

Pengaturan Tegangan Kerja Minimum Motor Induksi Untuk Penghematan Pemakaian Energi Peralatan Yang Digerakan Oleh Motor Listrik

Oleh : Yakob Liklikwatil

Abstrak

Ada banyak peralatan yang menggunakan motor listrik jenis induksi sebagai penggerak utama, contohnya mesin bor listrik, mesin pemotong, mesin pengaduk semen/pasir, dan berbagai macam mesin yang terdapat di dalam industri tekstil, industri otomotif dan lain-lain. Pemakaian mesin-mesin sangat berkaitan erat dengan aplikasi motor-motor listrik yang pada dasarnya akan mengkonsumsi listrik bervariasi bergantung kepada ukuran dari motor-motor itu. Dan umumnya peralatan ini selalu beroperasi pada harga tegangan listrik nominal atau tegangan penuh misalkan 220 volt per fasa atau 380 volt tiga fasa. Pada kondisi ini apabila motor tidak berbeban penuh misalkan setengah dari beban penuhnya, maka akan terjadi pemborosan pemakaian energi listrik, terlebih lagi jika motor tidak diberi beban mekanik pada porosnya. Oleh karena itu tulisan ini memberikan sedikit solusi dalam penghematan pemakaian energi listrik pada motor. Dua hal penting yang dikaji dalam tulisan ini yang berkenaan dengan pengaturan kerja motor yaitu pada keadaan start dan pada keadaan sedang berjalan.

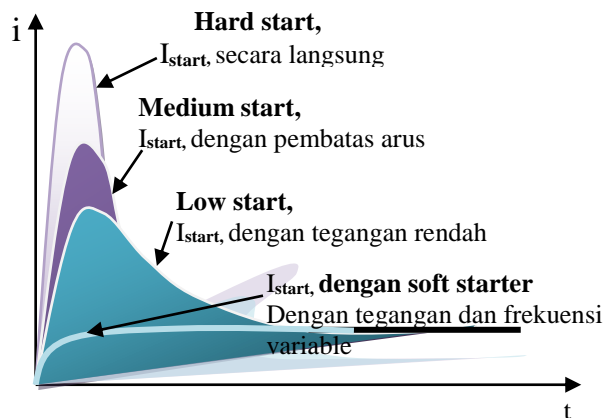
Kata Kunci : Pengaturan Motor, Tegangan minimum, Hemat Listrik

1 Pendahuluan

Pengaturan arus dan daya merupakan bagian dari pengaturan pemakaian energi yang dikonsumsi oleh motor listrik, adalah inti dari permasalahan yaitu dalam rangka penghematan energi listrik. Ada tiga hal utama yang paling penting yang perlu dipahami dalam mengatur pemakaian energi dari sebuah motor induksi yaitu keadaan start, keadaan berjalan (running) dan pengeraman. Dalam hal starting motor, arus start yang tinggi dengan waktu start yang panjang perlu mendapat perhatian yang khusus, karena jika hal ini terjadi maka akan menyebabkan penggunaan energi yang cukup besar pada saat motor distart*. Pada keadaan sedang berjalan energi yang digunakan akan bergantung pada beban dan tegangan. Dalam hal pengeraman, pengeraman yang tiba-tiba (mendadak) membutuhkan energi yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan cara pengeraman dinamik dan regeneratif. Akan tetapi dalam tulisan ini hanya akan dibahas dua keadaan operasi motor yaitu : dalam keadaan start dan pada keadaan motor sedang berjalan.

2 Start Motor

Yang menjadi perhatian utama dalam hal start motor listrik (induksi) adalah arus mula. Mengingat bahwa arus motor pada saat start-up sangat tinggi, maka perlu untuk membatasi atau memperkecil arus start. Arus start akan bergantung pada besar tegangan masuk ke stator, frekuensi tegangan sumber. Pengaturan atau pembatasan arus start selain akan dapat mereduksi energi atau daya disaat start, juga akan mencegah motor dari kegagalan start yang berhubungan dengan sistem proteksi yang akan memutuskan hubungan listrik ke motor. Salah satu cara memperkecil arus start motor adalah melalui pengaturan tegangan, yaitu dengan memperkecil tegangan masuk ke stator motor. Gambar 1 menunjukkan bentuk kurva arus start dengan empat cara sebagai perbandingan yaitu; secara langsung, dengan pembatas arus (tahanan reaktif geser), tegangan rendah dan dengan soft starter.



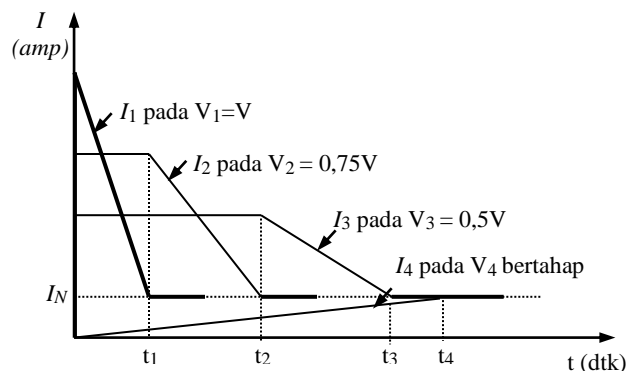
Gambar 1. Bentuk kurva arus start motor

Ada empat kategori start motor sesuai dengan gambar 1 yaitu : Hard start atau high start, medium start, low start, dan soft start. Masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda seperti yang ditunjukkan dalam gambar 9.

- Hard start merupakan start motor pada tegangan nominal (tegangan penuh). Pada kondisi ini arus mencapai 5 s/d 10 kali harga arus beban penuh.
- Medium start adalah kondisi start menengah, dimana arus mencapai 3 s/d 5 kali harga arus beban penuh.
- Low start adalah start rendah, dimana arus mencapai 1 s/d 2,5 kali harga arus beban penuh.
- Soft start adalah start lunak, dimana arus bisa lebih kecil dari arus beban penuh atau bahkan bisa dari nol dan naik secara bertahap hingga pada harga arus normalnya.

2.1 Pengaturan Energi Start Dengan Memperkecil Tegangan Masuk

Dengan memperkecil tegangan masuk pada stator akan menghasilkan arus start yang lebih kecil. Motor yang distart dengan tegangan yang berbeda akan memberikan performance arus yang berbeda-beda baik tinggi arus awalnya maupun bentuk kurva perubahannya terhadap waktu. Lama waktu start yang diperlukan pada setiap besar tegangan yang diberikan juga akan berbeda, hal ini akan bergantung pada torsi yang terjadi pada saat motor distart. Makin rendah tegangan yang diberikan arus start dan torsi start akan makin rendah sedangkan waktu start akan makin panjang. Karakteristik yang mungkin terjadi dapat dilukiskan secara ideal seperti pada gambar 2.



Gambar 2, Karakteristik arus-waktu pada start motor dengan tegangan yang berbeda

Pada keadaan start dengan tegangan nominal, arus awal akan sangat tinggi. Dan secara pendekatan persamaan arus pada motor dilihat dari stator adalah

$$I_r' = \frac{E_r'}{\sqrt{(a^2 R_r / S)^2 + (a^2 X_r)^2}} \quad (1)$$

Pada saat start (keadaan standstil) maka harga slip s adalah 1 (satu), dan frekuensi rotor adalah nol (ingat pers $f_R = (1 - S) \cdot f_S$, sehingga harga arus start sesuai dengan persamaan 1 di atas adalah

$$I_{start} = \frac{V_2'}{a \cdot R_2'} \quad (2)$$

dimana V_2' adalah tegangan rangkaian rotor dilihat dari sisi stator,
 R_2' adalah resistansi rotor dilihat dari sisi stator
 a adalah rasio lilitan antara stator dan rotor

Torsi pada rotor yang terjadi dengan memberikan tegangan nominal merupakan torsi yang terbesar dalam hal menstart motor. Secara umum torsi yang dibutuhkan oleh motor mempunyai bentuk persamaan :

$$T_{st} = \frac{P_{st}}{\omega} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_2 \cdot I_2' \cdot \cos \phi_{st}}{\omega} \quad (3)$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot (V_2')^2 \cdot R_2'}{\omega \cdot ((R_2')^2 + (X_2')^2)}$$

dimana

$$\cos \phi_{st} = \frac{R_2'}{\sqrt{(R_2')^2 + (X_2')^2}}$$

V_2 = tegangan masuk ke rotor (V)

R_2' = resistansi rotor (Ω)

ω = $2 \cdot \pi \cdot f$ = frekuensi radian (rad/dtk)
 f = frekuensi (Hz)

Pada saat start frekuensi rotor adalah nol, dengan demikian persamaan torsi rotor adalah

$$T_{start} = \frac{(V_2')^2}{m} \quad (4)$$

dimana : m adalah suatu besaran yang belum diketahui

Dari persamaan di atas, maka dengan memperkecil tegangan V_2 , maka arus start akan rendah dan torsi start akan lebih rendah. Oleh karena torsi sebanding dengan daya, maka jelas daya yang diserap pada saat start akan lebih kecil, sedangkan besar energi start akan bergantung pada lamanya waktu start motor, dengan persamaan

$$W_{st} = P_{st} \cdot t_{st} = T_{st} \cdot \omega \cdot t_{st}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot (V_2')^2 \cdot R_2' \cdot t_{st}}{((R_2')^2 + (X_2')^2)} \quad (5)$$

dimana : t_{st} = waktu start (detik)

P_{st} = daya yang diserap pada saat motor distart

Perhitungan energi berdasarkan gambar karakteristik di atas yaitu melalui perhitungan luas area yang dibatasi oleh masing-masing fungsi kurva dan waktu start kemudian diperkalikan dengan tegangan operasi yakni sebagai berikut :

1. Untuk kategori 1, jika kurva arus turun secara linear (garis lurus), luas trapezium 1 adalah

$$(i_1 + i_N) \cdot \frac{t_1}{2} \quad (6)$$

dan energi pada kondisi ini adalah

$$W_{st,1} = \sqrt{3} \cdot V_{st,1} \cdot (i_1 + i_N) \cdot \frac{t_1}{2} \cdot \cos \varphi_1 \quad (7)$$

$$= \sqrt{3} \cdot V \cdot (i_1 + i_N) \cdot \frac{t_1}{2} \cdot \cos \varphi_1$$

dimana : $\cos \varphi_1$, adalah factor daya pada kondisi start dengan kategori 1 dan
 $V_{st,1} = V$ (adalah harga tegangan nominal)

2. **Untuk kategori 2**, jika kurva arus turun secara linear (garis lurus), luas trapezium 2 adalah

$$(i_1 + i_N) \left(\frac{t_2 - t_1}{2} \right) + (i_2 \cdot t_1) \quad (8)$$

dan energi pada kondisi ini adalah

$$W_{st,2} = \sqrt{3} \cdot V_{st,2} \cdot \left\{ (i_1 + i_N) \left(\frac{t_2 - t_1}{2} \right) + (i_2 \cdot t_1) \right\} \cdot \cos \varphi_2$$

$$= \sqrt{3} \cdot (0,75 \cdot V) \cdot \left\{ (i_1 + i_N) \left(\frac{t_2 - t_1}{2} \right) + (i_2 \cdot t_1) \right\} \cdot \cos \varphi_2 \quad (9)$$

dimana $\cos \varphi_2$, adalah factor daya pada kondisi start kategori 2, dan
 $V_{st,2} = 0,75 \cdot V$

3. **Untuk kategori 3**, jika kurva arus turun secara linear (garis lurus), luas trapezium 3 adalah

$$(i_3 + i_N) \left(\frac{t_3 - t_2}{2} \right) + (i_3 \cdot t_2) \quad (10)$$

dan energi pada kondisi ini adalah

$$W_{st,3} = \sqrt{3} \cdot V_{st,3} \cdot \left\{ (i_3 + i_N) \left(\frac{t_3 - t_2}{2} \right) + (i_3 \cdot t_2) \right\} \cdot \cos \varphi_3$$

$$= \sqrt{3} \cdot (0,5 \cdot V) \cdot \left\{ (i_3 + i_N) \left(\frac{t_3 - t_2}{2} \right) + (i_3 \cdot t_2) \right\} \cdot \cos \varphi_3 \quad (11)$$

dimana : $\cos \varphi_3$, adalah faktor daya pada kondisi start dengan kategori 3, dan
 $V_{st,3} = 0,5 \cdot V$

4. **Untuk kategori 4**, yaitu soft start, jika arus naik secara linear, maka luas segi tiga adalah

$$\frac{i_N}{2} \cdot t_4 \quad (12)$$

dan energi start pada kondisi ini adalah

$$W_{st,4} = \sqrt{3} \cdot (V_{st,4}) \cdot \frac{i_N}{2} \cdot t_4 \cdot \cos \varphi_4 \quad (13)$$

dimana $\cos \varphi_4$, adalah factor daya pada kondisi start kategori 4, dan
 $V_{st,4}$ adalah tegangan start yang berubah naik secara bertahap.

Percobaan Start Pada Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Memperkecil Tegangan

Untuk membuktikan apakah suatu teori sinkron dengan realitasnya, maka berikut ini akan ditunjukkan hasil dari suatu percobaan start motor induksi dengan ukuran 17 KW, 27 A , 500 V , Y , $\cos \varphi = 0,82$, 750 rpm dilakukan di laboratorium Mesin-Mesin Listrik S.T.T. Mandala Bandung sebagai suatu contoh ril. Dalam percobaan ini digunakan rangkaian *phase controlled* sebagai peralatan pengatur tegangan start dengan mengatur sudut pentriggeran (α), motor tidak diberi beban mekanik poros mengingat kemampuan daya laboratorium terbatas. Hasil yang diperoleh adalah seperti yang ditunjukkan dalam table 1 di bawah ini .

Tabel 1

NO	α (derajat)	Teg.Start Volt (rms)	Arus Start (Amper)	Teg.Run. Volt (rms)	Arus Run. (Amper)	Waktu Start (detik)	Waktu Tunda (detik)
1	111	125	13	200	6,5	12	17
2	108	135	22	225	7	4	17
3	90	250	35	300	7,6	1,5	17

2.2 Analisa

Dalam **tabel 1** di atas terlihat bahwa arus saat start tinggi bila tegangan yang diberikan tinggi.

Arus start motor adalah tinggi, meskipun motor dalam keadaan tanpa beban mekanik pada porosnya. Pada percobaan start secara langsung (tidak menggunakan pengatur tegangan) arus motor saat start sangat tinggi mencapai lebih besar dari 5 kali arus beban penuhnya, dalam gambar tidak diperlihatkan karena pada saat start arus sangat tinggi dan menimbulkan torsi hentakan sehingga menyebabkan saklar MCB trip sehingga motor tidak dapat berjalan setiap kali sistart, arus start langsung tidak terbaca.

3. Pengaturan Energi Pada Keadaan Motor Sedang Berjalan

Pada keadaan motor yang sedang berjalan, besar energi yang dipergunakan mungkin bervariasi dan akan bergantung kepada keadaan beban mekanik pada poros motor serta tegangan operasi.

3.1 Operasi Pada tegangan Kerja Minimum

Telah diketahui bahwa sebuah motor induksi berputar karena adanya medan putar yang ditimbulkan oleh tegangan listrik yang masuk ke kumparan stator yang menimbulkan medan putar. Medan putar tersebut akan menimbulkan

torsi elektromekanik yang akan memutar rotor pada kecepatan sinkronnya dengan persamaan seperti pada persamaan 1. Torsi ini bergantung pada tegangan, arus dan juga frekuensi yang masuk ke motor. Apabila frekuensi konstan, maka torsi hanya akan bergantung kepada tegangan dan arus. Selain itu daya yang diperlukan oleh motor bergantung juga pada faktor daya sesuai dengan persamaan 3 dan 14. Daya yang masuk ke motor adalah daya semu S (volt-ampere) yang merupakan paduan dari daya nyata yaitu P (watt) dan daya imajiner Q (VAR). Sedangkan energi yang terukur oleh KWH meter adalah komponen daya nyata yaitu kilo-watt-jam dengan notasi P

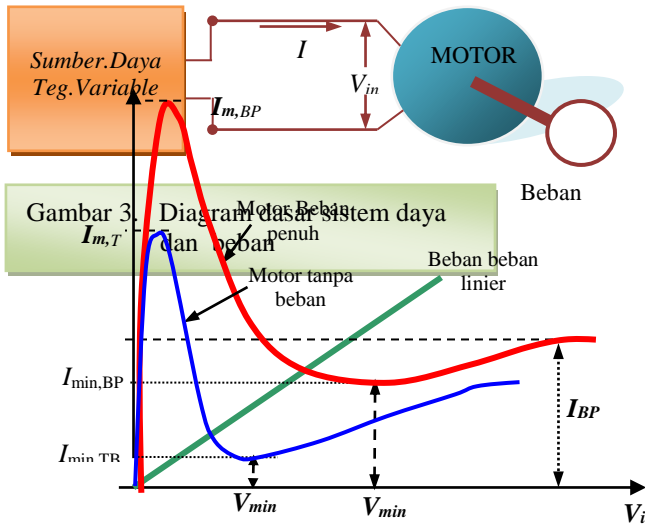
$$S = V.I$$

$$P = V.I.Cos.\phi$$

$$Q = V.I.Sin.\phi$$

(14)

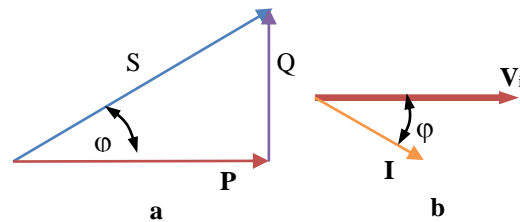
Gambar 3 adalah sebuah diagram dasar sistem pengatur tegangan operasi untuk mengatur pemakaian daya atau energi oleh motor dengan metoda tegangan minimum.



Gambar 4. Kurva arus terhadap tegangan, Motor dan Beban beban linier dengan garis lurus

Untuk beban seperti Kulkas, Pompa air, dan motor-motor listrik di industri, alat ini mempunyai batas tegangan kerja minimum dimana dimana arus sebanding dengan perubahan tegangan pada harga diatas tegangan minimumnya. Bila tegangan turun maka arus juga turun, dan faktor daya akan naik, dengan demikian daya KW dan KVAR akan turun.

Pada harga tegangan dibawah batas minimumnya arus akan naik keharga maksimum hingga pada keadaan tertentu motor akan mengalami lock-rotor dimana arus akan mencapai harga maksimum. Kondisi ini sangat berbahaya dan bisa menyebabkan terbakarnya lilitan stator dan motor. Secara pendekatan dapat dilukiskan seperti pada gambar 4. Dalam gambar terdiri dari grafik i-v pada kondisi berbeban penuh dengan harga arus minimum $I_{min, BP}$ dan arus maksimum $I_{M, BP}$; pada kondisi tanpa beban dengan harga arus minimum $I_{min, TB}$ dan arus maksimum $I_{M, TB}$; serta grafik garis lurus merupakan karakteristik arus untuk system atau peralatan yang dikategorikan beban linier.



Gambar 5. Diagram vektor, a. daya, b. arus dan tegangan dengan sudut ϕ

Pengaturan tegangan kerja dapat dilakukan hingga batas minimum dengan torsi minimum yang diperbolehkan pada setiap kondisi / besar beban poros motor yaitu pada kondisi berbeban ringan, pada kondisi berbeban sedang, hingga pada kondisi berbeban penuh. Dalam praktek pengendaliannya perlu perhatian khusus, karena bisa mengakibatkan motor berat untuk berputar atau bahkan motor tidak dapat berputar atau rotor tertahan (Lock rotor) karena rendahnya torsi putar.

Jika dibanding dengan bila motor didioperasikan pada tegangan nominal maka pemberian tegangan

minimum pada setiap kondisi pembebanan akan sangat menguntungkan, pertama arus yang diserap motor mengalami penurunan yang cukup signifikan, kedua panas yang terjadi pada motor juga akan lebih rendah, ketiga motor tiga

mengalami desingan yang kuat, keempat energi yang dipakai oleh motor akan sangat menurun; khususnya motor yang mempunyai kondisi pembebanan yang bervariasi selama beroperasi.

Daya dan energi yang bisa terjadi pada setiap kondisi pembebanannya dapat dirumuskan sebagai berikut

1. Pada kondisi beban penuh

Daya yang diserap adalah

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot V_{min,1} \cdot I_{min,1} \cdot \cos\phi_1 \quad (15)$$

Energi yang digunakan adalah

$$W_1 = P_1 \cdot t = \sqrt{3} \cdot t \cdot V_{min,1} \cdot I_{min,1} \cdot \cos\phi_1 \quad (16)$$

2. Pada kondisi beban sedang

Daya yang diserap adalah

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot V_{min,2} \cdot I_{min,2} \cdot \cos\phi_2 \quad (17)$$

Energi yang digunakan adalah

$$W_2 = P_2 \cdot t = \sqrt{3} \cdot t \cdot V_{min,2} \cdot I_{min,2} \cdot \cos\phi_2 \quad (18)$$

3. Pada kondisi beban sedang

Daya yang diserap adalah

$$P_3 = \sqrt{3} \cdot V_{min,3} \cdot I_{min,3} \cdot \cos\phi_3 \quad (19)$$

Energi yang digunakan adalah

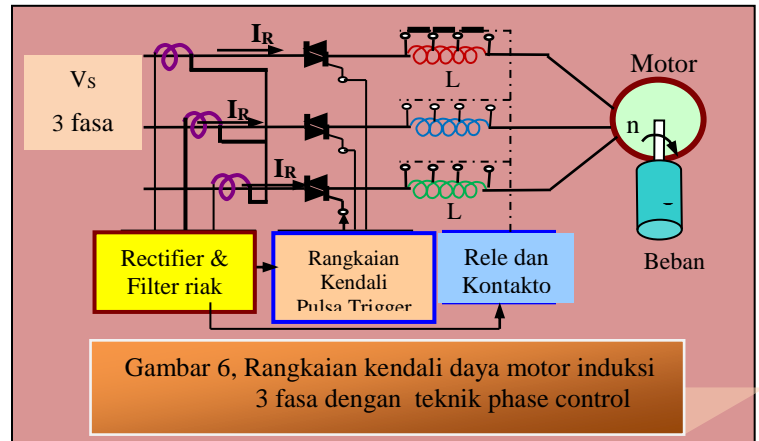
$$W_3 = P_3 \cdot t = \sqrt{3} \cdot t \cdot V_{min,3} \cdot I_{min,3} \cdot \cos\phi_3 \quad (20)$$

Dengan mana $V_{min,1} > V_{min,2} > V_{min,3}$ dan $I_{min,1} > I_{min,2} > I_{min,3}$ merupakan nilai-nilai minimum tegangan dan arus pada setiap kondisi pembebanan. Semakin ringan beban, maka tegangan kerja dapat diberikan lebih rendah lagi. Sehingga arus, daya dan energi yang dipergunakan akan semakin berkurang.

3.2 Rangkaian Skematis Phasecontroller

Diagram rangkaian percobaan pengaturan tegangan kerja minimum ditunjukkan dalam

Gambar 6 Sistem ini menggunakan saklar semikonduktor Triac, dengan sensor arus berupa transformer arus yang dipasang pada salah satu line fasa atau pada ketiga line fasanya (untuk



Gambar 6, Rangkaian kendali daya motor induksi 3 fasa dengan teknik phase control

kerja otomatis rangkaian phase-controller terkendali di atas dalam mengatur daya melalui perubahan tegangan kerja minimum motor, yaitu Pada keadaan motor tanpa beban, arus line berharga paling kecil, sensor trafo arus CT akan memberikan informasi kepada rangkaian kontrol pulsa untuk mengatur sudut penyalaan triac menjadi lebih besar, sehingga triac mengatur tegangan ke motor menjadi paling rendah, yang disesuaikan dengan tegangan kerja minimum pada kondisi tanpa beban. Pada keadaan beban motor mulai bertambah, CT akan memberikan informasi arus pada kondisi pembebanan ini, yang selanjutnya Triac akan mengatur tegangan yang masuk ke motor sehingga motor bekerja pada tegangan minimum yang sesuai dengan kondisi pembebanan ini, atau sebaliknya.

Demikian juga pada kondisi beban yang lainnya termasuk pada kondisi beban penuh.

3.3 Percobaan dan Hasil percobaan

Dalam percobaan yang dilakukan di laboratorium mesin-mesin listrik STTMandala kami menggunakan satu set motor induksi – generator 1 fasa ½ HP, 4,2 A, 220 V, Lampu pijar 300 watt 220 V, sebagai beban reisitansi,

Alat ukur berupa : Volt meter, Amp-meter, Cosφ meter, Osscilloscope, KWH meter.

Sumber Daya tegangan ac 220 V dan Trafo perubah tegangan 1 KVA.

a. Langkah percobaan : Dengan menggunakan transformator pengubah tegangan ac, Mengatur pembebanan motor dan kemudian mengatur tegangan kerja sesuai dengan pembebanan motornya, mengambil data tegangan ,arus, Faktor Daya, Putaran piringan KWH meter,

b. Hasil Percobaan

Hasil percobaan pengaturan tegangan pada motor induksi 1 fasa menggunakan trafo pengubah tegangan ac (slide regulator) ditunjukkan dalam tabel 2

Dari hasil percobaan pada motor induksi satu fasa, akan dianalisis perubahan aliran daya yang diperlukan oleh motor pada setiap kondisi pembebanan. Sesusi dengan data pada tabel 2 , yaitu sebagai berikut :

a) Pada kondisi beban penuh,

yakni jika motor dioperasikan dengan tegangan penuh 220 V, maka arus motor adalah 4,2 A ; Cos φ = 0,74 dan daya yang dibutuhkan adalah :

$$\begin{aligned} P_{BP} &= V.I.Cos\phi = 220 \times 4,2 \times 0,74 \\ &= 683,76 \text{ W} \end{aligned}$$

Putaran KWH yaitu 8 detik per putaran

Jika pada tegangan 197 V, arus motor adalah 3,9 A , Cosφ = 0,81 , dan daya motor adalah :
 $P_{BP}^* = 197 \times 3,9 \times 0,81 = 598,272 \text{ W}$
(putaran KWH adalah 8,5 detik per putaran).

b) Pada kondisi ¾ beban penuh :

Dengan tegangan normal 220 V ; arus motor 3,5 A ; Cosφ = 0,68 ; dan daya yang dipakai adalah :

$$P_{3/4} = 220 \times 3,5 \times 0,68 = 523,6 \text{ W}$$

(putaran KWH adalah 10,8 detik per putaran)

Dengan tegangan 185 V ; arus motor 2,65 A ; Cosφ = 0,87 ; daya motor adalah :

$$P_{3/4}^* = 185 \times 2,65 \times 0,87 = 418,47 \text{ W}$$

(putaran KWH adalah 11 detik per putaran)

c) Pada kondisi ½ beban penuh :

Dengan penuh 220 V ; arus motor 3 A ; Cosφ = 0,68 ; dan daya motor adalah :

$$P_{1/2} = 220 \times 3 \times 0,68 = 448,8 \text{ W}$$

(putaran KWH adalah 18,75 detik per putaran)

Dengan tegangan 170 V ; arus motor 1,5 A ; Cosφ = 0,945 ; daya motor adalah :

$$P_{1/2}^* = 170 \times 1,5 \times 0,945 = 240,975 \text{ W}$$

(putaran KWH adalah 23,5 detik perputaran)

d) Pada kondisi beban ringan :

Dengan tegangan penuh 220 V ; arus motor adalah 2,5 A ; Cosφ = 0,59 ; daya motor adalah :

$$P_{low} = 220 \times 2,5 \times 0,59 = 324,5 \text{ W}$$

(putaran KWH adalah 29 detik perputaran)

Dengan tegangan 100 V ; arus motor 0,88 A ;

Cosφ = 0,995 ; daya motor adalah :

$$P_{low}^* = 100 \times 0,88 \times 0,995 = 87,56 \text{ W}$$

(putaran KWH adalah 80 detik perputaran)

Tabel 2

No	Vs (V)	Im (A)	Cosφ	Putar KWH	P (W)	
1	220	4,2	0,74	8 det/putar	683,76	
2	197	3,9	0,81	8,5	598,272	
3	192	3,8	0,82	9	606,366	
4	190	3,9	0,83	8	613,548	
Beban tiga per empat beban penuh						
5	220	3,5	0,68	10,8	523,6	
6	200	2,9	0,825	11,5	475,2	
7	190	2,75	0,86	12	449,35	
8	185	2,65	0,87	11	418,47	
9	175	2,6	0,881	10,75	400,855	
Beban setengah beban penuh						
10	220	3	0,68	18,75	448,8	
11	200	2,1	0,85	22	357,0	
12	190	1,8	0,89	22,8	311,22	
13	180	1,6	0,924	23	266,112	
14	170	1,5	0,945	23,5	240,975	
Beban ringan						
15	220	3,1	0,59	29		
16	200	2,05	0,83	40		
17	190	1,7	0,885	46		
18	180	1,5	0,92	52		
19	165	1,3	0,95	58		
20	150	1,15	0,97	64		
21	140	1	0,98	70		
22	120	0,9	0,99	71		
23	100	0,88	0,995	80		
24	80	0,8	0,998	74		
25	70	0,79	0,999	68		
26	65	Motor akan berhenti				

Secara singkat dapat dijelaskan data dari tabel 2 sebagai berikut :

Pada kondisi beban penuh dengan tegangan penuh, motor memerlukan daya sebesar 683,76 W lebih besar dari pada jika motor dioperasikan pada tegangan 197 V yaitu sebesar 598,27 W ,

Pada beban $\frac{3}{4}$, dengan tegangan penuh motor memerlukan daya sebesar 523,6 W, lebih besar dari pada jika motor dioperasikan dengan tegangan 185V yaitu sebesar 418,47 W ;

Pada beban $\frac{1}{2}$, dengan tegangan penuh motor memerlukan daya sebesar 448,8 W , lebih besar daripada jika motor dioperasikan pada tegangan 170 V yaitu sebesar 240,975 W ;

Pada beban ringan, dengan tegangan penuh motor memerlukan daya sebesar 324,5 W , jauh lebih besar dari pada jika motor dioperasikan pada tegangan 100V yaitu sebesar 87,56 W

Terlihat dari putaran KWH akan sangat lambat hal ini disebabkan bukan hanya oleh penurunan beban akan tetapi oleh penurunan tegangan dan arus masukan ke motor .

Hal di atas menyatakan bahwa pada beban penuh hingga beban ringan terjadi reduksi daya yang cukup signifikan pada setiap tegangan kerja minimumnya; terlebih lagi pada kondisi beban ringan, dimana daya yang direduksi adalah sebesar

$$\begin{aligned}\Delta P_{low} &= P_{low} - P_{low}^* \\ &= 324,5 - 87,56 \\ &= 236,94 \text{ W}\end{aligned}$$

Artinya bahwa penghematan terjadi dengan nilai yang cukup berarti; oleh karena itu dari pada mengoperasikan motor pada tegangan penuh untuk setiap kondisi pembebanan, adalah lebih baik

mengoperasikan motor pada tegangan minimumnya untuk setiap kondisi pembebanannya. Selain itu pula faktor daya sistem sumbernya akan menjadi lebih baik ; juga dengan pengoperasian seperti ini suara dengung dan getaran motor akan berkurang sehingga motor tidak ribut akibat distorsi harmonisa melemah karena arus mempunyai bentuk gelombang yang mendekati sinus murni .

Informasi lain yang diperoleh dari percobaan yaitu “ putaran motor relatif konstan pada setiap kondisi pembebanan, hal ini disebabkan oleh torsi motor yang selalu cukup untuk memutar beban pada setiap kondisi dengan tegangan minimumnya.

c. Korelasinya adalah : *Pada tegangan operasi yang minimum, maka arus adalah minimum, sehingga daya dan energi yang dipergunakan akan menurun, dengan demikian biaya operasi motor listrik akan turun.*

4. Kesimpulan untuk percobaan ini adalah

Dengan mengatur tegangan kerja minimum, maka daya yang dikonsumsi oleh motor induksi pada kondisi beban penuh dapat diturunkan. Pengaturan aliran daya ke beban dengan teknik kendali tegangan kerja minimum akan mengakibatkan pemakaian daya listrik mengecil, dengan demikian penghematan pemakaian energi listrik dapat terjadi lebih besar dibandingkan dengan hanya menggunakan kapasitor bank.

5. Saran

Pemberian tegangan hendaknya tidak di bawah harga tegangan minimumnya untuk setiap kondisi beban, mengingat bahwa pada tegangan di bawah harga tegangan minimum arus motor akan naik dan keadaan ini akan berakibat buruk bagi motor tersebut.

Perlu riset yang lebih jauh untuk menetapkan nilai-nilai akurat tegangan aplikasi pada setiap peralatan listrik dan elektronik agar diperoleh penghematan yang lebih besar lagi.

Pustaka

- Fitzgerald,A.E. Mesin-Mesin Listrik1986, Edisi IV McGraw-Hill
- Herman, Stephen L, Alerich, Walter N, 1985. Industrial Motor Control, by Delmar Publishers.
- Leach, Donald P, 1983. Basic Electric Circuit.
- Liklikwatil, Yakob. 2003. Diktat Mesin-Mesin Listrik
- Liklikwatil, Yakob. 2011, Diktat Mesin Arus Bolak-Balik

Riwayat singkat

Nama : Yakob Liklikwatil, dosen tetap dan peneliti di lab. Mesin-mesin listrik jurusan teknik elektro STT Mandala Bandung,

Alamat: jl. Kebon Kangkung IX, no.5A, Kiaracandong. Tlp.022.7324015 (rumah)