

Pengaturan Motor Induksi Menggunakan Chopper Pada Rotor Berbasis Komputer

Abdul Haris

Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
aharis@unila.ac.id

Abstrak—Pengaturan kecepatan putaran banyak dilakukan dengan menggunakan piranti elektronika, salah satu contohnya adalah mikrokontroler. Dan untuk mempermudah pengaturannya, mikrokontroler dapat dihubungkan dengan komputer sebagai jembatan antara user dengan motor yang ingin dikendalikan. Motor induksi tipe rotor belitan dapat diatur kecepatannya dengan menggunakan chopper yang terhubung dengan rangkaian rotornya. Dengan pemakaian transistor daya sebagai Chopper-nya, maka pensaklaran dapat dimanipulasi dan dikontrol dengan mudah sesuai keinginan. Piranti pengontrolan dibuat menggunakan mikrokontroler yang berbasis komputer. Pengaturan kecepatan menggunakan rangkaian chopper menghasilkan daerah pengaturan kecepatan yang lebih luas tergantung dari siklus kerja chopper-nya. Sedangkan dengan menggunakan tahanan eksternal konvensional hanya dapat menghasilkan daerah pengaturan kecepatan yang terbatas tergantung pada banyaknya tahanan variabel yang digunakan.

Kata kunci: Motor induksi tipe rotor belitan, mikrokontroler, komputer dan chopper

Abstract—Usually the speed control used the electronic instruments, for example it is based on a microcontroller. For easy controlling, microcontroller is connected to computer as a bridge between user and the motor that is to be controlled. The speed of induction motor for wound rotor type is adjustable by using the chopper that is connected to its rotor circuit. With the use of the power transistor as a chopper, so switching can be manipulated and easy to control. The control instrument is made by using microcontroller that based on computer. The speed control used a chopper circuit results in the wider speed control depending on the duty cycle of the chopper. While by using the conventional external resistor just

results in the speed control area that its condition depends on the variable resistors used.

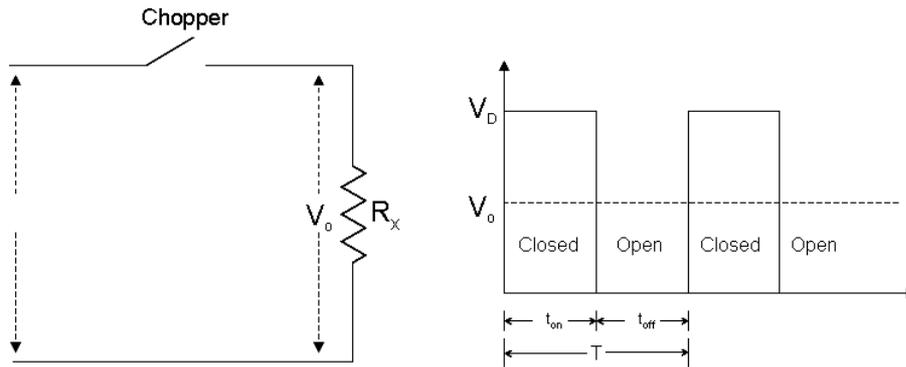
Keywords: Induction motor type wound rotor, microcontroller, computer and chopper.

A. Pendahuluan

Motor lisrik arus bolak-balik adalah motor yang paling banyak digunakan, baik untuk industri maupun rumah tangga. Salah satu motor jenis motor yang paling sering digunakan pada industri adalah motor induksi. Pada penggunaannya, adakalanya dibutuhkan usaha-usaha pengaturan putaran yang diinginkan sesuai dengan jenis-jenis kebutuhan dan penggunaannya. Dikenal beberapa tipe motor induksi antara lain motor induksi dengan rotor sangkar dan motor induksi dengan rotor belitan. Untuk motor jenis rotor belitan salah satu metode pengaturan putaran yang paling mudah diterapkan adalah dengan memberikan pengaturan resistansi eksternal pada rangkaian rotornya.

Seiring dengan pertumbuhan dan perkembangan teknologi dewasa ini, peralatan kontrol juga berkembang dengan pesatnya, salah satu contohnya adalah mikrokontroler. Hal ini membuat banyak industri untuk melakukan perubahan peralatan dari manual ke otomatisasi. Salah satu aplikasi dari penggunaan mikrokontroler yang dilakukan di sini adalah sebagai perangkat pengendalian motor. Implementasi penggunaan mikrokontroler ini dilakukan dengan menggunakan instruksi, operasi aritmatik, operasi logika dan register yang tersedia pada mikrokontroler. Keuntungan penggunaan mikrokontroler ini

Naskah ini diterima pada tanggal 20 September 2008, direvisi pada tanggal 3 Nopember 2008 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Desember 2008

Gambar 1 Prinsip kerja *chopper*

menghasilkan sistem pengendalian yang handal karena dan harga yang relatif murah.

Penggunaan komputer atau alat kontrol lainnya akan sangat mendukung dalam proses produksi dalam suatu industri. Pada penelitian ini, penulis membuat sebuah prototip motor listrik pada industri yang dapat dimonitor dan dikontrol putarannya dari PC (*personal computer*). Penelitian ini dititik beratkan pada kontrol putaran motor induksi tiga fasa tipe rotor belitan.

B. Tinjauan Pustaka

Chopper

Prinsip kerja dari choper ini adalah suatu proses layaknya saklar yang bekerja *switch on* dan *switch off* atau saklar *closed* dan *open* terhadap beban yang terhubung dengan sumber tegangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1. Dengan metode *chopper*, besaran rata-rata atau komponen DC dari tegangan keluaran (V_0) dapat diturunkan dari persamaan berikut :

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T V_0(t) dt$$

$$V_0 = \frac{1}{T} \left(\int_0^{t_{on}} V_d dt - \int_{t_{on}}^T 0 dt \right) \quad (1)$$

Maka

$$V_0 = \frac{t_{on}}{T} V_d = \alpha V_d \quad (2)$$

Dari persamaan 2 terlihat bahwa tegangan keluaran DC dapat diatur besarnya dengan parameter α , di mana parameter α dikenal sebagai siklus kerja (*duty cycle*). Siklus kerja adalah perbandingan antara lamanya *switch* ditutup (t_{on}) dengan perioda T dari pulsa tegangan keluaran.

$$\alpha = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} f \quad (3)$$

Di mana parameter f adalah frekuensi peralihan (*swicthing frequency*) yang digunakan dalam mengoperasikan *swicthing chopper*.

Jika sistem *chopper*-nya terhubung secara *paralel* terhadap beban maka besaran rata-rata atau komponen DC dari tegangan keluaran (V_0) menjadi :

$$V_0 = \frac{1}{T} \left(\int_0^{t_{on}} 0 dt - \int_{t_{on}}^T V_d dt \right)$$

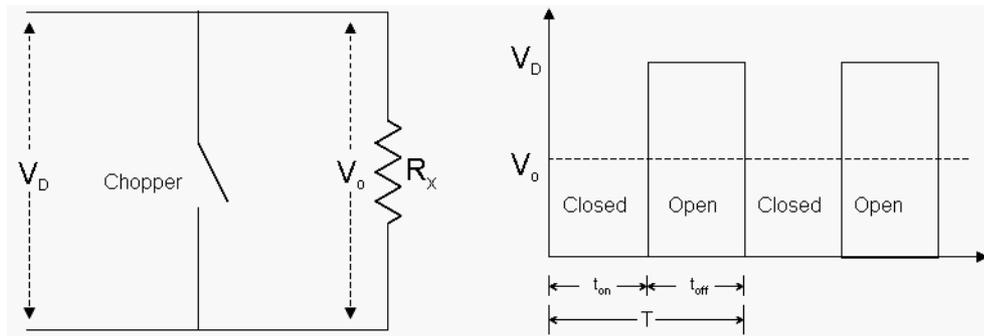
$$V_0 = \frac{t_{off}}{T} V_d = (1 - \alpha) V_d$$

$$V_0 = (1 - \alpha) I \cdot R_x \quad (4)$$

Maka :

$$I = \frac{V_0}{(1 - \alpha) R_x} \quad (5)$$

Rangkaian *chopper* yang terhubung *paralel* dengan tahanan eksternal (R_x) ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Sistem *chopper* terhubung *paralel* terhadap beban

Berdasarkan persamaan 5 resistansi semu (R^*) yang dipengaruhi oleh siklus kerja *chopper* dapat diperoleh sebagai berikut :

$$R^* = (1 - \alpha)R_x \quad (6)$$

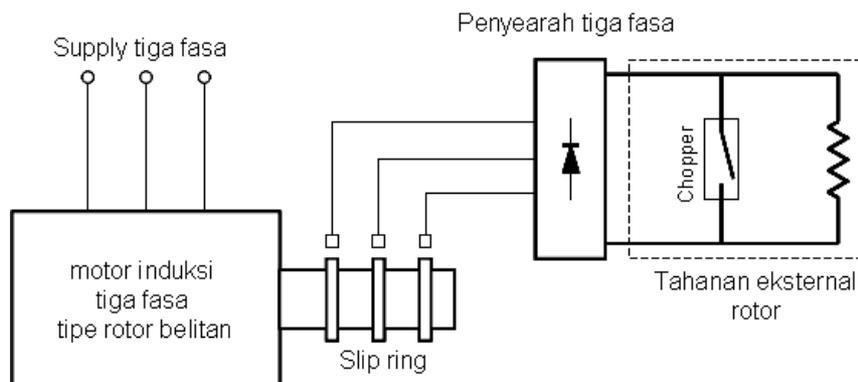
Nilai parameter α di sini adalah sebagai berkisar $0 \leq \alpha \leq 1$.

Pengaturan Tahanan Eksternal Menggunakan *Chopper*

Pengaturan tahanan eksternal dapat dimodifikasi dengan menggunakan penyearah yang terhubung pada *slipring*. Penyearah tiga fasa yang digunakan adalah penyearah tiga fasa gelombang penuh (*fullbridge*). Dengan adanya penyearah ini maka pengaturan kecepatan dapat dilakukan hanya dengan menggunakan satu tahanan eksternal saja. Prinsip kerja pengaturan menggunakan tahanan eksternal

adalah bertujuan untuk pengaturan arus pada rangkaian rotor, sehingga dapat melakukan penurunan nilai tahanan tertentu (R_{ex}) hingga nol dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian *chopper* seperti terlihat pada gambar 3. Dengan memvariasikan siklus kerja *chopper* (α) pada range $0 < \alpha < 1$ maka tahanan efektif (R_s) yang dirasakan motor akan ikut berubah dengan range $R_{ex} \leq R_s \leq 0$ sehingga kecepatan motor dapat diatur dengan adanya perubahan siklus kerja.

Dengan pemakaian transistor pada sistem *chopper*-nya, maka pensaklaran dapat dimanipulasi dan dikontrol dengan mudah sesuai keinginan. Piranti pengontrolan dibuat menggunakan mikrokontroler ATmega8.



Gambar 3 Penempatan Rangkaian *Chopper* pada Motor Induksi

Rangkaian tachometer

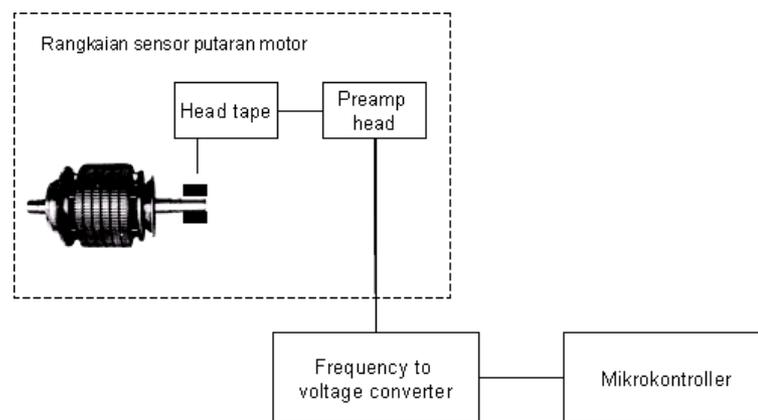
Sebagai sensor untuk membaca kecepatan motor akan digunakan rangkaian dengan komponen sebagai berikut :

- dua buah magnet tetap
- head tape*
- preamp head*

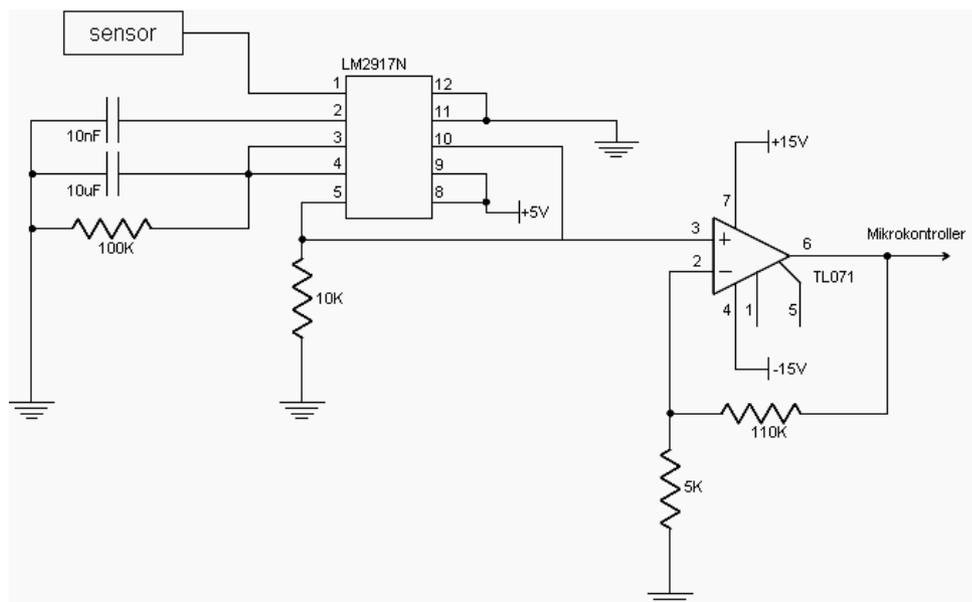
Dua buah magnet diletakkan pada as motor secara horizontal. Medan magnet yang dihasilkan akan berubah-ubah seiring putaran as pada motor. Pola medan magnet

akan direkam oleh *head tape* dan akan dirubah menjadi tegangan listrik.

Output dari rangkaian sensor berupa sinyal frekuensi diubah menjadi tegangan oleh rangkaian pengubah frekuensi menjadi tegangan. Tegangan output rangkaian ini oleh *Analog to Digital Converter (ADC)* diubah menjadi data digital yang akan dibaca oleh komputer. Gambar rangkaian pengubah frekuensi menjadi tegangan dapat dilihat pada gambar 4. ADC yang digunakan adalah ADC internal yang terdapat pada mikrokontroler ATmega8.



Gambar 4 Diagram kerja sensor putaran motor



Gambar 5 Rangkaian *frequency to voltage converter*

Sistem Pengendali Utama

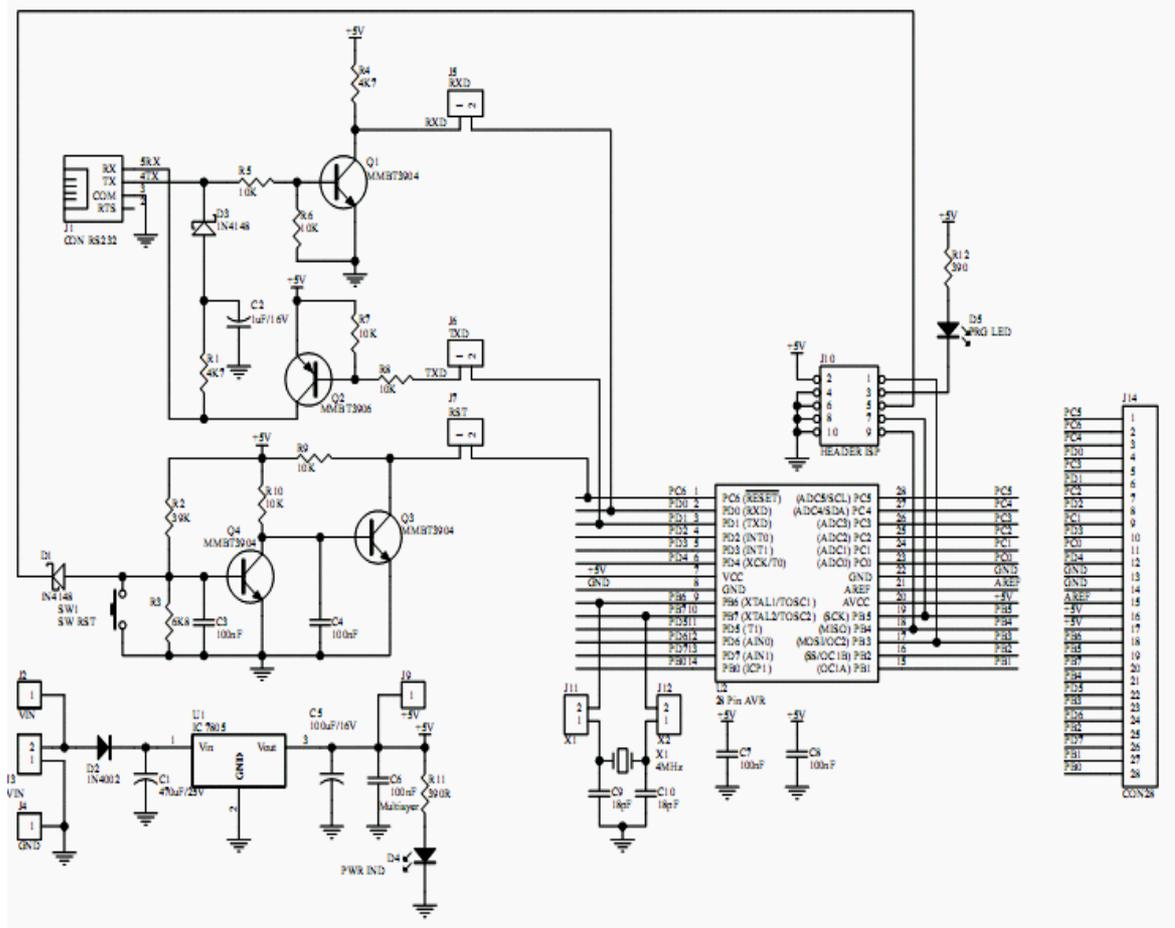
Untuk memudahkan pembuatan sistem pengendali utama, maka dalam penelitian ini akan menggunakan Modul DT-PROTO 28 Pin AVR buatan *innovative electronics*. DT-PROTO 28 Pin AVR merupakan suatu modul *single chip* dengan mikrokontroler ATMega8 dan kemampuan komunikasi *serial* secara UART serta *In-System Programming* (ISP). Pada penelitian ini, modul DT-PROTO 28 Pin AVR berfungsi sebagai komponen pengendali utama dan perangkat komunikasi dengan komputer.

Spesifikasi modul DT-PROTO 28 Pin AVR sebagai berikut :

- a. Mikrokontroler ATMega8 dengan 8Kbyte *Flash memory*, 512byte EEPROM, 1Kbyte internal SRAM, dan

8 channel ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan resolusi 10 bit.

- b. Mendukung varian AVR Analog 28 pin antara lain: AT90S2333, AT90S4433, ATmega28L, ATmega48, ATmega88, dan ATmega168.
- c. Memiliki hingga 23 pin jalur *input/output*.
- d. Tersedia sekitar 773 *pad array*, *non through-hole*.
- e. Terdapat Eksternal *Brown Out Detector* sebagai rangkaian reset.
- f. *LED Programming Indicator*.
- g. Tersedia *Crystal Oscillator* 4 MHz.
- h. Tersedia jalur komunikasi *serial* UART RS-232 dengan konektor RJ11.
- i. Tersedia *Port* untuk Pemrograman secara ISP.
- j. Tegangan *input* 9 – 12 VDC pada VIN dan memiliki tegangan *output* +5V (VCC).



Gambar 6 Rangkaian Pengendali utama (Modul DT-PROTO 28 pin AVR)

Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan dan pembuatan perangkat lunak ini membutuhkan pemahaman dan pengetahuan tentang bahasa assembler dan bahasa pemrograman *Visual Basic* serta tentang protokol komunikasi *serial*. Protokol berfungsi untuk memudahkan identifikasi data dan instruksi antara komputer dan mikrokontroler.

Pemrograman Mikrokontroler.

Perangkat lunak yang direncanakan untuk mikrokontroler ATmega8 mempunyai fungsi sebagai berikut :

- a. Menerima data dan perintah dari PC
- b. Memproses perintah dari PC yang kemudian menjadi masukan bagi rangkaian *chopper* untuk mengatur putaran motor
- c. Menerima output dari rangkaian tachometer yang kemudian diteruskan ke PC
- d.

Pemrograman Komunikasi Serial

Program *interfacing* pada PC menggunakan *Visual Basic* 6.0. Selain sebagai media yang menjembatani *user* dengan *plan software* yang dibuat juga bisa digunakan sebagai *database* untuk merekam semua tindakan yang dilakukan oleh operator, yang nantinya bisa dibuat laporan atau bisa kita cek jika nanti terjadi kesalahan pada pengaturan.

Untuk sistem, tampilan awal adalah *login*. Setelah *login* sukses, maka operator akan masuk ke menu utama. Pada menu utama, operator akan dapat melakukan *controlling* dan *monitoring* putaran motor. Tampilan pada menu utama ini akan berupa layar monitor putaran motor dalam putaran per menit (rpm) dan dua buah tombol pengaturan utama motor, yaitu tombol untuk menambah dan mengurangi putaran. Pada *data base* dapat dilihat nama operator, waktu pengaturan dan kapan saat dia mulai dan berhenti bekerja.

C. Metode Penelitian

Dalam penyelesaian penelitian ini ada beberapa langkah kerja yang dilakukan untuk mencapai hasil akhir yang diinginkan, diantaranya :

- Penentuan spesifikasi rancangan
- Perancangan perangkat keras.
- Perancangan perangkat lunak.
- Pembuatan alat.
- Pengujian alat.

Spesifikasi Rancangan

Pada perancangan ini, rotor dari motor induksi ini akan dihubungkan dengan *chopper* dengan tahanan eksternal, yang mendapat input masukan dari mikrokontroler. Output dari mikrokontroler akan dikuatkan terlebih dahulu dengan rangkaian penguat sebelum masuk ke *chopper*. Referensi kecepatan putaran motor didapatkan dari tachometer yang akan terhubung ke mikrokontroler sebagai pengendali utama. Motor akan dapat dimonitor dan diatur kecepatannya dengan menggunakan komputer.

Pembuatan Alat

Tahapan berikutnya setelah perancangan adalah pembuatan alat berdasarkan rancangan yang telah dibuat tersebut. Adapun beberapa proses yang dilakukan dalam tahapan ini adalah:

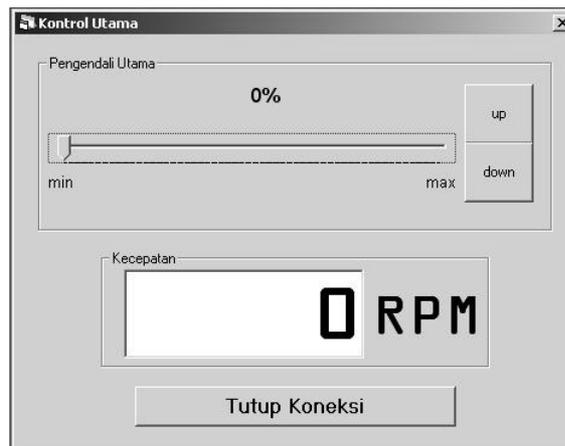
- a. Menuliskan algoritma program ke mikrokontroler.
- b. Membuat *listing* program pada PC.
- c. Menggambar rangkaian elektronik menggunakan komputer dengan bantuan program aplikasi Diptrace.
- d. Memplot hasil gambar rangkaian pada PCB.
- e. Melakukan pemasangan komponen pada PCB.
- f. Melakukan penyolderan terhadap komponen dan PCB.
- g. Membentuk konstruksi alat sesuai dengan bentuk yang telah direncanakan.

Pengujian Alat

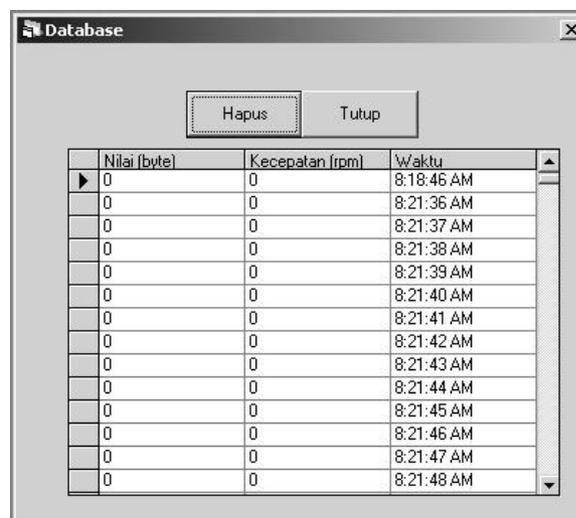
Pengujian terhadap hasil perancangan dan realisasi pengaturan putaran motor induksi tiga fasa tipe rotor belitan ini dilakukan untuk rangkaian dan programnya. Pada pengujian perangkat keras dilakukan dua kali pengujian yaitu pengujian per blok rangkaian dan pengujian rangkaian secara keseluruhan. Pengujian per blok bertujuan agar kesalahan pada rangkaian dapat diketahui lebih cepat dan jelas. Sedangkan pengujian keseluruhan dimaksudkan untuk mengetahui alat yang dibuat berhasil atau tidak dan apakah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

D. Hasil Dan Pembahasan Perangkat Lunak Pemrograman pada Komputer

Perangkat lunak dalam penelitian ini merupakan perangkat yang digunakan untuk memberikan perintah kepada mikrokontroler, mengolah data dan menyimpannya dalam bentuk *database file* dan menampilkan data dalam bentuk laporan. Perangkat lunak ini dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic 6.0* dan *Microsoft Access 2003*. Perangkat lunak ini memiliki tampilan seperti gambar 7 hingga gambar 9.



Gambar 7 Tampilan jendela kontrol utama program aplikasi.



Gambar 8 Tampilan jendela database.

Nilai	Kecepatan	Waktu
42	662	23:19:15
42	556	23:19:16
42	644	23:19:17
42	768	23:19:18
42	697	23:19:19
42	759	23:19:20
42	626	23:19:21
42	671	23:19:22
42	741	23:19:23
42	715	23:19:24
42	574	23:19:25
42	741	23:19:26
42	882	23:19:27
42	741	23:19:28
42	706	23:19:29
42	574	23:19:30
42	582	23:19:31
42	715	23:19:32
42	671	23:19:33
42	618	23:19:34
42	759	23:19:35
42	574	23:19:36
42	741	23:19:37
42	679	23:19:38
42	618	23:19:39

Gambar 9 Format laporan data pengaturan kecepatan motor

Program utama aplikasi menggunakan komponen *slider* yang dijadikan alat untuk menentukan nilai yang akan dikirim ke mikrokontroler. Jika terjadi perubahan nilai pada *slider* ini, maka program akan mengirimkan data nilai *slider* ini melalui *port serial*. Slider diatur untuk menghasilkan nilai dari 0 sampai 255, atau 8 bit dalam biner. Nilai sampai dengan 255 ini disesuaikan dengan pemrograman pada mikrokontroler yang menggunakan PWM 8 bit.

Sedangkan program untuk tampilan kecepatannya menggunakan interupsi yang terdapat pada *port serial*. Terdapat banyak interupsi yang terjadi pada *port serial*, tetapi yang digunakan pada program ini adalah interupsi jika menerima data (*comEvReceive*) dari mikrokontroler saja. Ketika *port serial* menerima data, program

interupsi dijalankan, yaitu berupa pengambilan data, kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data oleh program dan kemudian ditampilkan pada layar monitor.

Pemrograman pada Mikrokontroler

Komunikasi yang terjadi pada Penelitian ini merupakan komunikasi dua arah (*full duplex*) yaitu dari mikrokontroler ke komputer dan sebaliknya. Komunikasi dari mikrokontroler ke komputer yaitu berupa pengiriman hasil konversi ADC dari rangkaian sensor kecepatan. Rutin ADC ini merupakan rutin utama dalam program mikrokontroler ini.

Pada penelitian ini digunakan *interrupt* internal USART Rx *Complete* yang akan memanggil subrutin terima. Subrutin terima akan memasukkan nilai yang diterima dari komputer ke OCR1A, yaitu

register yang dijadikan *input* referensi bagi keluaran PWM.

Perangkat Keras

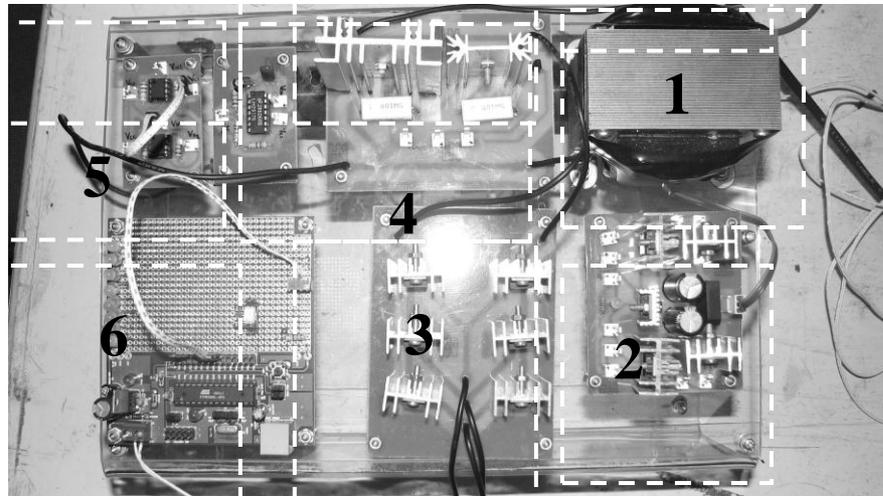
Hasil dari perancangan perangkat keras pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 10. Pengujian rangkaian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kinerja pada rangkaian dari masing-masing blok sistem. Pengujian terdiri dari pengujian sensor kecepatan (*tachometer*), dan pengujian pengaturan kecepatan. Blok-blok diagram tersebut diuji untuk mengetahui apakah setiap blok sistem

dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang spesifikasi yang diharapkan.

Pengujian Kecepatan Motor Induksi dengan Menggunakan *Chopper* pada sisi Rotor

Pengaturan dengan Menggunakan Tahanan Eksternal Konvensional

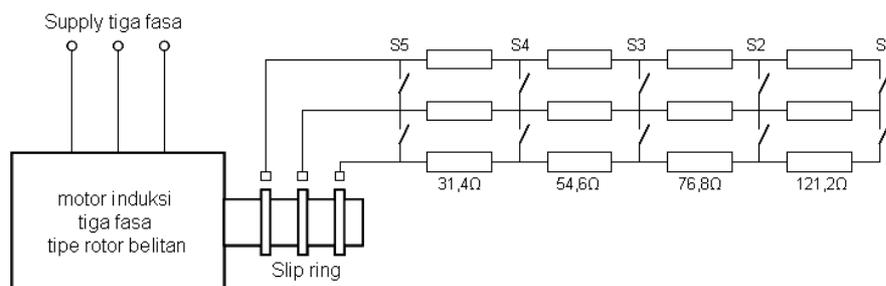
Pada pengujian ini, dilakukan pengaturan dengan tahanan eksterral konvensional yang terdapat pada Laboratorium Konversi Energi Elektrik. Perangkat tahanan variabel tersebut adalah suatu tahanan dengan nilai-nilai tertentu yang dihubung seri.



Gambar 10 Rangkaian perangkat keras

Keterangan:

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. Transformator | 4. Rangkaian <i>Chopper</i> dan penguat |
| 2. Rangkaian <i>Power Supply</i> | 5. Rangkaian sensor kecepatan dan penguat |
| 3. Rangkaian penyearah | 6. Rangkaian pengendali utama |



Gambar 11 Pengaturan menggunakan tahanan variabel

Tabel 1 Data hasil percobaan pengaturan menggunakan tahanan konvensional

Saklar	R (Ω)	$V_{(L-N)}$ (V)	I_{rotor} (A)	Kecepatan (rpm)
1	284	100	0,18	1300
2	162,8	100	0,18	1650
3	86	100	0,2	2250
4	31,4	100	0,2	2550
5	0	100	0,2	2700

Terdapat lima kondisi saklar pada perangkat tahanan variabel tersebut, yaitu :

- Kondisi saklar pada posisi 1, tahanan yang diterima masing-masing *slipring* adalah sebesar 284 Ω .
- Kondisi saklar pada posisi 2, tahanan yang diterima masing-masing *slipring* adalah sebesar 162,8 Ω .
- Kondisi saklar pada posisi 3, tahanan yang diterima masing-masing *slipring* adalah sebesar 86 Ω .
- Kondisi saklar pada posisi 4, tahanan yang diterima masing-masing *slipring* adalah sebesar 31,4 Ω .
- Kondisi saklar pada posisi 5, tahanan yang diterima masing-masing *slipring* adalah sebesar 0 Ω , atau *slipring* dihubung singkat.

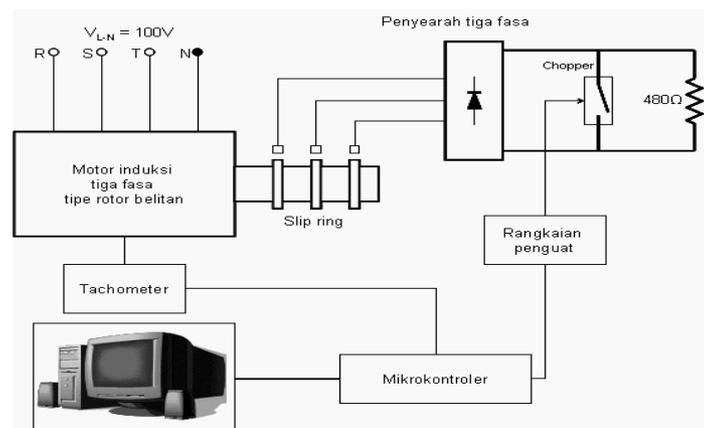
Pengujian dilakukan dengan memberikan

sumber tegangan sebesar 100V dan hubung *wye* pada belitan statornya.

Pengaturan dengan Menggunakan Chopper

Pengujian dilakukan dengan menggunakan komputer sebagai pengendali kecepatannya. Tegangan PWM keluaran mikrokontroler akan dikuatkan oleh rangkaian penguat untuk dapat mengaktifkan *chopper*. Sedangkan siklus kerja (*duty cycle*) PWM mikrokontroler tidak diubah, sehingga siklus kerja PWM mikrokontroler akan sama dengan siklus kerja *chopper*.

Sumber tegangan yang diberikan pada rangkaian stator yaitu sebesar 100V dengan hubung *wye* dan tahanan eksternal yang digunakan sebesar 480 Ω .



Gambar 12 Pengaturan dengan menggunakan Chopper

Tabel 2 Data hasil pengaturan dengan menggunakan *Chopper*

<i>duty cycle</i> (%)	Iac (A)	Vdc (V)	Idc (A)	Kecepatan (rpm)
0	0.21	117.3	0.25	0
10	0.22	106.6	0.22	220
20	0.24	93.3	0.2	360
30	0.24	80.2	0.15	750
40	0.24	63.7	0.13	1050
50	0.24	49.2	0.1	1350
60	0.24	37	0.08	1650
70	0.22	26.76	0.06	1950
80	0.22	17.04	0.04	2250
90	0.2	2.39	0.02	2500
100	0.18	0	0	2700

Tabel 3 Resistansi semu akibat siklus kerja *chopper*

<i>duty cycle</i> (%)	Vdc (V)	Idc (A)	Rs (Ω)	Kecepatan (rpm)
0	117.3	0.25	469	0
10	106.6	0.22	485	220
20	93.3	0.2	467	360
30	80.2	0.15	535	750
40	63.7	0.13	490	1050
50	49.2	0.1	492	1350
60	37	0.08	463	1650
70	26.76	0.06	446	1950
80	17.04	0.04	426	2250
90	2.39	0.02	120	2500
100	0	0	0	2700

Siklus kerja *chopper* akan mempengaruhi nilai momen dan kecepatan yang ditimbulkan oleh suatu motor induksi tipe rotor belitan. Karena semakin besar nilai siklus kerja *chopper*, resistansi semu yang dilihat dari sisi penyearah akan semakin mengecil. Hal ini dirasakan oleh motor sebagai nilai resistansi eksternal rotor yang semakin kecil. Begitu pula sebaliknya, jika semakin kecil nilai siklus kerja *chopper*, maka dirasakan oleh motor induksi sebagai nilai resistansi eksternal rotor yang semakin membesar. Sehingga pengaturan motor induksi dengan menggunakan *chopper* pada rangkaian rotor dapat dilakukan. Nilai resistansi semu (R_s) ini dapat diketahui dengan membagi

tegangan keluaran dari penyearah dengan arus yang dihasilkan. Di mana hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel 3.

$$R_s = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \quad (7)$$

di mana :

R_s = Resistansi semu (Ω)

Vdc = Tegangan keluaran penyearah (DC)

Idc = Arus keluaran penyearah (A).

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa dengan menggunakan tahanan eksternal konvensional hanya dapat menghasilkan daerah pengaturan kecepatan yang terbatas tergantung pada banyaknya variabel resistansi yang digunakan. Sedangkan

dengan menggunakan rangkaian *chopper* akan didapatkan daerah pengaturan kecepatan yang lebih luas tergantung dari siklus kerja *chopper*-nya.

Karakteristik torka kecepatan dari sebuah motor sangat penting sebagai acuan penggunaannya dalam situasi tertentu. Untuk menghitung torka dari hasil pengujian ini, kita harus mengetahui daya mekanik motor tersebut. Daya mekanik motor dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$P_m = 3 \frac{1-s}{s} R_2' |I_1|^2 \quad (8)$$

Dan torka motor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$P_m = T_m \omega_m \quad (9)$$

$$T_m = \frac{3}{\omega_m} \left(\frac{1-s}{s} \right) R_2' |I_1|^2 \quad (10)$$

Dengan $\omega_m = \omega_{syn}(1-s)$, T_m dapat diturunkan menjadi :

$$T_m = \frac{3}{\omega_{syn}} \frac{R_2'}{s} |I_1|^2 \quad (11)$$

Di mana :

P_m = Daya mekanik

$$\omega_{syn} = 2\pi f \quad (12)$$

s = slip

I_1 = Arus stator

Diketahui bahwa $R_{rotor}(dc) = 31,6 \Omega$, maka dengan menggunakan persamaan :

$$R_{ac} = 1,6R_{dc} \quad (13)$$

Didapatkan nilai $R_{rotor}(ac) = 50,56 \Omega$.

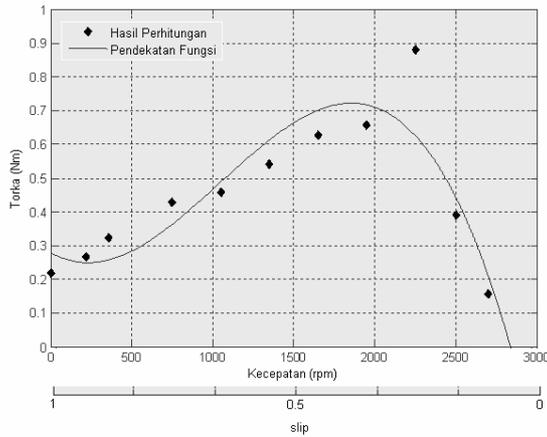
$$R_2' = (R_{rotor}(ac) + R_s) \left(\frac{N1}{N2} \right)^2 \quad (14)$$

Dengan $(N1 : N2) = 1$, maka :

$$R_2' = (R_{rotor}(ac) + R_s) \quad (15)$$

Tabel 4 Tabel hasil perhitungan karakteristik torka kecepatan

duty cycle (%)	I_{ac} (A)	R_2' (ohm)	s	T (Nm)	Rpm
0	0,21	519,56	1	0,21891	0
10	0,22	535,56	0,9266667	0,267252	220
20	0,24	517,56	0,88	0,323662	360
30	0,24	585,56	0,75	0,429659	750
40	0,24	540,56	0,65	0,457662	1050
50	0,24	542,56	0,55	0,542874	1350
60	0,24	513,56	0,45	0,628048	1650
70	0,22	496,56	0,35	0,656056	1950
80	0,22	476,56	0,25	0,881484	2250
90	0,2	170,56	0,1666667	0,391093	2500
100	0,18	50,56	0,1	0,156511	2700



Gambar 13 Grafik Torka – Kecepatan

Berdasarkan pengolahan dan perhitungan data, diketahui bahwa torka maksimal motor didapatkan pada saat tahanan semu motor bernilai 420Ω .

E. Kesimpulan

Dari serangkaian penelitian, pengujian, dan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Siklus kerja *chopper* mempengaruhi kecepatan yang dihasilkan oleh suatu motor induksi tipe rotor belitan. Semakin besar siklus kerja *chopper*, resistansi semu pada rangkaian rotor semakin mengecil sehingga motor akan merasakan resistansi eksternal rotor yang semakin kecil pula.
2. Pada pengaturan kecepatan menggunakan rangkaian *chopper* dihasilkan daerah pengaturan kecepatan yang lebih luas tergantung dari siklus kerja *chopper*-nya. Sedangkan dengan menggunakan tahanan eksternal konvensional hanya dapat menghasilkan daerah pengaturan kecepatan yang terbatas tergantung pada banyaknya variabel resistansi yang digunakan.

3. Perbandingan kecepatan motor terhadap tegangan yang dihasilkan sensor putaran yaitu sebesar 538,62 rpm/Volt.
4. Komputer dan mikrokontroler dapat mempermudah pengendalian motor induksi tiga fasa tipe rotor belitan menggunakan *chopper* pada sisi rotornya.

Daftar Pustaka

- [1]. Chapman, Stephen J., 1998, "Electric Machinery Fundamental". McGraw-Hill, United States of America.
- [2]. Malvino, Albert Paul., Alih bahasa : Hanapi Gunawan, 1999, "Prinsip-prinsip Elektronika", edisi kedua. Penebit Erlangga, Jakarta.
- [3]. Retna Prasetia, dkk, 2004, "Interfacing Port Paralel dan Port Serial Komputer dengan Visual Basic 6.0.", Penerbit Andi. Yogyakarta.
- [4]. Sen, Paresh C, 1997, "Principles of Electric Machines and Power Electronics", second edition. John Wilyes & Sons Inc, Canada.
- [5]. Tridianto, Erik., 2007, "Remote Programable Valve Menggunakan Motor DC (software)". Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- [6]. Wardhana, Lingga, 2006, "Belajar Sendiri Mikrokontroler Seri ATmega8535". Penerbit Andi. Yogyakarta

SANWACANA

Ucapan terimakasih kepada Bapak Yulianto Raharjo, Ahmad Fauzan dan Yandri Adriadi atas bantuannya dalam penelitian ini.