kapasitas satu m^3 .

Dengan mengamati beban pompa tiap-tiap jam selama tiga bulan, maka didapat pola beban untuk setiap harinya.

Dengan diketahuinya pola beban dan daya listrik untuk pengoperasian suatu pompa untuk kapasitas satu m^3 maka akan di dapat sistem pengoperasian yang tertentu yang memerlukan daya listrik yang paling minimum.

Sebagai contoh :

Suatu pompa bekerja selama 1 jam, dan data-datanya sebagai berikut :

Lama bekerja	= 1 jam
Tegangan	= 419 Volt
Arus	= 34 Amper
Kapasitas [Q]	= 42 m^3 /jam

Daya yang diperlukan selama satu jam =

$$P = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} \cdot 34 \cdot 419 \cdot 0,8 = 19,739 \text{ [kW]}$$

$$\text{Dan daya untuk setiap } m^3 \text{ nya} = \frac{19,739}{42} = 469 \left[\frac{Wh}{m^3} \right]$$

Sedangkan pompa tersebut dalam satu hari menghasilkan 352,87 m^3 . Maka daya yang diperlukan pompa tersebut untuk menghasilkan 352,87 m^3 air adalah sebagai berikut :

$$352,87 \times 469 = 165.472 \text{ Wh} = 165,47 \text{ kWh}$$

Dengan cara yang sama kita dapatkan untuk sistem pompa paralel. Penjumlahan kedua daya tersebut merupakan daya listrik yang diperlukan selama sehari.

Maka dari pengamatan di atas di dapat untuk setiap pompa yang bekerja secara tunggal dan paralel.

$$\text{Kapasitas} = Q \text{ [m}^3 \text{ /jam]}$$

$$\text{Daya air/ m}^3 = \frac{P_w}{m^3} \text{ [Wh/m}^3\text{]}$$

$$\text{Daya poros/ m}^3 = \frac{P}{m^3} \text{ [Wh/m}^3\text{]}$$

Daya listrik yang diperlukan untuk setiap pengoperasian sistem pompa.

4.3. Pengumpulan Data

Data yang diperoleh adalah data sekunder hasil pengamatan harian PDAM. Data-data yang mereka catat ada beberapa yang tidak lengkap sehingga yang diambil sebagai data adalah dari yang lengkap saja.

Survei lapangan dilaksanakan di Sangkali, yang merupakan instalasi pendistribusian air bersih untuk kota Soreang.

Data yang diperlukan adalah :

- Tegangan listrik untuk mengoperasikan pompa distribusi [Volt]
- Arus listrik untuk mengoperasikan pompa distribusi [Amper]
- Tekanan yang dihasilkan oleh pompa distribusi [kgf /cm²] atau [kolom air]
- Debit yang dihasilkan pompa distribusi [m³ /jam]

Dengan data-data di atas dapat dihitung :

4.3.1. Daya Air

Daya yang diberikan pompa pada air .

$$P_w = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \left[\frac{kN}{m^3} \right] \left[\frac{m^3}{detik} \right] [m] \longrightarrow [kW]$$

Dimana :

$$\gamma = \text{Berat jenis air} = 9,8 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$$

$$Q = \text{Debit pompa} \left[\frac{m^3}{detik} \right]$$

$$H = \text{Tekanan pompa yang dinyatakan dalam tinggi kolom air} [m]$$

4.3.2. Daya Poros

Daya yang diperlukan untuk menggerakan pompa .

$$P = \sqrt{3} \cdot I \cdot A \cdot \cos \phi \cdot [kW]$$

Dimana :

$\sqrt{3}$ = Motor pompa 3 phasa

I = Amper

V = Volt

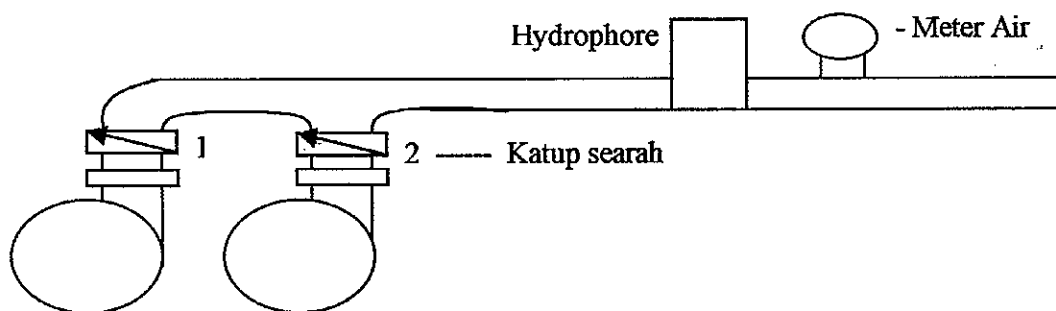
$\cos \phi$ = Didapat dari pelat motor = 0,8

4.4. Konfigurasi Pengoperasian Pompa Dengan Hydrophore Tank

Pengaturan pengoperasian pompa dengan menggunakan Hydrophore Tank ialah dengan mengatur tekanan udara di dalam Hydrophore Tank.

Bila tekanan pada Hydrophore Tank di bawah 6 ata harga satu pompa yang bekerja dan bila tekanan di bawah 5,88 ata maka kedua pompa akan bekerja.

Kedua pompa akan terus bekerja sampai tekanan udara mencapai 7,5 ata.



Gambar 4-3. Konfigurasi Pengoperasian Pompa Dengan Hydrophore Tank

Tekanan P2 di bawah 6 ata satu pompa yang bekerja

Tekanan P2 di bawah 5,88 ata kedua pompa yang bekerja

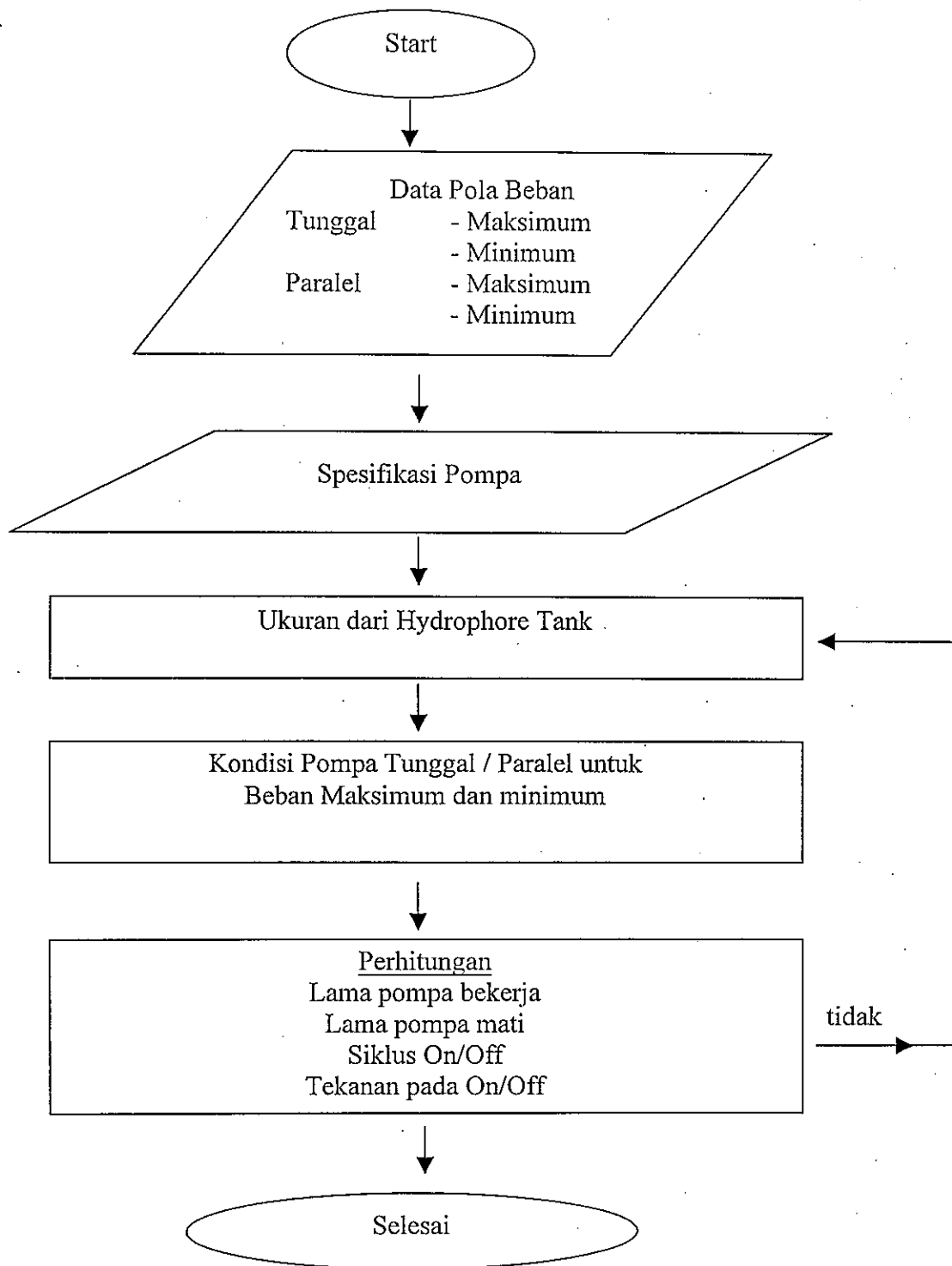
Di sini pompa yang digunakan hanya dua buah yang mempunyai karakteristik yang sama.

Penggunaan Hydrophore Tank dengan maksud untuk mendapatkan daya listrik yang diperlukan lebih kecil dari pengoperasian secara manual dengan debit yang sama.

Untuk menentukan pengoperasian dari Hydrophore Tank, pertama-tama harus dicari dulu debit maksimum dan minimum untuk tunggal dan juga untuk paralel yang dapat di lihat dari pola debit. Perlu juga diketahui spesifikasi pompa untuk dapat menentukan pola operasinya Hydrophore Tank tersebut. Dengan telah diketahuinya beban maksimum dan minimum untuk tunggal dan paralel, serta spesifikasi pompa, maka dapat ditentukan ukuran dari Hydrophore Tank. Dengan ukuran diketahui maka kondisi pompa, tunggal ataupun paralel pada waktu kondisi maksimum atau minimum. Dapat diketahui juga lama pompa bekerja, lama pompa tidak bekerja, lamanya siklus, dan tekanan pada Hydrophore Tank dapat diketahui.

Bila penggunaan daya listrik dengan menggunakan Hydrophore Tank masih lebih besar dari cara manual, maka perhitungan dikembalikan ke perhitungan ukuran dari Hydrophore Tank.

Adapun Bagan Alir Perhitungan Daya Dengan Hydrophore adalah sebagai berikut :



Gambar 4-4. Bagan Alir Perhitungan Daya dengan Hydrophore Tank

4.5. Pengoperasian Sistem Pompa Dengan Menggunakan "Hydrophore Tank"

Hydrophore berfungsi :

- Memberikan tekanan konstan pada sistem dengan memanfaatkan udara pada tangki
- Mengatur on/off pompa secara otomatis
- Menyimpan air (reservoir) dalam jumlah yang kecil

Untuk dapat menggunakan tangki Hydrophore harus diketahui :

Karakteristik pompa

Tekanan awal P_1 kondisi off

Tekanan akhir P_2 kondisi on

Volume udara awal V_1 pada tekanan P_1

Volume tekanan akhir V_2 pada tekanan P_2

Perbedaan tekanan P_1 dan P_2

Perbandingan tekanan P_1/P_2

4.6. Spesifikasi Pompa

Spesifikasi pompa adalah sebagai berikut :

Model	: Centrifugal
Kapasitas	: $17 \text{ }^1/\text{detik}$
Head	: 57,5 m
Arus	: 36 A
Tegangan	: 220/ 380 V
Phase	: 3
Cos ϕ	: 0,8

Dari data di atas dapat diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Daya poros pompa (P)} &= \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos \phi \\ &= 1.732 \cdot 36 \cdot 380 \cdot 0,8 = 18,955 \text{ W} \\ &= 18,955 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{Daya air (P}_w\text{)} = \gamma \cdot H \cdot Q = 9,8 \cdot 57,5 \cdot 0,017 = 9,579 \text{ kW}$$

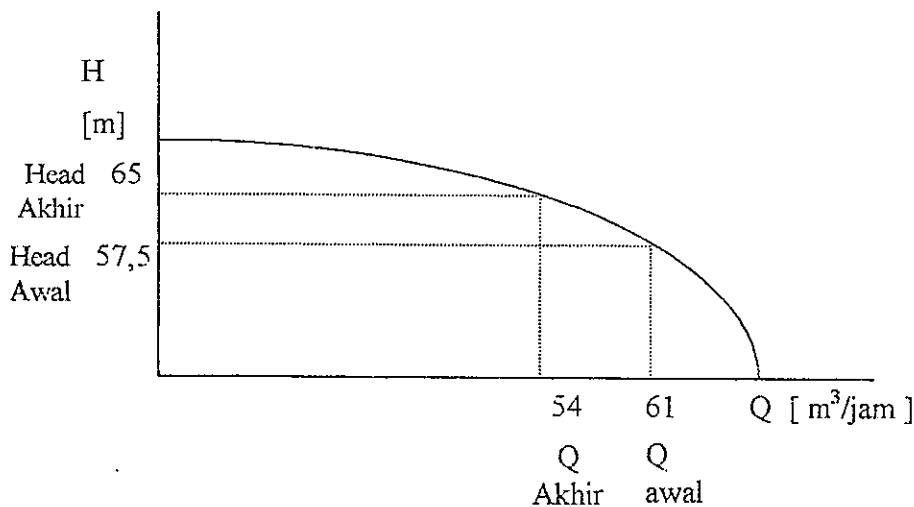
$$\text{Maka efesiensi pompa ini} = \frac{P_w}{P} \times 100\% = \frac{9,579}{18,955} \times 100\% = 48 \%$$

Sesuai dari data PDAM head harus dinaikkan menjadi 65 m dan dengan daya air (P_w) yang tetap maka di dapat kapasitas

$$9,8 \cdot 65 \cdot Q = 9,579$$

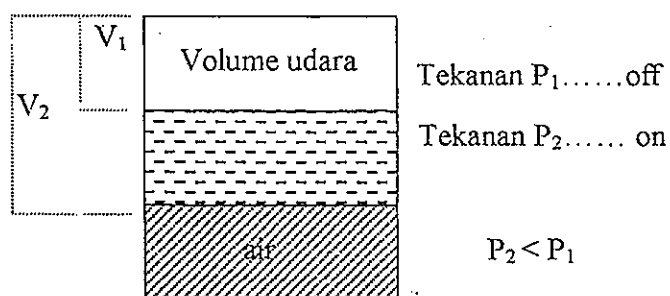
$$Q = \frac{9,579}{9,8 \cdot 65} = 0,015 \text{ m}^3/\text{detik} = 54 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Sesuai dengan gambar di bawah ini



Gambar 4-5. Karakteristik Pompa, Penurunan Debet Akibat Kenaikan Head

4.7. Ukuran Hydrophore



Gambar. 4-6. Tangki Hydrophore

Faktor-faktor yang mempengaruhi volume tangki Hydrophore adalah :

- 1) Tekanan awal P_1kondisi pompa tidak bekerja
- 2) Tekanan Akhir P_2 kondisi bekerja (on) saat tekanan udara di dalam tangki turun menjadi P_2
- 3) Volume udara di dalam tangki awal V_1 pada tekanan udara di dalam tangki P_1

- 4) Volume udara di dalam tangki akhir V_2 pada tekanan di dalam tangki P_2
- 5) Perbedaan tekanan P_1 dengan P_2
- 6) Perbandingan tekanan $\frac{P_1}{P_2}$
- 7) Jumlah siklus tiap jam.

Penentuan faktor-faktor di atas :

Tekanan awal P_1 ditentukan oleh karakteristik pompa. (Lihat 3,741. hal 20)

Tekanan akhir P_2 biasanya 1-1,5 ata di bawah tekanan P_1 . (Ref : Philips - 1980)

Volume udara awal V_1 biasanya sekitar 40% dari volume tangki. (Hydraulic Hand book E.F Brater-1976)

Jumlah siklus tiap jam antara 10-15 kali. (Hydraulic Hand book E.F. Brater-1976))

Dengan penentuan diatas di dapat :

P_1 = tekanan pada kondisi off
 = 65 m kolom air, supaya air dapat mencapai titik yang jauh.
 = 6,5 ata
 = 7,5 ata

P_2 = (7,5 - 1,5) ata = 6 ata

$V_2 - V_1$ = air yang di ambil dari tangki Hydrophore
 = kapasitas penyimpanan
 = dari coba-coba diambil = 2,5 m³/siklus
 supaya membatasi jumlah siklus tiap jamnya.

$$\text{Jam 24:00 - debit 35,21} \rightarrow \text{Jumlah siklus} = \frac{\text{air dari hydrophore}}{\text{air tiap siklus}} = \frac{12,252}{2,5} = 4,9$$

$$\text{Jam 21:00 - debit 45,71} \rightarrow \text{Jumlah siklus} = \frac{\text{air dari hydrophore}}{\text{air tiap siklus}} = \frac{7}{2,5} = 2,8$$

$$\text{Jam 08:00 - debit 65} \rightarrow \text{Jumlah siklus} = \frac{\text{air dari hydrophore}}{\text{air tiap siklus}} = \frac{25,876}{2,75} = 9,409$$

$$\text{Jam 17:00 - debit 103,7} \rightarrow \text{Jumlah siklus} = \frac{\text{air dari hydrophore}}{\text{air tiap siklus}} = \frac{4,127}{2,75} = 1,5$$

Kalau ($V_2 - V_1$) kecil kemungkinan siklusnya naik.

Dari rumus = Boyle – Mariott

$$P_2 V_2 = P_1 V_1$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2}$$

$$6 = \frac{7,5 \cdot V_1}{(V_1 + 2,5)}$$

$$6V_1 + 15 = 7,5 V_1$$

$$V_1 = 10 \text{ m}^3$$

Menurut acuan Hydraulic Handbook EF Brater-1976. V_1 dapat diambil sekitar 40 % dari volume tangki.

Maka volume tangki :

$$\frac{100}{40} \times 10 \text{ m}^3 = 25 \text{ m}^3$$

Kalau diameter dalam tangki diambil 2,5 m, maka tinggi tangki :

$$\frac{\pi \cdot 2,5^2}{4} \times t = 25$$

$$t = \frac{25 \cdot 4}{\pi \cdot 6,25} = 5 \text{ m}$$

BAB 5

PENGOLAHAN DATA

Dari debit pompa distribusi $\left[\frac{m^3}{jam} \right]$ dapat diketahui debit tiap jam-nya sepanjang hari. Dengan mencari rata-rata debit pompa distribusi tiap jam, maka didapat pola debit pompa distribusi untuk tiap harinya. Dengan mengetahui pola debit pompa untuk tiap hari, maka dapat dihitung daya air dan daya poros untuk setiap jam untuk setiap pompa yang bekerja tunggal dan secara paralel.

Dari perhitungan dapat dicari komposisi / susunan dalam pengoperasian pompa, yang dapat memenuhi pola debit pompa produksi dan memerlukan energi listrik yang paling kecil.

5.1. Pola Debit Pompa Distribusi

Dari hasil pengamatan pada lampiran.1 dapat dicari debit pompa tiap jamnya. Seperti pada Tabel 5-3.

Tabel 5-2. Tabel pengamatan tanggal 4-12-2003 dipergunakan sebagai data contoh perhitungan. Sedangkan tabel 5-3 adalah debit rata-rata pompa hasil pengamatan bulan Oktober 2003 sampai dengan bulan Desember 2003. Tabel 5-4. merupakan Tabel debit rata-rata hasil pengamatan 10 bulan.

Gambar 5-1 adalah Gambar Pola Debit gabungan rata-rata bulan Oktober 2003 sampai dengan bulan Juli 2004. Sedangkan Gambar 5-2. adalah Gambar pola debit gabungan rata-rata bulan bulan Oktober sampai dengtan bulan Desember 2003.

Gambar 5-3 adalah gambar gabungan pola debit rata-rata 10 bulanan dengan pola debit rata-rata pola debit rata-rata pola gabungan 3 bulanan.

Dari gambar 5-3 dapat dilihat bahwa bentuk pola untuk 3 bulanan dan 10 bulanan bentuknya sama dan kapasitas air yang didistribusikan juga sama.

Hasil pengamatan 3 bulanan didapat :

Pompa tunggal menghasilkan	: 352,87 m ³ / hari
Pompa paralel menghasilkan	: $\frac{1318,16 \text{ m}^3 / \text{hari}}{1671,03 \text{ m}^3 / \text{hari}}$

Hasil pengamatan 10 bulanan didapat :

Pompa Tunggal menghasilkan	: 431,6 m ³ / hari
Pompa paralel menghasilkan	: $\frac{1239,4 \text{ m}^3 / \text{hari}}{1671 \text{ m}^3 / \text{hari}}$

Dari Tabel 5-1 : Perbedaan Debit 3 bulan dengan Debit 10 bulan didapat :

	3 Bulan	10 Bulan
Debit per hari	1671,03 m ³ /hari	1671 m ³ /hari
Kerja Paralel	15 jam	14 jam
Kerja Tunggal	9 Jam	10 Jam
Debit Paralel	1381,16 m ³	1239,4 m ³
Debit Tunggal	352,87 m ³	431,6 m ³

Dari data di atas didapat :

$$\text{Perbedaan Debit Paralel} = 1318,16 - 1239,4 = 78,76 \text{ m}^3$$

$$\text{Perbedaan Debit Tunggal} = 352,87 - 431,6 = - 78,73 \text{ m}^3$$

$$\text{Dimana untuk pompa III diketahui} = 429 \text{ Wh/ m}^3$$

$$\text{dan untuk pompa I + II diketahui} = 417 \text{ Wh/m}^3$$

$$\text{Perbedaan daya untuk Tunggal dan Paralel} = (429-417) \text{ Wh/ m}^3 = 12 \text{ Wh/ m}^3$$

$$\text{Untuk perbedaan } 78,76 \text{ m}^3 = 78,76 \times 12 \text{ Wh/ m}^3 = 945,12 \text{ Wh.}$$

Maka perbedaan daya untuk pola 10 bulan dan 3 bulan perharinya adalah = 945,12 Wh.

Sedangkan untuk pengoperasian Pompa III Tunggal dengan Pompa I + II secara Paralel, diperlukan daya listrik sebesar 677,352 kWh/hari, maka perbedaan daya sebesar 945,12 Wh/hari hanya merupakan :

$$\frac{945,32}{677,352} \times 100\% = 0,139\% = 0,14 \% \text{ dari keperluan daya listrik yang diperlukan}$$

dalam 1 hari.

Maka untuk perhitungan dipakai tetap pola 3 bulan karena perbedaannya kecil dengan pola 10 bulan.

Dari Tabel 5-1 dapat ditentukan bahwa bila debit pompa lebih dari $54 \text{ m}^3/\text{jam}$ akan digunakan 2 pompa secara paralel. Dari tabel 5-1 untuk 3 bulan dapat diketahui :

Kerja tunggal pada jam : 1,9,10,11,12,21,22,23, dan 24 (9 jam)

Kerja paralel pada jam : 2,3,4,5,6,7,8,13,14,15,16,17,18,19, dan 20 (15 jam)

Debit yang dihasilkan selama kerja tunggal adalah : $352,87 \text{ m}^3/\text{jam}$

Debit yang dihasilkan selama kerja paralel menjadi :

$$(1671,03 - 352,87)^3 = 1318,16 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dari Tabel 5-1 untuk 10 bulan dapat diketahui :

Kerja tunggal pada jam : 1, 10,11,12,13,14,,21,22,23, dan 24 (10 jam)

Kerja paralel pada jam : 2,3,4,5,6,7,8,9,15,16,17,18,19, dan 20 (14 jam)

Debit yang dihasilkan selama kerja tunggal adalah : $431,6 \text{ m}^3/\text{jam}$

Debit yang dihasilkan selama kerja paralel adalah $1239,4 \text{ m}^3/\text{jam}$

Tabel 5-1. Perbedaan Debit 3 Bulan dengan Debit 10 Bulan $[m^3 / jam]$
(Pompa bekerja paralel bila debit >54 $[m^3 / jam]$)

Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
3 Bl- Tunggal	41,45								42,3	38,8	37,55	40,55									45,70	35,95	35,36	35,21
3 Bl - Paralel		71,95	87,9	99,45	99,85	101,75	96,6	65					58,05	75,16	91,6	102,4	103,7	101,6	91,5	71,7				
10 Bl - tunggal	41,1									46,4	41,6	40,4	43,2	54,6										
10 Bl - Paralel		64,2	82,4	96,5	96,9	100	99,4	96,3	79,8						67,5	86,2	95,5	99	94,7	81	50,6	42,4	35,9	35,4
(3 Bl - 10Bl)	0,35	7,75	5,5	2,95	2,95	1,75	-2,8	-31,3	-37,5	-7,6	-4,05	0,15	14,85	20,56	24,05	16,25	8,2	2,55	-3,2	-9,3	-4,9	-6,45	-0,54	-0,19

Untuk dapat menghitung daya air dan daya poros dari pompa dapat kita pergunakan Tabel 5-2 dan lampiran 1. Dari Tabel 5-2 dan Lampiran 1 dapat dilihat bahwa untuk kolom 1 sampai dengan kolom 8 adalah hasil pengamatan. Perhitungan daya air pada kolom 9 dan perhitungan daya poros kolom 10. Sedangkan efisiensi pompa pada kolom 11, dan pompa yang bekerja pada kolom 12.

Kolom 1 : Hasil pengamatan (jam)

Kolom 2 : Hasil pengamatan tegangan (Volt)

Kolom 3 : Penggunaan Amper (A) untuk pompa I

Kolom 4 : Penggunaan Amper (A) untuk pompa II

Kolom 5 : Penggunaan Amper (A) untuk pompa III

Kolom 6 : Total penggunaan Amper (A)

Kolom 7 : Pengamatan Tekanan (kgf/cm^2)

Kolom 8 : Pengamatan debit arus (m^3/jam)

Kolom 9 : Daya air di dapat dengan menggunakan rumus : $P_w = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot [Wh]$

Kolom 10 : Daya poros di dapat dengan menggunakan rumus :

$$P = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot I \cdot V \cdot \cos \phi [Wh]$$

Kolom 11 : Efisiensi pompa yang didapat dengan rumus : $\eta = \frac{P_w}{P}$

Kolom 12 : Yang menyatakan pompa mana yang bekerja

Jam	Teg Volt	Pompa 1 Amp	Pompa 2 Amp	Pompa 3 Amp	Total Amp	Tek. Pompa $\frac{kgf}{cm^2}$	Debit Q $\left[\frac{m^3}{jam} \right]$	Daya Air P_w [Wh]	Daya Poros P [Wh]	$\eta = \frac{P_w}{P} \%$	Pompa Yang Bekerja
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	418	34			34	6.5	39	6900	19692	35,04	I
2	418	34			34	6.5	39	6900	19692	35,04	
3	418		30		30	6.5	31	5485	17375	31,57	II
4	410		34		34	6.5	109	19301	19315	?	
5	405		34	34	68	6.5	83	14714	38159	38,56	II & III
6	418		34	34	68	6.5	115	20378	38384	53,01	
7	410		34	34	68	6.5	97	17135	38630	44,36	I
8	410		33	33	66	6.5	111	19619	37494	52,33	
9	419	34			34	6.5	38	6752	19739	34,21	I
10	419	34			34	6.5	31	5485	19739	27,79	
11	419	34			34	6.5	42	7452	19739	37,75	I
12	419	34			34	6.5	38	6752	19739	34,21	
13	419	34			34	6.5	39	6900	19739	34,90	II + III
14	419	34			34	6.5	100	17708	19739	89,71	
15	410		34	34	68	6.5	100	17708	38530	45,84	II + III
16	410		34	34	68	6.5	116	20511	38630	53,10	
17	405		34	34	68	6.5	107	18918	38159	49,58	I
18	400		34	34	68	6.5	105	18600	37688	49,35	
19	390		34	34	68	6.5	33	5860	36746	15,95	I
20	410	34			34	6.5	35	6178	19315	31,99	
21	410	34			34	6.5	36	6370	19315	32,98	I
22	410	34			34	6.5	36	6370	19315	32,98	
23	410	34			34	6.5	36	6370	19315	32,98	I
24	410	34			34	6.5	36	6370	19315	32,98	

Hasil pengamatan : No.1 s/d No.8

Daya Air No 9 : $\gamma \cdot Q \cdot H$

Daya Poros No.10 : $\sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos \phi$

Efisiensi No.11 = Daya air / Daya Poros

Pompa yang bekerja No : 12

Dari hasil pengamatan debit tiap hari dapat dibuat debit rata-rata bulanan.

Dari debit rata-rata bulanan, disini diambil untuk tiga bulanan dibuat pola debit rata-ratanya. Dari debit rata-rata ini dapat diketahui bahwa total pemakaian rata-rata tiga harinya adalah 1671, 03 m³/hari.

Kapasitas tunggal minimum adalah 35,21 m³/jam

Dan Kapasitas tunggal maksimum adalah 45,70 m³/jam

Sedangkan kapasitas paralel minimum adalah 65 m³/jam dan kapasitas paralel maksimum adalah 103,7 m³/jam.

Kerja tunggal selama 9 jam dan dengan debit total 352,87 m³, sedangkan kerja paralel selama 15 jam dengan debit total 1381,16 m³, untuk jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5-3 dan Lampiran 2.

TABEL 5-3. DEBIT POMPA RATA-RATA HASIL PENGAMATAN TIAP JAM DALAM m³ / jam

Jam Tanggal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8-10	69	83	105	105	103	101	106	100	31	51	38	41	39	41	99	104	104	100	100	40	40	40	40	40
9-10	39	99	99	99	102	103	102	39	36	40	48	67	75	93	116	97	111	87	101	37	42	37	40	40
14-10	42	84	84	90	93	85	95	95	82	41	35	32	40	110	80	100	100	100	100	100	100	25	30	27
15-10	33	82	82	84	98	108	104	103	45	57	27	41	34	91	116	98	93	119	82	91	28	45	33	34
16-10	73	84	84	114	98	94	99	42	40	40	40	41	88	91	95	108	113	94	104	103	93	30	30	30
1-11	36	36	99	102	108	103	84	98	41	40	33	30	63	80	102	98	106	100	92	42	38	39	38	36
3-11	34	98	98	98	99	103	104	40	41	31	-	-	-	-	39	96	106	106	90	61	38	34	34	34
4-11	36	36	36	112	85	105	105	56	38	29	36	39	39	39	99	98	106	98	33	33	36	34	34	34
16-11	34	34	102	103	103	109	29	32	29	38	37	81	80	89	100	101	105	105	103	98	34	34	36	36
19-11	36	92	93	90	90	90	90	80	100	20	40	40	40	40	80	101	100	110	100	94	34	34	-	-
1-12	24	85	85	98	98	104	20	71	41	41	34	30	29	25	33	109	97	97	99	99	37	33	33	33
2-12	30	40	100	100	103	107	109	51	29	30	43	39	39	71	99	92	102	106	92	41	39	39	29	30
4-12	39	39	31	109	83	115	97	111	38	31	42	38	39	100	100	116	107	105	33	35	36	36	36	36
5-12	36	43	85	99	103	104	118	51	30	29	29	29	71	79	99	113	92	94	94	100	100	38	38	38
7-12	82	89	89	91	106	104	104	102	40	39	44	36	81	82	82	97	105	116	100	35	34	34	34	34
10-12	40	116	86	104	104	101	116	36	40	35	34	34	73	76	100	100	111	98	98	98	34	34	34	34
19-12	38	96	101	96	98	111	104	38	44	37	45	41	84	82	98	109	99	99	104	37	39	39	39	39
23-12	30	90	100	100	100	110	118	88	34	39	37	37	-	-	90	100	105	100	100	100	40	40	40	40
25-12	38	73	92	88	116	68	110	41	31	28	34	34	78	102	99	102	104	102	103	88	36	38	38	38
26-12	40	40	107	107	107	110	118	26	36	80	-	-	53	62	105	101	108	95	102	102	36	36	36	36
$\sum X$	829	14,39	1,758	1,989	1,997	2,035	1,932	1,300	846	776	676	730	1,045	1,353	1,831	2,049	2,074	2,031	1,830	1,434	914	719	672	669
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18	18	18	18	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19
$\bar{X}$	41,45	71,95	87,9	99,45	99,85	101,75	96,6	65	42,3	38,8	37,55	40,55	58,05	75,16	91,55	102,45	103,7	101,55	91,50	71,70	45,70	35,95	35,36	35,21

Total pemakaian air rata-rata tiap hari = 1671,03 m³/hari

Sama seperti untuk mendapatkan debit rata-rata untuk tiga bulan, kitakerjakan juga untuk pengamatan sepuluh bulan. Daridebit rata-rata ini diketahui bahwa total pemakaiannya adalah $1671 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Kapasitas tunggal minimum adalah $35,4 \text{ m}^3/\text{jam}$.

Kapasitas tunggal maksimum adalah $50,6 \text{ m}^3/\text{jam}$.

Kapasitas paralel minimum adalah $64,2 \text{ m}^3/\text{jam}$.

Kapasitas paralel minimum adalah $100,4 \text{ m}^3/\text{jam}$.

Kerja tunggal selama 10 jam dengan debit total $431,6$ Kapasitas tunggal minimum adalah $35,4 \text{ m}^3$.

Kerja paralel selama 14 jam dengan debit total $1239,4 \text{ m}^3$.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5-4 dan Lampiran 2.

Tabel 5-4. Debit Pompa Rata-rata Hasil Pengamatan 10 Bulan
Tiap Jam dalam m^3 / jam

Jam Tanggal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Oktober	45	71	78	90	96	101	102	91	83	50	39	41	46	40	65	79.3	92.8	98.9	98.9	86.3	64.8	49.8	37	33
November	39	39	72	92	96	102	98	86	54	41	39	42	46	64	78	103	103	104	95	86.5	38.6	37.1	35.3	35
Desember	37	56	78	98	99	103	98	91	64	42	41	38	43	85	68	87.8	98.9	100	97	89	56.3	60.7	36	35.8
Januari	41	72	87	99	100	100	105	104	67	39	37	34	34	58	75	88.7	88.7	92.5	90.2	73.9	46.4	35.9	35	35.5
Pebruari	42	64	81	96	98	104	105	103	82	42	38	35	42	58	87	91.9	96.2	101	94.1	83.9	46.3	37.8	35.5	35.9
Maret	43	66	87	99	95	98	98	100	94	52	43	42	43	56	66	86.8	96.1	98.9	101	75.4	46.5	35.5	35.2	34.9
April	41	64	77	93	86	93.4	94	93	87	60	48	45	46	54	58	79.1	95	94.2	88.7	87.7	68	56.5	37.6	38.4
Mei	41	71	88	100	100	99.6	97	95	81	49	40	40	39	43	57	72.4	91.7	99.7	90.1	81.1	46.6	36.8	35.8	35.1
Juni	42	68	88	99	100	101	99	100	90	47	45	42	47	47	64	85	92.7	99.4	97.3	74.5	46.5	38.1	36.3	34
Juli	41	72	88	99	99	103	99	99	96	42	45	45	46	42	58	88.3	99.7	101	94.4	72	46	35.3	35	36
$\bar{x}$	41	64	82	97	97	100	99	96	80	46	42	40	43	55	68	86.2	95.5	99	94.7	81	50.6	42.4	35.9	35.4
n	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Σx	411	642	824	965	969	1004	994	963	798	464	416	404	432	546	675	862	955	990	947	810	506	424	359	354

Total Pemakaian air Rata-Rata tiap Hari = 1671 $m^3 / hari$

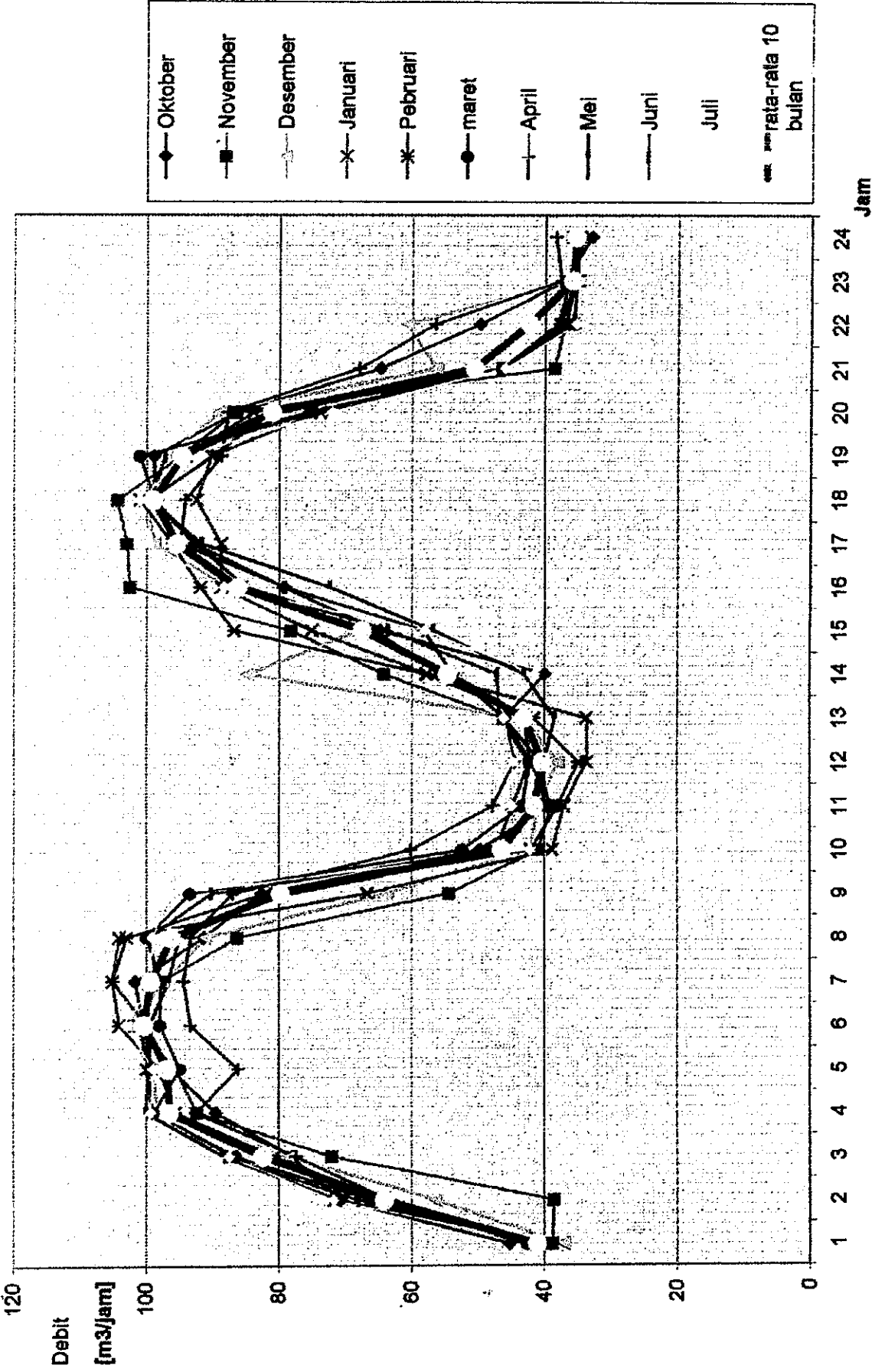
Dari hasil pengamatan debit harian dapat dibuat debit rata-rata bulanan dan dibuat grafik-grafiknya.

Dari debit bulanan dibuat debit rata-rata untuk 10 bulanan, dan dibuat grafik-grafiknya, hal ini dapat dilihat pada Gambar 5-1.

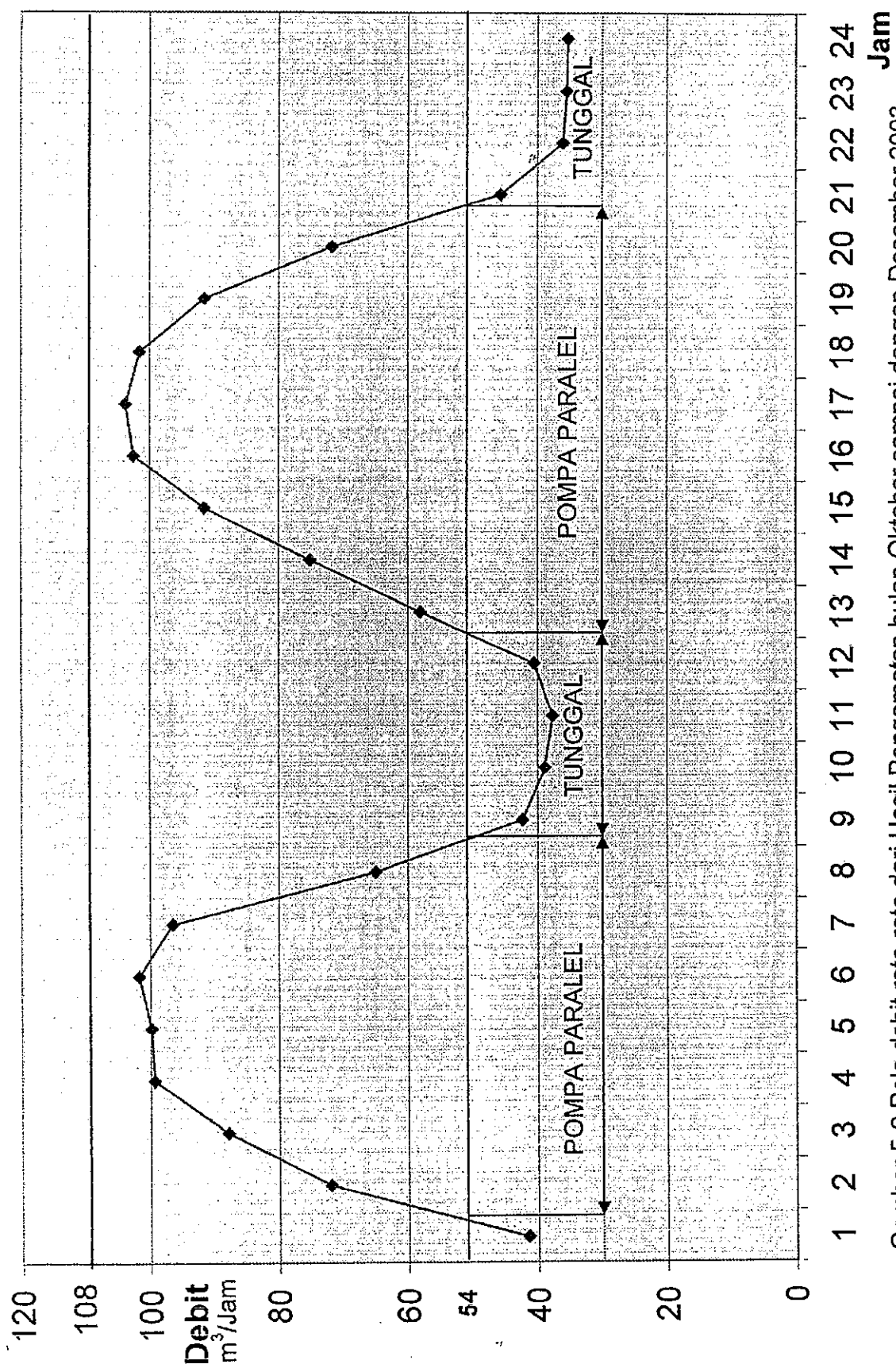
Hal yang sama dilaksanakan pada pengamatan bulan Oktober hingga Desember 2003 yang membentuk Grafik seperti pada Gambar 5-2.

Kedua Grafik 5-1 dan Grafik 5-2 terlihat pada Gambar Grafik 5-3.

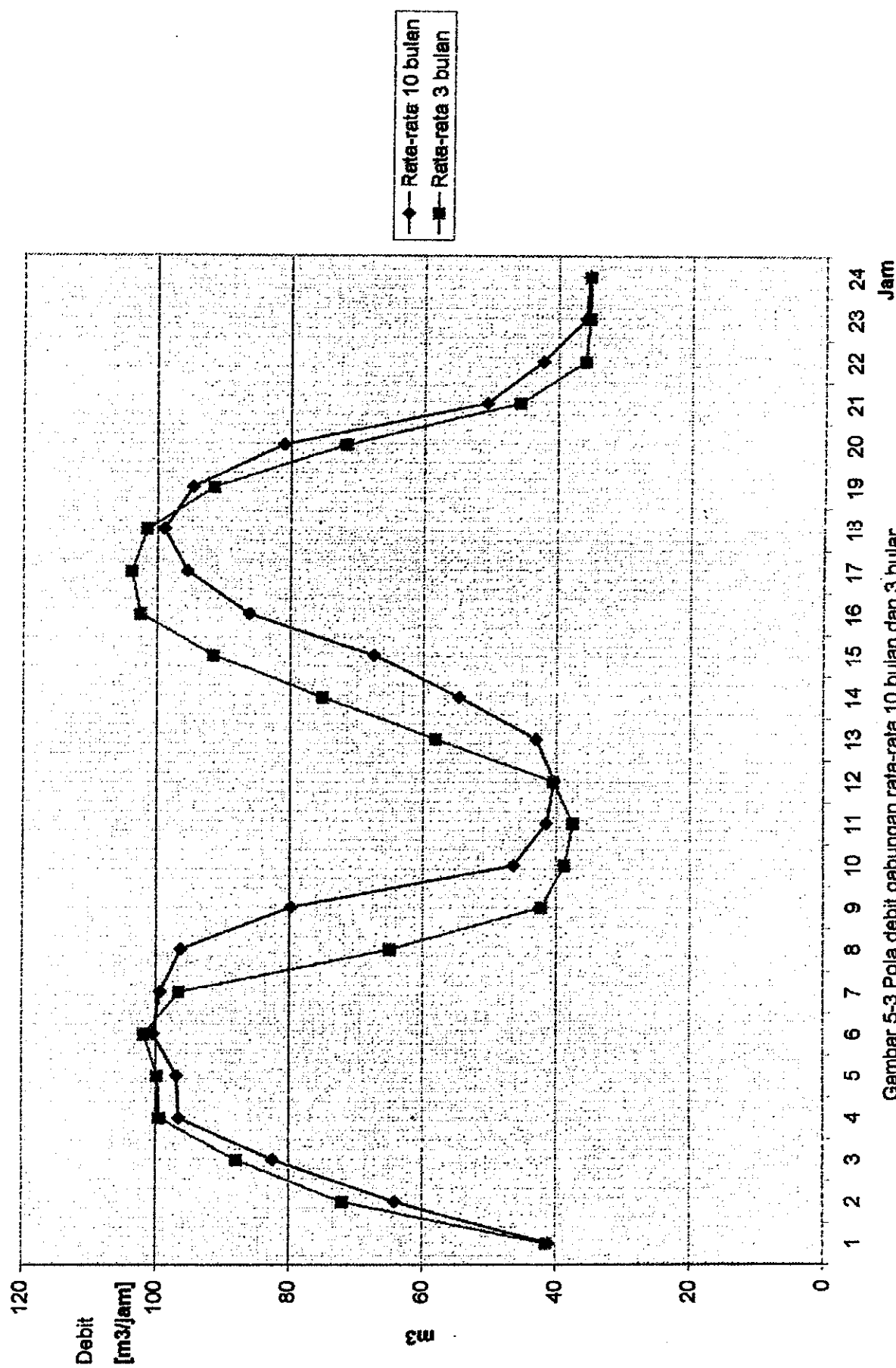
Kedua grafik itu bentuknya hampir sama, dan debitnya juga hampir sama.



Gambar 5-1 Gambar gabungan dari debit rata-rata untuk bulan Oktober 2003 sampai dengan bulan Juli 2004



Gambar 5-2 Pola debit rata-rata dari Hasil Pengamatan bulan Oktober sampai dengan Desember 2003

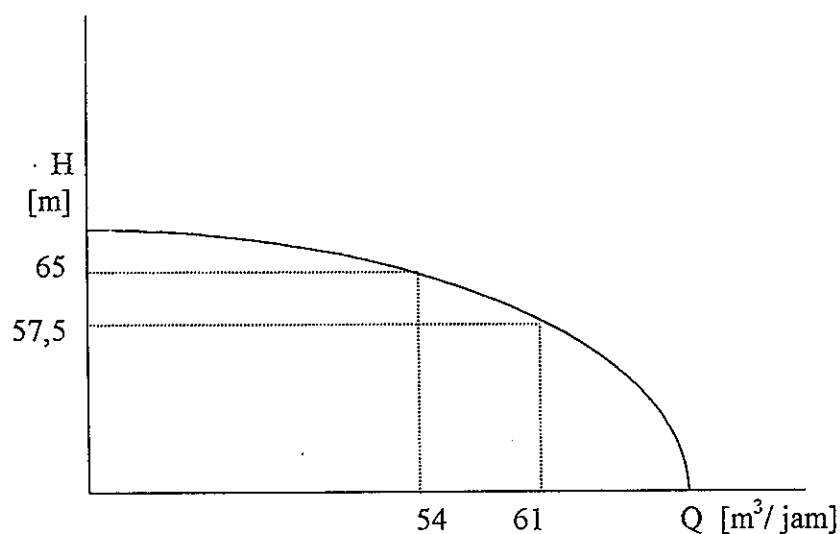


Gambar 5-3 Pola debit gabungan rata-rata 10 bulan dan 3 bulan.

Dari pola debit yang dihasilkan sistem pompa dapat diketahui kapan sebaiknya pompa itu bekerja secara tunggal atau ganda (paralel). Pompa yang digunakan adalah pompa :

Pompa	: Stork Pompen
Model	: Centrifregal
Tekanan	57,5 m kolom air
Debit	: $17 \frac{1}{d} - 61,2 \text{ m}^3/\text{jam}$
Arus	: 36 A
Tegangan	: 220/ 380 V
Phase	: 3
Cos ϕ	: 0,8
Daya Listrik	: 18,5 kW

Tekanan pompa = 57,5 m kolom air kurang besar dan harus dinaikkan menjadi 65 m kolom air, sehingga debitnya turun menjadi $15 \frac{1}{d}$ atau $54 \text{ m}^3/\text{jam}$



Gambar 5 -4. Karakteristik Pompa

5.2 Perhitungan Daya Air dan Daya Poros

Untuk dapat menghitung daya air dan daya poros dipakai data-data pengamatan.

Lihat tabel 5-2 sebagai contoh :

- Tegangan dan arus dilihat dari panel listrik
- $\cos \phi$ di lihat dari pelat motor listrik pompa
- Tekanan pompa dilihat dari manometer yang dipasang pada pompa.
- Debit pompa dapat di lihat dari meter air

Dengan data-data tersebut dihitung :

- Daya air = $P_w = \gamma \left[\frac{kN}{m^3} \right] Q \left[\frac{m^3}{detik} \right] H [m] = kW$
- Daya poros = $P = \sqrt{3} \cdot I [Amp] V [Volt] \cdot \cos \phi = [kW]$

Dimana :

Daya air ialah daya yang diterima air dari pompa.

Daya poros ialah daya yang di terima poros dari PLN, untuk memutarakan pompa.

Contoh perhitungan dari Tabel 5 - 2

Jam	Volt	Amp	Tek Pom H=m	Debit $Q = \left[\frac{m^3}{jam} \right]$	Daya air $P_w [kWh]$	Daya Poros $P [kWh]$	η % P_w/P	Pomp
11	419	34	65	42	7,452	19,739	37,65	I
18	400	68	65	105	18600	37,688	49,30	II+III

$$P_w = 9,8 \left[\frac{kN}{m^3} \right] \frac{42}{3600} \left[\frac{m^3}{detik} \right] 65 [m] = 7,452 [kW]$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 419 \cdot 34 \cdot 0,8 = 19,739 [kW]$$

$$\eta = \frac{P_w}{P} = \frac{7,452}{19,739} \cdot 100\% = 37,75\%$$

Untuk mendapatkan daya per m^3 di dapat sebagai berikut

- Untuk pompa I $\rightarrow$ Tabel 5-2

$$\text{Debit} = 42 \text{ } m^3/\text{jam}$$

$$\text{Daya air per } m^3 = \frac{7,452}{42} = 177 \frac{Wh}{m^3}$$

UPT-PUSTAK-UNDIP

$$\text{Daya poros } P \cdot m^3 = \frac{19,739}{42} = 469 \frac{Wh}{m^3}$$

▪ Untuk pompa II+III Paralel

$$\text{Debit} = 105 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Daya air per m}^3 = \frac{18,600}{105} = 177 \frac{kWh}{m^3}$$

$$\text{Daya poros per m}^3 = \frac{37,680}{105} = 358 \frac{kWh}{m^3}$$

Dengan melihat pada data-data penelitian, maka dapat dicari :

untuk pompa I, pompa II, pompa III, pompa I+II paralel, pompa I+III paralel dan pompa II+III paralel :

- ❖ Rata-rata debit
- ❖ Rata-rata daya air per m³
- ❖ Rata-rata daya poros per m³

Harga-harga tersebut dapat dilihat di Tabel di bawah ini :

Tabel 5- 5 Debit, Daya air, daya poros dan efisiensi

Pompa	Debit Q $\left[\frac{m^3}{jam} \right]$	Daya air Pw $\left[\frac{Wh}{m^3} \right]$	Daya poros P $\left[\frac{Wh}{m^3} \right]$	$\eta = \frac{Pw}{P}$ [%]	Bekerja
I	35,72	177	539	32,84	Tunggal
II	37,53	177	483	36,63	Tunggal
III	43,83	177	429	41,23	Tunggal
I+II	90,6	177	417	42,35	Paralel
I+III	90,66	177	415	42,55	Paralel
II+III	98,40	177	387	45,73	Paralel

5.3 Perhitungan Daya Poros

Dari Tabel debit, dapat diketahui debit pompa tiap jam dan jumlah air yang dihasilkan pompa tiap harinya.

- a) pompa I bekerja secara tunggal dalam menghasilkan air bersih sebanyak $352,87 \text{ m}^3$ dan pompa II dan pompa III secara paralel menghasilkan $1318,16 \text{ m}^3$ adapun daya yang diperlukan tiap hari : $700,314 \text{ kWh}$
- b) pompa II bekerja secara tunggal dan pompa I dan pompa III secara paralel daya yang diperlukan tiap hari = $716,012 \text{ kWh}$
- c) pompa III bekerja secara tunggal dan pompa I dan pompa II secara paralel daya yang diperlukan tiap hari = $677,577 \text{ kWh}$
- d) Pompa III bekerja secara tunggal dan Pompa II + III secara paralel.
daya yang diperlukan tiap hari = $657,22 \text{ kWh}$

Kalau dibuat secara Tabel, di dapat :

Tabel : 5-6 Daya Poros Untuk Tiap Susunan Pompa

Susunan pompa	Debit Q $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right]$	Daya poros total Kwh/hari
PI tunggal PII+PIII Paralel	1.671,03	700,314
PII tunggal PI+PIII Paralel	1.671,03	716,012
PIII tunggal PI+PII Paralel	1.671,03	677,357
P III tunggal PII + P III paralel	1.671,03	657,21

Dari Tabel 5-6 ... dapat dilihat, bahwa susunan pompa yang paling baik adalah susunan bila :

Pompa III bekerja secara tunggal dan pompa II + III bekerja secara paralel.

Dan yang kedua :

Pompa III bekerja secara tunggal dan pompa I + II secara paralel.

Dan yang ketiga, pompa I bekerja secara tunggal dan pompa II + III secara paralel

Dan susunan yang sekarang dilaksanakan adalah susunan ini.

Dan yang keempat :

Pompa II bekerja secara tunggal dan pompa I + III secara paralel.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5-7 sampai Tabel 5- 10

Tabel 5 - 7 Penggunaan kWh perhari dengan susunan pompa I tunggal dan pompa II + III paralel.

Jam	Debit Q [m^3/jam]	Daya air P_w [kWh]	Daya poros P [kWh]	$\eta \frac{P_w}{P}$ [%]	Bekerja
1	41,45	7,336	22,341	32,84	Tunggal
2	71,95	12,735	27,844	45,74	Paralel
3	87,90	15,558	34,017	45,74	Paralel
4	99,45	17,602	38,487	45,73	Paralel
5	99,85	17,673	38,641	45,74	Paralel
6	101,75	18,009	39,377	45,73	Paralel
7	96,6	17,093	37,384	45,72	Paralel
8	65	11,505	25,155	45,74	Paralel
9	42,3	7,487	22,799	32,84	Tunggal
10	38,8	6,867	20,913	32,84	Tunggal
11	37,55	6,643	20,239	32,82	Tunggal
12	40,55	7,177	21,856	32,84	Tunggal
13	58,05	10,274	22,465	45,73	Paralel
14	75,16	13,302	29,086	45,74	Paralel
15	91,55	16,204	35,429	45,73	Paralel
16	102,45	18,133	39,648	45,73	Paralel
17	103,70	18,354	40,131	45,74	Paralel
18	101,55	17,974	39,299	45,74	Paralel
19	91,50	16,195	35,410	45,74	Paralel
20	71,70	12,690	27,747	45,73	Paralel
21	45,70	8,088	24,632	32,84	Tunggal
22	35,95	6,363	19,377	32,84	Tunggal
23	35,36	6,258	19,059	32,83	Tunggal
24	35,21	6,232	18,978	32,84	Tunggal
	1671,03	295,753	700,314	42,23 %	

$$Q \cdot 177 = P_w$$

$$Q \cdot 389 = P_{\text{Paralel}}$$

$$Q \cdot 539 = P_{\text{Tunggal}}$$

Tabel 5- 8 Penggunaan kWh perhari dengan susunan pompa II tunggal dan pompa I + III paralel.

Jam	Debit Q $\left[\frac{m^3}{jam} \right]$	Daya air P_w [kWh]	Daya poros P [kWh]	$\eta \frac{P_w}{P}$ [%]	Bekerja
1	41,45	7,336	20,020	32,84	Tunggal
2	71,95	12,735	29,859	45,74	Paralel
3	87,90	15,558	36,478	45,74	Paralel
4	99,45	17,602	41,271	45,73	Paralel
5	99,85	17,673	41,437	45,74	Paralel
6	101,75	18,009	42,226	45,73	Paralel
7	96,6	17,093	40,089	45,72	Paralel
8	65	11,505	26,975	45,74	Paralel
9	42,3	7,487	20,430	32,84	Tunggal
10	38,8	6,867	18,740	32,84	Tunggal
11	37,55	6,643	18,136	32,82	Tunggal
12	40,55	7,177	19,585	32,84	Tunggal
13	58,05	10,274	24,090	45,73	Paralel
14	75,16	13,302	31,191	45,74	Paralel
15	91,55	16,204	37,993	45,73	Paralel
16	102,45	18,133	42,516	45,73	Paralel
17	103,70	18,354	43,035	45,74	Paralel
18	101,55	17,974	42,143	45,74	Paralel
19	91,50	16,195	37,972	45,74	Paralel
20	71,70	12,690	29,755	45,73	Paralel
21	45,70	8,088	20,624	32,84	Tunggal
22	35,95	6,363	17,363	32,84	Tunggal
23	35,36	6,258	17,078	32,83	Tunggal
24	35,21	6,232	17,006	32,84	Tunggal
	1671,03	295,753	716,012		

$$Q \cdot 177 = P_w$$

$$Q \cdot 415 = P_{\text{Paralel}}$$

$$Q \cdot 483 = P_{\text{Tunggal}}$$

Tabel 5- 9 Penggunaan kWh perhari dengan susunan
pompa III tunggal dan pompa I + II paralel.

Jam	Debit Q $[m^3/jam]$	Daya air P_w [kWh]	Daya poros P [kWh]	$\eta \frac{P_w}{P}$ [%]	Bekerja
1	41,45	7,336	17,782	41,26	Tunggal
2	71,95	12,735	29,794	42,74	Paralel
3	87,90	15,558	36,654	42,45	Paralel
4	99,45	17,602	41,470	42,45	Paralel
5	99,85	17,673	41,637	42,45	Paralel
6	101,75	18,009	42,429	42,45	Paralel
7	96,6	17,093	40,282	42,43	Paralel
8	65	11,505	27,105	42,45	Paralel
9	42,3	7,487	18,146	41,26	Tunggal
10	38,8	6,867	16,645	41,26	Tunggal
11	37,55	6,643	16,121	41,21	Tunggal
12	40,55	7,177	17,395	41,26	Tunggal
13	58,05	10,274	24,206	42,44	Paralel
14	75,16	13,302	31,341	42,45	Paralel
15	91,55	16,204	42,721	37,93	Paralel
16	102,45	18,133	43,242	41,93	Paralel
17	103,70	18,354	42,202	43,43	Paralel
18	101,55	17,974	38,155	47,11	Paralel
19	91,50	16,195	29,903	54,16	Paralel
20	71,70	12,690	19,056	66,59	Paralel
21	45,70	8,088	15,315	52,81	Tunggal
22	35,95	6,363	15,422	41,26	Tunggal
23	35,36	6,258	15,469	41,27	Tunggal
24	35,21	6,232	15,105	41,26	Tunggal
	1671,03	295,753	677,357	43,60 %	

$$Q \cdot 177 = P_w$$

$$Q \cdot 417 = P_{\text{Paralel}}$$

$$Q \cdot 429 = P_{\text{Tunggal}}$$

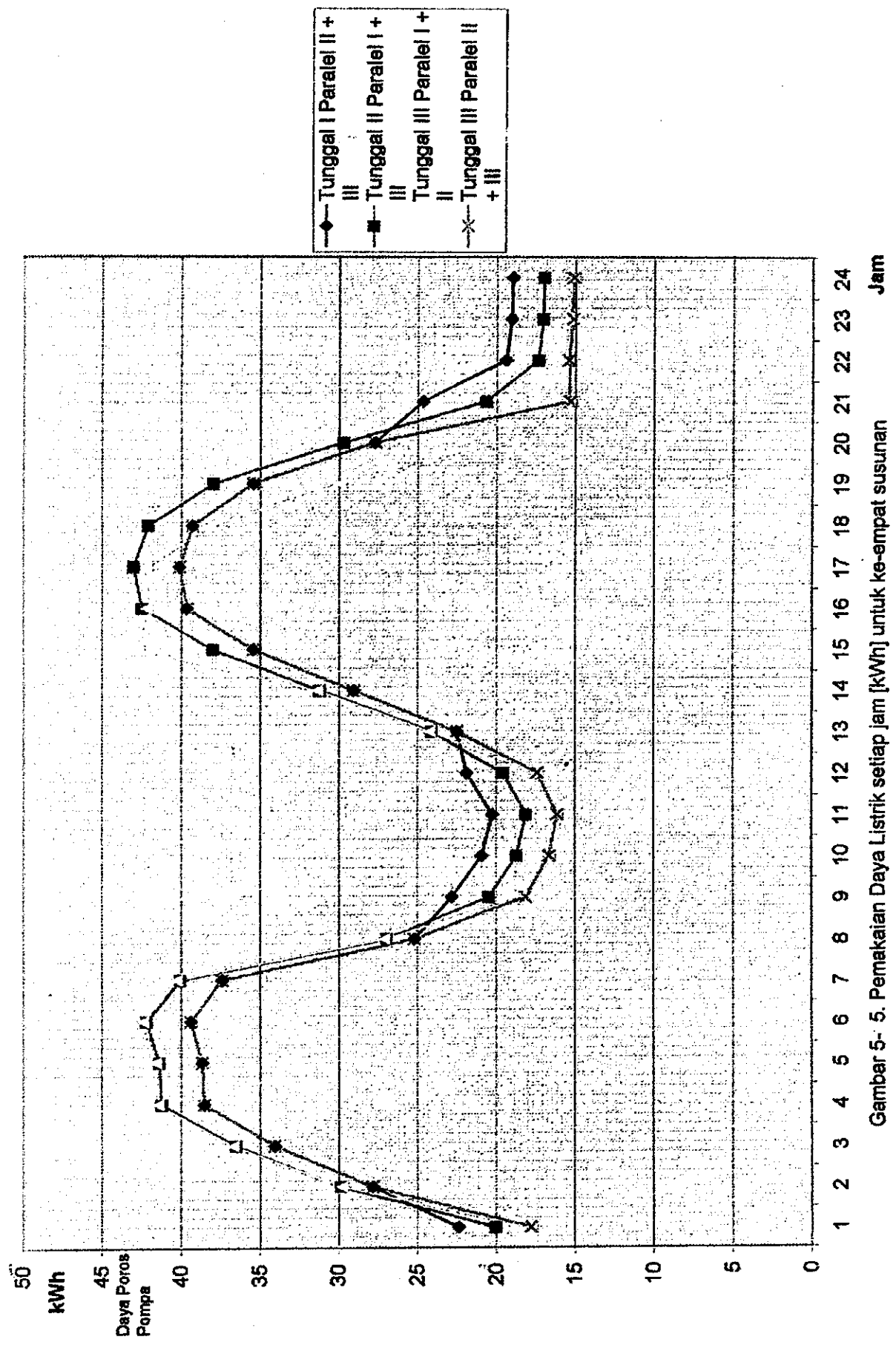
Tabel 5- 10 Penggunaan kWh perhari dengan susunan pompa III tunggal dan pompa II + III paralel.

Jam	Debit Q $\left[\frac{m^3}{jam} \right]$	Daya air P_w [kWh]	Daya poros P [kWh]	$\eta \frac{P_w}{P}$ [%]	Bekerja
1	41,45	7,336	17,782	41,26	Tunggal
2	71,95	12,735	27,844	42,74	Paralel
3	87,90	15,558	34,017	42,45	Paralel
4	99,45	17,602	38,487	42,45	Paralel
5	99,85	17,673	38,641	42,45	Paralel
6	101,75	18,009	39,377	42,45	Paralel
7	96,6	17,093	37,384	42,43	Paralel
8	65	11,505	25,155	42,45	Paralel
9	42,3	7,487	18,146	41,26	Tunggal
10	38,8	6,867	16,645	41,26	Tunggal
11	37,55	6,643	16,121	41,21	Tunggal
12	40,55	7,177	17,395	41,26	Tunggal
13	58,05	10,274	22,465	42,44	Paralel
14	75,16	13,302	29,086	42,45	Paralel
15	91,55	16,204	35,429	37,93	Paralel
16	102,45	18,133	39,648	41,93	Paralel
17	103,70	18,354	40,131	43,43	Paralel
18	101,55	17,974	39,299	47,11	Paralel
19	91,50	16,195	35,410	54,16	Paralel
20	71,70	12,690	27,727	66,59	Paralel
21	45,70	8,088	15,315	52,81	Tunggal
22	35,95	6,363	15,422	41,26	Tunggal
23	35,36	6,258	15,169	41,27	Tunggal
24	35,21	6,232	15,105	41,26	Tunggal
	1671,03	295,753	657,32	45,15	

$$Q \cdot 177 = P_w$$

$$Q \cdot 387 = P_{\text{Paralel}}$$

$$Q \cdot 429 = P_{\text{Tunggal}}$$



Gambar 5- 5. Pemakaian Daya Listrik setiap jam [kWh] untuk ke-empat susunan

BAB 6

“HYDROPHORE TANK”

6.1. Fungsi dari “Hydrophore Tank”

- Memberikan tekanan konstan pada sistem dengan memanfaatkan kantong udara pada tangki
- Mengatur on/off pompa secara otomatis
- Menyimpan air (reservoir) dalam jumlah yang kecil

6.2. Keuntungan Menggunakan “Hydrophore Tank”

- Hemat energi/hemat daya listrik

6.3. Pola Debit

Dari hasil pengamatan tiap jam dan diambil rata-ratanya, maka didapat pola debit dari pompa Tabel 5-3. Dari pola debit ini dapat diketahui debit minimum dan debit maksimum untuk pengoperasian pompa tunggal. Selain itu dapat juga di cari debit minimum dan maksimum untuk pengoperasian pompa ganda secara paralel.

Dengan diketahuinya pola debit pompa untuk setiap jamnya sepanjang hari, maka dapat diketahui kondisi pompa pada waktu bekerja tunggal atau ganda.

Tapi sebagai contoh disampaikan hanya pada jam-jam minimum/ maksimum untuk pompa tunggal, dan minimum/ maksimum kerja paralel.

6.4. Contoh Perhitungan Dengan Pola Debit Seperti Tabel 5.3

6.4.1. Kondisi Pompa Tunggal Debit Minimum (Jam 24 : 00)

- a. Kapasitas pompa 54 $\frac{m^3}{jam}$
- b. Kapasitas Debit 35,21 $\frac{m^3}{jam}$
- c. Lama pompa bekerja $\frac{35,21}{54} = 0,652 jam = 39,12$ menit
- d. Lama pompa tidak bekerja $(60 - 39,12)$ menit = 20,88 menit
- e. Kapasitas pompa tiap menit $\frac{54}{60} = 0,9$ $\frac{m^3}{menit}$
- f. Kapasitas Debit tiap menit $\frac{35,21}{60} = 0,5868$ $\frac{m^3}{menit}$
- g. Perbedaan kapasitas pompa dan Debit = $(0,9 - 0,5868)$ 0,3132 $\frac{m^3}{menit}$
- h. Air dari Hydrophore = $20,88 \times 0,5868 = 12,242$ m^3
- i. Air dari hydrophore tiap siklus = $2,5 \frac{m^3}{siklus}$

j. Jumlah siklus = $\frac{12,252}{2,5} = 4,901$ siklus

- k. Waktu pengambilan air dari hydro tiap siklus

$$\frac{2,5}{0,5868} = 4,260 \text{ menit}$$

- l. Waktu pengisian hydro oleh pompa tiap siklus

$$\frac{2,5}{0,3132} = 7,982 \text{ menit}$$

- m. Jumlah air dihasilkan pompa tiap siklus

$$7,982 \times 0,9 = 7,184 \frac{m^3}{siklus}$$

- n. Dalam 1 jam pompa menghasilkan

$$4,901 \times 7,184 = 35,21 \frac{m^3}{jam}$$

- o. Jumlah waktu tiap siklus :

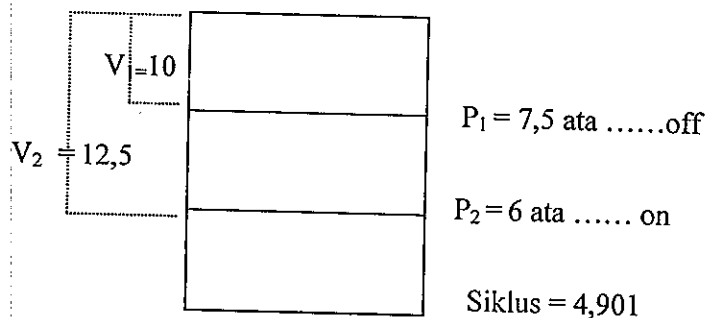
Pompa tidak bekerja 4.260 menit

Pompa bekerja 7.982 menit

12.242 menit

Untuk satu jam = $4,903 \times 12,242 = 60$ menit

p. Tekanan pada tangki pada jam 24 :00



$V_1 = 10 \text{ m}^3$

$P_1 = 7,5 \text{ ata}$

$V_2 = (10 + 2,5) \text{ m}^3 = 12,5 \text{ m}^3$

$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{7,5 \cdot 10}{12,5} = 6 \text{ ata}$

Gambar 6-1-a. Tangki hydrophore

6.4.2. Kondisi Pompa Tunggal Debit Maksimum (Jam 21 : 00)

- | | | |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| a. kapasitas pompa | 54 | m^3/jam |
| b. kapasitas debit | 45,71 | m^3/jam |
| c. lama pompa bekerja $\frac{45,70}{54} = 0,8463 \text{ jam}$ | 50,778 | menit |
| d. lama pompa tidak bekerja (60-50,778) menit | 9,222 | menit |
| e. kapasitas pompa tiap menit $= \frac{54}{60} =$ | 0,9 | m^3/menit |
| f. kapasitas debit tiap menit $= \frac{45,70}{60} =$ | 0,762 | m^3/menit |
| g. perbedaan kapasitas pompa dan debit (0,9 – 0,762) = | 0,138 | m^3/menit |
| h. air dari hydrophore $= 9,222 \times 0,7617 =$ | 7,024 | m^3 |
| i. Air dari hydrophore tiap siklus $= 2,5 \text{ m}^3/\text{siklus}$ | | |
| j. Jumlah siklus $= \frac{7,024}{2,5} = 2,81 \text{ siklus}$ | | |
| k. Waktu pengambilan air dari hydro tiap siklus | | |
| | $\frac{2,5}{0,762} = 3,282$ | menit |

- l. Waktu pengisian hydro oleh pompa tiap siklus

$$\frac{2,5}{0,138} = 18,090 \text{ menit}$$

- m. Jumlah air dihasilkan pompa tiap siklus

$$18,090 \times 0,9 = 16,281 \text{ m}^3/\text{siklus}$$

- n. Dalam 1 jam pompa menghasilkan

$$2,81 \times 16,281 = 45,75 \text{ m}^3/\text{jam}$$

- o. Jumlah waktu tiap siklus :

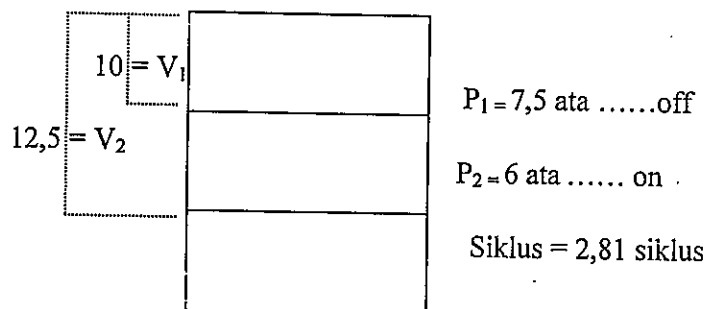
Pompa tidak bekerja 3,282 menit

Pompa bekerja 18,09 menit

21,372 menit

Untuk satu jam = $2,81 \times 21,372 = 60$ menit

- p. Tekanan pada tangki pada jam 21:00



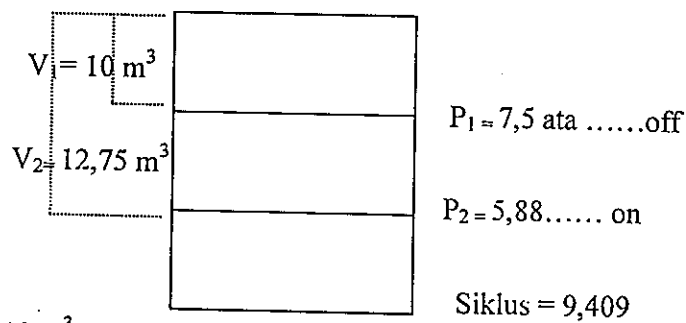
Gambar 6-1-b. Tangki Hydrophore

6.4.3 Kondisi Pompa Paralel Debit Minimum (Jam 08 : 00)

- | | | |
|---|--------|-------------------------|
| a. Kapasitas pompa $2 \times 54 \text{ m}^3/\text{jam}$ | 108 | m^3/jam |
| b. Kapasitas debit | 65 | m^3/jam |
| c. Lama pompa bekerja $\frac{65}{108} = 0,602 \text{ jam}$ | 36,114 | menit |
| d. Lama pompa tidak bekerja $(60 - 36,114) \text{ menit} =$ | 23,886 | menit |

- e. Kapasitas pompa tiap menit $\frac{108}{60} =$ 1,8 m^3/menit
- f. Kapasitas debit tiap menit $\frac{65}{60} =$ 1,083 m^3/menit
- g. Perbedaan kapasitas pompa dan debit
 $(1,8 - 1,083) m^3/\text{menit}$ 0,716 m^3/menit
- h. Air dari hydrophore = $23,886 \times 1,083 =$ 25,876 m^3
- i. Air dari hydrophore tiap siklus = $2,75 m^3/\text{siklus}$
- j. Jumlah siklus = $\frac{25,876}{2,75} = 9,409$ siklus
- k. Waktu pengambilan air dari hydro tiap siklus
 $\frac{2,75}{1,083} = 2,539$ menit
- l. Waktu pengisian hydro oleh pompa tiap siklus
 $\frac{2,75}{0,716} = 3,837$ menit
- m. Jumlah air dihasilkan pompa tiap siklus
 $3,837 \times 1,8 = 6,906 m^3/\text{siklus}$
- n. Dalam 1 jam pompa menghasilkan
 $9,409 \times 6,906 = 65 m^3/\text{jam}$
- o. Jumlah waktu tiap siklus :
 Pompa tidak bekerja = 2,538 menit
 Pompa bekerja 3,837 menit
 6,376 menit
 Untuk satu jam = $9,409 \times 6,376 = 60$ menit

p. Tekanan pada tangki pada jam 08 : 00



$$V_1 = 10 \text{ m}^3$$

Gambar 6-1-c. Tangki Hydrophore

$$P_1 = 7,5 \text{ ata}$$

$$V_2 = (10 + 2,75) \text{ m}^3 = 12,75 \text{ m}^3$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{7,5 \cdot 10}{12,75} = 5,88 \text{ ata}$$

6.4.4. Kondisi Pompa Paralel Debit Maksimum (Jam 17:00)

- Kapasitas pompa $2 \times 54 \text{ m}^3/\text{jam}$ 108 m^3/jam
- Kapasitas debit 103,7 m^3/jam
- Lama pompa bekerja $\frac{103,7}{108} = 0,960 \text{ jam} = 57,612 \text{ menit}$
- Lama pompa tidak bekerja $(60 - 57,612) \text{ menit} = 2,388 \text{ menit}$
- Kapasitas pompa tiap menit $\frac{108}{60} = 1,8 \text{ m}^3/\text{menit}$
- Kapasitas debit tiap menit $\frac{103,7}{60} = 1,728 \text{ m}^3/\text{menit}$
- Perbedaan kapasitas pompa dan Debit $(1,8 - 1,728) \text{ m}^3/\text{menit} = 0,072 \text{ m}^3/\text{menit}$
- Air dari hydrophore $= 2,388 \times 1,728 = 4,127 \text{ m}^3$
- Air dari hydrophore tiap siklus $= 2,75 \text{ m}^3/\text{siklus}$
- Jumlah siklus $= \frac{4,127}{2,75} = 1,501 \text{ siklus}$
- Waktu pengambilan air dari hydro tiap siklus

$$\frac{2,75}{1,728} = 1,591 \text{ menit}$$

- l. Waktu pengisian hydro oleh pompa tiap siklus

$$\frac{2,75}{0,072} = 38,354 \text{ menit}$$

- m. Jumlah air dihasilkan pompa tiap siklus

$$38,354 \times 1,8 = 69,038 \text{ m}^3/\text{siklus}$$

- n. Dalam 1 jam pompa menghasilkan

$$1,501 \times 69,038 = 103,63 \text{ m}^3/\text{jam}$$

- o. Jumlah waktu tiap siklus :

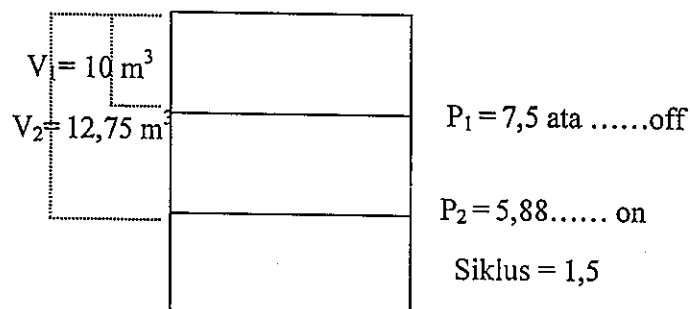
$$\text{Pompa tidak bekerja} = 1,591 \text{ menit}$$

$$\text{Pompa bekerja} = \underline{38,354 \text{ menit}}$$

$$39,945 \text{ menit}$$

$$\text{Untuk satu jam} = 1,501 \times 39,945 = 60 \text{ menit}$$

- p. Tekanan pada tangki pada jam 17 : 00



Gambar 6-1-d. Tangki Hydrophore

- 6.4.5 Untuk jelasnya disampaikan juga grafik-grafik hubungan antara tekanan, waktu dan jumlah siklus untuk contoh perhitungan diatas (Gambar 6 3, 6-4,6-5, dan Gambar 6-6)

Juga tabel yang menghubungkan antara kondisi dari hydrophore dengan jam operasi. (Tabel 6-1)

TABEL 6-1. HUBUNGAN ANTARA KONDISI HYDROPHORE DENGAN WAKTU OPERASI

No. Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Kap. Pompa	54	108	108	108	108	108	108	108	54
2 Kap. Beban	41,45	71,95	87,9	99,45	99,85	101,75	99,6	65	42,3
3 Pompa Bekerja	46,056	39,972	48,834	55,248	55,47	56,520	55,332	36,114	46,99
4 Pompa Tidak Bekerja	13,946	20,028	11,166	4,752	4,53	3,480	4,668	23,886	13,01
5 Kap. Pompa/menit	0,90	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	0,9
6 Kap. Beban/menit	0,691	1,199	1,469	1,658	1,664	1,690	1,66	1,083	0,705
7 Perbedaan Kap. Pompa dan Beban	0,209	0,601	0,335	0,143	0,136	0,104	0,14	0,717	0,195
8 Air dari Hydrophore	9,633	24,018	16,403	7,876	7,539	5,901	7,749	25,876	9,172
9 Air dari Hydro/siklus	2,5	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,5
10 Jumlah Siklus	3,853	8,734	5,965	2,864	2,741	2,146	2,818	9,409	3,669
11 Waktu Pengambilan Air dari Hydro/siklus	3,619	2,293	1,872	1,659	1,652	1,622	1,657	2,539	3,546
12 Waktu Pengisian Hydro oleh Pompa Tiap Siklus	11,950	4,577	8,209	19,298	20,250	26,392	19,643	3,837	12,821
13 Hasil Pompa/siklus	10,755	8,239	14,776	34,738	36,451	47,505	35,357	6,907	11,539
14 Tek. Pada Hydro P_1	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Pompa 1	off	off	off	off	off	off	off	off	off
Pompa 2	off	off	off	off	off	off	off	off	off
15 Tek. Pada Hydro P_2	6	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	6
Pompa 1	on	on	on	on	on	on	on	on	on
Pompa 2	off	on	on	on	on	on	on	on	off

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
54	54	54	108	108	108	108	108	108	108	108	54	54	54	54
38,8	37,55	40,55	58,05	75,16	91,55	102,45	103,7	101,45	91,50	71,70	45,70	35,95	35,36	35,21
43,11	41,724	45,054	32,25	41,753	50,86	56,916	57,612	56,364	50,832	39,834	50,778	39,942	39,28	39,12
16,89	18,276	14,946	27,75	18,246	9,138	3,084	2,388	3,636	9,168	20,16	9,222	20,058	20,712	20,88
0,9	0,9	0,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	0,9	0,9	0,9	0,9
0,647	0,626	0,676	0,967	1,253	1,526	1,708	17,283	1,691	1,525	1,195	0,762	0,599	0,589	0,587
0,253	0,274	0,224	0,833	0,547	0,2742	0,0925	0,072	0,109	0,275	0,605	0,1383	0,301	0,311	0,313
10,923	11,437	10,101	26,848	22,857	13,943	5,266	4,127	6,148	13,981	24,098	7,024	12,019	12,206	12,252
2,5	2,5	2,5	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,5	2,5	2,5	2,5
4,369	4,575	4,04	9,763	8,312	5,010	1,915	1,501	2,236	5,084	8,763	2,81	4,808		4,901
3,866	3,995	3,699	2,842	2,195	1,802	1,611	1,591	1,626	1,803	2,301	3,282	4,172	4,242	4,260
9,870	9,117	11,151	3,303	5,025	10,029	29,730	38,354	25,183	10	4,546	18,09	8,311	8,046	7,982
8,883	8,206	10,036	5,946	9,045	18,053	53,514	69,038	45,33	18	8,180	16,281	7,480	72,417	7,184
7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off
off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off
6	6	6	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	6	6	6	6
on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on
off	off	off	on	on	on	on	on	on	on	on	off	off	off	off

6.5 Perhitungan Pemakaian Daya Listrik Dari PLN (kWh) Dengan Menggunakan Hydrophore.

Untuk dapat menghitung pemakaian daya listrik data-data dari Bab 5 akan dipergunakan di sini sebagai contoh :

Untuk jam 10 : 00 dari tabel 5-3 diketahui Debit aliran adalah $38,8 \text{ m}^3/\text{jam}$. Untuk menghasilkan volume air sebanyak $38,8 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right]$, pompa dengan kapasitas $54 \text{ m}^3/\text{jam}$ harus bekerja selama : $\frac{38,8}{54} = 0,7185 \text{ jam}$ atau 43,11 menit

Untuk mengetahui daya listrik yang dibutuhkan digunakan data-data elektris hasil pengamatan pada Bab 6. Maka didapatkan jam 10 : 00

$$\text{Debit pompa} = 38,8 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Kapasitas pompa} = 54 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Tegangan} = 400 \text{ V}$$

$$\text{Arus} = 34 \text{ A}$$

Dari data di atas akan di dapat :

$$\text{Lama pompa bekerja yang dibutuhkan} = \frac{38,8}{54} = 0,7183 \text{ jam atau } 43,11 \text{ menit.}$$

Daya yang diperlukan untuk memutar poros pompa selama satu jam :

$$P = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos \phi$$

$$= 1,732 \cdot 34 \cdot 400 \cdot 0,8 = 18,844 \text{ kWh}$$

Dengan menggunakan hydrophore pada jam 10 : 00 pompa bekerja selama 0,7185 jam.

$$\text{Maka daya yang digunakan} = 0,7185 \times 18,844 \text{ kWh} = 13,539 \text{ kWh}$$

$$\text{Ada penghematan sebesar } (18,844 - 13,539) \text{ kWh} = 5,305 \text{ kWh}$$

khusus untuk jam 10 : 00

Sedangkan penghematan selama satu hari adalah

$$(734,916 - 548,893) \text{ kWh} = 186,023 \text{ kWh}$$

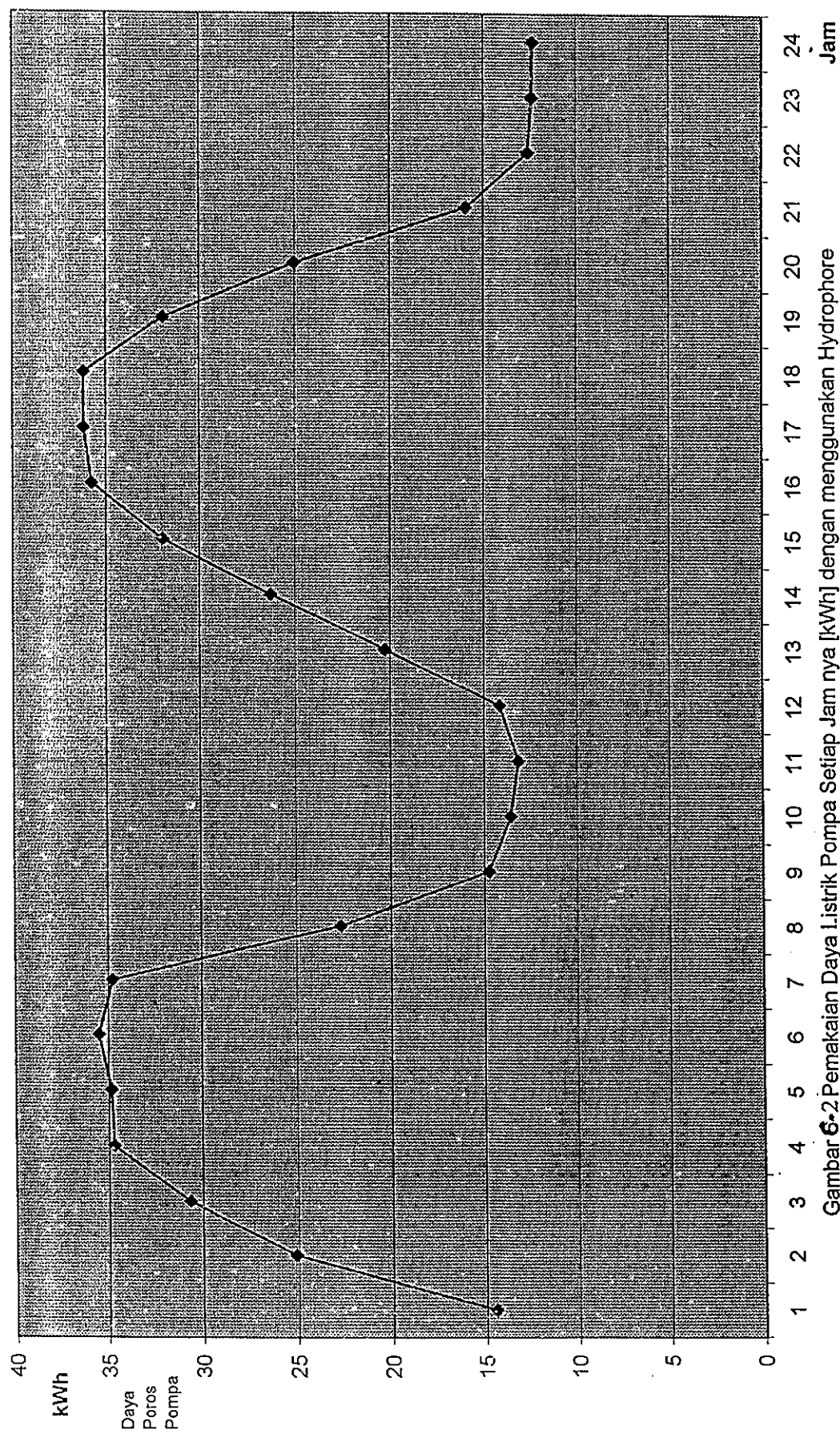
Penghematan selama satu bulan (30 hari) adalah

$$(22.047,48 - 16.466,79) \text{ kWh} = 4.580,69 \text{ kWh}$$

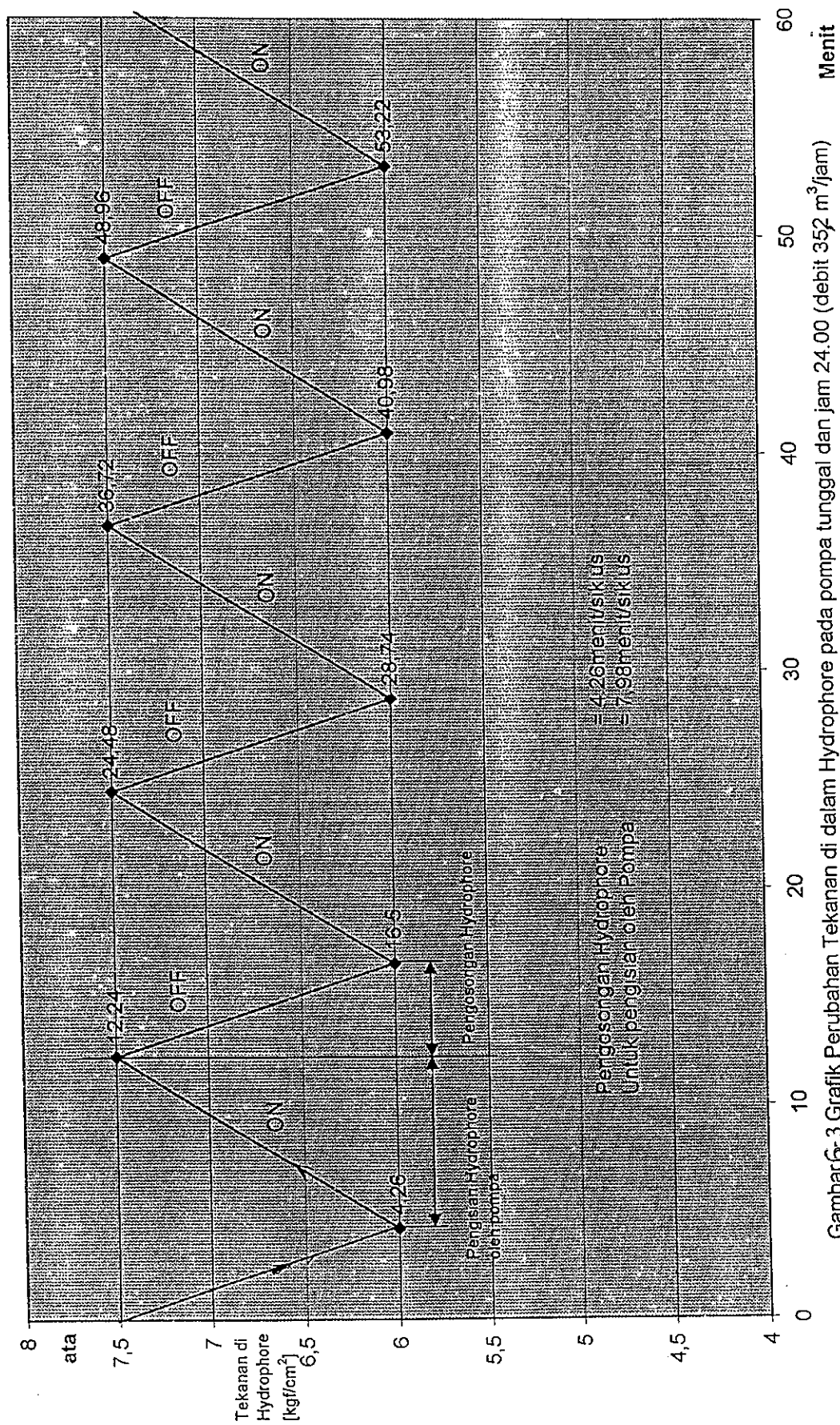
untuk lebih jelasnya lihat tabel 6-2 dan grafik 6-2

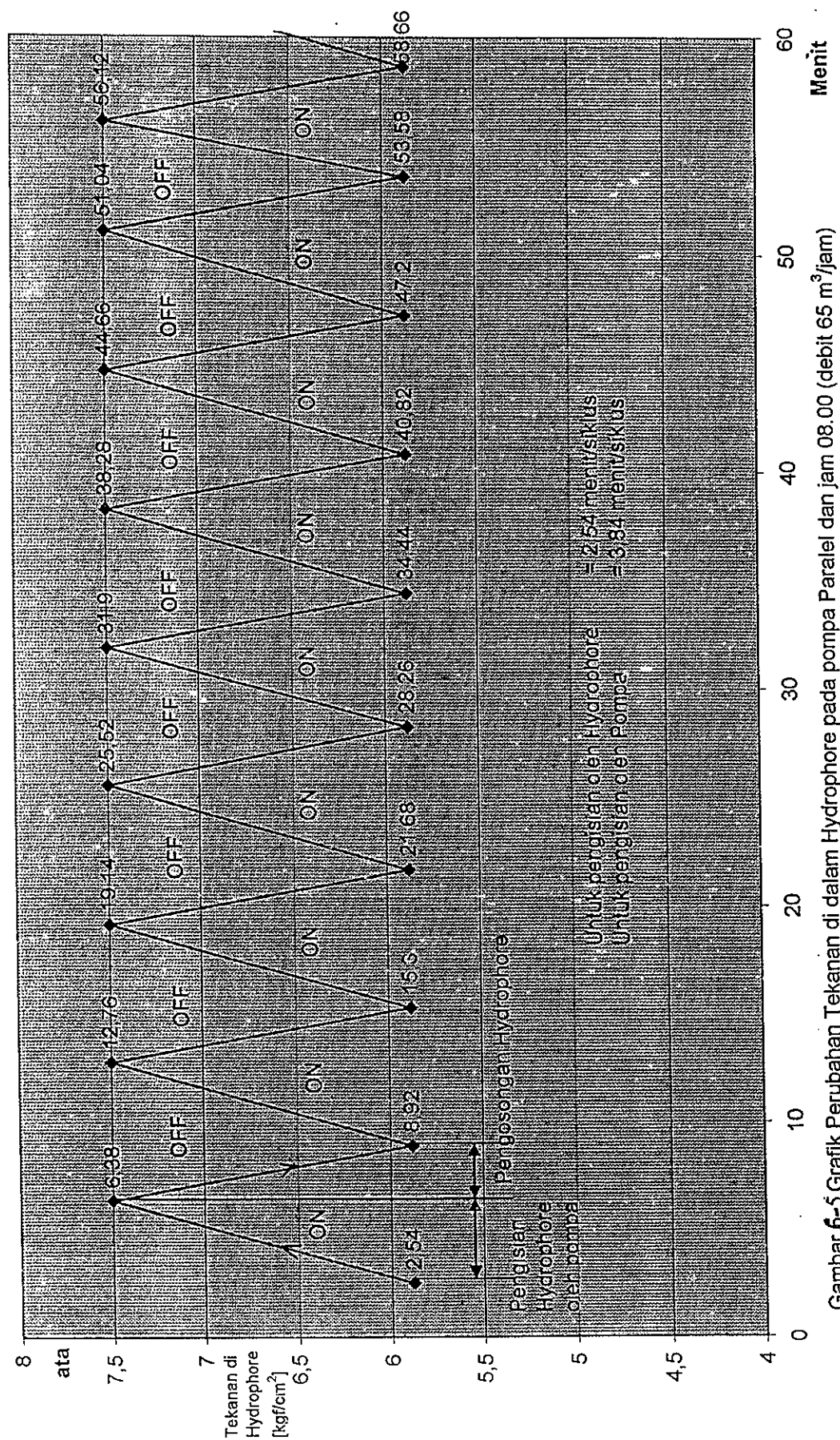
Tabel 6-2. Pemakaian Daya Listrik Dari PLN

Jam	Kap yang diperlukan [$\frac{m^3}{jam}$]	Kap pompa [$\frac{m^3}{jam}$]	Lama bekerja [jam]	Tegangan [Volt]	Arus [Amper]	$\sqrt{3} \cdot \cos \phi$	Daya kWh	Daya sebenarnya kWh
1	41.45	54	0,7676	400	34	13,856	18,844	14,464
2	71.95	108	0,6662	400	68	13,856	37,688	25,107
3	87.9	108	0,8139	400	68	13,856	37,688	30,674
4	99.45	108	0,9208	400	68	13,856	37,688	34,703
5	99.85	108	0,9245	400	68	13,856	37,688	34,842
6	101.75	108	0,9421	400	68	13,856	37,688	35,506
7	99.6	108	0,9222	400	68	13,856	37,688	34,755
8	65	108	0,6019	400	68	13,856	37,688	22,684
9	42.3	54	0,7833	400	34	13,856	18,844	14,760
10	38.8	54	0,7185	400	34	13,856	18,844	13,539
11	37.55	54	0,6954	400	34	13,856	18,844	13,104
12	40.55	54	0,7509	400	34	13,856	18,844	14,150
13	58.05	108	0,537	400	68	13,856	37,688	20,238
14	75.16	108	0,6959	400	68	13,856	37,688	26,227
15	91.55	108	0,8477	400	68	13,856	37,688	31,948
16	102.45	108	0,9486	400	68	13,856	37,688	35,750
17	103.7	108	0,9602	400	68	13,856	37,688	36,188
18	101.55	108	0,9602	400	68	13,856	37,688	36,188
19	91.5	108	0,8472	400	68	13,856	37,688	31,929
20	71.7	108	0,6639	400	68	13,856	37,688	25,021
21	45.7	54	0,8463	400	34	13,856	18,844	15,947
22	35.95	54	0,6657	400	34	13,856	18,844	12,544
23	35.36	54	0,6548	400	34	13,856	18,844	12,339
24	35.21	54	0,6520	400	34	13,856	18,844	12,286
18,7868							734,916	584,893
Untuk 30 hari							22,047,48	16,466,79

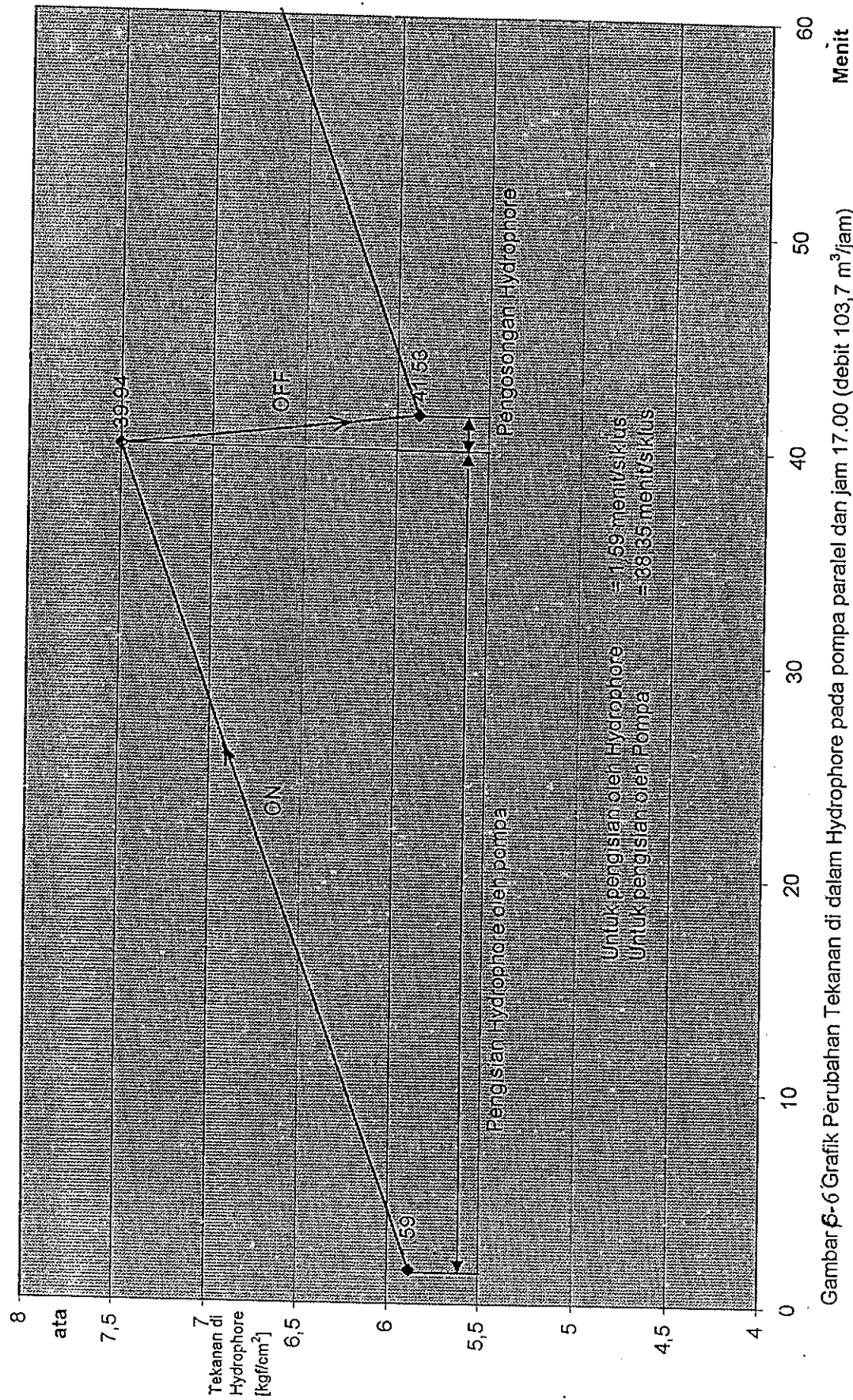


Gambar 6-2 Pemakaian Daya Listrik Pompa Setiap Jam nya [kWh] dengan menggunakan Hydrophore





Gambar 6-5 Grafik Perubahan Tekanan di dalam Hydrophore pada pompa Paralel dan jam 08.00 (debit 65 m³/jam)



Gambar 6-6 Grafik Perubahan Tekanan di dalam Hydrophore pada pompa paralel dan jam 17.00 (debit 103,7 m³/jam)

BAB 7

OPTIMALISASI PENGOPERASIAN

Sesuai dengan tujuan penelitian yaitu mencari pola pengoperasian sistem pompa di PDAM Soreang baik secara manual maupun dengan menggunakan “Hydrophore” yang menghasilkan pemakaian energi listrik yang paling minimal.

7.1 Hasil Pengamatan :

- untuk pompa I
 - tekanan : $6,5 \text{ kgf/cm}^2 \text{ gage}$
 - kapasitas : $35,72 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - daya poros : 539 Wh/m^3
- untuk pompa II
 - tekanan : $6,5 \text{ kgf/cm}^2 \text{ gage}$
 - kapasitas : $37,53 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - daya poros : 483 Wh/m^3
- untuk pompa III
 - tekanan : $6,5 \text{ kgf/cm}^2 \text{ gage}$
 - kapasitas : $43,83 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - daya poros : $429 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3}$
- untuk pompa I dan pompa II secara paralel
 - tekanan : $6,5 \text{ kgf/cm}^2 \text{ gage}$
 - kapasitas : $90,6 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - daya poros : 417 Wh/m^3
- untuk pompa I dan pompa III secara paralel
 - tekanan : $6,5 \text{ kgf/cm}^2 \text{ gage}$
 - kapasitas : $90,6 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - daya poros : 415 Wh/m^3
- untuk pompa II dan pompa III secara paralel
 - tekanan : $6,5 \text{ kgf/cm}^2$
 - kapasitas : $98,40 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - daya poros : 387 Wh/m^3

7.2 Hasil Perhitungan

Dari tabel no 5-1 diketahui pompa bekerja secara tunggal selama 9 jam dengan kapasitas $352,82 \text{ m}^3$, dan pompa bekerja secara paralel selama 15 jam dengan kapasitas = $1318,1 \text{ m}^3$.

Kapasitas total untuk bekerja secara tunggal dan paralel = $1671,03 \text{ m}^3/\text{hari}$ sehingga kapasitas air yang dipompakan selama sebulan $30 \times 1671,03 \text{ m}^3 = 50130,9 \text{ m}^3/\text{bulan}$

7.3 Penggunaan kWh dari PLN untuk

- Susunan pompa satu : (Pompa I tunggal – Pompa II + III Paralel)
 untuk 1 hari = $700,314 \text{ kWh}$
 untuk 1 bulan = $30 \times 700,314 = 21009,42 \text{ kWh}$
- Susunan pompa dua : (Pompa II tunggal dan pompa I + III paralel)
 untuk 1 hari = $716,012 \text{ kWh}$
 untuk 1 bulan = $30 \times 716,012 = 21.480,36 \text{ kWh}$
- Susunan pompa tiga : (Pompa III tunggal dan pompa I + II paralel)
 untuk satu hari = $677,357 \text{ kWh}$
 untuk satu bulan = $30 \times 677,357 = 20.320,71 \text{ kWh}$
- Susunan pompa empat : (Pompa III tunggal dan pompa II + III paralel)
 Untuk satu hari = $657,22 \text{ kWh}$
 Untuk satu bulan = $30 \times 657,22 = 19.716,60 \text{ kWh}$

Dari keempat susunan pompa tersebut di atas yang paling kecil dalam memerlukan daya dari PLN adalah susunan keempat dengan daya sebesar = $19.716,60 \text{ kWh}$ tiap bulannya di susul oleh susunan pompa ke tiga dengan daya sebesar = $20.320,71 \text{ kWh}$.

Pada susunan ke empat, disini hanya dua buah pompa yang bekerja dan satu pompa untuk cadangan.

Pada susunan ke tiga, di sini semua pompa bekerja.

Pada kenyataan sekarang susunan yang dipakai adalah susunan pompa I.

7.4. Simulasi Dengan Menggunakan “Hydrophore Tank”

Dari perhitungan pada bab 4-7 :

Volume tangki hydrophore	= 25 m ³
Diameter tangki	= 2,5 m
Tinggi tangki	= 5 m
Beban air maksimum	= 103,7 m ³ /jam
Kapasitas pompa tunggal	= 54 m ³ /jam
Kapasitas pompa paralel	= 108 m ³ /jam

Pompa tunggal maupun paralel tidak akan bekerja secara kontinyu, tapi akan terputus-putus (on-off) sesuai dengan tekanan pada tangki hydrophore.

Dengan terputus-putusnya pengoperasian pompa, maka daya dari PLN pun akan terputus-putus juga, yang mengakibatkan penggunaan daya dari PLN akan menurun.

Dari tabel 6-2 dapat di lihat bahwa pompa-pompa tersebut tidak bekerja selama 24 jam dalam satu hari tapi hanya 18,787 jam.

Bila pompa-pompa ini bekerja selama 24 jam, maka daya yang diperlukan tiap harinya = 734,916 kWh. Dengan menggunakan tangki hydrophore (sistem on-off) penggunaan dayanya = 584,893 kWh. Sehingga akan di dapat daya tiap bulannya (30 hari) Daya dengan tidak menggunakan Hydrophore = $30 \times 734,916 = 22,042$ kWh

Daya dengan menggunakan hydrophore = $30 \times 584,843 = 16.466,75$ kWh

BAB 8

KESIMPULAN

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan untuk mendapatkan penggunaan daya dari PLN yang paling minimum tiap bulannya secara teoritis adalah sebagai berikut :

1. Pengoperasian dengan menggunakan hydrophore = 16.466,79 kWh
2. Pengoperasian dengan pompa III tunggal – pompa II + III paralel = 19.716,60 kWh
3. Pengoperasian dengan pompa III tunggal – pompa I + II paralel = 20.320,71 kWh
4. Pengoperasian dengan pompa I tunggal – pompa II + III paralel = 21.009,42 kWh
5. Pengoperasian dengan pompa II tunggal – pompa I + III paralel = 21.480,36 kWh

Dimana untuk kelima pengoperasian ini dengan debit yang sama, yaitu sebesar :
 $1671 \text{ m}^3 / \text{hari}$ atau $50130,9 \text{ m}^3 / \text{bulan}$.

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa :

- Pengoperasian dengan menggunakan Hydrophore, adalah pengoperasian yang memerlukan daya listrik yang paling minimal. Hanya sayangnya di Soreang belum ada Hydrophore Tanknya.
- Pengoperasian dengan pompa III tunggal dan pompa II + III paralel merupakan alternatif kedua. Dalam hal ini hanya 2 pompa yang bekerja dan pompa III yang bekerja 24 jam.
- Pengoperasian dengan pompa III tunggal dan pompa I + II paralel merupakan alternatif ketiga. ketiga pompa ini bekerja bergantian.
- Pengoperasian dengan pompa I. tunggal dan pompa II + III paralel merupakan alternatif keempat. Alternatif ini yang sekarang dijalankan ketiga pompa bekerja secara bergantian.
- Karena di Soreang belum ada Hydrophore Tank, dan untuk menghindari pompa bekerja 24 jam, maka disarankan untuk beroperasi pada alternatif tiga.

DAFTAR PUSTAKA

1. Austin H. Church, 1956, Centrifugal Pumps and Blowers; John Wiley and sons, New York.
2. Cherkassyky V. M.; 1980; Pumps Fans Compressors; Mir Publisher; Moscow.
3. Direktorat Bina Tata Perkotaan dan Tata Pedesaan, Cipta Karya Département Pekerjaan Umum; Konsep Petunjuk Teknis Penyusunan Rencana Induk Sistem Perkotaan.
4. Grigg Neil S.; 1986; Urban Water Infrastructure; John Wiley and Sons; New York.
5. Grigg Neil S.; 1996; Water Resources Management; Mc Graw Hill
6. Herbert Addison; 1966; Centrifugal and Other Rotodynamics Pumps; Chapman and Hall.
7. Kodoatie Robert J., Ph. D ; 2003; Manajemen dan Rekayasa Infrastruktur
8. Larona S. Engineering PT; Rencana Pembangunan Sistem Penyediaan Air Bersih 6 Kota di Kabupaten Bandung.
9. Pemerintah Kabupaten Bandung; 2001; Rencana Terperinci/ Detail Tata Ruang kawasan Kota Semarang.
10. Reuben M. Olson and Steven J. Wright; 1993; Dasar-dasar Mekanika Fluida Teknik; PT Gramedia.
11. Robert W. Fox and Alan T. Mc Donald; 1985; Introduction to Fluid Mechanics; John Wiley and sons, New York.
12. Stepanoff A. J.. Ph. D; 1957, Centrifugal and Axial Flow Pumps; John Wiley and sons, New York.
13. Sularso Haruo Tahara; 1987; Pompa dan Kompresor; PT Pertja.
14. Tim Koordinasi Pembangunan Perkotaan; 1989; Petunjuk Penyusunan Program Pembangunan Prasarana Kota Terpadu.