

**STUDI KONSUMSI ENERGI LISTRIK
MOTOR INDUKSI SATU FASA PENGGERAK POMPA AIR
PADA PENGISIAN TANDON SECARA BERTINGKAT**

**Radityo Kusumo A
L2F 002 603**

Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Abstrak

Salah satu aplikasi motor induksi adalah sebagai pompa yang dapat digunakan untuk mengalirkan fluida. Dalam industri, sering dibutuhkan suatu sistem untuk mengatur beberapa pompa yang bekerja secara simultan atau sekuensial sehingga durasi operasi dan daya total sistem akan mempengaruhi energi yang dibutuhkan.

Pada Tugas Akhir ini dibuat suatu plant pengisian tandon air secara bertingkat yang terdiri dari tiga buah motor pompa dan empat buah tandon air dengan kapasitas yang berbeda. Plant ini digunakan untuk mencari metode dan skema operasi yang paling efisien dari tiga motor pompa air yang disusun bertingkat dan diatur oleh PLC OMRON CPM1A ditinjau dari segi daya motor pompa, durasi operasi dan konsumsi energi listrik.

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa proses pengisian tandon 2 sangat mempengaruhi energi dan durasi operasi. Pengukuran menunjukkan bahwa metode 1 merupakan metode yang paling efisien bila dibandingkan dengan kedua metode yang lain. Secara lebih spesifik lagi, skema operasi yang paling efisien pada metode satu adalah skema operasi 1 hingga 8. Perbedaan konsumsi energi antara skema-skema operasi dalam suatu metode dipengaruhi oleh durasi dan urutan operasi

Kata Kunci : motor pompa, metode, skema operasi, efisien, PLC

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aplikasi motor induksi adalah sebagai pompa yang dapat digunakan untuk mengalirkan air atau fluida lain baik bersifat encer atau kental

Dalam industri, sering dibutuhkan suatu sistem untuk mengatur komposisi bahan baku terutama yang bersifat cair untuk menghasilkan suatu produk. Sistem ini tentu akan mempertimbangkan kapan pompa untuk tiap bahan bekerja, baik secara simultan atau sekuensial dan kombinasi variasi lain yang tentunya berakibat pada durasi operasi pompa dan total konsumsi energi yang bervariasi.

Karena alasan tersebut maka perlu diketahui hubungan antara waktu operasi dengan konsumsi energi sehingga didapatkan titik temu yang paling tepat diantara keduanya.

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini adalah mencari metode dan skema operasi yang paling efisien dari beberapa pompa air yang disusun bertingkat tiga dan diatur oleh PLC OMRON CPM1A ditinjau dari segi daya motor pompa, durasi operasi dan konsumsi energi listrik.

1.3 Pembatasan Masalah

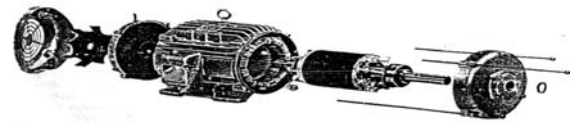
Agar penyusunan Tugas Akhir tidak menyimpang dari pokok permasalahan maka Tugas Akhir ini hanya akan membahas masalah-masalah sebagai berikut :

- Plant yang diuji adalah plant pengisian tandon air secara bertingkat yang terdiri dari empat tandon air dan tiga pompa air.
- Pompa air yang digunakan adalah pompa sentrifugal yang diputar oleh motor induksi satu fasa jenis sangkar tupai.
- Aksi pengontrolan untuk motor adalah *On-Off*.
- Jenis pompa air dan karakteristik sistem instalasi pipa tidak akan dibahas secara detail.
- Plant dikendalikan dengan PLC OMRON CPM1A.

II. DASAR TEORI

2.1 Motor Induksi

Motor induksi memiliki dua komponen dasar yaitu *Stator* dan *Rotor* yang dipisahkan oleh celah udara yang sempit. Tipe dari motor induksi berdasarkan lilitan pada *rotornya* dibagi menjadi dua macam yaitu *rotor sangkar* dan *rotor belit*.



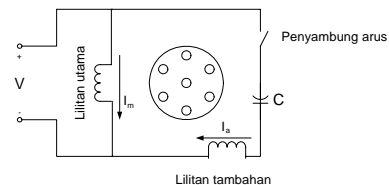
Gambar 2.1 Motor induksi jenis rotor sangkar

2.1.1 Motor Induksi Satu Fasa

Apabila suplai satu fasa dimasukkan ke stator yang terdiri kumparan satu fasa saja maka tidak menimbulkan medan putar. Oleh karena itu pada saat jalan mula motor ini harus start dengan alat bantu, antara lain menggunakan kumparan starting, tahanan atau kapasitor. Dengan penambahan alat bantu seperti kapasitor maka akan didapatkan beda fasa 90° antara kumparan utama dan kumparan bantu.

2.1.2 Motor Kapasitor

Motor asut kapasitor (*capasitor start*) menggunakan kapasitor yang dipasang secara seri dengan lilitan tambahan, seperti pada gambar 2.2. Lilitan tambahan diputuskan hubungannya setelah motor mulai hidup.



Gambar 2.2 Rangkaian motor asut kapasitor

Pada motor kapasitor terpisah tetap, kapasitor dan lilitan tambahan tidak diputuskan setelah motor hidup. Penggunaan kapasitor pada saat motor beroperasi dapat memperbaiki faktor daya.

2.1.3 Daya Untuk Beban Cairan

Bila suatu beban cairan dinaikkan secara kontinu dari tingkat yang lebih rendah ke tingkat lebih tinggi dengan motor pompa, maka daya yang diperlukan adalah

$$P_m = \frac{K \times 1000QH}{102} \times \frac{100}{\eta} \dots\dots\dots (1)$$

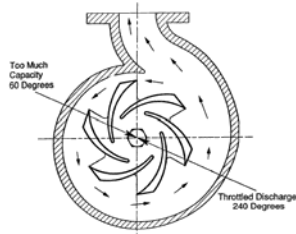
Dengan: P_m : daya motor (kW)
 Q : debit (m³/detik)
 H : head total pompa (m)
 η : efisiensi (%)
 K : koefisien kesalahan

2.2 Motor Pompa

Motor pompa terdiri dari dua komponen pokok, yaitu pompa mekanis, biasanya tipe sentrifugal dan motor listrik biasanya tipe motor induksi.

2.2.1 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah salah satu tipe pompa yang memanfaatkan energi kecepatan yang kemudian diubah menjadi energi tekanan sehingga dapat menggerakkan fluida cair dari lokasi sumber menuju lokasi target dengan menggunakan impeler.



Gambar 2.4 Pompa sentrifugal

2.2.2 Kecepatan Spesifik Pompa

Kecepatan spesifik pompa adalah parameter yang digunakan untuk menyatakan jenis pompa berdasarkan putaran motor, head dan debit yang dapat dilayani oleh pompa tersebut.

$$n_s = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan: n_s : kecepatan spesifik (rpm)
 n : putaran pompa (rpm)

2.2.3 Head Total Pompa

Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa.

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v_d^2}{2g} \dots\dots\dots (3)$$

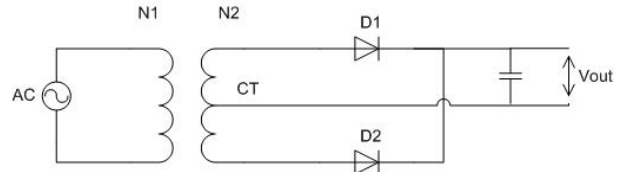
Dengan: h_a : head statis pompa (m)
 Δh_p : perbedaan head tekanan yang bekerja di kedua permukaan air (m)
 h_l : berbagai kerugian head di pipa, katup, belokan, sambungan (m)
 $\frac{v_d^2}{2g}$: head kecepatan keluar (m)
 g : percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

2.3 Operasi Otomatis Motor Pompa

Operasi otomatis motor pompa dapat dilakukan dengan bantuan sensor elektronika sederhana yang terdiri dari penyearah, transistor dan rele.

2.3.1 Penyearah Gelombang Penuh

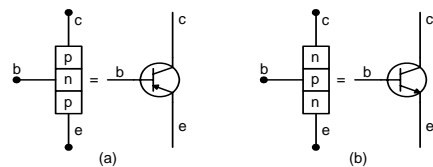
Penyearah digunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah.



Gambar 2.5 Penyearah Gelombang Penuh

2.3.2 Transistor

Transistor merupakan salah satu jenis komponen aktif yang banyak digunakan, baik dalam rangkaian analog maupun rangkaian digital. Komponen ini terbuat dari bahan semikonduktor yang merupakan dua pertemuan antara jenis p dan jenis n.



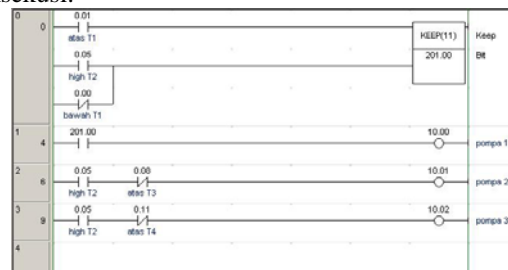
Gambar 2.6 Transistor pnp dan npn

2.4 PLC (Programmable Logic Controller)

PLC atau biasa disebut PC (Programmable Controller) adalah suatu perangkat yang dapat dengan mudah diprogram yang digunakan untuk mengontrol peralatan.

2.4.1 Diagram Tangga

Diagram tangga terdiri dari sebuah garis ke bawah di sisi kiri dengan garis cabang ke kanan. Garis di sisi kiri disebut batang bus, sedangkan garis cabang ke kanan disebut garis instruksi atau rungs. Sepanjang garis instruksi diletakkan kondisi yang mendahului instruksi lain di sisi kanan. Kombinasi logika dari kondisi ini menunjukkan kapan dan bagaimana instruksi di kanan dieksekusi.



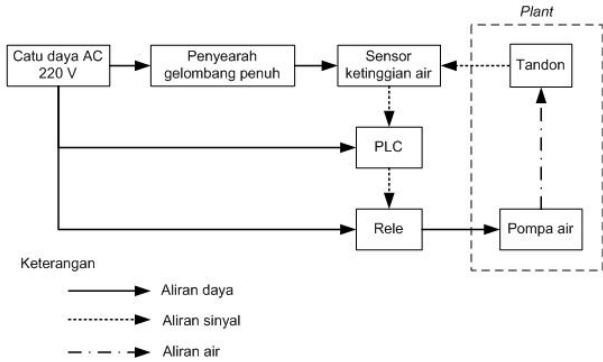
Gambar 2.7 Diagram tangga

2.4.2 Instruksi Tangga

Instruksi tangga merupakan instruksi-instruksi yang berkorespondensi dengan kondisi pada diagram tangga, baik yang independen maupun dalam kombinasi dengan instruksi blok logika, sehingga membentuk suatu kondisi eksekusi. Contoh instruksi tangga yang sering digunakan antara lain: LOAD, AND, OR, OUT, TIMER, COUNTER, KEEP dan END.

III. Perancangan Alat

Blok diagram perancangan alat pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut :



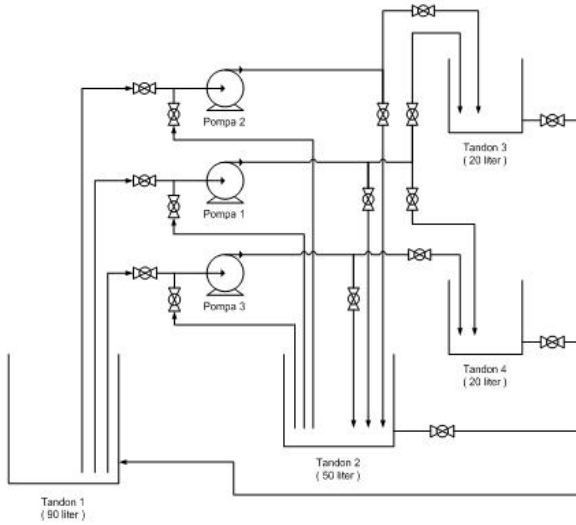
Gambar 3.1 Diagram blok sistem

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah *plant* pengisian tandon air secara bertingkat dan sensor ketinggian air

3.1.1 Perancangan Plant

Plant dalam Tugas Akhir ini terdiri atas dua buah tandon air dengan kapasitas maksimal 90 liter dan 50 liter serta dua buah tandon berkapasitas masing-masing 20 liter dan tiga buah pompa air dengan debit air yang berbeda.



Gambar 3.2 *Plant* pengisian tandon secara bertingkat

Tujuan sistem pengisian tandon adalah agar tandon 3 dan 4 terisi penuh oleh air yang berasal dari tandon 2, sedangkan tandon 2 diisi oleh air dari tandon 1.

Pengendalian on-off pompa air dilakukan berdasarkan volume air pada tandon. Peletakan sensor pada tiap tandon adalah sebagai berikut :

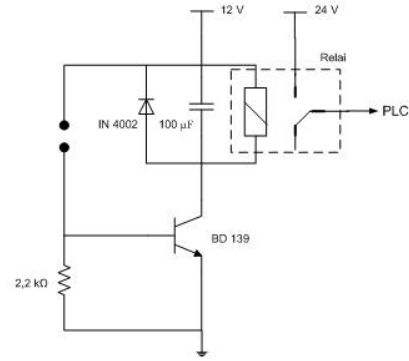
Tabel 3.1 Peletakan sensor

Tandon	1	2	3	4
Empty	-	6 liter	-	-
Low	15 liter	18 liter	6 liter	6 liter
Med	-	30 liter	12 liter	12 liter
High	80 liter	42 liter	18 liter	18 liter

3.1.2 Sensor Ketinggian Air

Dalam Tugas Akhir ini volume air dalam tandon akan ditentukan oleh ketinggian permukaan air terhadap

dasar tandon. Gambar rangkaian sensor adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3 Sensor ketinggian air

3.2 Perancangan Input dan Output PLC

Sensor yang telah dibuat diletakkan pada tiap tandon berdasarkan tabel 3.2

Tabel 3.2 Masukan dan keluaran PLC

No	Input PLC	Sensor	Output PLC	Pompa
1	0.00	Low	1.00	1
2	0.01	High		
3	0.02	Empty	1.01	2
4	0.03	Low		
5	0.04	Med		
6	0.05	High	1.02	3
7	0.06	Low		
8	0.07	Med		
9	0.08	High		
10	0.09	Low		
11	0.10	Med		
12	0.11	High		

3.3 Perancangan Metode Dan Skema Operasi

Berdasarkan gambar *plant* pada gambar 3.2 maka dapat dibuat beberapa metode pengisian yang mungkin dilakukan berdasarkan penggunaan motor pompa, yaitu :

Tabel 3.2 Metode pengisian berdasarkan penggunaan pompa

Metode	Pengisian Tandon		
	1 ke 2	2 ke 3	2 ke 4
1	Pompa 1	Pompa 2	Pompa 3
2	Pompa 2	Pompa 1	Pompa 3
3	Pompa 3	Pompa 2	Pompa 1

Berdasarkan peletakan sensor maka skema operasi pengisian tandon dapat dibuat berdasarkan penggunaan motor pompa dan sensor seperti pada tabel 3.3.

Pada tabel 3.3, motor pompa 1 bertugas mengisi air dari tandon 1 ke tandon 2, motor pompa 2 mengisi air dari tandon 2 ke 3, sedangkan motor pompa 3 dari tandon 2 ke 4.

Pada skema 1 hingga 12, motor pompa pengisi tandon 2 (pompa 1) bekerja bersamaan dengan motor pompa pengisi tandon 3 (pompa 2) dan tandon 4 (pompa 3). Sedangkan pada skema 13 hingga 16, motor pompa pengisi tandon 2 berhenti beroperasi setelah tandon 2 penuh dan akan beroperasi kembali setelah tandon 3 dan 4 penuh.

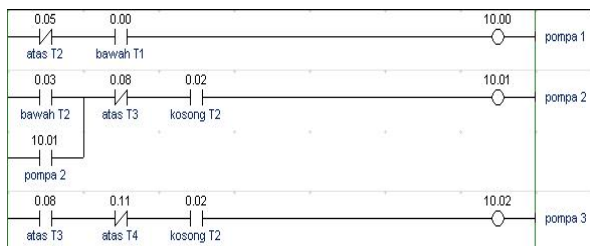
Tabel 3.3 merupakan skema-skema operasi pada metode 1. Namun skema tersebut juga berlaku pada metode 2 dan 3, perbedaannya adalah penggunaan motor pompa seperti yang telah dijelaskan pada tabel 3.2.

Tabel 3.3 Skema operasi metode 1

No	Pompa	Tandon 2				Tandon 3			Tandon 4	
		E	L	M	H	L	M	H	H	H
1	1	On	On	On	Off					
	2		On						Off	
	3							On		Off
2	1	On	On	On	Off					
	2		On						Off	
	3						On			Off
3	1	On	On	On	Off					
	2		On						Off	
	3						On			Off
4	1	On	On	On	Off					
	2		On						Off	
	3		On							Off
5	1	On	On	On	Off					
	2			On					Off	
	3								On	Off
6	1	On	On	On	Off					
	2			On					Off	
	3						On			Off
7	1	On	On	On	Off					
	2			On					Off	
	3						On			Off
8	1	On	On	On	Off					
	2			On					Off	
	3			On						Off
9	1	On	On	On	Off					
	2				On				Off	
	3								On	Off
10	1	On	On	On	Off					
	2				On				Off	
	3							On		Off
11	1	On	On	On	Off					
	2				On				Off	
	3							On		Off
12	1	On	On	On	Off					
	2				On				Off	
	3				On					Off
13	1	On			Off					
	2				On				Off	
	3							On		Off
14	1	On			Off					
	2				On				Off	
	3							On		Off
15	1	On			Off					
	2				On				Off	
	3							On		Off
16	1	On			Off					
	2				On				Off	
	3				On					Off

3.4 Perancangan Ladder Skema Operasi

Ladder program untuk skema operasi pertama seperti tabel 3.6 adalah sebagai berikut :

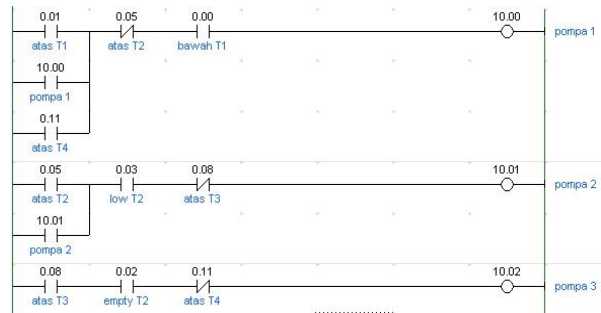


Gambar 3.4 Ladder skema operasi 1

Bit-bit kontak pada ladder gambar 3.4 dapat diubah untuk mendapatkan ladder program skema operasi lainnya, dengan cara menyesuaikan bit-bit kontak dengan syarat skema operasi lain.

Sebagai contoh, ladder skema operasi 2 didapatkan dengan mengubah bit kontak 0.08 (atas T3) menjadi 0.07 (med T3).

Diagram ladder untuk skema operasi 13 adalah sebagai berikut :

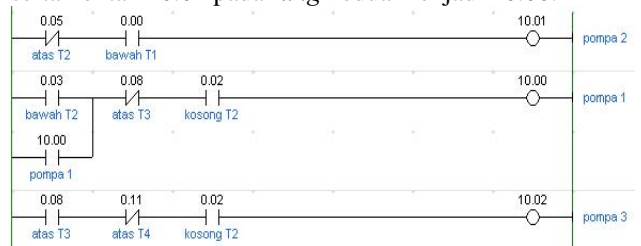


Gambar 3.5 Ladder skema operasi 13

Ladder skema operasi 14 hingga 16 didapatkan dengan mengubah bit kontak 0.08 (atas T3) pada gambar 3.5.

Perbedaan skema operasi metode 1 hingga 3 adalah pada penggunaan pompa, sehingga diagram-diagram ladder skema operasi metode 2 dan 3 didapatkan dengan mengubah coil diagram-diagram ladder skema operasi metode 1.

Sebagai contoh, skema operasi 1 pada metode 2 didapatkan dengan mengubah coil 10.00 pada rung pertama skema operasi 1 metode 1 (gambar 3.4) dengan 10.01, coil 10.01 pada rung kedua diubah menjadi 10.00 serta kontak 10.01 pada rung kedua menjadi 10.00.



Gambar 3.6 Ladder untuk skema operasi 1 metode 2

3.5 Perancangan Ladder Pengukuran Debit Pompa

Pengukuran dilakukan dengan cara menyalakan masing-masing pompa pada tiap metode menurut tabel 3.2 selama satu menit.



Gambar 3.6 Ladder pengisian tandon 2 oleh pompa 1

Ladder ini juga digunakan untuk mengetahui debit pompa 2 dan 3 untuk mengisi tandon 2 dengan cara mengganti coil pompa 1 (10.00) dengan coil pompa 2 (10.01) atau pompa 3 (10.02).

IV. Pengukuran dan Analisis

4.1 Pengukuran Daya Motor Pompa

Tabel 4.1 Hasil pengukuran daya masukan motor pompa

Motor Pompa	Beban Nol		Berbeban	
	P (watt)	S (VA)	P (watt)	S (VA)
1	140	320	190	320
2	250	360	280	360
3	190	280	210	280

Saat beban nol, daya yang ditarik motor pompa 2 jauh lebih besar daripada daya motor pompa 1 dan 3.

Bila daya keluaran bersih *rotor* diasumsikan sama seperti yang tertera pada *name plate* maka dapat disimpulkan bahwa motor pompa 2 memiliki rugi-rugi yang paling besar

4.2 Pengukuran Daya dan Durasi Operasi Motor Pompa Untuk Pengisian Tandon yang Sama

Pengukuran dilakukan pada tiap pompa, sedangkan tandon yang diisi adalah tandon 2 dengan volume 36 liter.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran daya motor dan durasi operasi untuk pengisian tandon yang sama

Motor Pompa	P (watt)	Wh	Durasi (detik)	Debit perhitungan (liter/detik)
1	190	5	94	0,38
2	280	7	92	0,39
3	210	6	103	0,35

Pada proses pengisian yang sama atau dengan kata lain untuk *head* yang sama, debit pompa 2 lebih besar dari pada pompa 1 dan 3.

Daya yang diperlukan oleh motor pompa 3 lebih besar daripada pompa 1 walaupun debit pompa 3 lebih kecil daripada pompa 1. Ini disebabkan oleh umur motor pompa 3 yang lebih tua dari-pada pompa 1.

4.3 Pengukuran Debit Pompa Pada Tiap Metode

Pengukuran dilakukan dengan cara menyalakan tiap pompa selama satu menit.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran debit pompa pada tiap metode

Motor Pompa	Parameter	Metode		
		1	2	3
1	P (watt)	200	200	200
	Wh	3	3	3
	Debit (liter/mnt)	25	24.7	24.7
2	P (watt)	270	280	260
	Wh	4	5	4
	Debit (liter/mnt)	26.5	26.7	26.2
3	P (watt)	210	200	220
	Wh	4	3	4
	Debit (liter/mnt)	21.9	20.5	22.9

Debit pompa bila bekerja sebagai pengisi tandon 2 lebih besar daripada bila bekerja sebagai pengisi tandon 3 dan 4 untuk pompa yang sama karena *head* yang dilayani oleh pompa bila mengisi tandon 2 lebih besar daripada bila mengisi tandon 3 dan 4 sehingga debit pompa juga akan naik menurut persamaan 1.

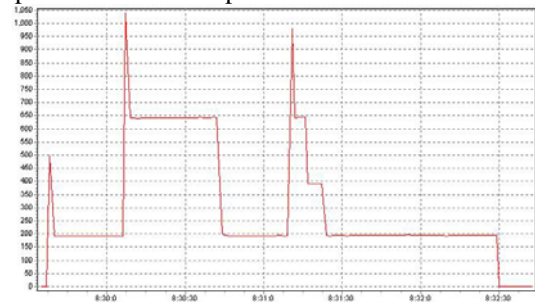
4.4 Pengukuran Grafik Daya Tiap Metode

Urutan operasi yang berbeda pada setiap skema operasi pengisian dan penggunaan pompa yang berbeda pada tiap metode menyebabkan perbedaan grafik daya yang digunakan oleh *plant*.

Pada skema operasi ke4 pada ketiga metode, motor pompa pengisi tandon 3 dan 4 aktif saat air pada tandon 2 mencapai batas bawah. Debit motor pompa pengisi tandon 2 tidak mampu memper-tahankan volume air sehingga air mencapai batas kosong tandon 2. Kondisi tersebut mengakibatkan motor pompa pengisi tandon 3 dan 4 mati dan akan beroperasi kembali setelah air mencapai batas bawah. Jadi, terdapat dua kali kondisi

dimana motor pompa pengisi tandon 3 dan 4 menyala bersamaan.

Hal ini patut dicermati karena daya saat transien gabungan pompa pengisi tandon 3 dan 4 ditambah dengan daya pompa pengisi tandon 2 yang sudah beroperasi bernilai cukup besar.



Gambar 4.1 Grafik daya skema 4 metode 1

4.5 Pengukuran Energi dan Durasi Operasi

Tabel 4.4 Data hasil pengukuran durasi operasi

Skema Operasi	Durasi Operasi (detik)		
	Metode 1	Metode 2	Metode 3
1	170	167	193
2	171	168	192
3	170	169	191
4	173	165	194
5	173	168	192
6	171	168	191
7	170	169	193
8	172	170	192
9	180	183	193
10	171	171	193
11	172	168	193
12	170	169	192
13	258	265	276
14	243	246	264
15	231	230	251
16	216	215	235

Durasi operasi metode tiga adalah yang paling lama karena pada metode tersebut tandon 2 diisi oleh pompa 3 yang memiliki debit air paling rendah bila dibandingkan dengan kedua pompa yang lain.

Di antara ketiga metode yang telah dilakukan, secara keseluruhan, energi metode 2 adalah yang paling besar bila dibandingkan dengan energi metode 1 dan 3. Hal ini karena pada metode 2, tandon 2 diisi oleh pompa 2, sedangkan daya motor pompa 2 lebih besar dari pada daya motor pompa 3 dan 1.

Tabel 4.5 Data hasil pengukuran energi

Skema Operasi	Energi (Wh)		
	Metode 1	Metode 2	Metode 3
1	15	18	17
2	15	18	17
3	15	18	17
4	15	18	17
5	15	18	17
6	15	18	17
7	15	18	17
8	15	18	17
9	16	20	17
10	16	19	17
11	15	18	17
12	16	18	17
13	16	19	17
14	15	19	17
15	16	18	17
16	15	18	17

Dalam setiap metode terdapat perbedaan konsumsi energi antara beberapa skema operasi yang telah dilakukan. Hal ini disebabkan oleh urutan operasi dan durasi operasi pompa.

Secara keseluruhan, metode 1 adalah metode yang paling efisien karena membutuhkan energi yang paling sedikit dengan durasi operasi yang cukup cepat bila dibandingkan dengan kedua metode yang lain.

Hal ini karena pompa pengisi tandon 2 sangat mempengaruhi durasi operasi dan konsumsi energi *plant*. Pada metode 1, pompa pengisi tandon 2 adalah pompa 1 yang memiliki debit yang besar dengan daya masukan yang rendah.

Secara lebih khusus lagi, skema operasi yang paling efisien pada metode 1 adalah skema 1 hingga 8 dimana durasi operasinya cukup cepat, terutama bila dibandingkan dengan skema 13 hingga 16.

V. Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan pada Tugas Akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Daya, debit dan rugi-rugi motor pompa 2 adalah yang paling besar daripada kedua motor pompa yang lain.
2. Debit motor pompa 1 terpaut sedikit dengan debit motor pompa 2 namun daya keduanya jauh berbeda karena rugi-rugi motor pompa 1 lebih sedikit daripada motor pompa 2.
3. Debit pompa bila bekerja sebagai pengisi tandon 2 lebih besar daripada bila bekerja sebagai pengisi tandon 3 dan 4 untuk pompa yang sama
4. Dalam skema operasi ke-4 pada ketiga metode yang telah dilakukan, terdapat dua kali kondisi dimana motor pompa pengisi tandon 3 dan 4 menyala bersamaan karena debit motor pompa pengisi tandon 2 tidak mampu mempertahankan volume air sehingga air mencapai batas kosong tandon 2.
5. Motor pompa yang bertugas mengisi tandon 2 akan sangat mempengaruhi durasi operasi dan energi yang diperlukan *plant*.
6. Dalam setiap metode terdapat perbedaan konsumsi energi antara beberapa skema operasi yang telah dilakukan. Hal ini disebabkan oleh urutan operasi dan durasi operasi pompa.
7. Metode 1 merupakan metode yang paling efisien karena memerlukan energi listrik yang paling sedikit dengan durasi operasi yang cukup cepat bila dibandingkan dengan kedua metode yang lain
8. Skema yang paling efisien dalam metode 1 adalah skema 1 hingga 8.

5.2 Saran

Untuk keperluan pengembangan tugas akhir ini, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Dalam Tugas Akhir ini, penggantian metode dilakukan dengan memutar *ball valve* secara manual. Agar operasi *plant* benar-benar otomatis maka *ball valve* yang digunakan dapat diganti dengan *solenoid valve* yang dapat dikendalikan secara langsung oleh PLC.

2. Untuk meningkatkan keandalan sensor ketinggian air, material yang digunakan sebagai elektroda sensor harus merupakan bahan yang tidak mudah berkarat, atau dengan mengganti sensor elektronika dengan sensor ultrasonik.
3. Untuk penelitian lebih lanjut, *fluida* yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dapat diganti dengan *fluida* lain dengan viskositas yang berbeda.

Daftar Pustaka

- [1] Sulaiman, Ts. Mhd, *Mesin Tak Serempak Dalam Praktek*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.
- [2] Sularso, *Pompa dan Kompresor : Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*, Pradnya Paramita, Jakarta, 2000.
- [3] Berahim, Hamzah, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Andi Offset, Yogya-karta, 1994.
- [4] Abdul Kadir, Prof. Ir, *Mesin Tak Serempak*, Penerbit Djembatan, Jakarta, 1981.
- [5] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, Penerbit ITB, Bandung, 1991.
- [6] Eko Putra, Agfianto, *PLC Konsep Pemrograman dan Aplikasi (Omron CPM1A/CPM2A dan ZEN Programmable Relay)*, Penerbit Gava Media, Jogjakarta, 2004.
- [7] Theraja, B. L. And Theraja A. K., *A Text Book of Technology Vol II AC and DC Machines*, Nirja Ltd, New Delhi, 1994.
- [8] Nurbambang, Soufyan M., *Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1986.
- [9] Sumanto, M.A, Drs., *Motor Listrik Arus Bolak Balik*, Andi Offset, Yogyakarta-ta, 1993.
- [10] Chilikin, M., *Electric Drive*, Mir Publishers, Moscow, 1970.
- [11] Dietzel, Fritz, *Turbin Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta, 1996



Radityo Kusumo A

Mahasiswa tingkat akhir Teknik Elektro Universitas Diponegoro dengan konsentrasi Sistem Tenaga.

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP. 131 668 485

M. Facta, ST. MT
NIP. 132 231 134