

## **RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI DENGAN CARA MENGATUR FREKUENSI**

**YADI YUNUS, SUYAMTO**

*Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN  
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008 DIY 55010  
Telp. 0274.489716, Faks.489715*

### **Abstrak**

**RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR KECEPATAN PUTAR MOTOR INDUKSI DENGAN MENGUBAH FREKUENSI.** Telah dilakukan rancang bangun alat pengatur kecepatan motor induksi dengan mengubah frekuensi. Motor induksi mempunyai kecepatan yang hampir konstan, banyak digunakan di dalam industri yang kadang-kadang memerlukan perubahan kecepatan putar. Cara pengubahan kecepatan putar motor induksi yang paling baik adalah dengan mengubah frekuensi catu dayanya, walaupun sedikit sulit dan mahal. Dalam rancang bangun ini dilakukan dengan cara menyearahkan sumber tegangan PLN dengan frekuensi 50 Hz, lalu diubah menjadi tegangan bolak-balik kembali dengan frekuensi yang bisa diatur dan selanjutnya dipakai sebagai suplai ke motor<sup>[8]</sup>. Rangkaian alat terdiri dari komponen penyearah, penapis, inverter, osilator dan transformator. Dari pengujian diketahui bahwa peralatan dapat berfungsi dengan baik walaupun ditemukan beberapa kesulitan namun, arus ke motor cukup stabil meskipun kecepatan putar diubah-ubah. Putaran motor bisa diatur dengan mengubah frekuensi atau secara tidak langsung dengan tahanan basis  $R_B$  pada osilator. Jangkauan putaran yang dapat dicapai sangat lebar yaitu dari 133 rpm dengan frekuensi 12 Hz sampai dengan 2200 rpm pada frekuensi 70 Hz pada keadaan tanpa beban. Sedangkan perubahan putaran motor dapat halus, rata-rata 21,4 rpm/Hz

*Kata kunci : Motor induksi, putaran, frekuensi*

### **Abstract**

**DESIGN OF INDUCTION MOTOR SPEED REGULATION DEVICE BY FREQUENCY CHANGING.** Design of induction motor speed regulation device by frequency changing has been carried out. Induction motor has almost constant speed much used in industry which often desire the speed changing. The best result of induction motor speed changing is done by changing its power supply frequency, although have many difficulties and expensive. This design was done by rectified PLN's voltage of 50 Hz, then changed again to the alternating current which has adjustable frequency and finally is used as power supply to the motor. The device consist of many components i.e rectifier, filter, inverter, oscillator and transformer. From the functional test which has been carried out shows the device in good condition although found many difficulties, but the current input to the motor enough stable when motor speed is changed. Motor speed can be changed by adjusting the frequency or by adjusting the basis resistance  $R_B$  at the oscillator circuit. Range of speed regulation which can be achieved is very width i.e from 133 rpm with frequency of 12 Hz until 2200 rpm with frequency of 70 Hz at the no load condition. While the motor speed can change in smoothed i.e 21,4 rpm/Hz

*Keywords : Induction motor, rotation, frequency*

### **PENDAHULUAN**

Di industri banyak dipakai motor listrik jenis induksi rotor sangkar karena mempunyai banyak kelebihan dibanding dengan motor listrik jenis lain. Kekurangannya arus start besar

sekitar 3 sampai 5 kali dari arus nominal dan putarannya relatif konstan atau sulit diatur<sup>[2, 6]</sup>. Pada hal dalam pemakaian motor listrik kadang-kadang diinginkan putaran yang dapat diubah-ubah sesuai dengan putaran beban, dengan pengaturan perpindahan putaran yang

halus (*smooth*) dan *range* lebar, misalnya pada, blower atau *exhaust fan penyegar udara* pada laboratorium gedung kimia dan lain-lain. Hal tersebut diperlukan dengan tujuan antara lain untuk mengurangi besarnya arus *start*, meredam getaran dan hentakan mekanis saat *starting*. Karena itu maka banyak dilakukan usaha bagaimana cara mengatur putaran motor induksi tersebut. Salah satunya adalah dengan cara mengubah frekuensi catu daya yang masuk ke motor untuk mengatur kecepatan motor. Jadi tujuan dari rancang bangun di sini adalah untuk menghasilkan peralatan yang dapat dipakai untuk mengatur kecepatan putar motor induksi dengan *range* putaran yang lebar dan dengan perubahan putaran yang *smooth*.

## DASAR TEORI

Ditinjau rotornya motor induksi dibagi 2 yaitu motor induksi sangkar tupai dan (*squirrel cage induction motor*) dan motor induksi rotor lilit (*wound rotor induction motor*).<sup>[2, 6]</sup> Motor induksi sangkar tupai mempunyai kecepatan putar yang hampir konstan, sedangkan motor induksi rotor lilit mempunyai kecepatan putar dan torsi yang dapat diatur (*adjustable*). Sebetulnya dengan motor induksi rotor lilit, kelemahan motor induksi dapat diperbaiki, tetapi motor induksi rotor lilit mempunyai konstruksi yang tidak sederhana. Rumus kecepatan putar motor induksi adalah sebagai berikut<sup>[2, 6]</sup>.

$$n_m = \frac{(1-s)f \times 60}{p} \quad (1)$$

Dengan :

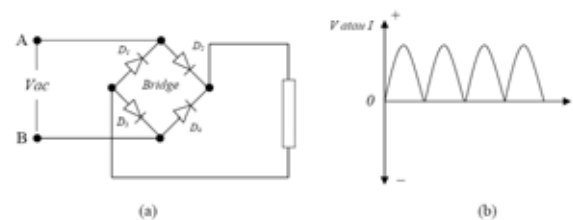
- $n_m$  : kecepatan putar motor (rpm)
- $n_s$  : kecepatan putar medan sinkron (rpm)
- $s$  : slip
- $f$  : frekuensi sumber atau catu daya (Hz)
- $p$  : jumlah pasang kutub

Besarnya slip tergantung dari beban motor, beban yang konstan slip motor akan juga tetap, maka dari persamaan (1) dapat diketahui bahwa kecepatan putar motor  $n_m$  dapat diatur dengan cara mengubah frekuensi maupun jumlah kutub. Mengatur kecepatan dengan cara mengatur jumlah kutub sudah banyak dilakukan namun daerah pengaturan putaran terbatas dan perubahannya kasar, tetapi cara pengendalian putaran yang halus dan dengan jangkauan putaran

yang lebar dapat dilakukan dengan mengatur frekuensi. Catu daya dari PLN frekuensinya 50 Hz, untuk mengubahnya diperlukan beberapa komponen. Dalam rancang bangun ini catu daya AC, 50 Hz diubah menjadi DC (searah), kemudian diubah menjadi AC lagi dengan frekuensi yang dapat diatur. Jadi dalam rancang bangun ini diperlukan komponen utama seperti penyearah, osilator sebagai pengubah frekuensi dan inverter<sup>[8]</sup>.

## Penyearah

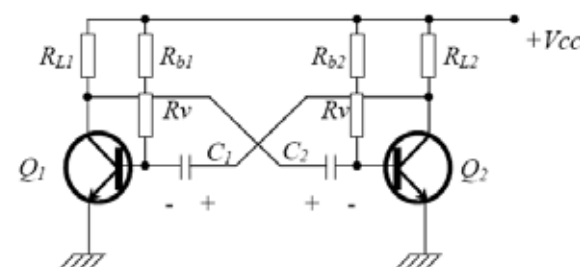
Penyearah adalah alat pengubah sumber listrik dari AC menjadi DC. Alat tersebut berupa rangkaian elektronik dengan komponen utama dioda. Dalam penyearahan tegangan bolak-balik digunakan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan sebuah dioda jembatan/bridge atau empat buah dioda.<sup>[3]</sup> Gelombang keluarannya lebih baik bila dibandingkan dengan penyearah setengah gelombang, lihat Gambar 1.



Gambar 1. Penyearah Gelombang Penuh (A)  
Rangkaian (B) Gelombang Keluaran

## Osilator

Osilator adalah rangkaian elektronik yang bekerja sebagai pembangkit gelombang denyut. Berdasar cara kerjanya terdapat berbagai macam osilator yang salah satu diantaranya adalah multivibrator tak stabil. Gambar 3 Ditunjukkan Rangkaian Pembangkit Sinyal Dan Disebut Sebagai Rangkaian Osilator Dari Jenis Multivibrator Tak Stabil<sup>[5, 7]</sup>.



Gambar 2. Osilator Astable Multivibrator

Proses kerjanya transistor  $Q_1$  dan  $Q_2$  bekerja ON (saturasi) dan OFF (*cut off*) secara bergantian.. Proses tersebut terjadi terus hingga terbentuk suatu sinyal tegangan denyut pada kolektor pada ke dua transistor tersebut. Selang waktu pergantian antar ON dan OFF dari ke dua transistor disebut sebagai konstanta waktu dari osilator yang besarnya adalah:<sup>[5]</sup>

$$T_1 = 0,69 \times R_{B1} \times C_1 \quad (2)$$

dengan :

$T_1$  = waktu  $\frac{1}{2}$  dari periode ON ke OFF kembali ke ON lagi dari transistor  $Q_1(dt)$

$R_{B1}$  =  $R_{b1} + R_v$  adalah tahanan rangkaian basis transistor ( $\Omega$ ).

$C_1$  = kapasitansi kondensator rangkaian basis (F).

$T_2$  dapat diperoleh menggunakan persamaan (2) dengan nilai tahanan dan kondensator adalah  $R_{B2}$  dan  $C_2$ . Jadi :  $T_1 + T_2 = T = 0,69 \times (R_{B1} \times C_1 + R_{B2} \times C_2)$ . Jika ditentukan  $R_{B1} = R_{B2} = R_B$  dan  $C_1 = C_2 = C$ , maka diperoleh

$$T = 0,69 \times 2 \times R_B \times C$$

$$T = 1,38 \times R_B \times C$$

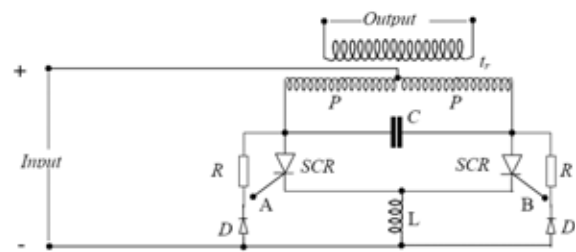
Sehingga frekuensi osilasi  $f = \frac{1}{T}$  (Hz) adalah

$$\text{Jadi : } f = \frac{1}{1,38 \times R_B \times C} \quad (3)$$

Dari persamaan (5) di atas diperoleh besarnya frekuensi osilasi tergantung  $R_B$  dan atau C. Secara teknis lebih mudah dilakukan dengan mengubah tahanan  $R_B$ .

### Inverter

Rangkaian elektronika yang bisa digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi AC disebut *inverter*. Rangkaian *inverter* bisa menggunakan komponen transistor maupun *thyristor SCR* sebagai komponen utama. Bila digunakan transistor daya terbatas tetapi frekuensi tinggi serta tidak perlu rangkaian komutasi. Bila menggunakan *SCR* daya besar frekuensi rendah dan perlu rangkaian komutasi sebagai pemutus *SCR*. Gambar 4 adalah contoh rangkaian *inverter* dengan *SCR*<sup>[1, 4]</sup>.



Gambar 3. Rangkaian *Inverter* dengan SCR

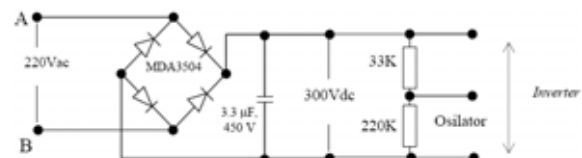
Pada Gambar 3  $SCR_1$  dan  $SCR_2$  disulut bergantian melalui titik A dan titik B oleh sinyal yang dihasilkan osilator *astable multivibrator* pada Gambar 2. Sedangkan pemutusan *SCR* dilakukan oleh rangkaian komutator berupa kapasitor C yang dipasang pada lilitan primer dari transformator. Dengan *SCR* ON dan OFF saling bergantian maka arus dari sumber + (positif) melewati tap tengah (*centertap*) trafo ke primer  $P_1$  dan  $P_2$  saling bergantian. Arus yang mengalir pada sisi primer transformator selalu bergantian atau bolak-balik sehingga dihasilkan tegangan induksi bolak-balik (AC) pada sisi sekunder. Frekuensi dari tegangan induksi tersebut dapat diatur oleh osilator sebagai penyulut dua *SCR* tersebut.

### Perancangan

Perancangan meliputi perencanaan penyearah, osilator, inverter, transformator, sampai dengan pembuatan casing untuk pengaturan kecepatan putar motor induksi satu fase jenis *runing capacitor* dengan daya 120 watt , tegangan 220 VAC, arus 0,7 A, frekuensi 50 Hz dan putaran 2900 rpm.

#### Perancangan Rangkaian Penyearah.

Penyearah direncanakan memakai satu buah dioda bridge. Keluaran dari penyearah dipakai untuk *input* ke ke inverter dan osilator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Penyearah dengan 4 dioda Lengkap dengan Filter dan Pembagi Tegangan

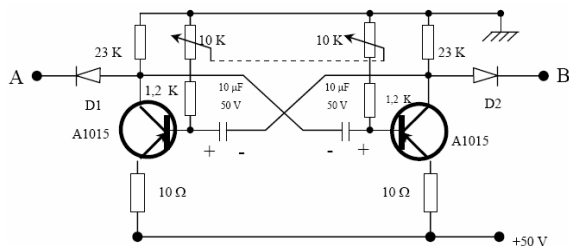
Sebagai penyearah digunakan dioda bridge MDA 3504 dengan kapasitas arus 5 A dan tegangan 400 V, filter dengan kondensator 33  $\mu$ F, 450 V. Tahanan 220 dan 33 K $\Omega$  dimaksudkan untuk memperoleh tegangan

keluaran sebesar 50 V diumpankan ke rangkaian osilator dan untuk arus triger SCR  $\pm 5$  mA.

#### Perancangan Rangkaian Osilator

Rangkaian osilator menggunakan rangkaian *astable multivibrator*, dengan transistor PNP A1015, diharapkan mampu mentrigger SCR yang memerlukan tegangan 2 V, arus  $\pm 5$  mA. Pada titik untuk penyulutan SCR dipasang dioda  $D_1$  dan  $D_2$  rating 1 A, sebagai penahan tegangan balik induksi dari SCR, agar transistor terhindar dari kerusakan.

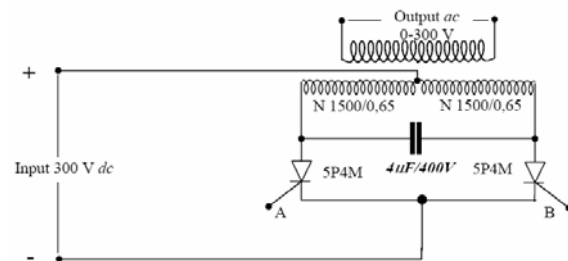
Kondensator  $C_1$  dan  $C_2$  disesuaikan dengan tahanan  $R_{B1}$  dan  $R_{B3}$  untuk memperoleh frekuensi yang diinginkan. Tahanan  $R_B$  terdiri dari tahanan tetap  $R_b$  sebesar 1,2 K $\Omega$  dan tahanan variabel 0 – 10 K $\Omega$  sebagai pengubah frekuensi, sedangkan kapasitor dipilih 10  $\mu$ F. Dengan mengacu pada persamaan 3 maka diperoleh jangkau frekuensi osilator dari 6 sampai dengan 60 Hz.



Gambar 5. Osilator *Astable Multivibrator* dengan Transistor PNP A1015

#### Perancangan Rangkaian *Inveter*.

Inverter dengan komponen utama SCR 5P4M rating arus 5 Ampere, tegangan 400 V. Transformator dengan luas inti 22 cm<sup>2</sup> daya trafo  $\pm 500$  W, nilai aman untuk mensuplai motor 120 W. Setelah dihitung dengan asumsi tegangan primer 300 volt maka lilitan tiap kumparan adalah 750 lilit sehingga jumlah lilitan kumparan primer dan skunder 3 X 750. Bila daya 500 W berarti arus maksimum 1.600 mA, dengan padat arus diambil 5 A/mm<sup>2</sup>, maka kumparan digunakan kawat email diameter 0,65 mm. Untuk komutasi dipasang kondensator non polar 4  $\mu$ F/400V agar 2 SCR bekerja ON dan OFF secara bergantian sebagai *inverter* dengan penyulutan di titik A dan B.



Gambar 6. Rangkaian *Inveter* dengan SCR 5P4M

#### PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian besaran tegangan, arus dan frekuensi keluaran serta putaran dari motor dengan mengubah-ubah tahanan variabel  $R_9$  dan  $R_{10}$  sebagai pengubah frekuensi dari osilator.

Tabel 1. Data Hasil Uji Coba Alat Pengendali Kecepatan Motor Induksi

NO	$R_{B1}$ ( $\Omega$ )	$R_{B2}$ ( $\Omega$ )	$f$ (Hz)	$I_o$ (mA)	$V_o$ (volt)	$n$ (rpm)
1	10.000	10.000	12	200	40	133
2	8.000	8.000	20	200	45	256
3	6.500	6.500	25	250	50	405
4	4.700	4.700	35	250	55	655
5	3.200	3.200	39	350	60	975
6	2.700	2.700	40	350	70	1.180
7	2.200	2.200	42	395	95	1.485
8	2.005	2.000	47	405	100	1.600
9	1.730	1.610	48	430	110	1.930
10	1.620	1.600	61	480	115	2.075
11	1.570	1.520	70	500	125	2.200

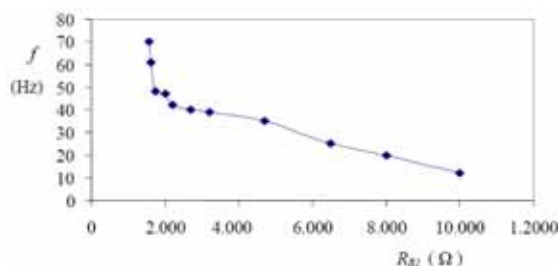
Dari data pada Tabel 1, bila di buat grafik tahanan basis versus frekuensi

keluaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, nampak bahwa frekuensi yang

dihasilkan benar berbanding terbalik dengan besaran tahanan basis ( $R_B$ ) sesuai dengan Persamaan 3, dan penurunannya secara hiperbolis. Begitu juga putaran motor yang dihasilkan naik secara linier terhadap kenaikan frekuensi. Di samping itu kenaikan frekuensi ternyata juga diikuti pula oleh kenaikan tegangan output mengikuti persamaan<sup>[10]</sup>.

$$V = 4,44 f n \Phi \quad (4)$$

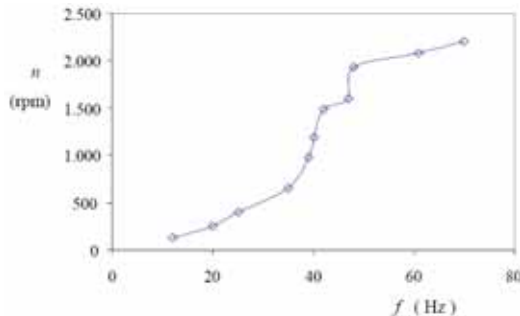
sedangkan tegangan input konstan.



Gambar 7. Kurva  $f$  vs  $R_{B1}$

Keterangan :

$$R_B = R_b + R_v$$



Gambar 8 Kurva  $n$  vs  $f$



Gambar 9. Alat Pengatur Kecepatan Motor Induksi

## KESIMPULAN

Dari rancang bangun dan pengujian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Peralatan yang dibuat dapat berfungsi cukup baik, arus ke motor cukup stabil meskipun kecepatan putar diubah-ubah.
2. Putaran motor bisa diatur dengan mengubah frekuensi dengan cara menggeser tahanan basis  $R_B$ .
3. Motor induksi dapat diatur putarannya dengan jangkauan yang lebar dari 133 rpm dengan frekuensi 12 Hz sampai dengan 2200 rpm pada frekuensi 70 Hz pada keadaan tanpa beban.
4. Perubahan putaran motor bisa benar-benar smooth.

## DAFTAR PUSTAKA

1. GEORGE M. CHUTE, ROBERT D. CHUTE, *Electronics in Industry*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, fifth edition, 1981.
2. SUMANTO, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*, Andi offset Yogyakarta, Edisi pertama, 1993.
3. BARRY G. WOOLLARD, H. KRISTIONO, *Elektronika Praktis*, Pradnya Paramita, Jakarta, cetakan kelima, 2003.
4. WASITO S., *Elektronika Dalam Industri, Karya Utama*, Jakarta, cetakan kedua, 1986.
5. ICHWAN HARYADI, *Televisi Transistor*, Bina ilmu, Surabaya, cetakan pertama, 1985.
6. A.E. FITZGERALD, DJOKO ACHYANTO, *Mesin -Mesin Listrik*, Erlangga, Edisi ke empat, Jakarta, 1992.
7. G. LOVEDAY, *Pengujian Elektronik Dan Diagnosa Kesalahan*, Elex Media komputindo, Jakarta, 1994.
8. A.E. FITZGERALD, PANTUR SILABAN, *Dasar-Dasar Elektro Teknik*, Erlangga, Edisi ke lima, Jakarta, 1984.
9. EDWIN C. LOWENBERG, SUTISNA, *Rangkaian Elektronik*, Erlangga, Edisi SI (Metric), Jakarta, 1995.
10. A.R. MARGUNADI, *Membuat Transformator Kecil*, PT Gramedia, Jakarta 1986

## TANYA JAWAB

### Pertanyaan

1. Rancangan ini untuk kapasitas berapa ?  
(Ari Satmoko-PTRKN)
2. Perubahan frekuensi dilakukan dengan cara bagaimana ? (Ari Satmoko-PTRKN)
3. Apakah cara manual di atas bisa diubah menjadi otomatis dengan proses digital ?  
(Ari Satmoko-PTRKN)
4. Trimakasih ! Mohon apa bila dimungkinkan , saya mendapat makalah lengkap dan di kirim ke satmoko @ batan.go.id(Ari Satmoko-PTRKN)
5. Apa fungsi osilator yang anda gunakan dan bagaimana cara kerjanya ? (Aswin Anwir-STTN)
6. Apakah dimungkinkan dilakukan pada motor 3 fasa ? (Aswin Anwir-STTN)
7. Berapa daya maximum motor yang dapat diatur kecepatannya dengan alat anda ?  
(Aswin Anwir-STTN)
8. Bisakah SCRnya diganti dengan transistor ? Bila bisa apa pengaruh terhadap kinerja alat itu ? (Arief Noor.H-STTN)

### Jawaban

1. Kapasitas maximum 200 watt 220 Volt AC.
2. Perubahan frekuensi secara manual dengan potensiometer stereo  $R_{B 1-2}$
3. Pada prinsipnya bisa diantaranya ditambahkan dengan ADC
4. Soft copy makalah telah dikirim ke yang bersangkutan
5. Fungsi osilator di sini adalah untuk pembangkit frekuensi dan kemudian untuk menyulut inverter agar mengubah tegangan listrik DC menjadi AC.
6. Sangat mungkin dilakukan pada motor 3 fasa, tetapi tentu dengan jumlah dan jenis komponen yang berbeda.
7. Daya motor yang bisa dilayani maximum 200 watt 220 volt AC
8. SCR bisa diganti dengan transistor. Tetapi dengan kapasitas arus yang sama transistor harganya relatif lebih mahal dibanding dengan SCR. Pada daya sampai dengan 500 watt kinerja alat tetap sama namun untuk daya yang lebih besar transistor sulit dilaksanakan.