

PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN SUMBER INVERTER MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN (CONTROL OF THREE-PHASE INDUCTION MOTOR FED BY INVERTER USING NEURAL NETWORK)

Andes Pradesa, Dedy Kurnia Setiawan, Widyono Hadi
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: pradesa_andes@ymail.com

Abstrak

Pada umumnya motor induksi tiga fasa beroperasi menggunakan sumber bolak-balik. Sumber bolak-balik tiga fasa yang paling mudah didapatkan tentu saja berasal dari jaringan PLN. Perkembangan teknologi di bidang konverter mampu merubah sumber bolak-balik satu fasa menjadi tiga fasa. Begitupun teknologi Inverter, teknologi ini mampu mengubah dari sumber searah menjadi sumber bolak-balik baik itu satu fasa maupun tiga fasa. Hal ini menjawab permasalahan bagaimana menggerakkan motor induksi tiga fasa menggunakan sumber searah. Pengoperasian motor induksi tiga fasa menggunakan Inverter supaya mendapatkan kecepatan yang konstan pada kondisi beban berfluktuatif dapat dilakukan dengan berbagai metode pengontrolan. Pengontrolan yang paling lazim adalah menggunakan kontrol PI. Akan tetapi penggunaan kontrol PI masih belum dapat memberikan respon yang cepat terhadap perubahan beban yang terjadi. Oleh karena itu dirancanglah sistem pengontrolan motor induksi tiga fasa dengan sumber Inverter yang dapat memberikan respon yang cepat terhadap baik perubahan pada sumber searah maupun perubahan pada beban. Pengendalian tersebut menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan sebagai kontrolnya. Jaringan syaraf tiruan mampu mempelajari kondisi-kondisi kecepatan motor induksi tiga fasa sehingga mampu mengendalikan kecepatan motor induksi menjadi konstan. Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem kontrol motor induksi tiga fasa menggunakan jaringan syaraf tiruan, dimana kontrol dapat mengatur kecepatan motor induksi tetap konstan pada nilai 200 rpm meskipun pada kondisi beban dan sumber fluktuatif.

Kata Kunci: Inverter, Jaringan Syaraf Tiruan, Kontrol Kecepatan Motor.

Abstract

In general, three-phase induction motor is operated by using alternating source. This source can be found easily from PLN network. The development of converting technology is able to convert one-phase alternating source into three-phase alternating source. It is the same with inverter technology. This technology is able to convert direct-current source into alternating source, whether it is one-phase or three-phase source. This answers the problem in operating three-phase induction motor by using one-phase source. Operating this motor using inverter to be able to get constant speed in fluctuated pressure moment can be done by controlling method. The most commonly method used is using PI control. However, the uses of PI control has not responded fast in the changing happened. Since that, it is needed to design three-phase inductive motor system by using inverter that is able to respond fast against the changing, whether it is direct-current source or weight changing. The control uses neural network. This network is able to catch some motor speed conditions, so that it can control motor speed constantly. This research resulted in a system of three-phase induction motor control using neural networks, where control can adjust the speed of the induction motor remains constant at a value of 200 rpm despite the fluctuating load conditions and sources.

Keywords: Inverter, Neural Network, Motor Speed Control.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi menjadikan kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat. Hal ini tidak sebanding dengan ketersediaannya bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama yang semakin menurun. Di industri bahan bakar fosil merupakan sumber energi utama dalam proses produksi mereka. Begitupun dalam proses pembangkitan listrik, bahan bakar fosil memiliki posisi yang paling vital sebagai sumber energi. Menurut Outlook Energi Nasional 2011, saat ini pembangkit listrik di Indonesia masih

didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil, khususnya batubara. Sedangkan daerah yang masih mengalami kekurangan daya listrik seperti Sulawesi, Kalimantan, dan Nusa Tenggara, dan Papua pembangkit listriknya masih menggunakan BBM, yang dalam komponen biaya pembangkitan masih merupakan komponen terbesar. Oleh karena itu dalam upaya pencarian solusi untuk krisis energi banyak bermunculan sumber-sumber energi alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar fosil, yaitu renewable energi atau energi terbarukan.

Dalam proses pembangkitan listrik menggunakan energi terbarukan seperti angin dan surya, listrik yang dihasilkan adalah arus searah (DC). Tentu saja listrik arus searah tidak cocok digunakan untuk alat-alat elektronik yang digunakan di rumah tangga, yang notabene membutuhkan sumber arus listrik bolak-balik (AC). Sehingga dibutuhkan teknologi yang dapat mengkonversikan arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC).

Inverter merupakan suatu perangkat konverter daya yang digunakan untuk mengkonversikan sumber DC menjadi sumber AC dengan mengatur tegangan dan frekuensi. Inverter biasa digunakan dalam pengaplikasian energi alternatif yang menghasilkan sumber DC, seperti penggunaan pembangkit listrik tenaga matahari. Inverter dapat digunakan sebagai pengganti sumber PLN untuk menyuplai perangkat elektronik yang membutuhkan sumber AC. Berdasarkan sumber yang digunakan, inverter terbagi menjadi dua jenis yaitu *Voltage Source Inverter (VSI)* dan *Current Source Inverter (CSI)* [1].

Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik arus bolak-balik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Dinamakan motor induksi karena pada kenyataannya arus rotor motor ini bukan diperoleh dari suatu sumber listrik, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar [2]. Dalam hal ini *inverter* dapat mengkolaborasikan antara sumber arus searah dengan motor induksi ini. *Inverter* akan mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik yang akan menyuplai motor induksi 3 fasa.

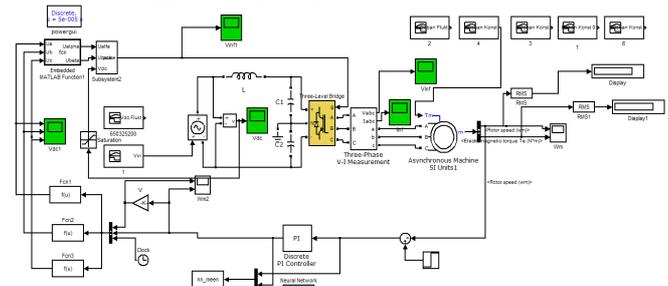
Dalam kinerjanya, motor induksi akan mengalami perubahan kecepatan yang dipengaruhi oleh beban mekaniknya. Seperti halnya pada peralatan ban berjalan (konveyor) maupun eskalator. Pada kedua peralatan ini penting sekali untuk menjaga kecepatan tersebut agar konstan sehingga tidak mengurangi *performance* dari peralatan tersebut. Upaya-upaya yang dilakukan dalam pengendalian kecepatan ini memiliki berbagai macam metode kontrol. Jaringan Syaraf Tiruan (*Neural Network*) merupakan metode pengontrolan yang cukup handal dimana jaringan syaraf tiruan bisa mempelajari setiap variasi kecepatan motor induksi untuk menghasilkan sistem kontrol yang sesuai agar motor induksi berada pada kondisi kecepatan yang konstan meskipun diberi beban mekanik yang fluktuatif maupun sumber yang fluktuatif. Sistem kontrol jaringan syaraf tiruan yang menggunakan keluaran kecepatan motor sebagai masukannya disebut sebagai *Close Loop Controller*. Hal inilah yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu pengendalian motor induksi 3 fasa dengan sumber *inverter* menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan.

METODE PENELITIAN

Penelitian pengendalian motor induksi tiga fasa secara keseluruhan dilakukan dengan pengujian kecepatan motor induksi pada simulasi Matlab. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah jaringan syaraf tiruan dapat mempelajari keluaran variasi kecepatan pada motor induksi menjadi sebuah data yang digunakan untuk membuat pulsa PWM untuk memberikan trigger yang tepat pada inverter, sehingga

dapat mempertahankan kecepatan motor induksi pada nilai kecepatan yang konstan.

Pengujian dilakukan dengan dua tahap, tahap pertama kontrol motor menggunakan PI dan tahap kedua kontrol motor menggunakan NN. Penggunaan kontrol PI disini digunakan sebagai data pembanding untuk kontrol NN. Sehingga dapat diketahui performance dari kontrol NN. Selain itu nilai-nilai yang keluar dari PI juga digunakan sebagai nilai yang digunakan untuk proses training NN itu sendiri sehingga NN dapat mempelajari dan membangun kontrolnya sendiri. Gambar 1. menunjukkan blok diagram sistem pengendalian motor induksi tiga fasa dengan sumber *inverter* menggunakan jaringan syaraf tiruan.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Prinsip kerja dari sistem pengendalian motor induksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. adalah sebagai berikut. Tegangan yang dihasilkan oleh sumber DC diubah menjadi tegangan AC oleh *inverter* tiga fasa. *Inverter* tiga fasa akan menghasilkan tegangan AC tiga fasa yang akan menyuplai dan menggerakkan motor induksi. Pemberian beban dilakukan dengan memberikan beban mekanik memiliki satuan Nm (*Newton meter*). Keluaran dari motor induksi berupa nilai kecepatan dalam rpm dan torsi motor dalam Nm. Kecepatan motor akan disensor dan dibandingkan dengan kecepatan referensi yang diharapkan, kecepatan referensinya yaitu 200 rpm. Selisih antara kecepatan aktual motor dan kecepatan referensi akan dijadikan sebagai parameter input untuk jaringan syaraf tiruan, dimana jaringan syaraf tiruan akan mengolah angka tersebut menjadi sinyal sinus *input* untuk *trigger* PWM. PWM yang digunakan pada penelitian ini berupa sebuah blok fungsi *Matlab Embedded Function* yang merubah gelombang sinus yang dihasilkan oleh jaringan syaraf tiruan menjadi pulsa-pulsa PWM. Persamaan 1. menunjukkan persamaan yang digunakan dalam *Matlab Embedded Function*.

$function [Ualpha, Ubeta] = fcn(Ua, Ub, Uc)$

$Ualpha = 2/3 * (Ua - 0.5 * Ub - 0.5 * Uc);$

$Ubeta = 2/3 * (sqrt(3)/2 * Ub - sqrt(3)/2 * Uc);$

Persamaan (1) Persamaan pembangkit PWM

Pulsa PWM inilah yang akan mengatur *trigger* yang masuk ke dalam *inverter* sehingga *inverter* akan memberikan suplai tegangan yang tepat untuk mempertahankan kecepatan motor induksi.

Pembebanan motor induksi tiga fasa yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi enam skenario. Tabel 1. adalah tabel yang menunjukkan peta skenario pembebanan.

Tabel 1. Skenario Pembebanan Motor Induksi

Kondisi Sumber DC	Kondisi Beban		
	Nol	Konstan	Fluktuatif
Konstan	√	√	√
Fluktuatif	√	√	√

HASIL PENELITIAN

Skenario 1 : Sumber DC Konstan – Beban Nol

Skenario pertama dilakukan dengan memberikan kondisi sumber DC konstan dan kondisi beban nol. Dengan demikian sistem dijalankan dengan motor induksi dalam keadaan tanpa beban. Pengambilan data dilakukan sebanyak dua kali yaitu data pertama saat sistem berjalan menggunakan kontrol PI dan data kedua saat sistem berjalan menggunakan kontrol jaringan syaraf tiruan (NN). Hasil dari skenario tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kondisi sumber DC konstan – Beban nol

SKENARIO PEMBEBANAN						
SUMBER DC (Volt)	NILAI BEBAN (Nm)	n_{ref} (rpm)	n_{motor} PI (rpm)	n_{motor} NN (rpm)	E% (PI)	E% (NN)
200			199.7	199.7	0.15	0.15
325	0	200	200.8	200.8	0.4	0.4
650			202.5	202.5	1.25	1.25

Skenario 2 : Sumber DC Konstan – Beban Konstan

Percobaan kedua dilakukan dengan memberikan beban konstan pada motor induksi. Pemberian beban dilakukan secara bertahap mulai dari beban terkecil sampai dengan beban terbesar. Data hasil percobaan untuk skenario kedua dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kondisi sumber DC konstan – Beban konstan

SKENARIO PEMBEBANAN						
SUMBER DC (Volt)	NILAI BEBAN (Nm)	n_{ref} (rpm)	n_{motor} PI (rpm)	n_{motor} NN (rpm)	E% (PI)	E% (NN)
	0		197	202.5	1.5	1.25
650	3	200	197	198.3	1.5	0.85
	5		195	196.9	2.5	1.75
	10		192	201.1	4	0.55

Skenario 3 : Sumber DC Konstan – Beban Fluktuatif

Skenario ketiga dijalankan dengan memberikan beban fluktuatif kepada motor induksi dengan kondisi sumber DC tetap. Hasil dari percobaan pada skenario ketiga dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Kondisi sumber DC konstan – Beban Fluktuatif

SKENARIO PEMBEBANAN							
Waktu (s)	SUMBER DC (Volt)	NILAI BEBAN (Nm)	n_{ref} (rpm)	n_{motor} PI (rpm)	n_{motor} NN (rpm)	E% PI	E% NN
1	650	3-4	200	197.8	199.2	1.1	0.4
2		3		199.7	203.2	1.25	1.6
3		4		196	197.8	2	1.1
4		5		190	195.7	5	2.15
5		4		196	200	2	0

Skenario 4 : Sumber DC Fluktuatif – Beban Nol

Skenario dengan sumber DC fluktuatif dimulai dengan pemberian beban nol pada motor induksi. Hasil dari skenario tersebut dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Kondisi sumber DC Fluktuatif – Beban nol

SKENARIO PEMBEBANAN							
Waktu (s)	SUMBER DC (Volt)	NILAI BEBAN (Nm)	n_{ref} (rpm)	n_{motor} PI (rpm)	n_{motor} NN (rpm)	E% PI	E% NN
1	650-325	0	200	190	200	5	0
2	325-650			184	197	8	1.5
3	650-200			182.8	198.4	8.6	0.8
4	200-650			180	203	10	1.5
5	650			184	196	8	2

Skenario 5 : Sumber DC Fluktuatif – Beban Konstan

Skenario kelima merupakan skenario dengan data terbanyak. Karena dengan sumber DC yang berfluktuasi pengamatan terhadap kecepatan motor induksi pada variasi nilai beban konstan harus dilakukan. Pemberian beban konstan pada skenario ini dilakukan secara bertahap. Dimana motor induksi akan diberi beban mulai dari nilai beban terendah sampai dengan nilai beban tertinggi. Data hasil percobaan skenario kelima dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Kondisi sumber DC Fluktuatif – Beban Konstan

SKENARIO PEMBEBANAN							
Waktu (s)	SUMBER DC (Volt)	NILAI BEBAN (Nm)	n_{ref} (rpm)	n_{motor} PI (rpm)	n_{motor} NN (rpm)	E% (PI)	E% (NN)
1	650-325	0	200	190	200	5	0
2	325-650			184	197	8	1.5
3	650-200			182.8	198.4	8.6	0.8
4	200-650			180	203	10	1.5
5	650			184	196	8	2
1	650-325	3	200	190	199.5	5	0.25
2	325-650			182.1	195.7	8.9	2.15
3	650-200			179	196.8	10.5	1.6
4	200-650			181	198	9.5	1
5	650			193	201.4	3.5	0.7
1	650-325	5	200	186.3	198.8	6.85	0.6
2	325-650			184.4	196.7	7.8	1.65
3	650-200			143	161	28.5	19.5
4	200-650			183.9	198.65	8.05	0.67
5	650			185.7	196.2	7.15	1.9
1	650-325	10	200	186	193	7	3.5
2	325-650			178	199.1	11	0.45
3	650-200			-105/0	-55/0	100	100
4	200-650			-78/0	-2/0	100	100
5	650			176	200.5	11	0.25

Skenario 6 : Sumber DC Fluktuatif – Beban Fluktuatif

Skenario keenam merupakan skenario yang paling kompleks. Tabel 6 merepresentasikan kondisi dimana sistem mengalami fluktuasi sumber DC dan beban motor.

Tabel 7. Kondisi sumber DC Fluktuatif – Beban Fluktuatif

SKENARIO PEMBEBANAN							
Waktu (s)	SUMBER DC (Volt)	NILAI BEBAN (Nm)	n_{ref} (rpm)	n_{motor} PI (rpm)	n_{motor} NN (rpm)	E% PI	E% NN
1	650-325	3-4	200	195	197.6	2.5	1.2
2	325-650	3		178.6	201.8	10.7	0.9
3	650-200	4		173.9	184.6	13.05	7.7
4	200-650	5		184	202	8	1
5	650	4		188.4	198	5.8	1

PEMBAHASAN

Tabel 2. menunjukkan bahwa nilai kecepatan motor yang dikontrol oleh NN sama persis dengan nilai yang dihasilkan oleh PI dengan nilai E% yang sama. Kondisi ini menunjukkan bahwa NN mempelajari keluaran-keluaran yang dihasilkan oleh PI sebagai materi training-nya. Selain nilai E%, grafik kecepatan motor induksi juga dapat menunjukkan bagaimana kondisi motor induksi tersebut ketika sistem sedang bekerja. Gambar 2. merupakan sebuah grafik kecepatan motor induksi pada kondisi sumber DC konstan dan beban nol. Grafik pada gambar 2. merupakan hasil percobaan pada saat menggunakan sumber DC sebesar 650 Volt. Grafik tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat *ripple* yang terjadi pada

kecepatan motor meskipun motor induksi belum diberi beban. Penyebab munculnya *ripple* adalah karena sistem baru berjalan dan merupakan tahap awal dari kontrol NN dalam melakukan pembelajaran.

Pada kondisi sumber DC konstan dan beban tetap seperti yang ditunjukkan pada tabel 3. kontrol NN sudah menunjukkan perbedaan dibandingkan dengan kontrol PI. Kecepatan motor induksi yang dihasilkan oleh kontrol NN lebih mendekati kecepatan yang diinginkan yaitu 200 rpm. Hal ini dapat dilihat dari nilai E% NN yang lebih kecil daripada nilai E% PI. Tabel 3. dan Gambar 3. dan menunjukkan bahwa untuk beban mekanik konstan kecepatan yang dihasilkan oleh motor relatif konstan dengan nilai 200 rpm. Pada data tersebut terlihat bahwa berapapun beban mekanik yang diberikan kecepatan motor induksi tidak berubah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kontrol NN mampu mengatasi kenaikan beban yang dialami oleh motor induksi.

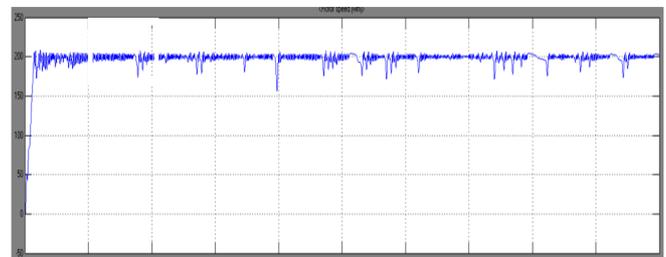
Kecepatan motor induksi pada kondisi fluktuasi beban yang ditunjukkan pada tabel 4. dengan sumber DC tetap juga memiliki nilai yang relatif konstan dengan nilai E% NN yang kecil. Pada data tersebut terlihat bahwa kontrol PI tidak mampu mengatasi fluktuasi beban mekanik yang diberikan, hal ini dapat ditunjukkan melalui nilai E% PI yang lebih besar dari nilai E% NN. Jika dilihat dengan seksama pada tabel 4. terdapat nilai E% NN yang lebih besar dari E% PI, yaitu pada detik ke 2 s. Hal tersebut bukan berarti kontrol NN lebih jelek daripada kontrol PI. Tetapi pengukuran sesaat pada detik ke 2 s menunjukkan angka 203.2 rpm pada kontrol NN. Sedangkan secara keseluruhan kecepatan motor induksi yang dihasilkan oleh kontrol NN lebih baik dari kontrol PI. Oleh karena itulah diperlukan adanya analisis grafik kecepatan. Selain error persen, grafik kecepatan motor induksi juga dapat menunjukkan bagaimana kondisi motor induksi tersebut. Grafik tersebut menunjukkan kondisi kecepatan motor induksi pada tingkat pembebanan yang berbeda dengan sumber DC konstan. Kondisi kecepatan motor induksi dapat dilihat pada gambar 4. Gambar 4 adalah grafik kecepatan motor induksi pada kondisi sumber DC konstan dan beban fluktuatif. Gambar 4. menunjukkan bahwa adanya *ripple* kecepatan motor yang terjadi pada detik ke 0,5 dan 3,9 s. Berdasarkan tabel 4.3 dan gambar 3.14 pada detik tersebut terjadi perubahan nilai beban mekanik, sehingga menyebabkan kecepatan motor sedikit terganggu. Meskipun nilai beban mengalami perubahan, sistem tetap dapat mempertahankan kecepatannya pada nilai 200 rpm.

Pada tabel 5. tersebut terlihat bahwa pada kontrol PI kecepatan motor induksi tidak dapat mencapai nilai 200 rpm, sedangkan untuk kontrol NN kecepatan motor induksi dapat mencapai nilai 200 rpm, dengan nilai E% NN yang paling rendah adalah 0%. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi beban nol kontrol mampu mempertahankan kecepatan motor induksi meskipun sumber DC berfluktuasi. Untuk dapat mengetahui kondisi kecepatan motor pada kondisi ini dapat dilihat pada gambar 5. Pada gambar 5. terlihat bahwa terjadi banyak *ripple* pada kecepatan motor induksi. Sama halnya dengan skenario ketiga, Hal tersebut terjadi karena sistem mengalami perubahan tegangan pada sumber DC. Sehingga di detik-detik masa transisi dari tegangan DC tinggi ke rendah maupun rendah ke tinggi menyebabkan *ripple* yang besar pada kecepatan motor

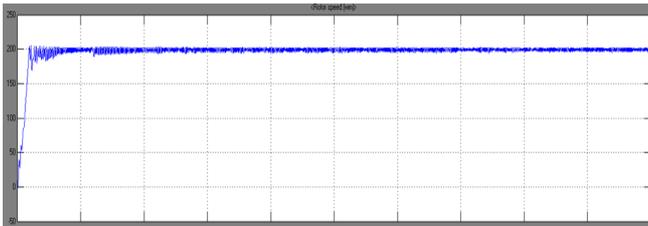
induksi.

Tabel 6. menunjukkan percobaan pemberian beban konstan pada motor induksi dengan kondisi sumber DC berfluktuasi. Pemberian beban dilakukan secara bertahap dimulai dengan beban yang paling kecil (0 Nm) sampai beban yang paling besar (10 Nm). Pada pemberian tiga beban pertama yaitu 0 Nm, 3 Nm, dan 5 Nm, kecepatan motor induksi memiliki nilai yang relatif konstan mendekati nilai yang diharapkan yaitu 200 rpm. Tetapi pada nilai beban yang semakin besar yaitu 10 Nm terjadi anomali pada kecepatan motor induksi. Gambar 6. menunjukkan kondisi penambahan beban menjadi 5 Nm. Seperti yang dibahas pada pembahasan sebelumnya terjadi drop tegangan pada detik ke 2,5 – 3,5 s. Hal ini disebabkan pada detik tersebut sumber DC mengalami drop tegangan yang sangat besar, yaitu dari 650 Volt menjadi 200 Volt. Pada gambar 6. kecepatan motor sedikit demi sedikit menurun karena penurunan tegangan, tetapi kontrol NN dengan cepat menyadari kondisi penurunan tersebut dan segera menaikkan kecepatannya kembali menjadi 200 rpm. Akan sesuai jika dibandingkan dengan nilai yang tertera pada tabel 6. Kontrol NN mampu mempertahankan kecepatan motor induksi pada beban 5 Nm detik ke 4 dengan nilai E% sebesar 0,67% sedangkan kontrol PI memiliki E% sebesar 8,05 %.

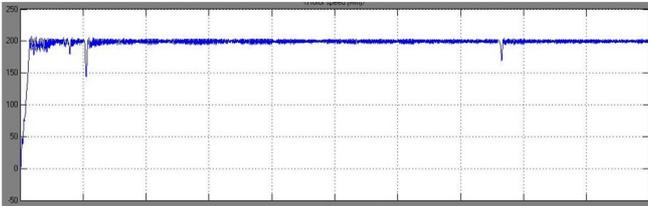
Pada gambar 7. terlihat bahwa kecepatan motor induksi bernilai relatif konstan pada nilai 200 rpm. Fluktuasi yang terjadi pada sumber DC dan beban tidak dapat mengubah kecepatan motor induksi. Meskipun begitu, terjadi anomali seperti yang terlihat pada gambar 7. Pada gambar tersebut terlihat bahwa sejenak kecepatan motor mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena Hal ini disebabkan karena pada detik tersebut sumber DC yang menyuplai Inverter mengalami drop yang besar, dari 650 Volt menjadi 200 Volt dan bersamaan dengan penurunan tegangan sumber DC beban mekanik yang diberikan juga mengalami kenaikan dari 4 Nm menjadi 5 Nm. Kondisi ini sama sekali berbeda dengan kondisi yang dialami motor pada skenario kelima meskipun nilai tegangan mengalami drop yang besar dari 650 Volt menjadi 200 Volt, kecepatan motor induksi tetap konstan. Dari dua perbandingan tersebut dapat ditemukan bahwa sistem sudah dapat bekerja optimal pada kondisi sumber DC dan beban berfluktuasi. Tetapi sistem masih belum bisa menangani kondisi drop tegangan dan kenaikan beban dalam waktu yang bersamaan.



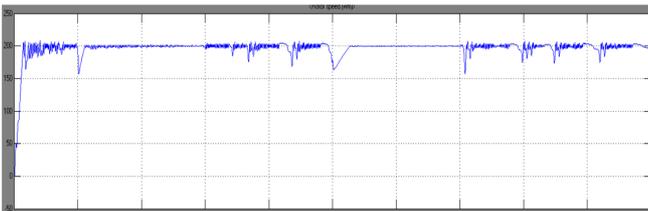
Gambar 2. Grafik kecepatan motor skenario 1



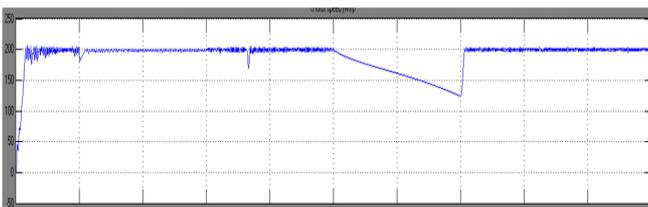
Gambar 3. Grafik kecepatan motor skenario 2 beban 5 Nm



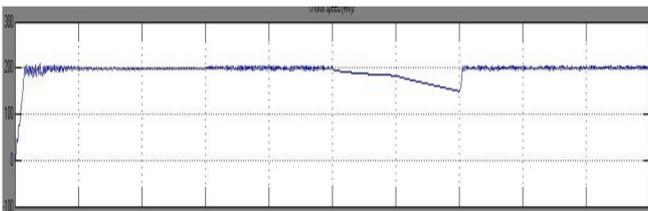
Gambar 4. Grafik kecepatan motor skenario 3



Gambar 5. Grafik kecepatan motor skenario 4



Gambar 6. Grafik kecepatan motor skenario 5 beban 5 Nm



Gambar 7. Grafik kecepatan motor skenario 6

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bahari, Satriyo. "Rancang Bangun *Inverter* Tiga Fasa Menggunakan PI Kontroler dengan Tegangan Output Konstan pada Beban Berfluktuasi". Universitas Jember. 2013.
- [2] Elvys Hirsley AM. "Pemodelan dan Simulasi Pengereman Dinamik Motor Induksi Tiga Fasa". Universitas Indonesia. 2008.

KESIMPULAN

Pembebanan motor induksi tiga fasa dengan beban konstan tidak mempengaruhi kecepatan motor induksi. Kecepatan motor induksi tiga fasa tetap pada nilai 200 rpm meskipun nilai beban tetap dirubah dari 0 Nm, 3 Nm, 5 Nm dan 10 Nm. Pembebanan motor induksi tiga fasa dengan beban fluktuasi memiliki hasil yang bervariasi. Titik kritis yang dialami oleh sistem berada pada saat skenario tegangan sumber DC menurun dan kondisi motor induksi dalam keadaan beban penuh. Kontrol jaringan syaraf tiruan mampu mengembalikan penurunan kecepatan yang disebabkan oleh drop tegangan yang terjadi pada sumber DC. Kontrol jaringan syaraf tiruan lebih andal dalam mempertahankan kecepatan motor induksi jika dibandingkan dengan kontrol PI.