

Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Berbasis *Backpropagation*

Erwin Dwi Nurdiansyah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: erwindn1808@gmail.com

Subuh Isnur Haryudo

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: unesasubuh@gmail.com

Abstrak

Motor induksi digunakan secara luas pada bidang industri. Tugas akhir ini bertujuan menggunakan jaringan syaraf tiruan sebagai pengendali kecepatan motor induksi satu fasa. Jaringan syaraf tiruan yang digunakan mempunyai lapisan banyak yang terhubung dan dilatih dengan algoritma *backpropagation*. Masukan jaringan adalah *output* kecepatan, selisih antara referensi kecepatan dan *output* kecepatan (*error*), dan arus vektor q . Pada percobaan dilakukan variasi parameter untuk diperoleh kinerja yang optimal. Kemudian dilakukan percobaan pada kondisi kerja untuk mengetahui dari jaringan yang dirancang. Dengan menggunakan laju pembelajaran $\alpha = 0,01$, struktur jaringan 4 – 25 -1, dapat diperoleh MSE yang terkecil. Pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa berbasis PID menggunakan Arduino Uno sebagai sinyal pemicu pada *gate triac*. Pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa berbasis PID menggunakan Arduino Uno sebagai sinyal pemicu pada *gate triac*. Perancangan *hardware* ini di uji dengan berbagai beban. Pada pengujian tanpa beban motor berputar dengan kecepatan rata-rata 2133,22 rpm menunjukkan tegangan sebesar 190 Volt. Semakin berat beban yang dipasangkan pada poros motor, tegangan akan semakin besar. Sampai pada beban dengan berat 0,6 kg kecepatan rata-rata motor menjadi 2115,29 rpm dan tegangannya 214 Volt.

Kata Kunci: Motor induksi, pengendali kecepatan, jaringan syaraf tiruan *backpropagation*, PID.

Abstract

Induction motor is used widely in industries. This thesis has the aim using artificial neural network as control speed of single phasa induction motor. Artificial neural network that being used are multilayer that connected and trained with backpropagation algorithm. The network input are output speed, the difference between speed reference and output speed (*error*), and vector- q current. In the experiment, carried out parameters variation to obtain optimal performance. Further, experiments of some working conditions to determine the ability that has been designed. By using learning rate $\alpha = 0,01$, structure of network 4 – 25 – 1, can be obtained the smallest value of MSE. Speed control of single phasa induction motor based on PID using Arduino Uno as trigger to the triac gate. Design of this hardware is tested with variation load. On this test without load, average speed of motor is 2133,22 rpm, the voltage is 190 Volt. The heavy the load that set on the motor axis, the value of voltage will rise. On load with 0,6 kg, the average speed of motor is 2115,29 rpm and the voltage is 214 Volt.

Keywords: Induction motor, speed control, neural network backpropagation, PID.

Universitas Negeri Surabaya

PENDAHULUAN

Motor induksi saat ini lebih banyak digunakan dalam dunia industri maupun peralatan rumah tangga dari pada motor DC. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan motor DC seperti lebih tangguh, lebih efisien, lebih murah dari segi perbaikan selain itu juga lebih murah biaya, berat, dan *volume* (Andhika Giyantara, 2010). Pada tugas akhir ini akan menggunakan motor induksi satu fasa. Motor ini digunakan untuk berbagai macam peralatan dalam rumah tangga, kantor, toko, dan pabrik (industri), seperti mesin

cuci, kipas angin, pompa air, mesin pendingin (kulkas), *blender* dan *mixer*.

Pada prinsipnya motor induksi dioperasikan pada kecepatan konstan, bila beban berubah kecepatan motor juga akan berubah. Karena itu untuk mempertahankan agar kecepatan tetap konstan maka tegangan dan frekuensi harus diatur (Anwar Husnawan, 2008). Pada aplikasinya motor induksi satu fasa terkadang harus bekerja pada beban bervariasi, oleh karena itu diperlukan suatu sistem kontrol yang dapat beradaptasi jika beban pada *plant* berubah. Agar didapatkan unjuk kerja yang diharapkan dari motor induksi satu fasa diperlukan sistem kontrol

salah satunya menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) atau *Neural Network*.

Jaringan syaraf tiruan yang digunakan ialah jenis *Backpropagation* karena membuat sistem ini *robust* untuk variasi parameter (Muhammad H. Rashid, 2011). *Backpropagation* terdiri dari *input*, lapis tersembunyi dan *output*, berbeda dengan *perceptron* yang tidak mempunyai lapis tersembunyi. Dengan menambahkan satu atau dua lapis tersembunyi, *backpropagation* mempunyai kelebihan untuk mengenali pola. *Backpropagation* melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan (Jong Jek Siang, 2009). Penggunaan *backpropagation* adalah untuk mengantisipasi atau memperbaiki kesalahan (*error*) yang terjadi pada sistem (*plant*) yang diakibatkan oleh adanya perubahan parameter. Untuk melengkapi proses kontrol kecepatan motor induksi, digunakan sebuah inverter PWM. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan frekuensi variabel dengan konstanta tegangan dan frekuensi dalam mengendalikan kecepatan motor yang diberikan pada *input*.

Metode *Backpropagation* untuk mengatur kecepatan motor induksi lebih adaptif. Kecepatan dihasilkan pada kecocokan bobot terhadap kecepatan. Motor tidak dapat mengikuti kecepatan referensi selama motor berputar pada kecepatan kurang dari 500 rpm. Kendali ini bekerja sangat baik pada kecepatan di atas 500 rpm. Bagaimanapun juga metode ini sangat bagus kecuali pada kecepatan rendah (Muhammad H. Rashid, 2011).

Oleh karena itu, metode *backpropagation* untuk mengendalikan kecepatan motor induksi satu fasa bertujuan mengatasi permasalahan di atas. Untuk mengetahui unjuk kerja *backpropagation*, kendali ini akan dibandingkan dengan kendali PID. Kendali *backpropagation* akan disimulasikan menggunakan *software MATLAB 2012*. Simulasi kendali *backpropagation* pada motor induksi satu fasa akan dijalankan dalam kondisi yang bervariasi dengan mengukur *overshoot*, *rise time*, *settling time*, dan *steady state error*. Penulis juga membuat rancang bangun kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan kendali PID untuk mengetahui unjuk kerja kontrol PID secara *real time*.

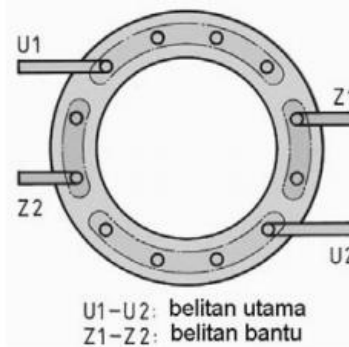
KAJIAN PUSTAKA

Motor Induksi Satu Fasa

Motor satu fasa umumnya dibuat dengan daya yang kecil (*fractional horse power*), konstruksinya juga relatif sederhana, walaupun demikian motor jenis ini tidak terlalu mudah untuk dianalisa. Motor satu fasa banyak digunakan pada peralatan rumah tangga dan industri, seperti *refrigerator*, pompa air, mesin cuci, mesin jahit, dan lain-

lain. Motor induksi satu fasa biasanya dilengkapi saklar sentrifugal yang diperlukan saat pengasutan, saklar akan memutuskan suplai tegangan ke kumparan bantu setelah motor mencapai kecepatan 75% s.d 100% dari kecepatan nominal motor. (Prih Sumardjati, 2008)

Konstruksi motor induksi satu fasa terdiri atas dua komponen yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari motor yang tidak bergerak dan rotor adalah bagian yang bergerak. Motor induksi terdiri atas kumparan-kumparan stator dan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak-balik satu fasa yang melewati kumparan-kumparan tersebut sehingga terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor (Sofwan, 2004). Pada motor satu fasa memiliki 2 belitan stator yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2) seperti ditunjukkan pada gambar 1 di bawah.



Gambar 1: Belitan bantu dan belitan utama

Belitan utama menggunakan penampang kawat tembaga lebih besar sehingga memiliki impedansi lebih kecil. Sedangkan belitan bantu dibuat dari tembaga berpenampang kecil dan jumlah belitannya lebih banyak, sehingga impedansinya lebih besar dibanding impedansi belitan utama (Siswoyo, 2008).

Persamaan kecepatan medan putar motor induksi adalah:

$$N_s = \frac{f \cdot 120}{p} \quad (1)$$

Terjadinya perbedaan antara dua kecepatan disebut sebagai *slip*.

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

N_s : Kecepatan stator (rpm)

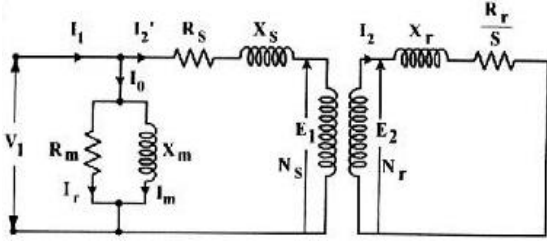
N_r : Kecepatan rotor (rpm)

S : *Slip* motor

f : Frekuensi (Hz)

p : Jumlah kutub motor

Motor induksi pada dasarnya merupakan *transformator* dengan kumparan sekunder (rotor) yang berputar, oleh karena itu rangkaian pengganti motor induksi serupa sebagaimana *transformer* ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2: Rangkaian pengganti motor induksi motor satu fasa

Persamaan dari model motor induksi satu fasa ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \lambda_{qs} \quad (3)$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \lambda_{ds} \quad (4)$$

$$V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + \frac{d}{dt} \lambda'_{qr} - \left(\frac{N_s}{N_r}\right) \omega_r \lambda'_{dr} \quad (5)$$

$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d}{dt} \lambda'_{dr} - \left(\frac{N_s}{N_r}\right) \omega_r \lambda'_{qr} \quad (6)$$

$$T_e = p \left(\frac{N_s}{N_r}\right) \lambda'_{qr} i'_{dr} - \left(\frac{N_s}{N_r}\right) \lambda'_{dr} i'_{qr} \quad (7)$$

$$\lambda_{qs} = L_{ss} i_{qs} + L_{ms} i'_{qr} \quad (8)$$

$$\lambda_{ds} = L_{ss} i_{ds} + L_{ms} i'_{dr} \quad (9)$$

$$\lambda'_{qr} = L'_{rr} i'_{qr} + L_{ms} i_{qs} \quad (10)$$

$$\lambda'_{dr} = L'_{rr} i'_{dr} + L_{ms} i_{ds} \quad (11)$$

$$L_{ss} = L_{ls} + L_{ms} \quad (12)$$

$$L_{ss} = L_{ls} + L_{ms} \quad (13)$$

$$L'_{rr} = L'_{lr} + L_{ms} \quad (14)$$

$$L'_{rr} = L'_{lr} + L_{ms} \quad (15)$$

Adapun persamaan sistem mekanik dari model motor induksi berikut:

$$\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{T_e - F \omega_m - T_m}{2H} \quad (16)$$

$$\frac{dy}{dx} \theta_m = \omega_m \quad (17)$$

Keterangan:

V_{qs} : Tegangan stator vektor q (V)

V_{ds} : Tegangan stator vektor d (V)

V'_{qr} : Tegangan rotor vektor q (V)

V'_{dr} : Tegangan rotor vektor d (V)

i_{qs} : Arus stator vektor q (A)

i_{ds} : Arus stator vektor d (A)

i'_{qr} : Arus rotor vektor q (A)

i'_{dr} : Arus rotor vektor d (A)

R_s : Resistansi stator belitan utama (Ω)

R_s : Resistansi stator belitan bantu (Ω)

R'_r : Resistansi rotor belitan utama (Ω)

R'_R : Resistansi rotor belitan bantu (Ω)

λ_{qs} : Fluks stator vektor q (Wb)

λ_{ds} : Fluks stator vektor d (Wb)

λ'_{qr} : Fluks rotor vektor q (Wb)

λ'_{dr} : Fluks rotor vektor d (Wb)

ω_r : Kecepatan angular motor (rpm)

T_e : Torsi elektromagnetik (N.m)

p : Jumlah kutub

N_s : Jumlah belitan bantu

N_r : Jumlah belitan utama

L_{ss} : Induktansi belitan utama stator (H)

L_{ms} : Induktansi magnet belitan utama (H)

L_{SS} : Induktansi belitan bantu stator (H)

L_{mS} : Induktansi magnet belitan bantu (H)

L'_{rr} : Induktansi belitan utama rotor (H)

L'_{RR} : Induktansi belitan bantu rotor (H)

L_{ls} : Induktansi *leakage* belitan utama stator (H)

L_{lS} : Induktansi *leakage* belitan bantu stator (H)

L'_{lr} : Induktansi *leakage* belitan utama rotor (H)

L'_{lR} : Induktansi *leakage* belitan bantu rotor (H)

ω_m : Kecepatan *angular* rotor (rpm)

F : Kombinasi rotor dan efisiensi pergesekan beban

T_m : Torsi mekanik

H : Kombinasi rotor dan beban inersia

θ_m : Posisi *angular* rotor

Jaringan Syaraf Tiruan

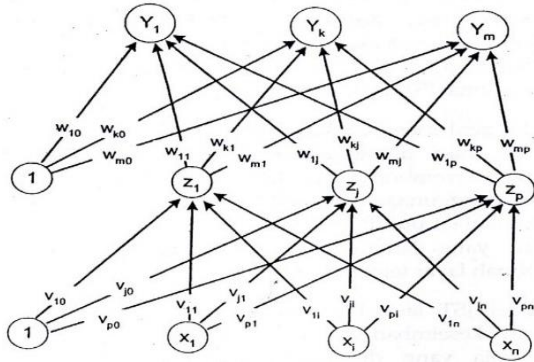
Neural Network atau yang biasa disebut dengan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) adalah suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf biologi. JST dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi, dengan asumsi bahwa:

- Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (*neuron*).
- Sinyal di kirim diantara *neuron-neuron* melalui penghubung-penghubung.
- Penghubung antar *neuron* memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal.
- Untuk menentukan *output*, setiap *neuron* menggunakan fungsi aktivasi (biasanya bukan fungsi linier) yang dikenakan pada jumlahan *input* yang diterima. Besarnya *output* ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang (Jong Jek Siang, 2009).

Backpropagation

Jaringan syaraf tiruan dengan lapis tunggal memiliki keterbatasan dalam pengenalan pola. Dengan *backpropagation* kelemahan ini dapat ditanggulangi

dengan menambahkan satu atau beberapa lapis tersembunyi diantara lapis masukan dan keluaran seperti ditunjukkan pada gambar 3 di bawah.



Gambar 3: Arsitektur *Backpropagation*

Secara garis besar, mengapa algoritma ini disebut sebagai propagasi balik, karena ketika JST diberikan pola masukan sebagai pola pelatihan maka pola tersebut menuju ke unit-unit pada lapis tersembunyi untuk diteruskan ke unit-unit lapis keluaran. Kemudian unit-unit lapis keluaran memberikan tanggapan yang disebut sebagai keluaran JST. Saat keluaran JST tidak sama dengan keluaran yang diharapkan maka keluaran akan disebarkan mundur (*backward*) pada lapis tersembunyi diteruskan ke unit pada lapis masukan. Oleh karenanya maka mekanisme pelatihan tersebut dinamakan *backpropagation* (propagasi balik).

Backpropagation memiliki beberapa unit yang ada dalam satu atau lebih lapis tersembunyi (*hidden layer*). Gambar 3 adalah arsitektur *backpropagation* dengan n buah masukan (ditambah sebuah bias), sebuah lapis tersembunyi yang terdiri dari p unit (ditambah sebuah bias), serta m unit keluaran.

V_{ji} merupakan bobot garis dari unit masukan x_i ke unit lapis tersembunyi z_j (v_{j0} merupakan bobot garis yang menghubungkan bias di unit masukan ke unit lapis tersembunyi z_j). W_{kj} merupakan bobot dari unit lapis tersembunyi z_j ke unit keluaran y_k (w_{k0} merupakan bobot dari bias di lapis tersembunyi ke unit keluaran z_k).

Dalam *backpropagation* fungsi aktivasi yang digunakan ialah:

- a. Fungsi *sigmoid biner* dengan *range* (0,1)

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (18)$$

- b. Fungsi *sigmoid bipolar* dengan *range* (1,1)

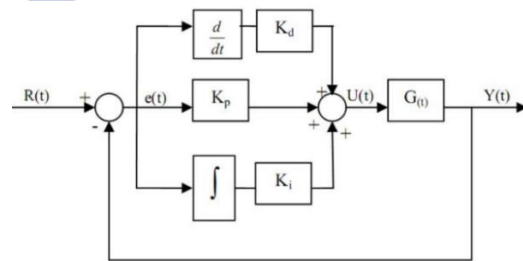
$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-x}} - 1 \quad (19)$$

- c. Fungsi identitas

$$f(x) = x \quad (20)$$

Kontrol PID

Kontrol PID adalah kontrol yang banyak digunakan karena sistem ini merupakan sistem kontrol loop tertutup yang cukup sederhana seperti ditunjukkan pada gambar 4. Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter K_p , K_i atau K_d agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan (Muhamad Ali, 2004).



Gambar 4: Diagram blok PID

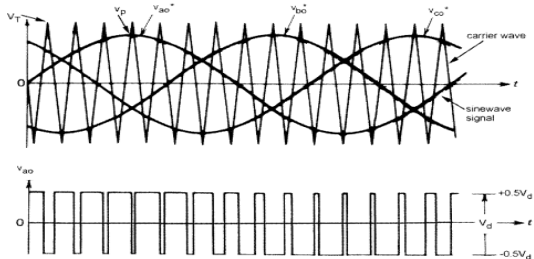
Untuk merancang sistem kontrol PID, kebanyakan dilakukan dengan metoda coba coba (*trial & error*). Hal ini disebabkan karena parameter K_p , K_i dan K_d tidak *independent*. Untuk mendapatkan aksi kontrol yang baik diperlukan langkah coba-coba dengan kombinasi antara P, I dan D sampai ditemukan nilai K_p , K_i dan K_d seperti yang diinginkan.

Pulse Width Modulation (PWM)

Kebutuhan untuk mengatur kecepatan motor induksi dengan menggunakan pengaturan frekuensi dapat diterapkan pada tegangan dan arus. Penerapan ini harus menghasilkan distorsi yang sekecil mungkin. Hal ini dapat diatasi apabila inverter yang digunakan dapat menghasilkan gelombang sinusoidal. Kebutuhan yang sangat ideal pada saat ini adalah dengan menerapkan suatu sistem penyelidikan terhadap bentuk gelombang tegangan yang dinamakan teknik modulasi lebar pulsa atau lebih dikenal dengan *Pulse Width Modulation* (PWM). Pada dasarnya komponen dalam inverter yang menghasilkan gelombang PWM ini dapat mengontrol frekuensi dan besarnya sudut penyulutan (Anwar Husnawan, 2008).

Sebuah inverter PWM didasari atas dua komponen penting, yaitu *carrier frequency* dan *running frequency*. Gabungan atau kombinasi dari keduanya akan membentuk suatu pulsa dimana pulsa tersebut dapat diatur dengan menaikkan dan menurunkan banyaknya *carrier frequency*

yang diberikan ke sistem dan mengatur target dari *running frequency* yang digunakan seperti pada gambar 5.

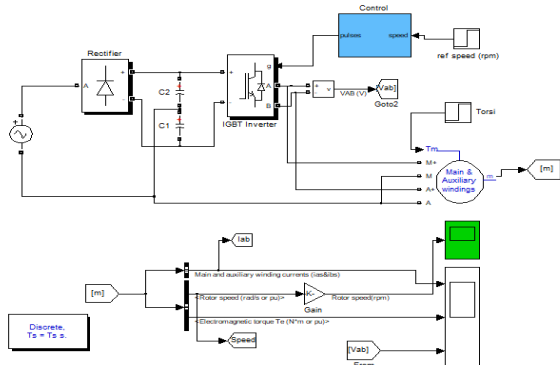


Gambar 5: Diagram proses pada IGBT

METODE PENELITIAN

Model Motor Induksi Satu Fasa

Pada penelitian ini digunakan model motor induksi satu fasa pada Matlab. Model motor induksi ditunjukkan pada gambar 6 beserta spesifikasinya pada tabel 1.



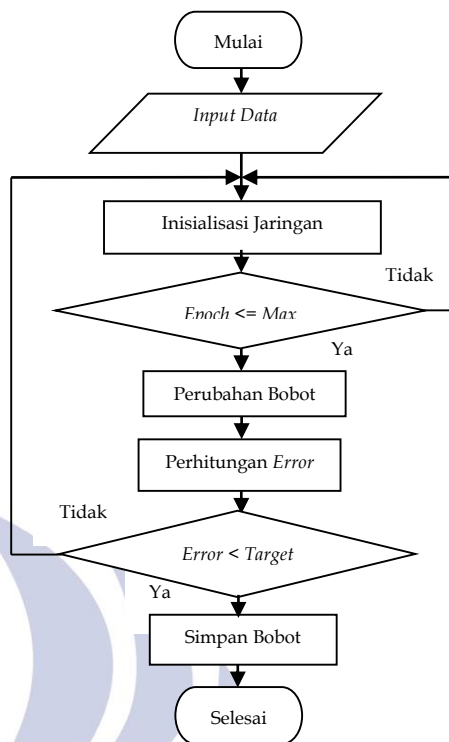
Gambar 6: Model motor induksi satu fasa

Tabel 1: Spesifikasi motor induksi satu fasa

Daya	125 Watt	
Frekuensi	50 Hz	
Tegangan	220 V	
Jumlah Kutub	2	
Belitan Utama Stator	Rs	2,02 Ω
	Ls	0,0073 H
Belitan Utama Rotor	Rr	4,12 Ω
	Lr	0,0056 H
Belitan Bantu Stator	RS	7,14 Ω
	LS	0,0085 H
Mutual Induktansi (Lm)	0,1772 H	
Inertia (j)	0,0146 kg.m ²	

Proses Pelatihan (Training)

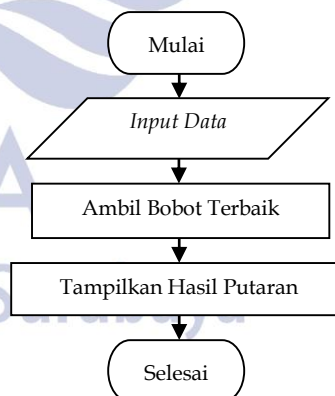
Proses pelatihan *backpropagation* dilakukan untuk melatih jaringan dalam mengenali pola yang diberikan. Data di latih untuk mendapatkan suatu nilai bobot baru seperti dijelaskan di *flowchart* pada gambar 7.



Gambar 7: Flowchart Training

Proses Pengujian (Testing)

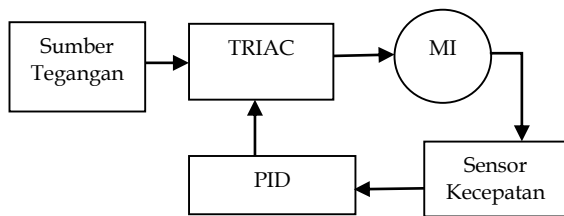
Semua tahapan pelatihan (*training*) ini akan dilakukan berulang-ulang untuk mendapatkan bobot terbaik dengan *error* terkecil. Bobot terbaik tersebut akan digunakan untuk melakukan pengujian (*testing*). Proses pengujian (*testing*) inilah yang akan mengatur kecepatan motor induksi satu fasa seperti pada gambar 8 di bawah.



Gambar 8: Flowchart Testing

Rancang Bangun Hardware

Rancang bangun motor induksi satu fasa menggunakan PID. Rancang bangun meliputi perancangan bagian-bagian rangkaian dalam pembuatan alat pengatur kecepatan motor induksi dengan PID, seperti perancangan *triac* dan rangkaian arduino uno. Sumber tegangan yaitu 220 Volt. Motor yang digunakan ialah motor induksi satu fasa dengan daya 125 Watt. Skema rancang bangun ini ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9: Skema rancang bangun

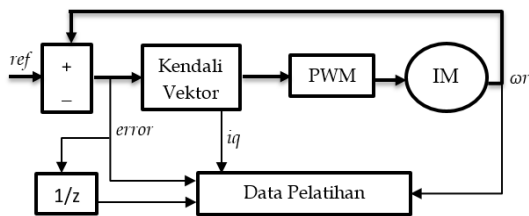
HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi Backpropagation

Simulasi pengendalian motor induksi satu fasa dan konfigurasi jaringan *backpropagation* dilakukan di matlab 2012. *Backpropagation* dirancang untuk menjadi kendali kecepatan motor induksi satu fasa. Sehingga yang menjadi tujuan dari pelatihan jaringan ini ialah dengan masukan yang diberikan dapat memberikan keluaran yang sesuai dengan target yang diberikan dan *error* mendekati 0 (nol).

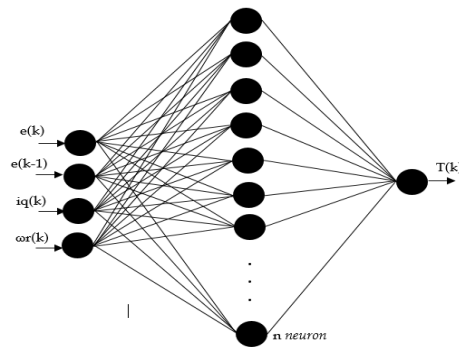
Data untuk konfigurasi *backpropagation* diperoleh dari model motor induksi yang sudah ada sistem kendalinya yaitu menggunakan PID. Kemudian model sistem tersebut dijalankan dengan berbagai kondisi kecepatan dan pembebanan yang bervariasi untuk memberikan informasi yang cukup bagi jaringan. Metode pelatihan yang digunakan adalah *supervised learning* yang mana jaringan *backpropagation* membutuhkan target keluaran. Oleh karena itu, target dari data pelatihan di dapat dari keluaran PID pada model tersebut.

Struktur *backpropagation* yang digunakan dalam pemodelan ini terdiri dari empat masukan, lapisan tersembunyi, dan satu keluaran. Jumlah lapisan tersembunyi yang digunakan ditentukan dengan percobaan parameter. Sebagai masukan adalah *error* sistem, kecepatan rotor, dan vektor *iq* ($e(k)$, $e(k-1)$, $\omega_r(k)$, $i_q(k)$) dan keluarannya adalah $T(k)$ seperti pada gambar 10. Data-data yang sudah diperoleh akan dikelompokkan berdasarkan data pelatihan (*learning*) dan data pengujian (*testing*).



Gambar 10: Skema data pelatihan

Jumlah *layer* atau lapis yang digunakan ialah dua lapis, terdiri dari lapis tersembunyi dan lapis keluaran seperti pada gambar 11. Jumlah *neuron* pada lapis tersembunyi akan dilakukan percobaan parameter dengan fungsi aktivasinya yaitu fungsi *sigmoid bipolar* sedangkan *neuron* lapis keluaran hanya satu dengan fungsi aktivasinya yaitu fungsi identitas.



Gambar 11: Jaringan Backpropagation

Maksimal iterasi (*epoch*) yang di capai ialah 5000 iterasi. Umumnya pelatihan dengan *backpropagation* tidak akan menghasilkan $mse = 0$, terlebih data pelatihan yang digunakan banyak. Untuk itu batas nilai mse yang digunakan ialah 0,0001.

Percobaan Variasi Jumlah Neuron Lapisan Tersembunyi

Pada percobaan ini, parameter jumlah unit tersembunyi dan lajur pembelajaran akan divariasikan, sedangkan nilai yang lain akan diberikan nilai konstan.

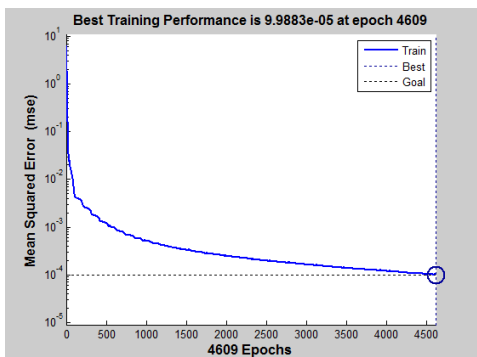
Jumlah lapisan tersembunyi mempengaruhi kemampuan jaringan dalam menyelesaikan permasalahan. Tetapi jumlah yang banyak juga tidak menjamin kemampuan jaringan menjadi lebih baik, karena bisa saja terjadi *over training*. Pada tabel 2 merupakan percobaan memvariasikan jumlah unit lapisan tersembunyi dari 5 sampai 50 (kelipatan 5) unit dengan parameter lain bernilai standar. Diketahui nilai kesalahan yang terkecil terjadi pada lapisan tersembunyi berjumlah 25.

Tabel 2. Jumlah *neuron* lapisan tersembunyi terhadap MSE

Jumlah Neuron	Epoch	Waktu (s)	MSE
5	1106	18	0.000099885
10	1620	19	0.000099889
15	4392	56	0.000099978
20	3881	53	0.000099964
25	4609	84	0.000099883
30	6208	81	0.000099994
35	7227	97	0.000099995
40	9235	126	0.000099972
45	8690	125	0.000099989
50	12330	174	0.000099976

Percobaan Variasi Laju Pembelajaran

Pada percobaan ini memvariasikan besar laju pembelajaran sedang parameter yang lain bernilai standar. Laju pembelajaran yang digunakan adalah $\alpha = 0.001$, $\alpha = 0.01$, $\alpha = 0.1$, dan $\alpha = 1$. Hasil percobaan variasi laju pembelajaran memperoleh nilai *Mean Square Error* (MSE) terendah pada laju pembelajaran 0,01 yang ditunjukkan pada gambar 12.

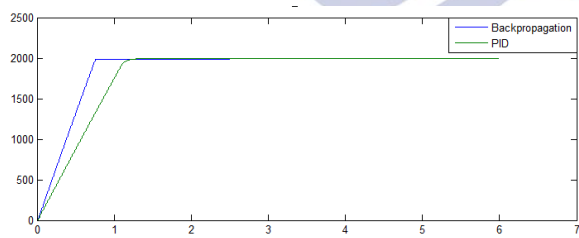


Gambar 12. Grafik MSE terhadap *epoch* jaringan dengan laju pembelajaran $\alpha = 0.01$

Dari hasil percobaan parameter jaringan, menunjukkan bahwa parameter yang digunakan selama proses pelatihan sudah bagus dengan MSE=0.000099883 pada iterasi ke 4609.

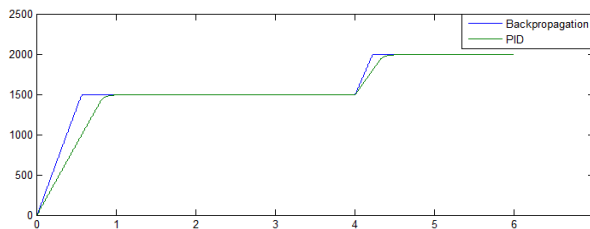
Percobaan Kinerja *Backpropagation*

Pada percobaan ini, kinerja dari *backpropagation* pada motor induksi satu fasa disimulasikan dengan menggunakan beberapa kondisi.



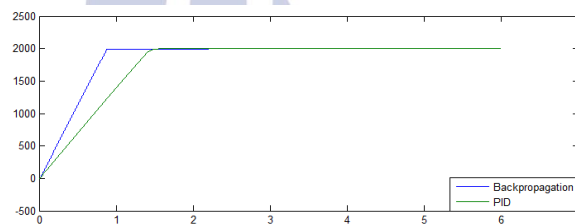
Gambar 13. Grafik kecepatan 2000 rpm

Pada gambar 13 di atas memperlihatkan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan *Backpropagation* dan PID. Motor induksi satu fasa mulai berputar dengan referensi kecepatan 2000 rpm. Pada kendali *Backpropagation* terjadi *overshoot* 0,0032%, *rise time* Tr 0,5992 detik, *settling time* Ts 0,5451 detik, *steady state error* 0,0716. Pada kendali PID terjadi *overshoot* 0,0589%, *rise time* Tr 0,9073 detik, *settling time* Ts 1,1379 detik, *steady state error* 0,0863.



Gambar 14. Grafik kecepatan 1500 rpm dan 2000 rpm saat t = 4 detik

Pada gambar 14 di atas memperlihatkan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan *Backpropagation* dan PID. Motor induksi satu fasa mulai berputar dengan referensi kecepatan 1500 rpm dan kecepatan naik 2000 rpm pada saat t= 4 detik. Pada kendali *Backpropagation* terjadi *overshoot* 0,0010%, *rise time* Tr 4,0315 detik, *settling time* Ts 4,1774 detik, *steady state error* 0,0471. Pada kendali PID terjadi *overshoot* 0,0591%, *rise time* Tr 4,0562 detik, *settling time* Ts 4,2867 detik, *steady state error* 0,0857.



Gambar 15. Grafik kecepatan 2000 rpm dengan beban

Pada gambar 15 di atas memperlihatkan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan *Backpropagation* dan PID. Motor induksi satu fasa mulai berputar dengan beban 0,571 N.m dan referensi kecepatan 2000 rpm. Pada detik ke nol kecepatan motor turun sampai negatif karena beban yang dipasangkan ke motor induksi, selang kurang dari satu detik kecepatan motor naik kembali menuju referensi kecepatan. Pada kendali *Backpropagation* terjadi *overshoot* 0,0025%, *rise time* Tr 0,6961 detik, *settling time* Ts 0,8655 detik, *steady state error* 0,9449. Pada kendali PID terjadi *overshoot* 0,1583%, *rise time* Tr 1,1496 detik, *settling time* Ts 1,4300 detik, *steady state error* 1,004.

Percobaan Rancang Bangun Kontrol PID

Pada percobaan ini, kinerja dari PID secara *realtime* pada motor induksi satu fasa di uji dengan menggunakan beberapa kondisi. Pengujian dilakukan selama 2 menit untuk melihat hasil yang diperoleh.

Tabel 3. Analisa kontrol PID tanpa beban

Kecepatan rata-rata (Rpm)	Rise Time (s)	Settling Time (s)
2133,22	1,5	2

Tabel 3 di atas menunjukkan pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui kinerja PID dengan tanpa beban.

Pengujian kedua dilakukan untuk mengetahui kinerja PID dengan menambah pemberat besi seberat 0,3 kg pada ujung poros motor sebagai beban. Hasil pengujian ditunjukkan oleh tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Analisa Kontrol PID Dengan Beban 1

Kecepatan rata-rata (Rpm)	Rise Time (s)	Settling Time (s)
2132,73	1,5	2

Pengujian ketiga dilakukan untuk mengetahui kinerja PID dengan menambah pemberat besi seberat 0,6 kg pada ujung poros motor sebagai beban. Hasil pengujian ditunjukkan oleh tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Analisa Kontrol PID Dengan Beban 2

Kecepatan rata-rata (Rpm)	Rise Time (s)	Settling Time (s)
2115,29	2	2,2

PENUTUP

Simpulan

Jaringan syaraf tiruan *backpropagation* di latih dengan mengambil data model motor induksi satu fasa dengan beban dan kecepatan yang bervariasi. Model dan konfigurasi jaringan menggunakan laju pembelajaran $\alpha = 0,01$, struktur jaringan 4 – 25 -1, dapat diperoleh MSE = 0.000099883. Percobaan variasi parameter menunjukkan penambahan unit pada lapisan tersembunyi menyebabkan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pelatihan. Sedangkan laju pembelajaran mempengaruhi kecepatan perubahan bobot. Simulasi pada kecepatan 2000 rpm tanpa beban terjadi *overshoot* 0,0032%, *rise time* Tr 0,5992 detik, *settling time* Ts 0,5451 detik, *steady state error* 0,0716.

Putaran motor berbasis PID terpengaruhi oleh pemecuan *triac* yang dikendalikan oleh arduino uno. Dari hasil pengujian, menunjukkan bahwa kecepatan motor mampu bertahan pada beban yang bertambah. Semakin berat beban yang dipasangkan pada poros motor, tegangan semakin besar. Oleh karena itu, keluaran tegangan yang semakin besar akan berbanding lurus dengan kemampuan putaran motor (rpm) yang dihasilkan. Dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa *rise time* dan *settling time* kontrol PID. Percobaan kontrol PID pada kecepatan rata-rata 2132,22 rpm tanpa beban terjadi *rise time* 1,5 detik dan *settling time* 2 detik. Kemudian percobaan kontrol PID menggunakan beban seberat 0,6 kg menghasilkan

kecepatan rata-rata 2115,29 terjadi *rise time* 2 detik dan *settling time* 2,2 detik.

Saran

Penelitian ini mensimulasikan motor induksi satu fasa. Disarankan melanjutkan penelitian dengan mengembangkan lagi untuk diaplikasikan pada motor induksi tiga fasa.

Putaran motor menggunakan PID dengan pemecuan *triac* menunjukkan putaran kurang stabil. Dan juga motor yang tanpa menggunakan beban akan mengakibatkan motor cepat panas. Akan lebih baik dikembangkan dengan *driver* dari komponen elektronika daya yang lain, seperti MOSFET, IGBT, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Muhamad. 2004. *Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID Dengan Software MATLAB*. Jurnal Universitas Negeri Yogyakarta. Vol 1, No 1
- Giyantara, Andhika. 2010. *Perancangan dan Simulasi Space Vector Pulse Width Modulation Three-Phase Three-Level Inverter*. Skripsi ITS Surabaya: tidak diterbitkan.
- Husnawan, Anwar. 2008. *Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Logika Fuzz*. Skripsi UI: tidak diterbitkan.
- Rashid, Muhammad H. 2011. *Power Electronic Handbook: devices, circuits, applications handbook*. Burlington: Elsevier.
- Siang, Jong Jek. 2009. *Jaringan Syaraf Tiruan & Pemrogramannya Menggunakan MATLAB*. Yogyakarta: ANDI.
- Siswoyo. 2008. *Teknik Listrik Industri Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sofwan, A & Baqo, Rudie S. 2004. *Sistem Pengendali Kecepatan Motor AC Fasa Satu Menggunakan Mikrokontroler AT89S8252*. Jurnal Proceedings, Komputer dan Sistem Intelijen.
- Sumardjati, Prih & dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.