

**ANALISA TEGANGAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP
TORSI DAN DAYA MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN
SIMULASI MATLAB**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar s1 pada prodi teknik elektro fakultas teknologi industri universitas islam sultan agung



OLEH :

Endra Kusbiyantoro

30601401547

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2021**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

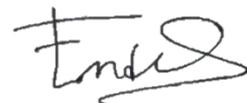
Nama : Endra Kusbiyanoro
NIM : 30601401547
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“ANALISA TEGANGAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP TORSI DAN DAYA MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN SIMULASI MATLAB”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 29 Desember 2021

Yang Menyatakan



Endra Kusbiyanoro

**UNBALANCED VOLTAGE ANALYSIS ON TORQUE AND
POWER OF A 3-PHASE INDUCTION MOTOR WITH
MATLAB SIMULATION**

FINAL REPORT

This Final Project Was Compiled As One Of The Requirements For Obtaining A Bachelor's Degree In The Electrical Engineering, Study Program Faculty Of Industrial Tecnology Universitas Islam Sultan Agung



By :

Endra Kusbiyantoro

30601401547

**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM, FACULTY OF
INDUSTRIAL TECNOLOGY UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2021

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**ANALISA TEGANGAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP KINERJA MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN SIMULASI MATLAB**” ini disusun oleh:

Nama : Endra Kusbiyantoro
NIM : 30601401547
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 16 Desember 2021

Pembimbing I



Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT.
NIDN : 0014016401

Pembimbing II



Ir. Agus Adhi Nugroho, MT.
NIDN : 0628086501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, S.T, M.T.
NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA TEGANGAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP TORSI DAN DAYA MOTOR INDUKSI TIGA FASA DENGAN SIMULASI MATLAB” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada :

Hari : RABU

Tanggal : 29 DESEMBER 2021

Tim Penguji

Tanda Tangan

Ir. Ida Widiastuti, MT.

NIDN : 0005036501

Ketua

Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT.

NIDN : 0618066301

Penguji I

Muhammad Khosyi'in, ST., MT.

NIDN : 0625077901

Penguji II

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN JUDUL

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Endra Kusbiyantoro
NIM : 30601401547
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang** dengan judul **“Analisa Tegangan Tidak Seimbang Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Simulasi Matlab”**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 27, November 2021

Yang Menyatakan



Endra Kusbiyantoro
NIM. 30601401547

HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO

Motto :

“ Bertakwalah pada Allah, maka Allah akan mengajarimu. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui segala sesuatu “

(QS. Al-Baqarah : 282)

“ Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan “

(QS. Al-Mujadilah : 11)

“ Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik “

(HR. Thabrani)

“ Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah “

(HR. Tirmidzi)

“ Bagi seorang *engineer*, semua permasalahan yang dihadapi harus bisa diselesaikan secara menyeluruh “

(Rachman Setiawan, Ph.D)

Persembahan

ALLAH SWT

Yang telah memberikan rahmad dan taufik hidayahnya serta kasih sayangnya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas saya dalam melewati semua ujian dan cobaannya.

Allah Maha tau, sekenario apa yang terbaik bagi umatnya, meskipun rencana hambanya seringkali tidak terpenuhi, akan tetapi Allah SWT telah menggantikan rencana yang jauh lebih baik, rasa syukur atas segala yang Engkau berikan ya Allah.

ORANG TUA (Subakir dan Ngatini)

Kepada kedua orang tua saya yang tiada henti berdoa dan mendukung saya dalam menyelesaikan studi saya

(Rudi Harso)

Kepada kakakku yang selalu memberi semangat.

DOSEN

Untuk para Dosen pembimbing dan seluruh Dosen yang selalu memberikan saran-saran dan pengarahan yang tepat didalam bidang keilmuan dan motivasi.

TEMAN TEMAN

Kepada Erik Susanto Sadikun , dan Faisal Abdau, serta teman yang sudah membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dan untuk keluarga besar Teknik Elektro 2014 yang selalu memberikan dukungan dan semangatnya selama menyelesaikan gelar sarjana.

Saya berharap kita akan sukses semua. Aamiin

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatuallahi Wabarakatuh

Rasa syukur saya haturkan kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya sehingga masih diberikan waktu beserta kesempatan untuk menuntut ilmu setinggi-tingginya. Shalawat serta salam saya haturkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Aamiin Ya Rabbaalalamin.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini, tentunya banyak orang yang membantu dan mendukung. Oleh karena itu Saya selaku penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar besarnya kepada:

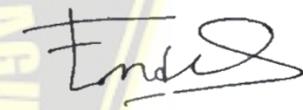
1. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T.,M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro , Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T dan Bapak Ir. Agus Adhi Nugrogo, M.T., selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan bantuannya hingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
5. Kedua Orang Tua Saya Bapak Subakir dan Ibu Ngatini yang sangat Saya cintai dan kagumi yang senantiasa memberikan *support*, doa, perhatian, dan kasih sayang yang tiada hentinya kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Kepada teman-teman seperjuangan Teknik Elektro UNISSULA angkatan 2014 yang selalu bersama-sama menghadapi halang serta rintangan dalam meraih ilmu di UNISSULA.

7. Dan juga kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan mendoakan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, yang tidak bisa Saya sebutkan satu-persatu.

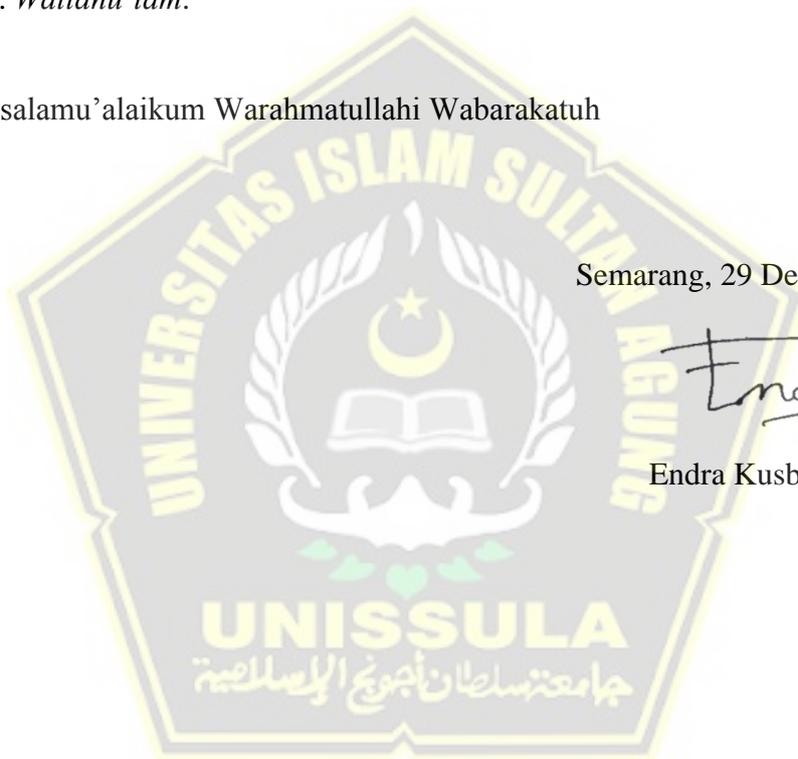
Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir masih banyak kekurangan, baik segi materi maupun penyajiannya. Penulis meminta maaf dan membutuhkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak, sehingga kedepannya laporan ini dapat menjadi lebih baik. Penulis sangat berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi para pembaca dan khususnya bagi para penulis juga. *Wallahu'lam.*

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Semarang, 29 Desember 2021



Endra Kusbiyantoro



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
SURAT PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 Motor Induksi 3 Fasa.....	5
2.2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa.....	6

2.2.3 Gaya pada motor listrik	7
2.2.4 Konstruksi Motor Induksi	8
2.3 Daya	11
2.3.1 Pengertian Daya	11
2.3.2 Segitiga Daya	12
2.3.3 Daya Aktif / Daya Nyata (P)	13
2.3.4 Daya Reaktif (Q)	13
2.3.5 Daya Semu (S).....	14
2.3.6 Faktor Daya	14
2.4. Arus.....	14
2.5 Beban Motor Listrik.....	16
2.5.1 Torsi, Kecepatan dan Daya	16
2.5.2 Perhitungan Daya Masukan dan Perhitungan Load Motor induksi	17
2.5.3 Horse Power (HP)	18
2.5.4 Slip.....	19
2.5.5 Efisiensi	20
2.4.6 $\sqrt{3}$ Pada Motor Induksi 3 fasa.....	20
2.4.7 V_{max} dan V_{rms}	22
2.6 Tegangan Tidak Seimbang	23
2.6.1. Penyebab Tegangan Tidak Seimbang	23
2.6.2. Sistem Tegangan Tiga Fasa.....	25
2.6.3. Komponen Simetri	26
2.6.4. Faktor Ketidakseimbangan Tegangan	27
2.7 MATLAB SIMULINK	28

2.7.1. Software Matlab	29
2.7.2. AC Voltage source	29
2.7.3. Three phase V-I measurement.....	30
2.7.4. 3-Phase Instantaneous Active & Reactive Power	30
2.7.5. Gain	31
2.7.6. RMS.....	31
2.7.7. Asynchronus Motor (Motor tak Serempak)	32
BAB III METODE PENELITIAN.....	34
3.1 Model Penelitian	34
3.2 Alat dan Bahan Dalam Penelitian.....	43
3.3 Objek Penelitian.....	43
3.4 Diagram Alir	45
3.5 Langkah – Langkah Penelitian.....	46
BAB IV HASIL DAN ANALISA	48
4.1 Data Parameter Motor.....	48
4.2 Menentukan Nilai Tegangan Tidak Seimbang	49
4.3 Rangkaian Simulasi Pada Matlab Simulink.....	51
4.4 Simulasi Matlab Pada Beban Constan 10 N.m Dengan LUVR 5%	52
4.4.1 Pengaruh Torsi Terhadap Putaran (rpm) dan Daya Motor.....	54
4.5 Hasil Simulasi Motor Induksi Dengan Beban 10 N.m.	55
4.5.1 Gelombang Electromaqnetic Torque (N.m).....	55
4.5.2 Gelombnag pada Putaran (rpm)	57
4.5.3 Gelombang Pada Rotor dan Stator	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1. Kesimpulan	61

5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa.....	5
Gambar 2. 2	Konstruksi Stator Motor Induksi.....	9
Gambar 2. 3	Konstruksi Rotor Motor Induksi	9
Gambar 2. 4	Tipe Rotor Sangkar Tupai (Squirrel Cage) dan Tipe Rotor Belitan (Wound Rotor)	11
Gambar 2. 5	Arah Aliran Arus Listrik	12
Gambar 2. 6	Segitiga Daya	12
Gambar 2. 7	Fasor Tegangan	20
Gambar 2. 8	Fasor Tegangan	20
Gambar 2. 9	Bentuk Gelombang Sinusoida.....	22
Gambar 2. 10	Gelombang Hubungan V_{max} dan V_{rms}	23
Gambar 2. 11	Tegangan Tidak Seimbang.....	24
Gambar 2. 12	Tegangan Seimbang	24
Gambar 2. 13	Fasor Tegangan Seimbang dan Tidak Seimbang	25
Gambar 2. 14	Sistem ABC.....	25
Gambar 2. 15	Komponen Simetri	26
Gambar 2. 16	Spesifikasi Software Matlab	29
Gambar 2. 17	AC Voltage Source	29
Gambar 2. 18	Three Phase V-I Measurement.....	30
Gambar 2. 19	Block 3-Phase Instantaneous.....	30
Gambar 2. 20	Block Gain	31
Gambar 2. 21	Block RMS.....	31
Gambar 2. 22	Block Asynchronous Machine SI Unite.....	32

Gambar 2. 23	Block Parameter Asynchronous Machine	32
Gambar 3. 1	Model Simulasi Motor Induksi 3 Fasa	35
Gambar 3. 2	AC Voltage Source	35
Gambar 3. 3	Parameter AC Voltage Source	36
Gambar 3. 4	Three Phase V-I Measurement.....	36
Gambar 3. 5	Parameter Three Phase V-I Measurement.....	37
Gambar 3. 6	Block 3-Phase Instantaneous.....	37
Gambar 3. 7	Block Parameter 3-Phase Instantaneous	38
Gambar 3. 8	Block Gain	38
Gambar 3. 9	Block Parameter Gain	39
Gambar 3. 10	Block RMS.....	40
Gambar 3. 11	Block Asynchronous Machine SI Unite.....	40
Gambar 3. 12	Block Configurasi Asynchronous Machine	41
Gambar 3. 13	Block Parameter Asynchronous Machine.....	42
Gambar 3. 14	Spesifikasi Software MATLAB	43
Gambar 3. 15	Parameter Motor Induksi Yang Digunakan	44
Gambar 3. 16	Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 4. 1	Rangkaian Simulasi Motor Induksi 3-Fasa	51
Gambar 4. 2	Rangkaian Simulasi Motor Induksi Dengan Beban 10 N.m	52
Gambar 4. 3	Grafik Torsi, Putaran dan Daya Tegangan Seimbang.....	54
Gambar 4. 4	Grafik Torsi, Putaran dan Daya Tegangan Tidak Seimbang	55
Gambar 4. 5	Electromaqnetic Torque Tegangan Seimbang	55
Gambar 4. 6	Electromaqnetic Torque Tegangan Tidak Seimbang.....	56
Gambar 4. 7	Putaran Motor Tegangan Seimbang.....	57
Gambar 4. 8	Putaran Motor Tegangan Tidak Seimbang	57
Gambar 4. 9	Arus Rotor Tegangan Seimbang	58
Gambar 4. 10	Arus Rotor Tegangan Seimbang Detik 0 Sampai 0,45	58
Gambar 4. 11	Arus Rotor Tegangan Tidak Seimbang.....	58

Gambar 4. 12	Arus Rotor Trgangan Tidak Seimbang Detik 0 Sampai 0,45	59
Gambar 4. 13	Arus Stator Tegangan Seimbang.....	59
Gambar 4. 14	Arus Stator Tegangan Tidak Seimbang	60

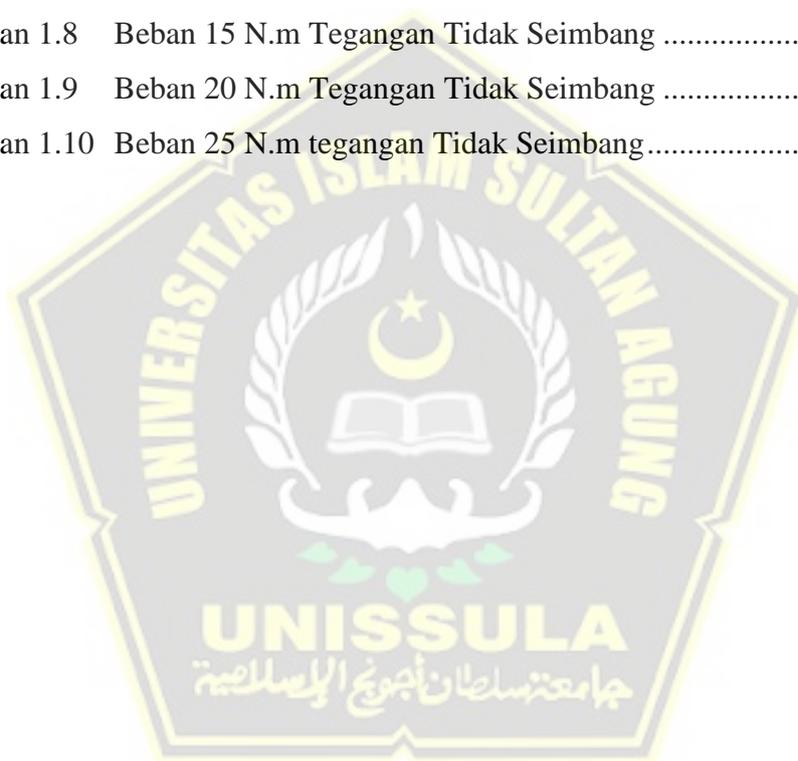
DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Parameter Motor	48
Tabel 4.2	Hasil Simulasi Motor Induksi Menggunakan MATAB SIMULINK	53



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1	Beban 5 N.m Tegangan Seimbang.....	64
Lampiran 1.2	Beban 10 N.m Tegangan Seimbang.....	66
Lampiran 1.3	Beban 15 N.m Tegangan Seimbang.....	69
Lampiran 1.4	Beban 20 N.m Tegangan Seimbang.....	69
Lampiran 1.5	Beban 25 N.m Tegangan Seimbang.....	70
Lampiran 1.6	Beban 5 N.m Tegangan Tidak Seimbang	72
Lampiran 1.7	Beban 10 N.m Tegangan Tidak Seimbang	75
Lampiran 1.8	Beban 15 N.m Tegangan Tidak Seimbang	77
Lampiran 1.9	Beban 20 N.m Tegangan Tidak Seimbang	78
Lampiran 1.10	Beban 25 N.m tegangan Tidak Seimbang.....	78



ABSTRAK

Tegangan yang tidak merata akan mempengaruhi daya. Kondisi ini juga dapat menyebabkan kecelakaan pada motor induksi tiga fase yang membuat mesin menjadi panas, sehingga menurunkan produktivitas mesin yang sebenarnya. Penyimpangan tegangan ini akan mempengaruhi aktivitas motor induksi, yang dapat mempengaruhi kekuatan dan kemampuan mesin penerim. Defenisi ketidak seimbangan tegangan dan besarnya, ditentukan berdasarkan metode NEMA (National Equipment Manufacturer's Association). Simulasi perhitungan dengan perangkat lunak MATLAB dilakukan untuk analisis dampak tegangan masuk tidak seimbang pada motor induksi tiga fasa dengan ketidak seimbangan 5%, dimana $V_a = 399V$, $V_b = 380V$ dan $V_c = 361V$.

Disaat tegangan tidak seimbang terjadi perbedaan signifikan terhadap gelombang torsi, dimana karakteristik gelombang pada torsi mengalami osilasi yang berakibat getaran pada motor semakin besar. Tegangan yang tidak seimbang menyebabkan peningkatan nilai torsi karena daya yang digunakan ketika tegangan tidak seimbang menggunakan lebih banyak daya. Pada beban 10 N.m daya pada motor sebesar 65,546 KW dengan torsi 130,5 dan pada saat beban 25 N.m daya motor 65,55 9KW dengan torsi 133,2 N.m. sehingga dengan semakin naiknya beban nilai torsi akan meningkat. Dan hubungna antara daya dan torsi adalah berbanding lurus. Sehingga ketika motor mengalami kenaikan daya pada motor akan meningkat.

NEMA membuat rekomendasi: Motor dapat beroperasi secara normal pada daya spesifikasinya jika unbalance voltage tidak lebih dari 1%. Ketika tegangan tidak seimbang adalah 5% menyebabkan panas berlebih dan kerugian pada motor meningkat, cara untuk mengatasi ketidakseimbangan tegangan adaah dengan "Dereating" motor atau menurunkan peringkat motor. Ketika tegangan tidak seimbang melebihi 1% motor harus melambat agar motor dapat berjalan dengan baik.

Kata Kunci: Motor induksi, Tegangan tidak seimbang, MATLAB.

ABSTRACT

Uneven voltage will affect power. This condition can also cause accidents in three-phase induction motors which cause the engine to overheat, thereby reducing the actual productivity of the engine. This voltage deviation will affect the activity of the induction motor, which can affect the power and ability of the receiving machine. The definition of voltage imbalance and its magnitude, determined by the NEMA (National Equipment Manufacturer's Association) method. Calculation simulation using MATLAB software was carried out to analyze the impact of unbalanced input voltage on a three-phase induction motor with 5% unbalance, where $V_a = 399V$, $V_b = 380V$ and $V_c = 361V$.

When the voltage is not balanced, there is a significant difference in the torque wave, where the characteristic wave in the torque oscillates which results in greater vibration of the motor. An unbalanced voltage causes an increase in the torque value because the power used when the unbalanced voltage uses more power. At a load of 10 N.m the power to the motor is 65.546 KW with a torque of 130.5 and at a load of 25 N.m

the motor power is 65.55 9KW with a torque of 133.2 N.m. so that with increasing load the torque value will increase. And the relationship between power and torque is directly proportional. So that when the motor experiences an increase the power on the motor will increase.

NEMA makes a recommendation: The motor can operate normally at its specified power if the unbalance voltage is not more than 1%. When the unbalanced voltage is 5% causing overheating and the loss to the motor increases, the way to overcome the voltage imbalance is to “Dereating” the motor or lowering the motor rating. When the unbalanced voltage exceeds 1% the motor must slow down for the motor to run properly.

Keywords: Induction motor, unbalanced voltage, MATLAB.



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi atau biasa disebut motor asinkron, motor ini yang paling umum digunakan di dunia modern karena pengembangan dasar konstruksinya, dukungan elementer, dan karakteristik operasional yang sangat baik. Sebagai aturan, motor induksi perkerutan digunakan untuk menggerakkan pompa dan kipas. Motor induksi yang paling banyak digunakan adalah motor induksi tiga fasa. Motor ini dirancang dengan asumsi sumber tegangan seimbang. Tegangan sumber transmisi sebagian besar sangat dapat disesuaikan, baik dalam sudutnya maupun magnetic. Tahap ketidak seimbangan terjadi selama penggunaan, ini mungkin karena beban yang berbeda dalam rangka daya, sirkulasi beban miring, transmisi rusak, transformator tidak berdaya, dll. Tidak seimbang fase adalah perbedaan magitudo atau titik sudut setiap tahap dalam rangkaian listrik tiga fasa. Faktor tidak seimbang dilaporkan dengan rasio, antara pengelompokan fasa negatif terhadap fasa positif yang dicantumkan kedalam bentuk persentase [1].

Motor induksi merupakan motor pengganti aliran listrik atau arus bolak balik (AC) yang paling umum digunakan dalam penggunaan sehari-hari baik di industri maupun di rumah. Oleh karena ini motor induksi sangat sederhana untuk dioperasikan, dan selain itu memiliki desain yang sederhana dan kuat serta tidak memerlukan banyak maintenece saat dioperasikan. Motor ini sering berjalan terus menerus bahkan dalam kondisi steady-state. Masalah tegangan tidak seimbang yang disediakan oleh motor induksi tiga fase adalah sesuatu yang dapat terjadi di bawah kondisi gangguan dari aktivitas motor induksi. Berbagai macam pengaruh gangguan yang terjadi pada distribusi beban menyebabkan kecenderungan tegangan tidak merata, berbicara dari motor induksi tiga fase secara keseluruhan, tegangan yang tidak merata akan mempengaruhi daya. Kondisi ini juga dapat menyebabkan kerusakan pada motor induksi tiga fase yang membuat mesin menjadi panas, sehingga menurunkan produktivitas mesin yang sebenarnya. Penyimpangan tegangan ini akan mempengaruhi aktivitas motor induksi, yang

dapat mempengaruhi kekuatan dan kemampuan mesin penerima. Dan kemudian akan menentukan daya keluaran motor [1].

Oleh karena itu sangat memerlukan sesuatu kajian berupa penelitian atau Analisa melihat bagaimana tegangan motor induksi ketidakseimbangan yang berkontribusi dapat berpengaruh pada torsi dan efisiensi motor induksi, bagaimana hubungan terhadap operasi motor induksi saat kondisi tegangan tidak seimbang. Dalam hal ini menggunakan simulasi MATLAB SIMULINK untuk melakukan percobaan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah disampaikan diatas, penulis mengambil rumusan masalah seperti berikut :

1. Bagaimana pengaruh ketidak seimbangan tegangan terhadap torsi pada motor induksi 3 fasa.
2. Bagaimana pengaruh ketidak seimbangan tegangan terhadap daya pada motor induksi 3 fasa.

1.3 Batasan Masalah

1. Kinerja pada motor disini berupa, torsi, dan daya pada motor induksi 3 fasa.
2. Mensimulasikan pengaruh tegangan tidak seimbang menggunakan software MATLAB SIMULINK.
3. Tidak membahas antara perhitungan dan simulasi motor.
4. Tidak Menghitungkan daya aktif dan reaktif.
5. Tidak membahas arus stator dan arus rotor.

1.4 Tujuan Penelitian

- 2.2.1 Menganalisa pengaruh ketidak seimbangan tegangan terhadap torsi motor induksi 3 fasa.
- 2.2.2 Menganalisa pengaruh ketidak seimbangan tegangan terhadap daya motor induksi 3 fasa.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini yaitu untuk mengetahui bagaimana pengaruh ketidak seimbangan tegangan pada motor induksi dan kinerjanya dengan menggunakan Matlab.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan dalam pembuatan tugas akhir ini, maka penulis membuat sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka dari penelitian yang pernah dilakukan, penjelasan mengenai kinerja pada motor induksi, dan persamaan sebagai rumus pada perhitungan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini meuraikan mengenai model penelitian, objek penelitian, data penelitian, dan tahap-tahap dalam penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan tentang pembahasan data dan analisa penelitian yang didapatkan dari hasil penelitian dan pengolahan data yang diperoleh.

BAB V : PENUTUP

Hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan maka mendapatkan kesimpulan dan saran sebagai penutup tugas akhir ini.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Antonov, Yeni Oktariani Pada penelitian yang berjudul “Studi Pengaruh Torsi Beban Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fase” Perubahan beban yang cenderung naik melebihi kapasitas motor yang memengaruhi torsi mekanik sehingga dapat mempengaruhi kinerja motor, yang diantaranya adalah kecepatan dan arus motor. Semakin berat beban motor maka putaran motor akan menurun, sedangkan slip, torsi, arus semakin meningkat. Bila kondisi ini terus menerus berlangsung, maka akan memperpendek umur motor menjadi panas di sebabkan meningkatnya arus sehingga motor cepat rusak. Maka solusi yang dapat dilakukan adalah dengan menaikkan daya (Dengan cara menukar motor dengan daya yang lebih besar) [2].

Ahmad Kurnia Pratama, Elvira Zondra dan Hazra Yuwendius pada penelitian yang berjudul “Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan” Menyatakan bahwa Efektivitas motor induksi dapat diperiksa dengan memproses rugi-rugi yang terjadi di mesin penerimaan. Rugi-rugi setiap kali daya berubah, berbeda dari rugi-rugi yang dihasilkan pada tegangan ratingnya. Hilang daya terbesar terjadi pada rugi-rugi pusat stator yang dipengaruhi oleh arus rotor, kemalangan arus kurva stator dipengaruhi oleh arus stator dan kemalangan arus loop rotor dipengaruhi oleh slip yang dihasilkan ke rotor. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kapasitas motor penerima tiga fasa termasuk pengurangan, beban yang diterapkan, dan perubahan tegangan sumber yang disuplai ke motor. dan selain itu kecelakaan tenaga yang terjadi di mesin [3].

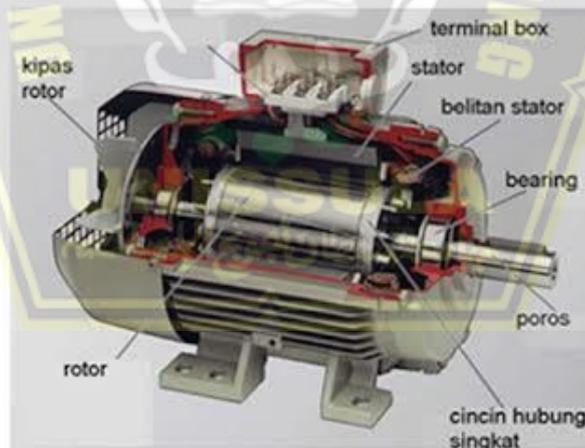
Aji Hari Riyadi Pada penelitian yang berjudul “Analisa Torsi Dan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Simulasi Matlab”. Dengan menggunakan simulasi persamaan dasar yang ditransformasi pada sumbu d-q, dengan menghitung harga tegangan fasa, Arus, Momen dan kecepatan didapat hasil penelitian sebagai berikut:

1. Kinerja (*performance*) motor induksi ditentukan oleh karakteristik torsi-terhadap putaran
2. Hasil perhitungan dari program komputer yang berjalan secara konsisten dipengaruhi oleh batas informasi mesin, sehingga hasil daya menunjukkan bahwa ada kesamaan antara hasil pengujian menggunakan kondisi dasar dengan penggunaan kondisi yang diubah [4].

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Motor Induksi 3 Fasa

Motor listrik digunakan untuk mengubah satu energi menjadi energi lain, misalnya, perubahan dari energi mekanik menjadi energi listrik dikenal sebagai generator dan energi listrik menjadi energi mekanik dikenal sebagai motor. Setiap mesin memiliki bagian tetap dan bergerak. Bagian yang bergerak dan tetap terdiri dari pusat besi yang diisolasi dari lubang udara dan membentuk sirkuit magnetik, yang menghasilkan fluks pada aliran arus melewati kumparan yang terdapat pada kedua bagian tersebut. Pada dasarnya, mesin penggerak yang digunakan di industri memiliki output daya lebih dari 1 HP dan menggunakan motor 3 fasa [5].



Gambar 2. 1 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

1. Keunggulan

- a. Mempunyai konstruksi yang sederhana dan sangat kokoh.
- b. Mempunyai harga beli yang lebih murah dan sangat bisa diandalkan.

- c. Efisiensi yang cukup tinggi. Disaat kondisi normal, sikat arang tidak diperlukan, sehingga kerugian gesekan berkurang. Memiliki faktor daya yang cukup baik.
- d. Hanya memerlukan sedikit perawatan.

2. Kelemahan

- a. Kecepatannya tidak dapat bervariasi tanpa mengorbankan beberapa efisiensi yang dimiliki motor.
- b. Kecepatan putar motor semakin berkurang bila beban motor semakin tinggi.
- c. Memiliki torsi awal yang lebih rendah daripada motor shunt DC.

2.2.2 Prinsip Kerja Motor Induksi 3 Fasa

Hubungan listrik pada motor induksi tidak terdapat antara stator dengan rotornya, karena arus pada rotor merupakan arus induksi. Jika belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada stator akan dihasilkan arus tiga fasa, arus tersebut menghasilkan medan magnetik yang berputar dengan kecepatan sinkron [5].

Ketika medan magnetik memotong konduktor rotor, di dalam konduktor tersebut akan diinduksikan ggl yang sama seperti ggl yang di induksikan dalam lilitan sekunder transformator oleh fluksi primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung maupun tahanan luar. Ggl induksi menyebabkan arus mengalir di dalam konduktor rotor. Maka dengan mengalirnya arus pada konduktor rotor di dalam medan magnet yang dihasilkan stator, sehingga akan dibangkitkan gaya (F) yang bekerja pada motor [5].

Rotasi rotor pada motor induksi disebabkan oleh adanya medan putar yang dihasilkan pada kumparan stator. Medan putar ini akan terjadi bila kurva stator dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa. Aturan operasinya digambarkan seperti dibawah ini.

1. Jika sumber tegangan 3 fasa dihubungkan ke kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan,
2. Medan putar stator akan memotong batang konduktor di rotor sehingga pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (GGL Induksi).

3. Karena belitan rotor merupakan rangkaian tertutup, arus (I) akan mengalir. Konduktor (kumparan rotor) yang membawa arus dalam medan magnet memberikan gaya (F) pada rotor.
 4. Ketika kopel awal karena gaya (F) yang diberikan pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor berputar ke arah yang sama dengan medan putar stator.
 5. Seperti yang sudah dijabarkan bahwa tegangan induksi akan timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan perbedaan relatif antara kecepatan medan putaran stator (n_s) dengan kecepatan medan putaran rotor (n_r).
 6. beda kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (S).
 7. bila $n_r = n_s$ tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .
- Medan Putar
- Medan yang agak menarik yang bergerak melawan konduktor rotor akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl).
- Rotasi motor pada mesin pengalih arus disebabkan oleh medan rotasi (transisi rotasi) yang dibuat di loop stator. Bidang putar ini terjadi ketika loop stator berkorelasi dalam tahap yang berbeda, umumnya 3 tahap.

2.2.3 Gaya pada motor listrik

Penerapan gaya magnetik atau gaya lorentz dalam industri, yang salah satu contohnya adalah motor listrik. Hal utama yang paling penting pada motor listrik adalah mengenai efek fisika yang ketika muatan listrik digerakkan dalam medan magnet maka ia akan mengalami gaya. Dimana satuan gaya dinyatakan dalam Newton (N).

$$F = m \cdot a \quad (2.1)$$

Keterangan:

$$F = \text{Gaya (N)}$$

m = Masa benda (Kg)

a = Percepatan (m/s)

Dimana percepatan (a) :

$$A = F/m \quad (2.2)$$

Keterangan:

F = Gaya (N)

m = Masa benda (Kg)

Pada prinsipnya motor listrik memiliki kumparan dalam medan magnet tetap. Jika kumparan tersebut kita aliri arus listrik, maka kumparan tersebut akan bekerja suatu gaya magnetik atau disebut juga gaya lorentz. gaya tersebut dialami oleh setiap batang konduktor pada rotor, serta gaya magnetiknya memiliki arah yang berbeda antara kumparan kanan dan kiri, sehingga membentuk torsi (momen gaya). Hal tersebut yang menyebabkan kumparan dapat berputar.

2.2.4 Konstruksi Motor Induksi

1. Stator

Merupakan bagian stasioner dan belitan yang dapat menghasilkan medan elektromagnetik yang berlawanan dengan belitan rotor. Inti stator motor induksi terbuat dari satu lapis baja lembaran berlubang, sedangkan rangka stator terbuat dari baja tuang atau baja lembaran fabrikasi gulungan rotor terletak di dalam alur stator yang terpisah 120° listrik [5].

Struktur stator motor induksi pada dasarnya mencakup elemen-elemen berikut ini:

- a. Rumah stator (rangka stator) berupa besi tuang.
- b. Inti stator berupa besi lunak atau baja silikon.
- c. Alur, bahannya sama dengan inti, alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan stator).
- d. Belitan (kumparan) pada stator terbuat dari tembaga.

Rangka stator motor induksi ini dirancang dengan baik dengan empat tujuan, yaitu:

- Menutup inti dan kumparannya.
- Melindungi komponen mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan gesekan yang disebabkan oleh gangguan benda atau gangguan udara atau cuaca.
- Mentransmisikan torsi ke perangkat pendukung motor dan dengan demikian stator dirancang untuk menahan torsi guncangan.
- Sebagai saran ventilasi rumah untuk pendinginan yang lebih efisien.



Gambar 2. 2 Konstruksi Stator Motor Induksi

2. Celah

Merupakan celah udara: Tempat berpindahnya energi dari startor kerotor.

3. Rotor

Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor.



Gambar 2. 3 Konstruksi Rotor Motor Induksi

Konstruksi rotor motor induksi terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

- a. Inti rotor, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator.
- b. Alur, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti. Alur merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan) rotor.
- c. Belitan rotor, bahannya dari tembaga.
- d. Poros atau as.

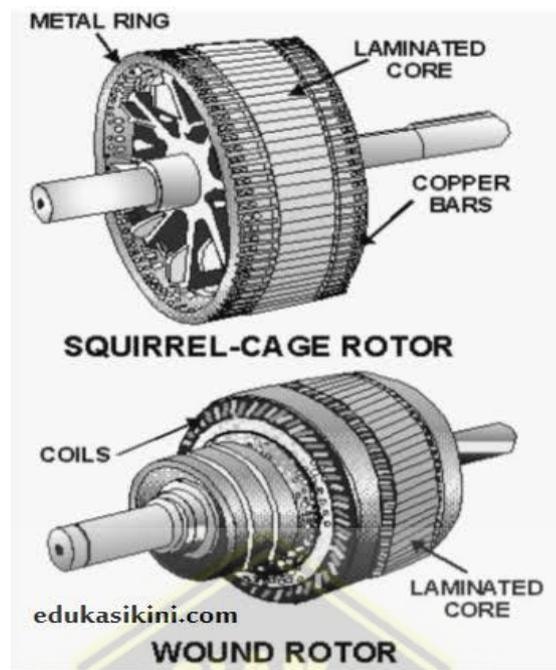
Berdasarkan bentuk konstruksi rotornya, maka motor induksi tiga fasa dibedakan menjadi 2 tipe yaitu:

1. Rotor sangkar tupai atau *squirrel-cage rotor*

Inti rotor motor induksi sangkar tupai terdiri dari lapisan konduktor yang sejajar dengan poros dan mengelilingi permukaan inti. Konduktor tidak diisolasi dari inti, karena arus rotor secara alami akan mengalir melalui hambatan apapun, khususnya konduktor rotor. disetiap setiap ujung rotor, semua ujung rotor dihubungkan pendek dengan cincin ujung. Ujung rotor dan putaran ujungnya mirip dengan rotor sangkar tupai yang berputar, oleh karena itu dinamakan motor induksi sangkar tupai [6].

2. Rotor belitan atau *wound rotor*

Rotor berliku adalah jenis motor yang memiliki rotor yang terbuat dari belitan. Gulungan rotor terus bergerak dalam ruang dan sebagian besar terhubung ke wye, ketiga terminal dihubungkan dengan cincin slip dan kemudian dihubungkan dengan sikat tetap, sehingga motor dapat ditahan dari luar sehingga putaran motor dapat berubah. dengan mengubah nilai kontras resistor eksternal [6].



Gambar 2. 4 Tipe Rotor Sangkar Tupai (Squirrel Cage) dan Tipe Rotor Belitan (Wound Rotor)

Lubang udara adalah ruang antara stator dan rotor. Dalam lubang udara ini, transisi yang dipicu stator memotong kumparan rotor, menyebabkan rotor berputar. Lubang udara antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa untuk mencapai hasil kerja yang ideal. Jika lubang udara antara stator dan rotor terlalu besar akan mengakibatkan rendahnya efisiensi motor intake, lagi-lagi jika jarak lubang terlalu kecil atau tipis akan menyebabkan masalah mekanis pada motor [5].

2.3 Daya

2.3.1 Pengertian Daya

Daya adalah energi yang dikonsumsi untuk melakukan usaha. Dalam konteks kelistrikan, daya adalah ukuran energi yang digunakan untuk menjalankan usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam Watt atau Horsepower (HP), Horsepower adalah satuan daya listrik dimana 1 HP identik dengan 746 Watt atau lbft/sec. Sedangkan Watt adalah satuan daya listrik dimana 1 Watt memiliki daya yang sebanding dengan daya yang diberikan dengan menggandakan arus 1 Ampere dan tegangan 1 Volt. Daya

ditransmisikan dalam P, tegangan ditransmisikan dalam (V) dan arus di (I), sehingga ukuran daya ditransmisikan dalam [7]:

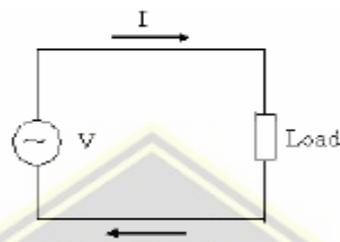
$$P = V \times I \quad (2.3)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

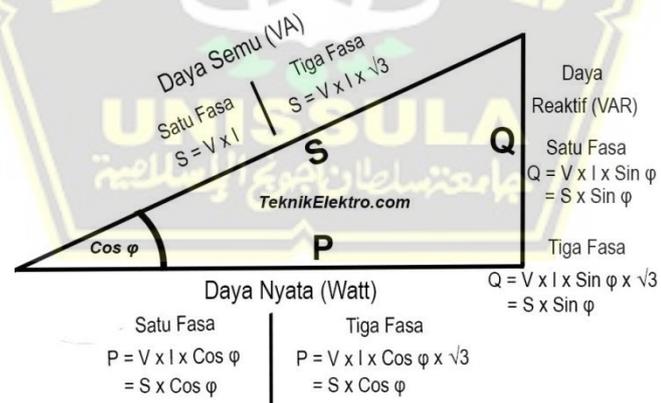
I = Arus (Ampere)



Gambar 2. 5 Arah Aliran Arus Listrik

2.3.2 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda (*Apparent Power*/daya nyata, *Active Power*/daya aktif dan *Reactive Power*/daya reaktif) berdasarkan prinsip trigonometri [7].



Gambar 2. 6 Segitiga Daya

Keterangan :

P = Daya Nyata (Daya Aktif)

Q = Daya Reaktif

S = Daya Semu

2.3.3 Daya Aktif / Daya Nyata (P)

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan kerja terhadap beban atau daya sesungguhnya yang dibutuhkan beban. Besaran daya aktif dinyatakan dalam (Watt) [7].

$$P_{(1 \text{ phase})} = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.4)$$

$$P_{(3 \text{ phase})} = 3 \times V_{L-N} \times I_L \times \cos \varphi \quad (2.5)$$

$$P_{(3 \text{ phase})} = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \times \cos \varphi \quad (2.6)$$

Keterangan;

P = Daya aktif (Watt)

I = Arus (Ampere)

V_{L-N} = Tegangan fasa-netral (Volt)

V_{L-L} = Tegangan fasa-fasa (Volt)

Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja.

2.3.4 Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah jumlah listrik yang dibutuhkan untuk membentuk medan magnet. Dari pembentukan medan magnet tersebut akan terbentuk fluks magnet. Contoh sumber daya reaktif adalah trafo, motor, lampu pijar dan sejenisnya. Daya reaktif adalah Var [7].

$$Q_{(1 \text{ Fasa})} = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.7)$$

$$Q_{(3 \text{ Fasa})} = 3 \times V_{L-N} \times I_L \times \sin \varphi \quad (2.8)$$

$$Q_{(3 \text{ Fasa})} = 3 \times V_{L-L} \times I_L \times \sin \varphi \quad (2.9)$$

Keterangan;

Q = Daya Reaktif (Var)

I = Arus (Ampere)

V_{L-N} = Tegangan fasa-netral (Volt)

$$V_{L-L} = \text{Tegangan fasa-fasa (Volt)}$$

2.3.5 Daya Semu (S)

Daya semu adalah daya yang dihasilkan dari perhitungan listrik sebelum dibebani. Satuan daya nyata adalah VA. Dihasilkan dari hasil perhitungan antara tegangan (V) kali arus (A). Daya semu juga dapat disebut sebagai daya yang tertera pada paparan nama peralatan listrik atau pembangkit listrik [7].

Pada motor 1 fasa.

$$S = V \times I \quad (2.10)$$

Pada motor 3 fasa.

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.11)$$

2.3.6 Faktor Daya

Faktor daya ($\cos \phi$) dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dan daya nyata (VA) yang digunakan dalam sirkuit AC atau beda sudut fasa antara V dan I yang biasanya dinyatakan dalam $\cos \phi$ [7].

$$\cos \phi = P / S \quad (2.12)$$

Dimana :

P = Daya aktif (Watt)

S = Daya semu (VA)

$\cos \phi$ = Faktor daya

Faktor daya memiliki rentang nilai dari 0-1 dan juga dapat dinyatakan sebagai persentase. Faktor kekuatan yang baik ketika mendekati satu.

2.4. Arus

Arus listrik adalah muatan listrik yang bergerak melalui suatu medium konduktor dalam satuan waktu. Muatan listrik ditransfer dari elektron dan proton pada sebuah atom. Elektron mempunyai muatan negatif sedangkan proton memiliki muatan positif. Namun, sebagian besar proton hanya bergerak di dalam inti partikel, di sinilah kepemilikan elektron adalah untuk membawa muatan mulai

dari satu titik dan kemudian ke titik berikutnya. Ini karena elektron dalam bahan penghantar misalnya, logam umumnya diizinkan untuk berpindah dari satu atom ke atom pesiar berikutnya.

Atom pada penghantar memiliki banyak elektron bebas yang berpindah dari suatu atom ke atom berikutnya dengan arah yang tidak tentu, sehingga tidak mengalir ke satu arah tertentu. Tetapi saat dialiri Tegangan pada penghantar tersebut, semua elektron bebas akan menuju ke tempat yang sama sehingga tercipta aliran arus listrik. Arus listrik atau *Electric Current* biasanya dilambangkan dengan huruf (I) yang yang berarti intensitas. Sedangkan satuan Arus Listrik adalah Ampere yang biasa dilambangkan huruf (A) atau (Amp).

1 Ampere arus listrik dapat diartikan sebagai jumlah elektron atau muatan (Q atau Coulombs) yang melewati suatu titik tertentu dalam 1 detik.

Sementara pada hukum Ohm ukuran arus listrik yang bergerak melalui saluran atau penghantar berbanding lurus dengan tegangan (V) atau beda potensial, dan berbanding terbalik terhadap hambatan (R) [8].

Menghitung Arus/Ampere

Mencari ampere atau arus motor ketika didapat daya(watt), tegangan (volt), dan faktor daya ($\cos \varphi$) [5].

Pada motor 1 fasa

$$P = V.I \cos \varphi \quad (2.13)$$

$$I = I = \frac{P}{V.COS \varphi} \quad (2.14)$$

Pada motor 3 fasa

$$P = \sqrt{3}.V.I.Cos\varphi \quad (2.15)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}.V.COS \varphi} \quad (2.16)$$

Dimana :

$$P = \text{Daya (Watt)}$$

V = Volt (Tegangan)

I = Arus (Ampere)

Cos ϕ = Faktor Daya

2.5 Beban Motor Listrik

2.5.1 Torsi, Kecepatan dan Daya

Torsi adalah tenaga gerak yang dihasilkan dari sebuah motor listrik.

- a. Hubungan antara torsi dan daya pada motor listrik berbanding lurus
 - Semakin besar daya pada motor maka torsi akan semakin besar
 - Sebaliknya semakin kecil daya motor semakin kecil torsi yang dihasilkan.
- b. Hubungan antara kecepatan (Rpm) dan torsi pada motor listrik (berbanding terbalik)
 - Semakin besar kecepatan motor maka semakin kecil torsi.
 - Semakin kecil kecepatan motor maka semakin besar torsi.

Setelah dapat diperoleh persamaan-persamaan daya yang ada pada motor induksi tiga fasa, maka selanjutnya akan diperoleh persamaan torsi.

$$\text{Daya: } P = (T \times N) : 5252 \quad (2.17)$$

$$\text{Torsi: } T = (5252 \times P) : N \quad (2.18)$$

$$\text{Kecepatan: } N = (5252 \times P) : T \quad (2.19)$$

Keterangan:

P = Daya dalam satuan HP (HorsePower)

T = Torsi (NM)

N = Jumlah putaran per menit (RPM)

5252 adalah nilai ketetapan (konstanta) untuk daya motor dalam satuan HP

Untuk menentukan besar torsi beban dapat menggunakan persamaan seperti dibawah ini:

Torsi Shaft:

$$T_{sh} = \frac{P_{out}}{\omega} \quad (2.20)$$

$$\omega = 2\pi N/60 \quad (2.21)$$

$$T_{sh} = \frac{P_{out}}{2\pi N/60} \quad (2.22)$$

Keterangan:

- T_{sh} = Torsi Shaft (N.m)
 P_{out} = Daya keluaran (Watt)
 N = Kecepatan rotor (r.p.m)
 ω = Kecepatan sudut (rad/s)

1. Torsi Poros (T_{sh})

Tidak semua torsi jangkar yang dianalisa dapat menyelesaikan pekerjaan yang berharga, karena sebagian dari Torsi yang dihasilkan digunakan untuk memasok rugi-rugi inti dan menangani masalah di mesin. Torsi yang menyelesaikan pekerjaan yang berharga pada mesin dikenal sebagai torsi poros (T_{sh}) [9].

2. Menghitung Kecepatan Motor

Rumus menghitung kecepatan sinkron, jika yang diketahui frekuensi dan jumlah kutub pada motor AC [5].

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (2.23)$$

Keterangan :

- n_s = Kecepatan Sikron Motor (rpm)
 F = Frekuensi (Hz)
 P = Jumlah kutub motor

2.5.2 Perhitungan Daya Masukan dan Perhitungan Load Motor induksi

Dengan parameter terukur yang diambil dari alat ukur, untuk menghitung daya masukan dapat menggunakan Persamaan (2.24) dan persamaan (2.25) untuk menghitung daya masukan tiga fasa ke motor yang dimuat. kemudian

dapat mengukur beban-beban motor dengan membandingkan daya input yang diukur di bawah beban dengan daya yang diperlukan ketika motor beroperasi pada kapasitas yang dimiliki motor [10].

$$P_i = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2.24)$$

Keterangan :

- P_i = Daya masukan (Watt)
- V = Tegangan terukur (Volt)
- I = Arus terukur (Ampere)
- $\cos \varphi$ = Faktor daya

$$P_{ir} = P_{or} \times (0,7457 / \text{Eff}) \quad (2.25)$$

Dimana :

- P_{ir} = Daya nameplate ketika beban penuh
- P_{or} = *Horsepower nameplate*
- Eff = Efisiensi pada beban penuh

$$\text{Load} = (P_i / P_{ir}) \times 100\% \quad (2.26)$$

Dimana :

- Load = Presentase beban
- P_i = Daya masukan (Watt)
- P_{ir} = Daya masukan dari perhitungan *nameplate*

2.5.3 Horse Power (HP)

Satuan daya kuda atau Horse Power biasa digunakan untuk menyatakan besaran daya pada sebuah motor atau untuk mengukur daya keluaran dari motor.

1 HP sama dengan 745,7 watt, atau 0,7457 KW.

James Watt memutuskan bahwa seekor kuda poni dapat memutar mesin pengolah beberapa kali dalam satu jam atau 2,4 kali dalam sekejap.

Radius roda yang berputar adalah 12 kaki, sehingga roda bergerak $2,4 \times 2 \pi \times 12$ kaki dalam satu seconds. James Watt menerima bahwa kuda poni mampu untuk menarik 180 pound, dari hasil perhitungan ini ditemukan bahwa:

$$\text{Daya} = \frac{\text{usaha}}{\text{Waktu}} \quad (2.27)$$

$$\text{Usaha} = \text{Gaya} \times \text{Jarak} \quad (2.28)$$

$$\text{Daya} = \frac{\text{Gaya} \times \text{Jarak}}{\text{Waktu}} = \frac{(180 \text{ lbf}) \cdot (2,4 \times 2\pi \times 12 \text{ ft})}{1 \text{ menit}} = 32,572 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{menit}} \quad (2.29)$$

Hasil 32,572 kaki-pound per menit dibulatkan menjadi 33.000 kaki-pound per menit.

1 HP (Horse Power) = 33.000 kaki-pound / menit (745,7 Watt).

1 kaki-pound / menit = 0.0225969 Watt.

Keterangan :

P = Daya (Watt)

W = Usaha (joule [J])

t = waktu (Sekon [s])

F = Gaya (Newton [N])

v = Kecepatan (meter/sekon [m/s])

s = Jarak (m)

ft = Jarak yang ditempuh dalam satuan kaki (feet) per satuan waktu dalam detik (s)

Lbf = Pound Force (pound gaya)

2.5.4 Slip

Dapat diartikan sebagai perbedaan kecepatan putar rotor dan medan putar stator. Bertambahnya beban akan memperbesar arus induksi pada motor, sehingga slip antar medan putar rotor dan stator bertambah.

$$\% \text{Slip} = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \quad (2.30)$$

Keterangan :

%Slip = Persentase slip motor induksi

Nr = Medan Putar Rotor (rpm)

Ns = Medan Putar Stator (rpm)

2.5.5 Efisiensi

Efisiensi mesin dinyatakan sebagai tingkat rasio antara daya keluaran yang dapat diberikan mesin untuk beroperasi (P_2) dengan daya input (P_1) yang dibutuhkan mesin..

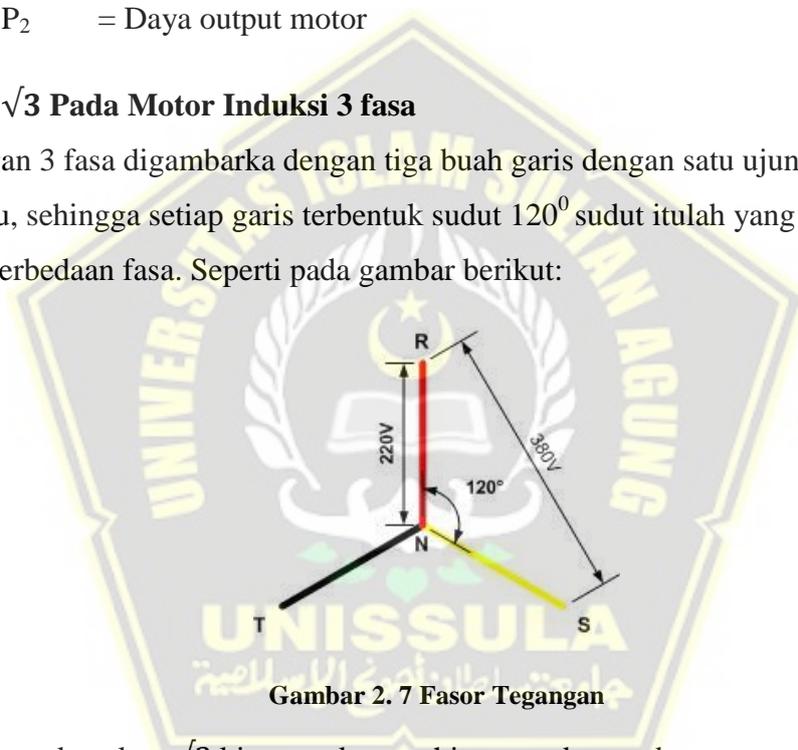
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad (2.31)$$

Dimana :

- η = Efisiensi (%)
- P_1 = Daya input motor
- P_2 = Daya output motor

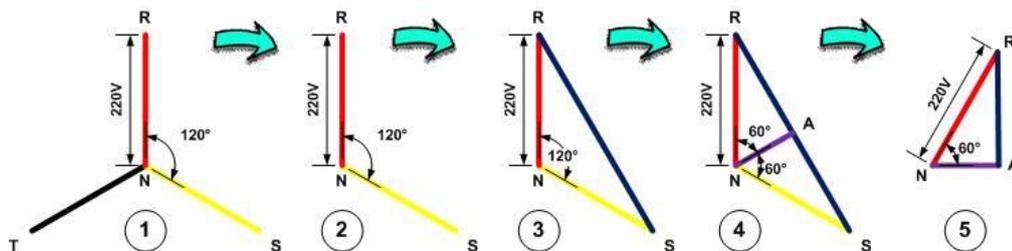
2.4.6 $\sqrt{3}$ Pada Motor Induksi 3 fasa

Tegangan 3 fasa digambarkan dengan tiga buah garis dengan satu ujung saling bertemu, sehingga setiap garis terbentuk sudut 120° sudut itulah yang disebut sudut perbedaan fasa. Seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. 7 Fasor Tegangan

Untuk mendapatkan $\sqrt{3}$ kita gunakan perhitungan dengan bantuan gambar berikut



Gambar 2. 8 Fasor Tegangan

Angka dalam lingkaran adalah nama gambar.

Gambar 1 adalah representasi dari tegangan tiga fasa dan netral, dimana tegangan fasa ke netral adalah 220V

Gambar 2 merupakan cuplikan dua buah fasa, dimana antara dua fasa berbeda sudut 120° .

Gambar 3 ditarik garis dari R ke S, yang mempresentasikan tegangan antar fasa atau V_{rs} .

Gambar 4 bidang segitiga RSN, dibagi dua dengan menarik garis NA, sehingga terbentuk dua buah segitiga yang mempunyai bentuk serupa, dengan sudut $\angle RNA = \angle \angle SNA$, sebesar 60° .

Gambar 5 merupakan potongan segitiga RNA dari gambar 4, dari gambar inilah dasar perhitungan akan dimulai.

Dengan mengacu pada gambar 5, kita gunakan rumus untuk menghitung kaki-kaki segitiga:

$$\sin 60^{\circ} = \frac{RA}{RN} \quad (2.32)$$

$$\sin 60^{\circ} = \frac{RA}{220}$$

$$RA = 220 \times \sin 60^{\circ}$$

$$RA = 220 \times \frac{1}{2}\sqrt{3}$$

$$RA = 110 \times \sqrt{3}$$

Dari perhitungan di atas kembali ke gambar 4, $RS=RA+AS$, dan $RA=AS$, sehingga $RS=RA+RA$ atau $RS=2RA$, sehingga:

$$RS = 2 \times RA \quad (2.33)$$

$$RS = 2 \times 110 \times \sqrt{3}$$

$$RS = 220 \times \sqrt{3}$$

$$RS = 381,05$$

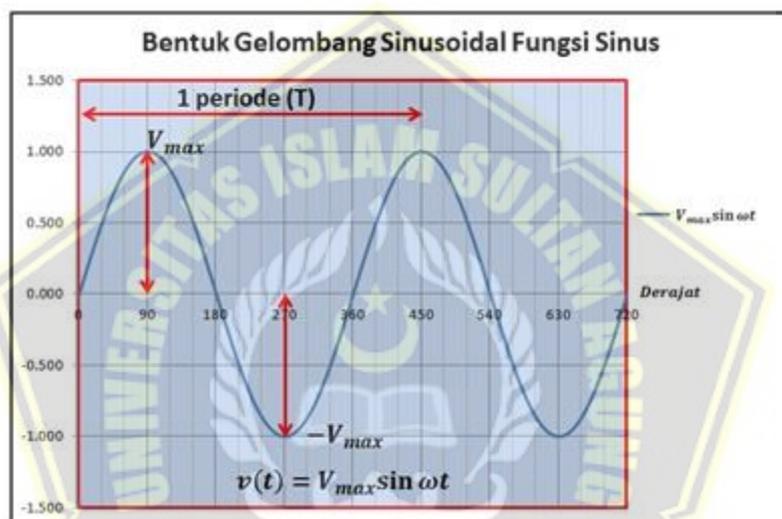
RS ~380

2.4.7 V_{max} dan V_{rms}

1. Tegangan Maximum (V_{max})

Merupakan amplitudo maksimum dari gelombang sinus. Dalam siklus gelombang, ada dua tegangan puncak, V_{max} dan $-V_{max}$.

- V_{max} adalah tegangan puncak ketika bentuk gelombang sinus berada pada posisi positif.
- $-V_{max}$ adalah tegangan puncak ketika bentuk gelombang sinus berada pada posisi negatif.



Gambar 2. 9 Bentuk Gelombang Sinusoida

2. Tegangan Efektif (V_{rms})

Istilah tegangan RMS muncul karena tegangan dan arus rata-rata tidak banyak membantu dalam perhitungan daya dan energi AC.

Rms adalah amplitudo tegangan AC yang bertindak sebagai tegangan DC ketika disuplai ke beban. Misalnya, baterai 5V memberi daya pada lampu pijar. Untuk dapat menghasilkan daya yang sama, tegangan AC harus didistribusikan sebagai 5V rms.

3. Hubungan V_{max} dengan V_{rms}

Sebagaimana dinyatakan dalam literatur perhitungan tegangan efektif, hubungan antara V_{max} dan V_{rms} adalah:

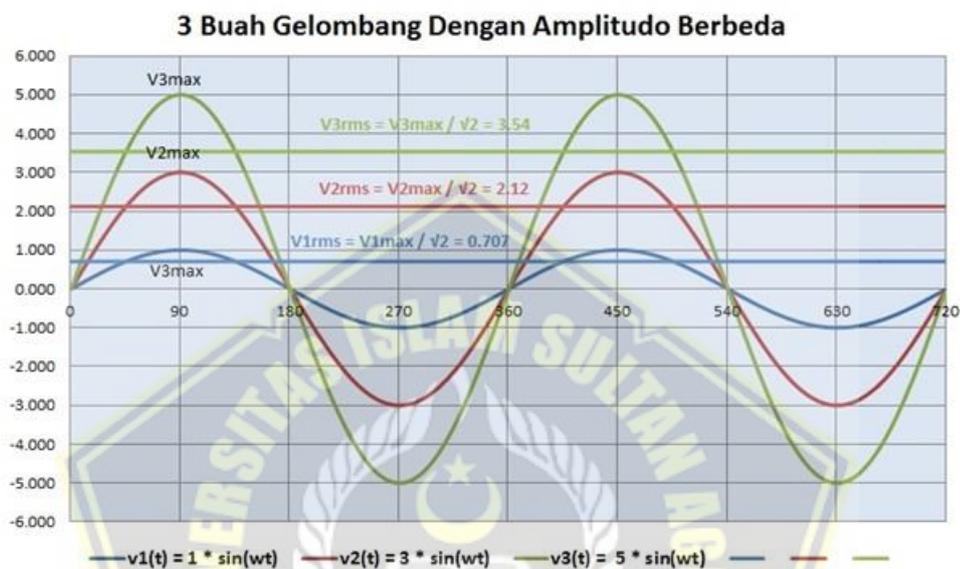
$$V_{\max} = \sqrt{2} V_{\text{rms}}$$

$$V_{\max} = 1.414 V_{\text{rms}}$$

Bila V_{rms} adalah 5V, maka tegangan puncaknya ialah:

$$V_{\max} = 1.414 \times 5 = 7.07V$$

Dengan demikian, untuk dapat bertindak sebagai tegangan DC sebesar 5Vdc, beban harus menyediakan tegangan bolak-balik dengan $V_{\max} = 7.07V_{\text{ac}}$.



Gambar 2. 10 Gelombang Hubungan V_{\max} dan V_{rms}

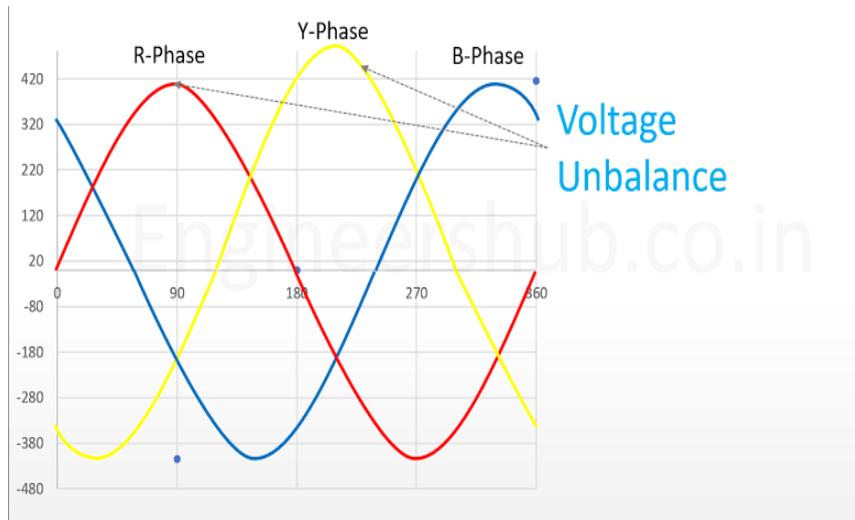
2.6 Tegangan Tidak Seimbang

2.6.1. Penyebab Tegangan Tidak Seimbang

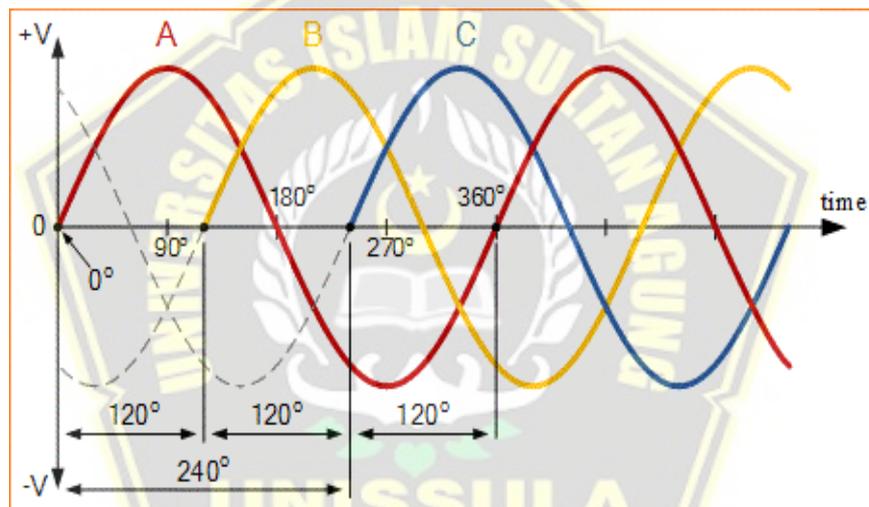
Didefinisikan sebagai penyimpangan dalam harga tegangan fasa atau fasa-fasa dari harga nominalnya. Ketidak seimbangan ada karena beberapa alasan, seperti misalnya :

- tranposisi yang tidak sempurna dari saluran transmisi,
- transformator delta terbuka,
- putusnya fuse dari kapasitor bank tiga fasa,
- distribusi beban satu fasa yang tidak merata,
- kerusakan transformator dalam sistem tenaga,
- operasi beban satu fasa pada titik-titik berbeda.

Gambar berikut mengilustrasikan tegangan seimbang dengan tegangan tidak seimbang.

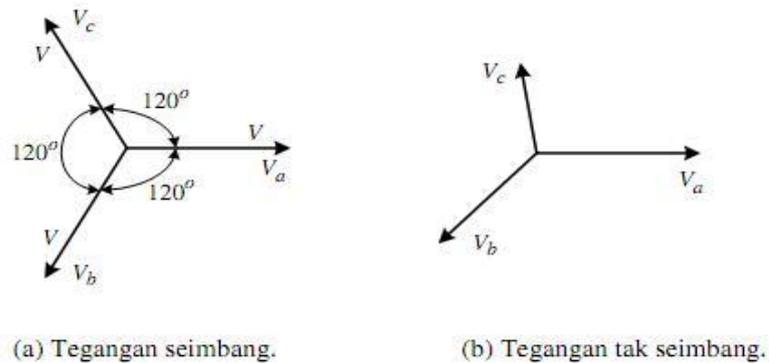


Gambar 2. 11 Tegangan Tidak Seimbang



Gambar 2. 12 Tegangan Seimbang

Dalam sistem 3 fasa ketidakseimbangan tegangan terjadi ketika tegangan fasa berbeda dari kondisi ketidakseimbangan normal. Kondisi normal adalah ketika tegangan 3 fasa identik besarnya dan sudut fasa bergeser 120^0 secara vektor. Ketidakseimbangan dapat disebabkan karena perbedaan besaran tegangan atau sudut fasa atau keduanya.



Gambar 2. 13 Fasor Tegangan Seimbang dan Tidak Seimbang

Konsep Fasor

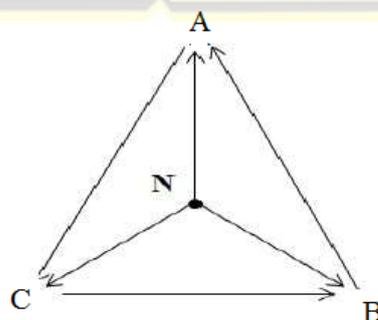
$$V(t) = V_m \cos(\omega t + \angle\theta) \rightarrow \text{dalam domain waktu:} \quad (2.34)$$

- Polar : $V = V_m \angle 0$
- Rectangular : $V = V_m \cos \theta + j V_m \sin \theta$

Untuk menyatakan sinyal periodik sinusoida dinyatakan dalam bilangan kompleks, $A = x + jy$ dengan x dan y adalah bilangan real dan $j = \sqrt{-1}$ (bilangan imajiner).

2.6.2. Sistem Tegangan Tiga Fasa

Pada sistem tegangan tiga fasa ada sistem yang menggunakan sistem urutan ABC (positif) atau CBA (negatif), tetapi hubungan tegangan Δ (tegangan line to line) dan sistem tegangan Y (tegangan dengan saluran netral),dimana nilai besarnya dikalikan $\sqrt{3}$. Dibawah ini menjelaskan perbedaan sudut antara sitem ABC dan CBA, seperti berikut.



Gambar 2. 14 Sistem ABC

$$V_{AB} = V_L \angle -120 \quad (2.35)$$

$$V_{BC} = V_L \angle 0 \quad (2.36)$$

$$V_{CA} = V_L \angle 120 \quad (2.37)$$

$$V_{AN} = (V_L \sqrt{3}) \angle -90 \quad (2.38)$$

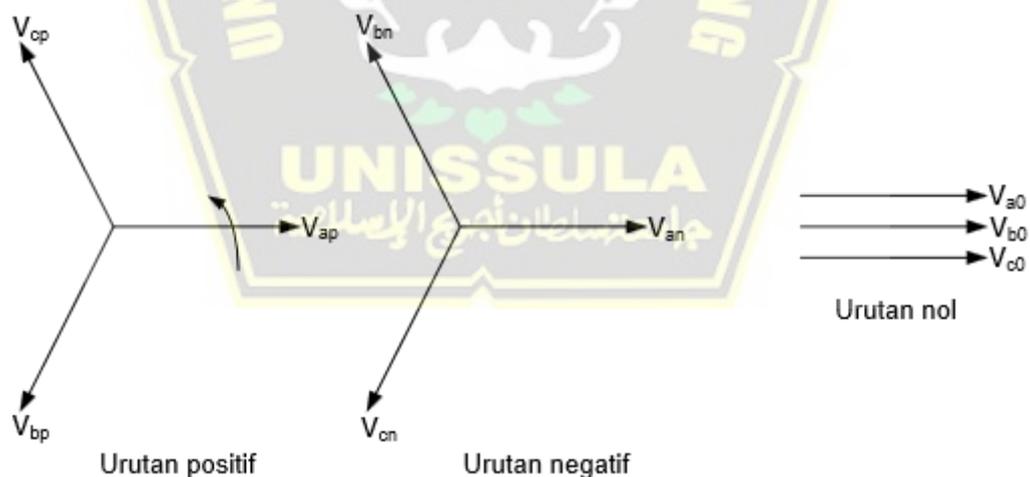
$$V_{AN} = (V_L \sqrt{3}) \angle 30 \quad (2.39)$$

$$V_{AN} = (V_L \sqrt{3}) \angle 150 \quad (2.40)$$

2.6.3. Komponen Simetri

Konsep komponen simetri diperkenalkan oleh Charles Fortescue pada tahun 1918. Konsep ini menyatakan bahwa n vektor tidak simetri dapat dinyatakan sebagai jumlah n himpunan vektor simetri.

Untuk sistem tiga fasa, himpunan tiga tegangan tidak simetri dapat dinyatakan dengan tiga himpunan tegangan seimbang. Yang pertama adalah urutan positif yang mempunyai urutan fasa sama dengan tegangan tiga fasa seimbang. Yang kedua adalah urutan negatif yang mempunyai urutan fasa berlawanan dengan tegangan tiga fasa seimbang. Yang ketiga adalah urutan nol dimana tiga tegangan yang membentuk urutan nol mempunyai fasa yang sama.



Gambar 2. 15 Komponen Simetri

Andaikan V_a , V_b , dan V_c menyatakan tegangan-tegangan fasa motor, tegangan-tegangan komponen urutan nol, positif, dan negatif dinyatakan dengan :

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_p \\ V_n \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

Tegangan-tegangan urutan positif V_p dan urutan negatif V_n dinyatakan dengan :

$$V_p = (V_a + aV_b + a^2V_c)/3 \quad (2.42)$$

$$V_n = (V_a + a^2V_b + aV_c)/3 \quad (2.43)$$

Dengan : $a = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ = 0,5 - j0,866$$

2.6.4. Faktor Ketidakseimbangan Tegangan

Ketidak seimbangan tegangan didefinisikan oleh IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) adalah variasi tegangan dalam sistem tenaga dimana ada perbedaan besaran tegangan atau sudut fasa diantara keduanya tidak sama. Oleh karena itu masalah ketidakseimbangan tegangan hanya mempengaruhi sistem polifase (misalnya 3 fasa).

Terlepas dari kondisi tegangan lebih tidak seimbang atau tegangan kurang tidak seimbang, besar penyimpangan tegangan selalu dinyatakan dalam suatu faktor ketidak seimbangan tegangan (VUF, Voltage Unbalance Factor) yang biasa dinyatakan dalam persen (%). Ada beberapa definisi yang berkaitan dengan faktor ketidak seimbangan tegangan, yaitu definisi NEMA (National Equipment Manufacturer's Association), definisi IEEE, dan definisi IEC.

Defenisi NEMA menyatakan ketidak seimbangan tegangan dalam bentuk LVUR (Line Voltage Unbalance Rate) dalam bentuk persamaan :

$$\text{LVUR (\%)} = \frac{\text{Penyimpangan tegangan maximum dari tegangan fasa - fasa rata-rata}}{\text{Tegangan fasa-fasa rata-rata}} \times 100 \quad (2.44)$$

Defenisi NEMA menggunakan besaran tegangan fasa-fasa dan mengasumsikan tegangan rata-rata selalu sama dengan harga nominal tegangan fasa-fasa. LVUR hanya menggunakan besar tegangan dan tidak mencakup besar sudut fasa. Defenisi NEMA banyak digunakan di kawasan Amerika Utara.

Defenisi IEEE menyatakan ketidak seimbangan tegangan dalam bentuk PVUR (Phase Voltage Unbalance Rate) dalam bentuk persamaan :

$$\text{PVUR (\%)} = \frac{\text{Penyimpangan tegangan maximum dari tegangan fasa rata - rata}}{\text{Tegangan fasa rata - rata}} \times 100 \quad (2.45)$$

Pada dasarnya defenisi IEEE identik dengan defenisi NEMA. Hanya saja, defenisi IEEE menggunakan besaran tegangan fasa.

Dalam kawasan Eropa, ketidak seimbangan tegangan dihitung menggunakan defenisi IEC. Defenisi IEC menggunakan besar tegangan urutan negatif dan urutan positif untuk menghitung ketidak seimbangan tegangan. Dalam bentuk persamaan dinyatakan dengan [11].

$$\begin{aligned} \% \text{VUF} &= \frac{\text{Besar tegangan urutan negatif}}{\text{Besar tegangan urutan positif}} \times 100 \quad (2.46) \\ &= \frac{[Vn]}{[Vp]} \times 100 \end{aligned}$$

2.7 MATLAB SIMULINK

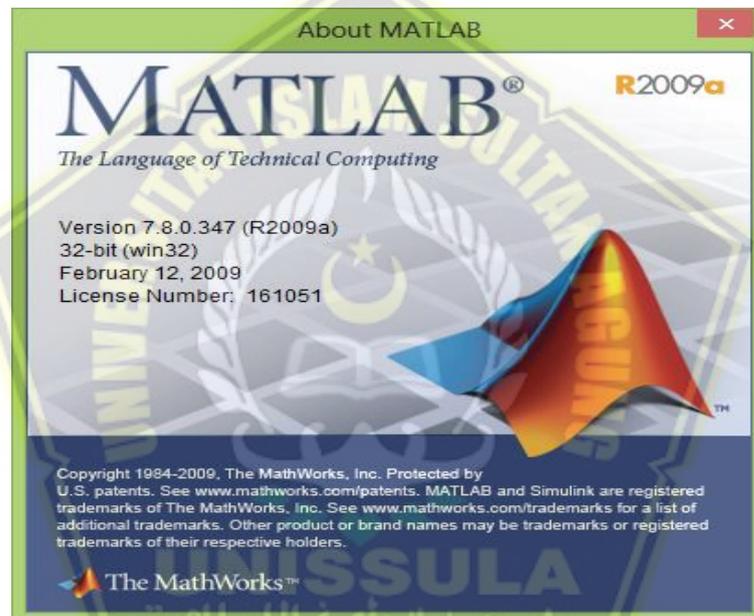
MATLAB adalah bahasa pemrograman berbasis matriks tingkat tinggi, biasanya digunakan dalam teknologi perhitungan numerik untuk menyelesaikan operasi matematika yang melibatkan elemen, matriks, optimisasi, perkiraan, dan masalah lainnya – lainnya, oleh Matlab banyak diaplikasikan pada :

- a. Pengembangan aplikasi pada teknik
- b. Algoritma dan pengembangan.
- c. Pembuatan prototipe, pemrograman simulasi dan modelig.

- d. Analisa Data, eksplorasi dan visualisasi.
- e. Analisa numerik dan statistik.
- f. Komputansi dan matematika.

SIMULINK merupakan perangkat lunak pemodelan dinamik yang dibangun pada *workspace* numerik MATLAB. Kelebihan pada SIMULINK ini adalah model pada SIMULINK terbentuk menjadi blok diagram dengan grafik *interface* yang intuitif ketika deskripsi matematika yang sesuai tersedia untuk sistem yang diinginkan. Dengan adanya SIMULINK ini dapat dengan mudah untuk mensimulasikan macam-macam metode pengasutan motor induksi.

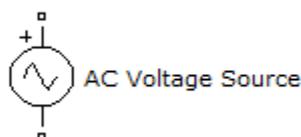
2.7.1. Software Matlab



Gambar 2. 16 Spesifikasi Software Matlab

Pada percobaan ini matlab yang digunakan adalah versi 7.8.0.347 tahun 2009 untuk melakukan simulasi pada motor induksi 3 fasa.

2.7.2. AC Voltage source



Gambar 2. 17 AC Voltage Source

AC Voltage Source block merepresentasikan sebuah sumber tegangan ideal yang mana mempunyai tegangan sinusoida yang melalui output terminal, dan Hanya ada satu arus yang melalui sumber tegangan.

Dimana:

V = Tegangan

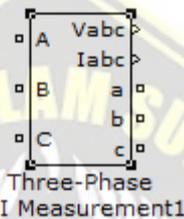
V_0 = Amplitudo tertinggi

F = Frekuensi

ϕ = pergeseran sudut

t = waktu

2.7.3. Three phase V-I measurement

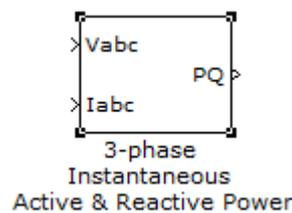


Gambar 2. 18 Three Phase V-I Measurement

Blok simulasi yang digunakan untuk mengukur tegangan tiga arus dan fasa pada rangkaian. Ketika dikoneksikan series dengan tiga fase element, akan menjadi pengukuran 3 fase-ground atau fasa ke fasa tegangan dan arus.

Parameter yang digunakan adalah voltage measurement dengan memilih *phase to ground*. Dengan memilih untuk mengukur phase to ground voltages dalam per unit. Konvert blok untu pengukuran tegangan berdasarkan nilai tertinggi dari nominal tegangan fasa ke ground.

2.7.4. 3-Phase Instantaneous Active & Reactive Power

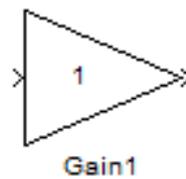


Gambar 2. 19 Block 3-Phase Instantaneous

Blok diagram Power (3ph, Instantaneous) memperhitungkan daya aktif (watt) dan daya reaktif (Vars) menghubungkan periodic set dari tegangan 3 fasa dan arusnya.

Formula yang digunakan untuk perhitungan:

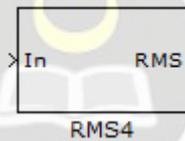
2.7.5. Gain



Gambar 2. 20 Block Gain

Block Gain berfungsi untuk mengubah umpan dari radius per detik ke rpm dengan memberi nilai konstan 60 dengan konversi radius perdetik keputaran per menit seperti pada gambar 2.17.

2.7.6. RMS

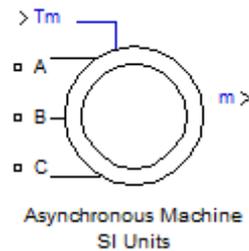


Gambar 2. 21 Block RMS

Block RMS (Root Mean Square) untuk menghitung nilai efektif dari setiap baris atau kolom input, atau sepanjang vektor dan dimensi input yang ditentukan.

Root mean square berarti “dikudratkan, lalu diambil rata-ratanya, kemudian diakarkudratkan”, kenapa harus di RMS kan dikarenakan jika hanya menghitung nilai rata-ratanya saja nilainya adalah nol karena nilai positif dan negatifnya sama. nilai rms bisa dibilang juga nilai efektif.

2.7.7. Asynchronous Motor (Motor tak Serempak)



Gambar 2. 22 Block Asynchronous Machine SI Unite

T_m : Torsi Mekanik Poros

m : Sinyal Pengukuran

Motor Asinkron adalah motor listrik AC dimana arus listrik pada rotor yang dibutuhkan untuk menghasilkan torsi didapatkan dengan induksi elektromagnetik dari medan magnet belitan stator.



Gambar 2. 23 Block Parameter Asynchronous Machine

Dimana :

Voltage Line	: 400 V
Frekuensi	: 50 Hz
Stator Resistance (Rs)	: 0,03552 Ω
Rotor Resistance (Rr)	: 0,02092 Ω
Stator Inductance	: 0,000335 H
Rotor Inductance	: 0,000335 H
Mutual Inductance	: 0,0151 H
Inertia	: 1,25
Friction Factor (Gesekan)	: 0,03914
Pole Pairs (Kutub)	: 2 Pasang (4 Kutub)

Keterangan :

1. Resistansi atau hambatan adalah gaya yang melawan aliran arus.
2. Induktansi sifat dari rangkaian elektronika yang menyebabkan timbulnya potensial listrik secara proporsional terhadap arus yang mengalir pada rangkaian tersebut.
3. Mutual Inductance, bila arus listrik dialirkan pada salah satu kawat maka akan timbul medan magnet pada setiap penampang kawat. Medan magnet tersebut akan mengembang dan memotong kawat penghantar yang kedua.
4. Inertia (Kelembaman) sifat suatu objek yang cenderung menolak keadaan geraknya. atau gaya yang menahan benda yang diam tetap diam atau benda yang bergerak tetap bergerak dengan kecepatan konstan. Semakin besar kelembaman objek, semakin besar pula kekuatan yang dibutuhkan untuk menggerakkannya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah simulasi pada motor induksi menggunakan MATLAB SIMULINK. Pada tugas akhir ini menggunakan motor induksi untuk pengambilan data. Penelitian ini mengambil data percobaan pada motor induksi dengan tegangan tidak seimbang dan kemudian menentukan perangkat (software MATLAB) untuk melakukan penelitian. Setelah itu dilanjutkan dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Data primer pada penelitian ini didapatkan dengan mengambil sample motor induksi dalam software MATLAB SIMULINK. Data sekunder didapatkan dari buku, jurnal, dan penelitian mengenai analisa pengaruh tegangan tidak seimbang terhadap kinerja motor induksi. Dalam penelitian ini akan menunjukkan grafik yang berbeda sesuai dengan torsi pada motor Induksi yang akan diaplikasikan. Setelah melakukan percobaan kemudian membandingkan karakteristik keluaran pada motor induksi dilanjutkan dengan analisis dan kesimpulan.

Pada percobaan simulasi tegangan tidak seimbang menggunakan metode dari NEMA (*National Equipment Manufacturer's Association*), besar penyimpangan tegangan dinyatakan dalam suatu faktor ketidak seimbangan tegangan VUF (*Voltage Unbalance Factor*) yang bisa dinyatakan dalam %.

Definisi NEMA menyatakan ketidak seimbangan dalam bentuk LVUR (*Line Voltage Unbalance Rate*) dalam bentuk persamaan.

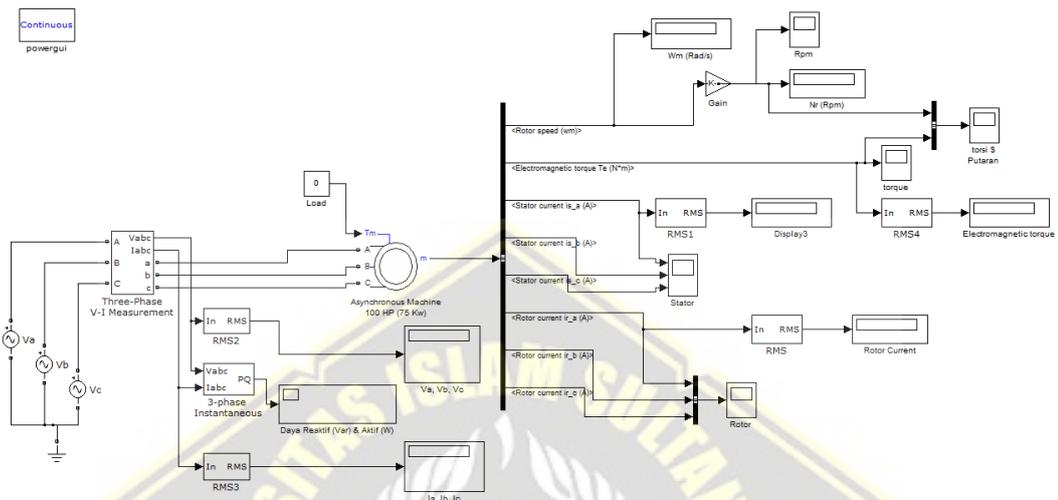
$$\text{LVUR \%} =$$

$$\frac{\text{Penyimpangan tegangan maximum dari tegangan fasa - fasa rata-rata}}{\text{Tegangan fasa-fasa rata-rata}} \times 100$$

Definisi NEMA menggunakan besaran tegangan fasa-fasa dan mengasumsikan tegangan rata-rata selalu sama dengan harga nominal tegangan fasa-fasa. LVUR

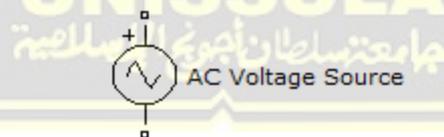
hanya menggunakan besar tegangan dan tidak mencakup besar sudut fasa. Defenisi NEMA banyak digunakan di kawasan Amerika utara.

Dibawah ini dapat dilihat model simulasi yang nantinya akan digunakan pada tugas akhir ini.

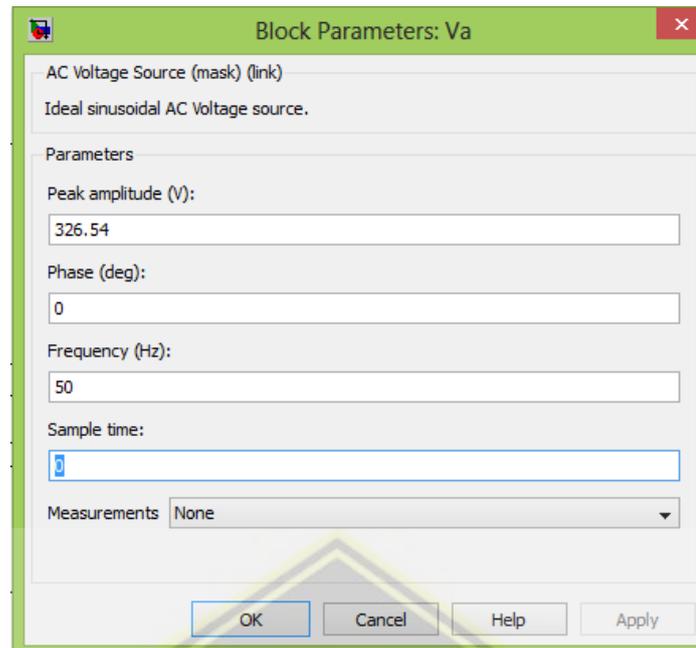


Gambar 3. 1 Model Simulasi Motor Induksi 3 Fasa

Pada simulasi di atas menggunakan motor induksi dengan setelan model nomor 19 yang memiliki spesifikasi 100 HP (75KW), 400 V, 50Hz dan 1484 rpm. Dibawah ini merupakan block parameter yang digunakan pada rangkaian simulasi tugas akhir ini.

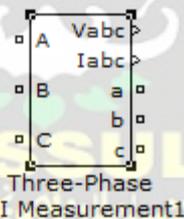


Gambar 3. 2 AC Voltage Source

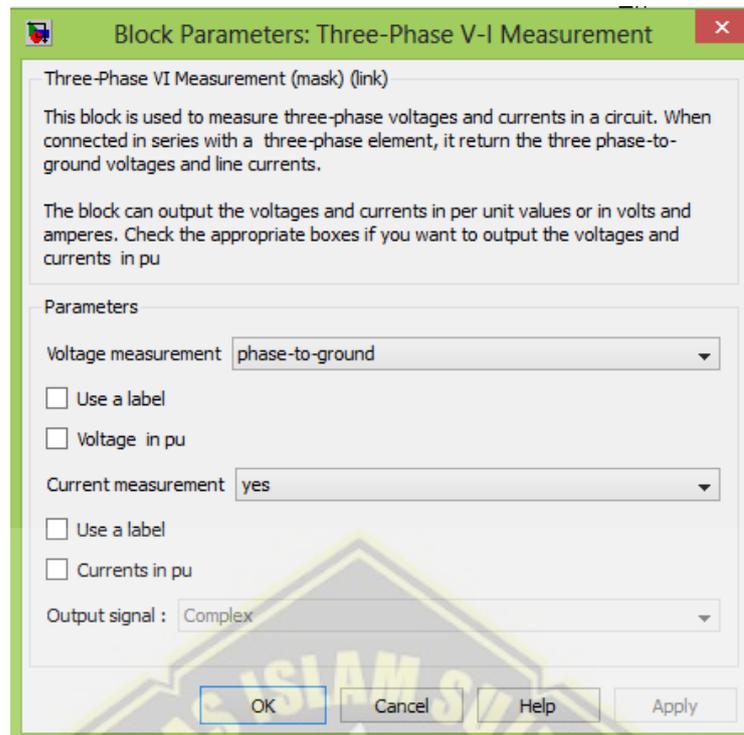


Gambar 3. 3 Parameter AC Voltage Source

Pada gambar 3.3 block parameter AC Voltage source menggunakan tegangan masukan sebesar $V_a = 399$ V, $V_b = 380$ V, $V_c = 361$ V. Kemudian frequency diganti dengan angka 50 Hz sesuai dengan spesifikasi motor yang digunakan.

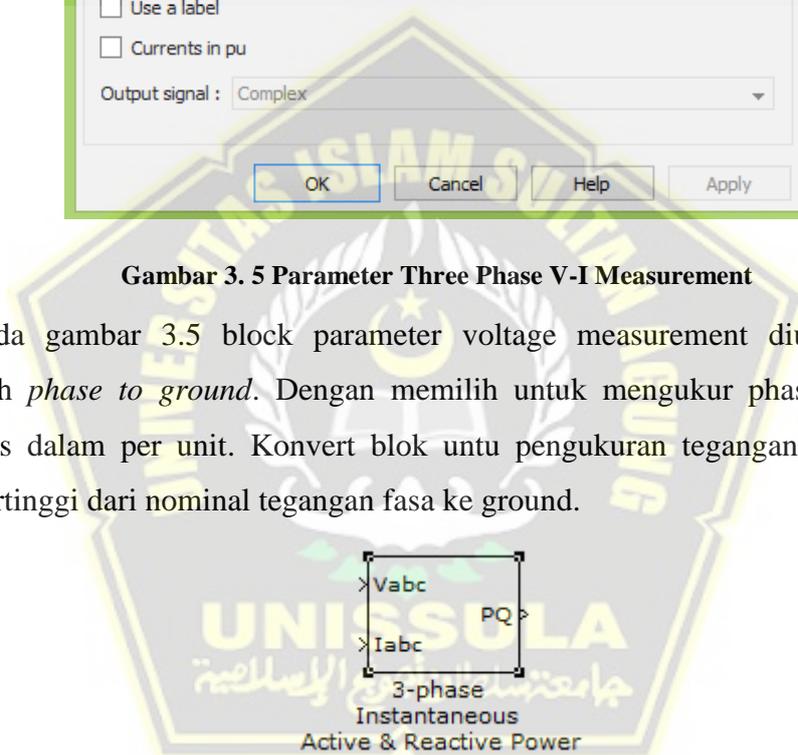


Gambar 3. 4 Three Phase V-I Measurement

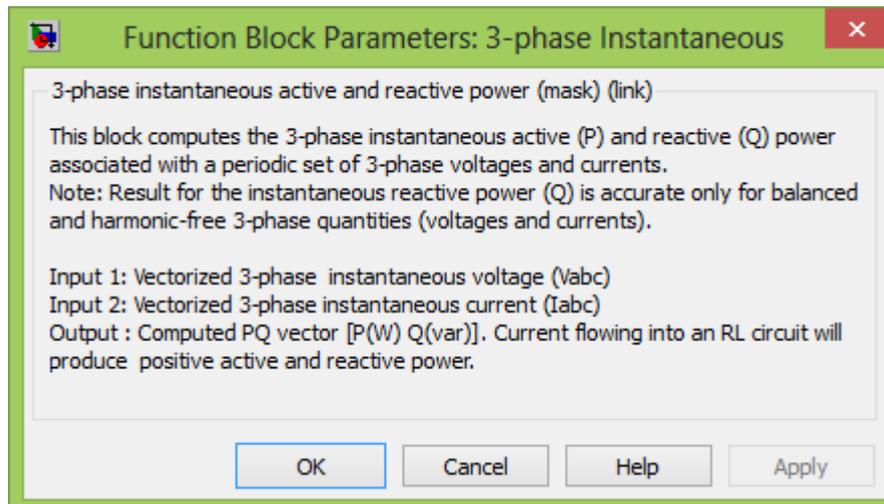


Gambar 3. 5 Parameter Three Phase V-I Measurement

Pada gambar 3.5 block parameter voltage measurement diubah dengan memilih *phase to ground*. Dengan memilih untuk mengukur phase to ground voltages dalam per unit. Konvert blok untu pengukuran tegangan berdasarkan nilai tertinggi dari nominal tegangan fasa ke ground.



Gambar 3. 6 Block 3-Phase Instantaneous



Gambar 3. 7 Block Parameter 3-Phase Instantaneous

Blok diagram Power (3ph, Instantaneous) memperhitungkan daya aktif (watt) dan daya reaktif (Vars) menghubungkan periodic set dari tegangan 3 fasa dan arusnya.

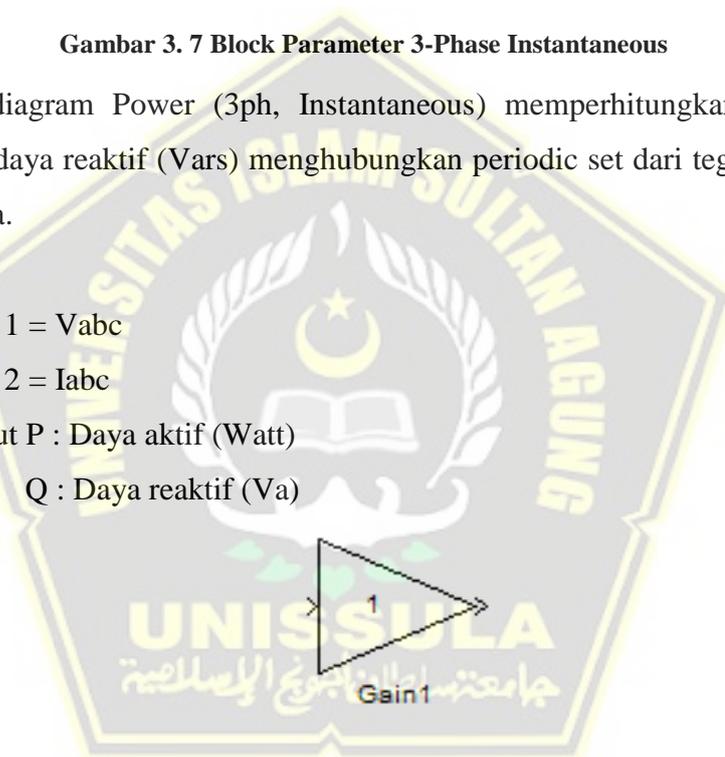
Dimana:

Input 1 = V_{abc}

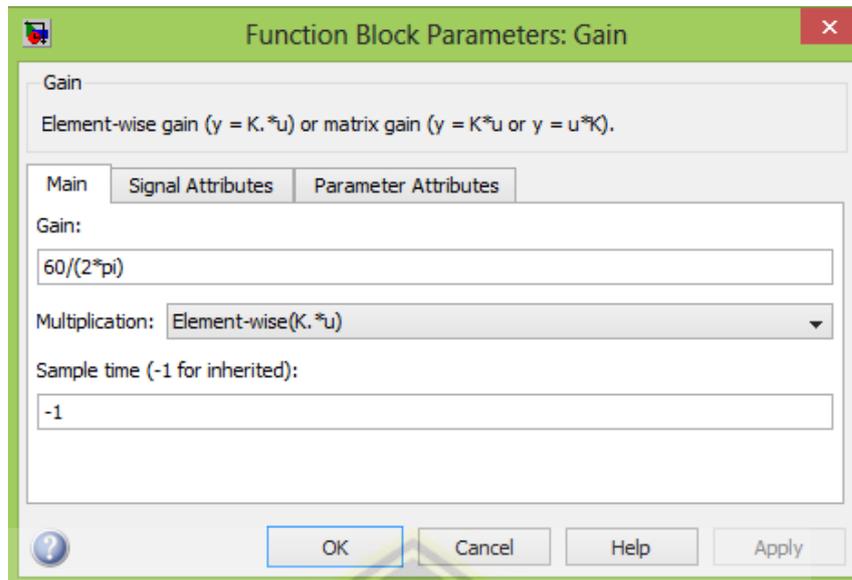
Input 2 = I_{abc}

Output P : Daya aktif (Watt)

Q : Daya reaktif (Va)



Gambar 3. 8 Block Gain



Gambar 3. 9 Block Parameter Gain

Pada gambar 3.9 block Gain berfungsi untuk mengubah umpan dari radius per detik ke rpm dengan memberi nilai konstan 60 dengan konversi radius perdetik keputaran per menit seperti pada gambar 3..

Dimana :

rad/s = radius per sekon

rpm = rotasi per menit

$$1 \text{ putaran} = 2\pi \text{ rad} = 360^{\circ} \quad (1 \text{ pi} = 180^{\circ})$$

$$1 \text{ rad} = \frac{1}{2} \pi \text{ putaran}$$

$$1. \quad 2\pi \text{ rad} = \dots \text{ putaran}$$

$$2\pi \cdot \frac{1}{2\pi} \text{ putaran}$$

$$2\pi \text{ rad} = 1 \text{ putaran}$$

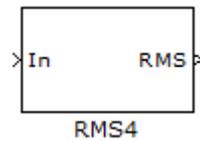
$$2. \quad 1 \text{ menit} = 60 \text{ sekon}$$

$$1 \text{ sekon} = \frac{1}{60} \text{ menit}$$

$$2\pi \text{ rad/s} = \frac{1 \text{ putaran}}{\frac{1}{60} \text{ menit}}$$

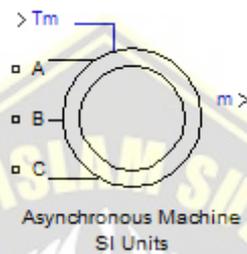
$$= \frac{1.60}{1} = 60$$

Maka nilai $2\pi \text{ rad/s} = 60 \text{ rpm}$



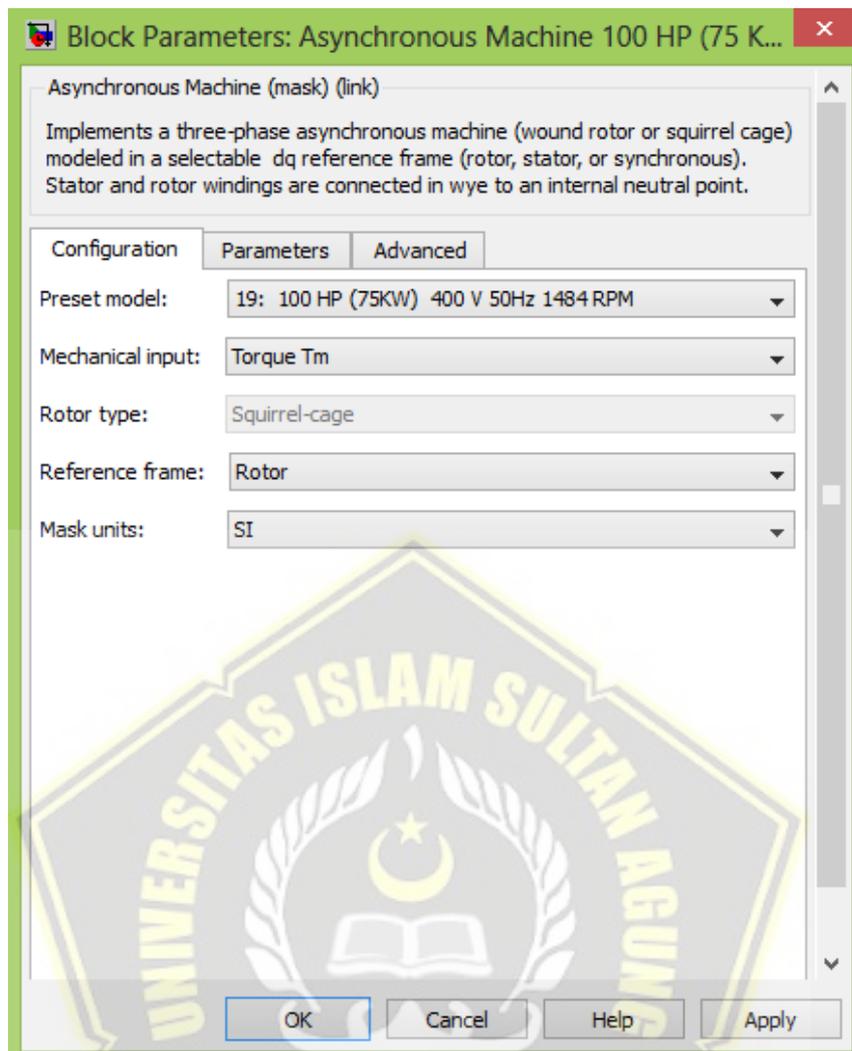
Gambar 3. 10 Block RMS

Block RMS (Root Mean Square) untuk menghitung nilai efektif dari setiap baris atau kolom input, atau sepanjang vektor dan dimensi input yang ditentukan.



Gambar 3. 11 Block Asynchronous Machine SI Unite

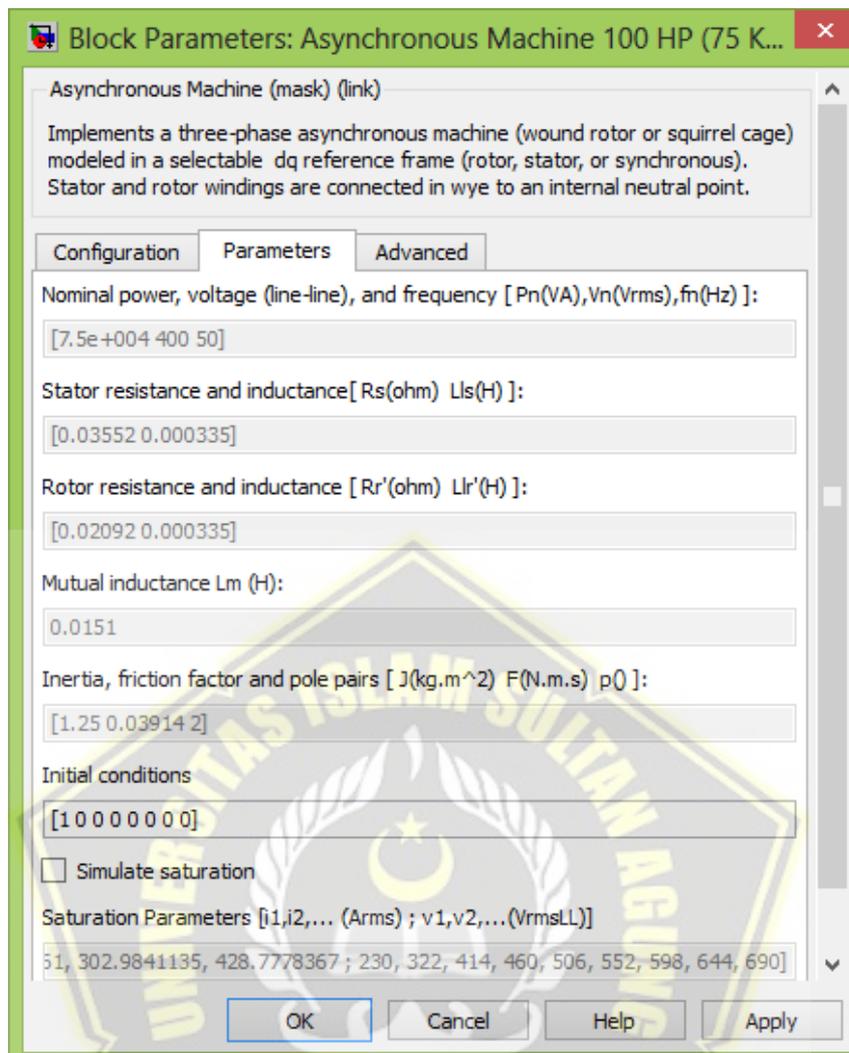
T_m : Torsi Mekanik Poros
 m : Sinyal Pengukuran



Gambar 3. 12 Block Configurasi Asynchronous Machine

Pada block parameter motor Asyncron menggunakan preset model no 19 dengan spesifikasi:

- Preset Model : 19
- Horse Power : 100 HP (75 KW)
- Tegangan : 400 V
- Frequensi : 50 Hz



Gambar 3. 13 Block Parameter Asynchronous Machine

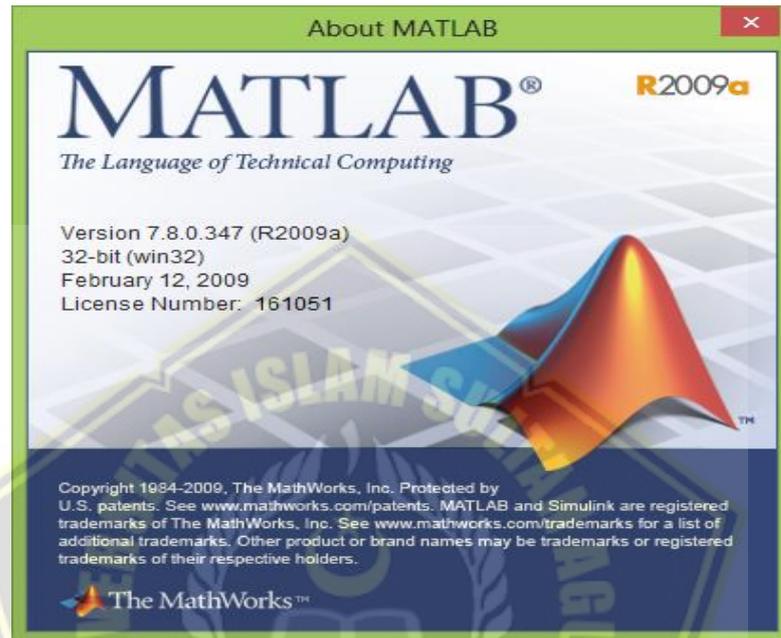
Dimana :

Voltage Line	: 400 V
Frequensi	: 50 Hz
Stator Resistance (Rs)	: 0,03552 Ω
Rotor Resistance (Rr)	: 0,02092 Ω
Stator Inductance	: 0,000335 H
Rotor Inductance	: 0,000335 H
Mutual Inductance	: 0,0151 H
Inertia	: 1,25
Friction Factor (Gesekan)	: 0,03914

3.2 Alat dan Bahan Dalam Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan

1. PC
2. Software MATLAB

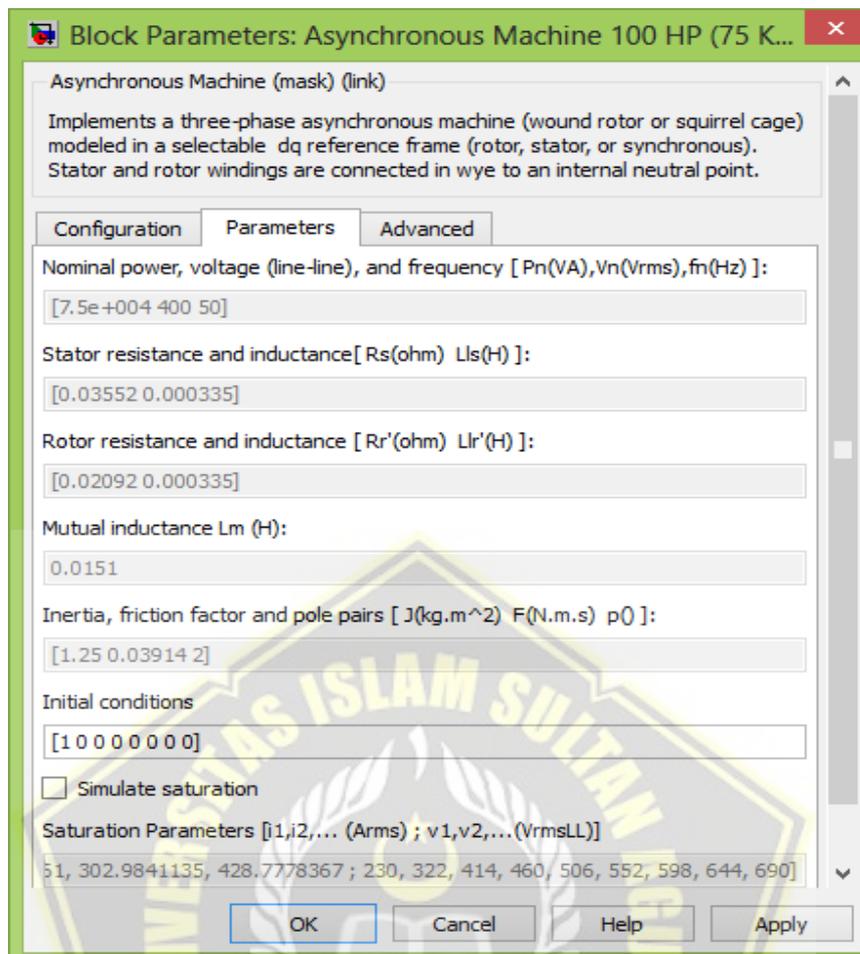


Gambar 3. 14 Spesifikasi Software MATLAB

Pada percobaan ini menggunakan Matlab versi 7.8.0.347 tahun 2009 untuk melakukan simulasi pada motor induksi 3 fasa.

3.3 Objek Penelitian

Tugas akhir ini menggunakan objek penelitian motor induksi tipe rotor squirrel cage yang sudah ada didalam preset model library MATLAB SIMULINK dengan parameter seperti berikut:



Gambar 3. 15 Parameter Motor Induksi Yang Digunakan

Parameter di atas menunjukkan tegangan pada motor sebesar 400V dan Frekuensi 50Hz. Kemudian resistansi stator (R_s) sebesar 0,03552 ohm, resistansi rotor (R_r) 0,02092 ohm, Induktansi Leakage Rotor (L_{lr}) 0,000335H dengan satuan Henry, dan perubahan arus yang melewati rangkaian tetangga (Mutual Inductance atau induktansi bersama) sebesar 0,0151H (Henry).

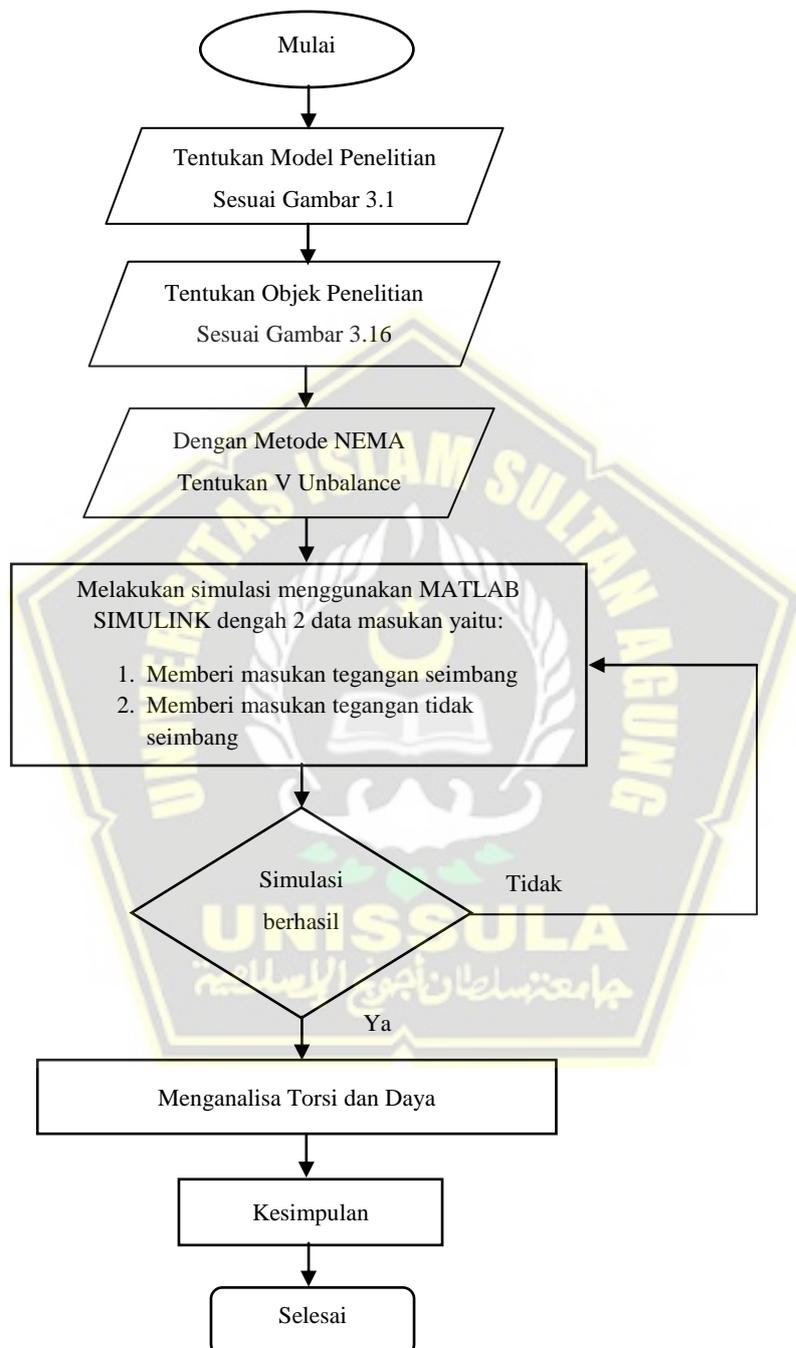
Simulasi dilakukan dengan 2 percobaan.

1. Dengan harga beban konstan 5 N.m, 10 N.m, 15 N.m, 20 N.m, 25 N.m. Dilakukan simulasi dengan tegangan seimbang.
2. Dengan beban yang sama, dengan harga VUF yang telah ditentukan. Akan dianalisa pengaruh besar tegangan tidak seimbang terhadap kinerja motor.

Kinerja motor ditentukan dari parameter-parameter motor pada Torsi, dan Daya beserta hasil gelombang dari simulasi.

3.4 Diagram Alir

Tahapan untuk penelitian tugas akhir dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 3. 16 Diagram Alir Penelitian

3.5 Langkah – Langkah Penelitian

Langkah – langkah yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Menentukan Model Penelitian

Tahap ini meliputi penentuan model penelitian yang akan diuji pada tugas akhir ini. Model penelitian yang akan diuji pada tugas akhir ini adalah menggunakan metode NEMA.

2. Menentukan objek Penelitian

Tahap ini meliputi penentuan objek penelitian yang akan diuji meliputi pada tugas akhir ini. Objek penelitian yang akan diuji pada tugas akhir ini adalah motor induksi *Squirrel Cage* 3 fasa yang diambil dari preset model MATLAB SIMULINK.

3. Penghitungan dan perancangan software

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dan perumusan data yang sudah diambil dengan menggunakan software, yang mana akan digunakan untuk menghitung dan menganalisa data tersebut adalah MATLAB SIMULINK.

4. Hasil dan Analisa

Pada tahap ini akan membahas tentang analisa hasil dari simulasi yang akan dicari perubahan yang terjadi untuk mencari solusi pada penelitian yang dilakukan. Dan hasil yang diperoleh dari tahap ini akan digunakan untuk membuat kesimpulan.

5. Penulisan laporan Tugas Akhir

Setelah pengambilan data, perhitungan dan perancangan software sudah dilakukan tahap selanjutnya adalah pembuatan laporan tugas akhir yang final

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Data Parameter Motor

Data-data motor yang diperlukan dalam percobaan ini diperlihatkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Parameter Motor

Aspek	Keterangan
HP	100 HP
Daya Nominal	75 KW
Rpm	1484
Frekuensi	50Hz
Tegangan	400V

Dari data – data tabel 4.1 diperoleh dan Kecepatan sinkron dan Slip nominal menggunakan persamaan (2.23) dan (2.30).

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} = \frac{120 \cdot 50}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

$$\text{Slip Nominal} = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{1500 - 1484}{1500} = 0,0106$$

$$\text{Slip \%} = 1,06\%$$

4.2 Menentukan Nilai Tegangan Tidak Seimbang

Defenisi NEMA menyatakan ketidak seimbangan tegangan dalam bentuk LVUR (Line Voltage Unbalance Rate) dengan persamaan :

$$\text{LVUR (\%)} =$$

$$\frac{\text{Penyimpangan tegangan maximum dari tegangan fasa - fasa rata-rata}}{\text{Tegangan fasa-fasa rata-rata}} \times 100$$

Defenisi NEMA menggunakan besaran tegangan fasa-fasa dan mengasumsikan tegangan rata-rata selalu sama dengan harga nominal tegangan fasa-fasa (380 Volt). LVUR hanya menggunakan besar tegangan dan tidak mencakup besar sudut fasa.

Dalam analisis, besar LVUR (VUF) pada percobaan ini sebesar 5%. Kemudian ditentukan tegangan fasa-fasa dengan penyimpangan terbesar dari harga rata-rata (dalam hal ini ditentukan V_{ab}). Dengan besar V_{ab} diketahui, besar V_{bc} dan V_{ca} dapat ditentukan. Berikut ini diberikan proses perhitungan ketiga tegangan fasa-fasa V_{ab} , V_{bc} , dan V_{ca} untuk LVUR sebesar 5% dengan menggunakan persamaan (2.30)

1. Tegangan rata-rata.

$$V_{av} = 380 \text{ Volt}$$

2. Menentukan besar V_{ab}

$$\text{LVUR (\%)} = \frac{V_{ab} - V_{av}}{V_{av}} = 0,05$$

$$V_{ab} = 0,05 \times V_{av} + V_{av} = 0,05 \times 380 + 380 = 399 \text{ Volt}$$

3. Menentukan besar V_{bc} dan V_{ca}

$$\frac{|V_{av}| + |V_{bc}| + |V_{ca}|}{3} = V_{ac}$$

$$\text{Atau } |V_{bc}| + |V_{ca}| = 3 \times |V_{av}| - V_{av}$$

$$= 3 \times 380 - 399 = 741 \text{ Volt}$$

Metode NEMA mensyaratkan, salah satu dari V_{bc} atau V_{ca} besarnya sama dengan V_{av} . Dalam hal ini dipilih V_{bc} sama dengan V_{av} . Harga V_{ca} diperoleh :

$$|V_{bc}| = 380 \text{ Volt} \Rightarrow |V_{ca}| = 741 - 380 = 361 \text{ Volt}$$

Dalam bentuk fasor ketiga fasa-fasa dinyatakan dengan :

$$V_{ab} = 399 \angle 30^\circ = (345,5441 + j199,5) \text{ Volt}$$

$$V_{bc} = 380 \angle -90^\circ = -j380 \text{ Volt}$$

$$V_{ca} = 361 \angle 150^\circ = (-319,5633 + j184,5) \text{ Volt}$$

4. Menentukan besar tegangan fasa

Tegangan fasa V_a , V_b , dan V_c diperoleh sebagai berikut :

$$V_a = \frac{(V_{ab} - V_{ca})}{3} = \frac{221,7024 + j1,28}{3} = 221,706 \angle 0,3307^\circ \text{ Volt}$$

$$V_b = \frac{(V_{bc} - V_{ab})}{3} = \frac{-115,1813 - j193,1666}{3} = 224,9001 \angle -120,8067^\circ \text{ Volt}$$

$$V_c = \frac{(V_{ca} - V_{bc})}{3} = \frac{-106,5211 + j188,1666}{3} = 216,2253 \angle 119,5141^\circ \text{ Volt}$$

5. Menentukan tegangan urutan positif dan negatif

Tegangan urutan positif V_p , dan tegangan urutan negatif V_n , diperoleh sebagai berikut:

$$V_p = \frac{(V_a + aV_b + a^2V_c)}{3}$$

$$= \frac{\left(\begin{array}{l} 221,7060 + 1 \angle 120^\circ \times 224,9001 \angle -120,8067^\circ + \\ 1 \angle 240^\circ \times 216,2253 \angle 119,5141^\circ \end{array} \right)}{3}$$

$$= \frac{658,17887 - j0,0034}{3}$$

$$= 219,3929 - j0,0034$$

$$= 219,3929 \angle -8^\circ$$

$$V_n = \frac{(V_a + a^2 V_b + a V_c)}{3}$$

$$= \frac{\left(\frac{221,7060 + 1 \angle 240^\circ \times 224,9001 \angle -120,8067^\circ + 1 \angle 120^\circ \times 216,2253 \angle 119,5141^\circ}{3} \right)}{3}$$

$$= \frac{0,7697 - j11,2797}{3}$$

$$= 0,7697 + j1,2797$$

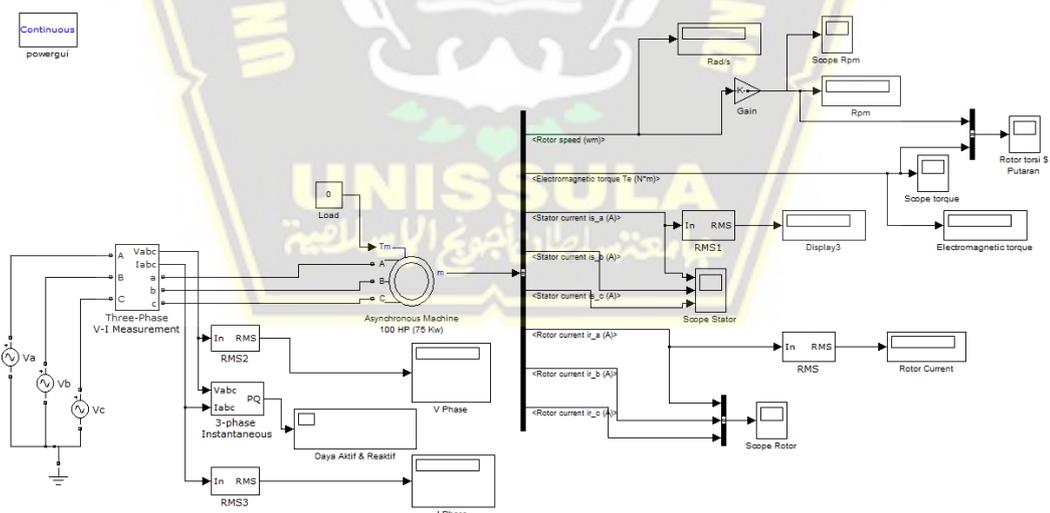
$$= 11,3069 \angle 86,0963^\circ$$

$$\% \text{ VUF} = V_n / V_p \times 100$$

$$= \frac{11,3069}{219,3929} \times 100$$

$$= 5,153\%$$

4.3 Rangkaian Simulasi Pada Matlab Simulink



Gambar 4. 1 Rangkaian Simulasi Motor Induksi 3-Fasa

Dengan menggunakan rangkaian simulasi matlab simulink seperti pada gambar di atas kita melakukan dua percobaan yaitu pada saat tegangan seimbang

dan tegangan tidak seimbang, dengan menggunakan beban 5 N.m, 10 N.m, 15 N.m, 20 N.m, 25 N.m.

Pada percobaan pertama menggunakan tegangan seimbang dengan nilai seperti berikut:

$$V_a, V_b, V_c = 380 \text{ Volt}$$

Kemudian pada percobaan kedua menggunakan tegangan tidak seimbang menggunakan metode NEMA. NEMA menyatakan ketidak seimbangan dalam bentuk LVUR (*Line Voltage Unbalance Rate*) dimana hanya menggunakan besaran tegangan dan tidak mencakup besar sudut fasa.

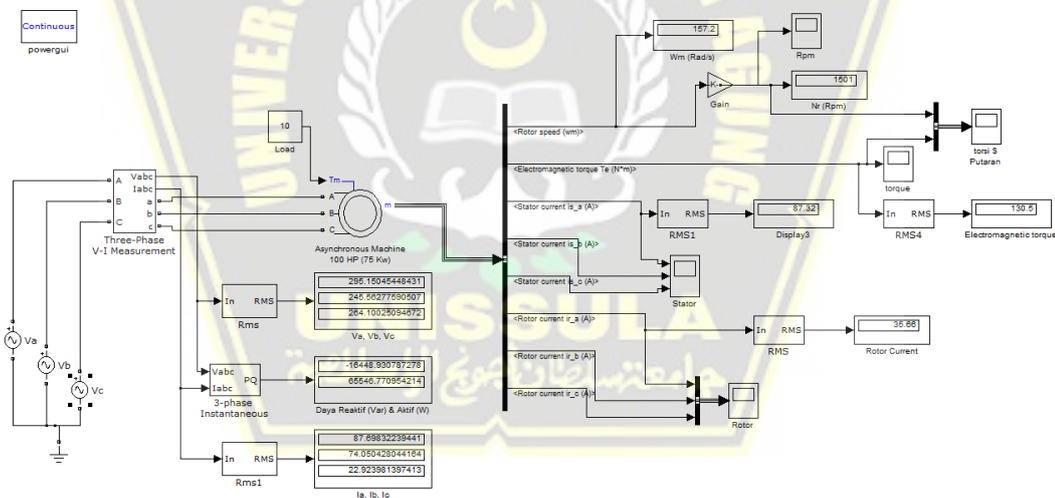
Dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya didapatkan:

$$V_a = 399 \text{ Volt}$$

$$V_b = 380 \text{ Volt}$$

$$V_c = 361 \text{ Volt}$$

4.4 Simulasi Matlab Pada Beban Constan 10 N.m Dengan LUVR 5%



Gambar 4. 2 Rangkaian Simulasi Motor Induksi Dengan Beban 10 N.m

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Motor Induksi Menggunakan MATAB SIMULINK

Beban (N.m)	Torsi (N.m)		Putaran (rpm)		I Rotor (A)		I Stator (A)		Daya (W)	
	Seimbang	Tidak seimbang	Seimbang	Tidak seimbang	Seimbang	Tidak seimbang	Seimbang	Tidak seimbang	Seimbang	Tidak seimbang
5	11,15	130	1500	1501	2,941	87,02	55,44	35,93	44.643	65.544
10	16,15	130,5	1500	1501	3,436	87,32	55,49	35,66	44.635	65.546
15	21,15	131,2	1499	1501	2,836	87,63	55,55	35,94	44.628	65.549
20	26,15	132,1	1499	1501	2,526	87,96	55,63	36,95	44.622	65.554
25	31,15	133,2	1499	1501	2,054	88,3	55,73	36,72	44.618	65.559

Dari data hasil simulasi diatas dapat dilihat saat kondisi tegangna tidak seimbang nilai pada torsi, rpm, daya dan arus rotor bernilai lebih besar dibanding saat kondisi tegangna seimbng. Sedangkan nilai pada Stator lebih kecil. Kondisi tegangan tidak seimbang membuat arus pada rotor meningkat dan membuat motor lebih cepat panas.

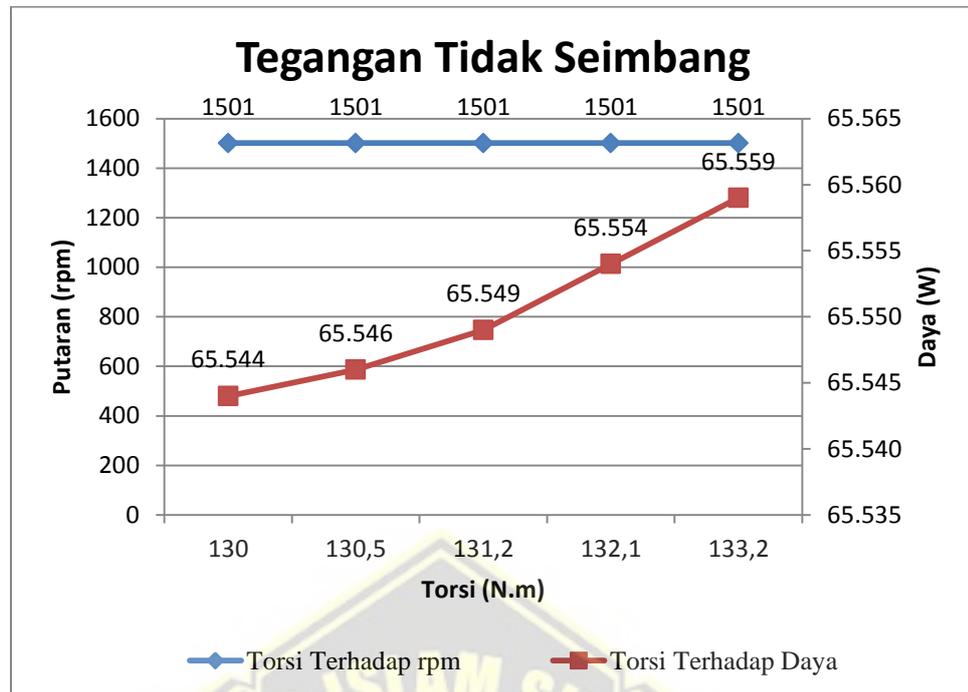
4.4.1 Pengaruh Torsi Terhadap Putaran (rpm) dan Daya Motor

Dibawah ini merupakan grafik tegangan seimbang kepada torsi motor induksi tiga fasa, sehingga digambarkan kurva torsi – kecepatan dan Daya kepada penambahan beban seperti dibawah ini.



Gambar 4. 3 Grafik Torsi, Putaran dan Daya Tegangan Seimbang

Sesuai gambar 4.3 hasil dari grafik dapat dilihat semakin menurun putaran motor yang berputar maka torsi semakin meningkat, ini disebabkan semakin besar pula beban yang di berikan pada rangkaian yang mengakibatkan arus menurun yang menyebabkan torsi meningkat. Sedangkan pada Daya akan menurun saat dilakukan penambahan beban.

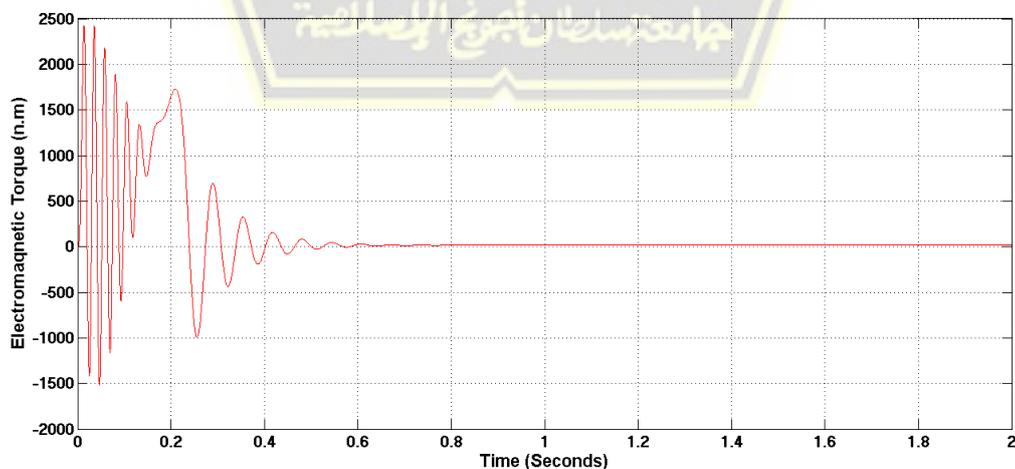


Gambar 4. 4 Grafik Torsi, Putaran dan Daya Tegangan Tidak Seimbang

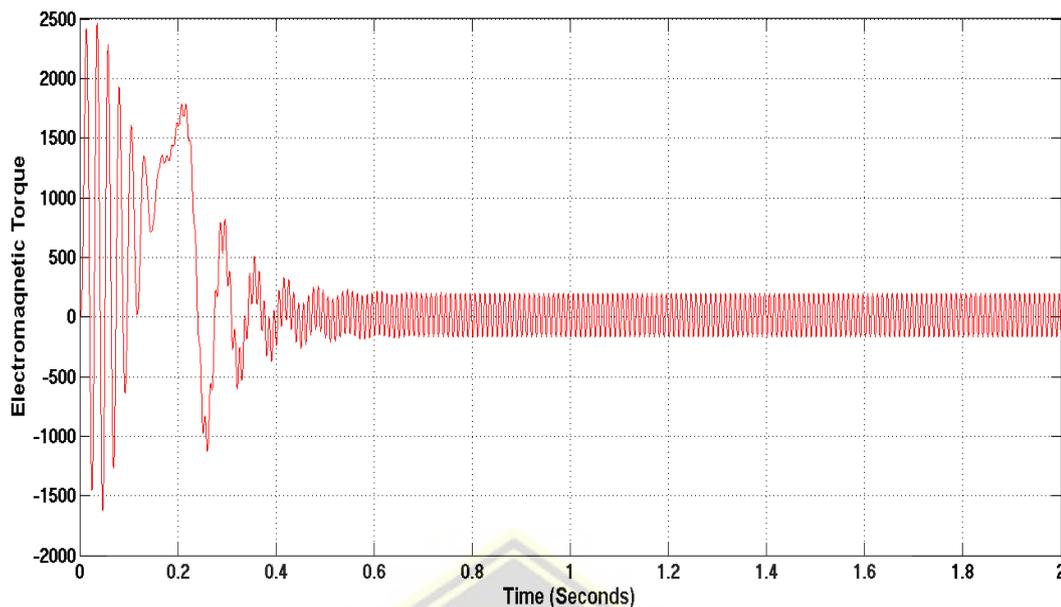
Sesuai gambar 4.4 hasil grafik dapat dilihat semakin menurun putaran motor yang berputar torsi pada motor masih cukup tinggi ini dikarenakan pada saat tegangan tidak seimbang dibutuhkan lebih banyak daya sehingga torsi akan meningkat. Daya akan berbanding lurus dengan torsi motor, semakin besar nilai torsi semakin besar daya.

4.5 Hasil Simulasi Motor Induksi Dengan Beban 10 N.m.

4.5.1 Gelombang Electromagnetic Torque (N.m)



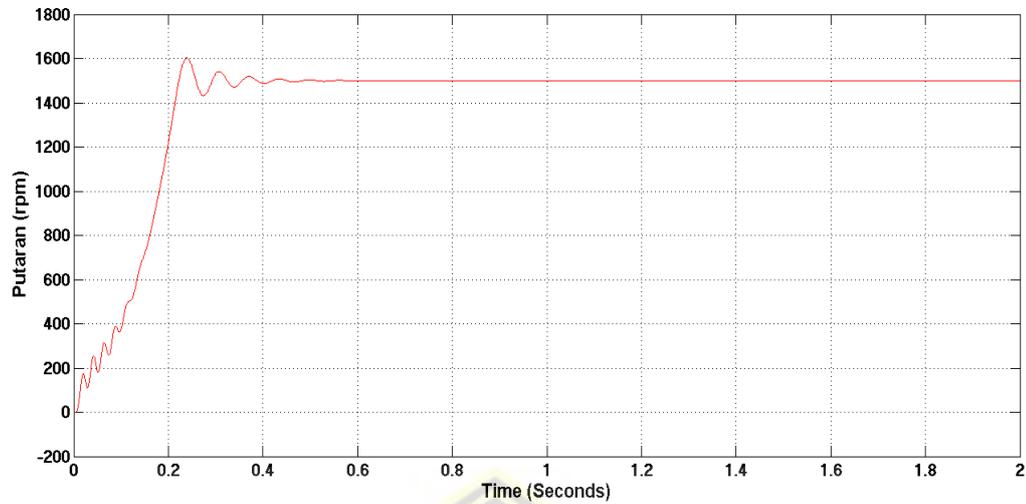
Gambar 4. 5 Electromagnetic Torque Tegangan Seimbang



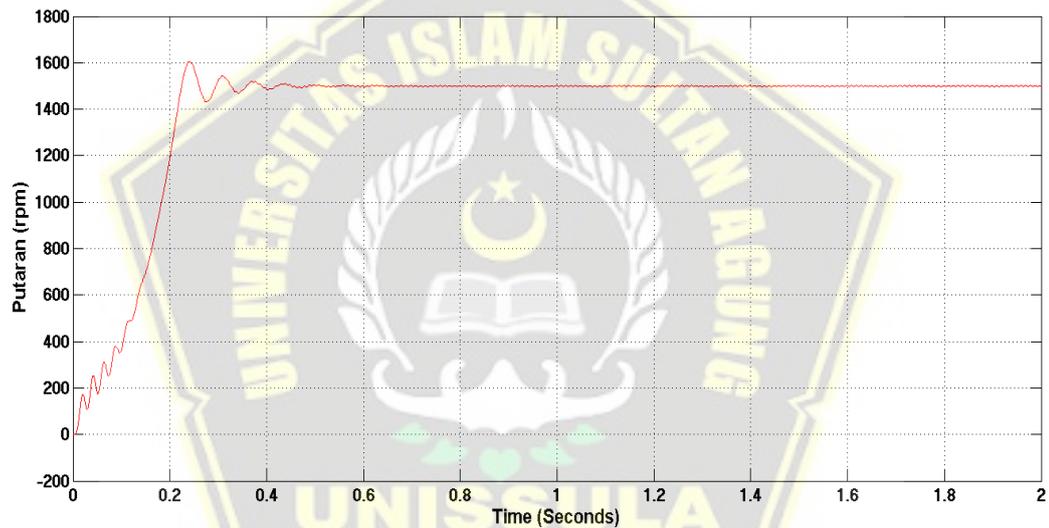
Gambar 4. 6 Electromagnetic Torque Tegangan Tidak Seimbang

Terlihat di gambar 4.5 dan 4.6 pada saat proses starting nilai torsi elektromagnetik terlihat besar, kemudian setelah itu nilai torsi elektromagnetik terlihat lebih kecil. Hal ini terjadi karena torsi elektromekanis yang besar dibutuhkan untuk menggerakkan rotor motor pada saat melakukan starting, sehingga pada proses awal dibutuhkan nilai torsi elektromagnetik yang sangat besar untuk menggerakkan rotor dari posisi diam hingga berputar dengan kecepatan stabil. Pada saat tegangan tidak seimbang terdapat fenomena osilasi gelombang (flicker atau gangguan yang membuat gelombang menjadi rusak) yang semakin besar bila tegangan tidak seimbang, yang dapat membuat getaran pada motor semakin membesar. Pada kondisi tegangan seimbang torsi pada motor bernilai rendah 16.15 N.m, sedangkan saat tegangan tidak seimbang torsi mengalami kenaikan yaitu 133.2 N.m.

4.5.2 Gelombnag pada Putaran (rpm)



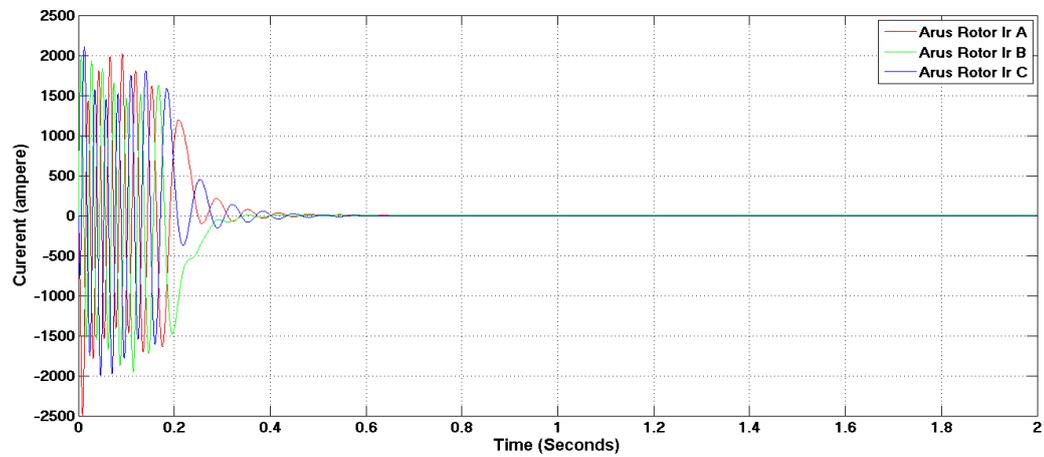
Gambar 4. 7 Putaran Motor Tegangan Seimbang



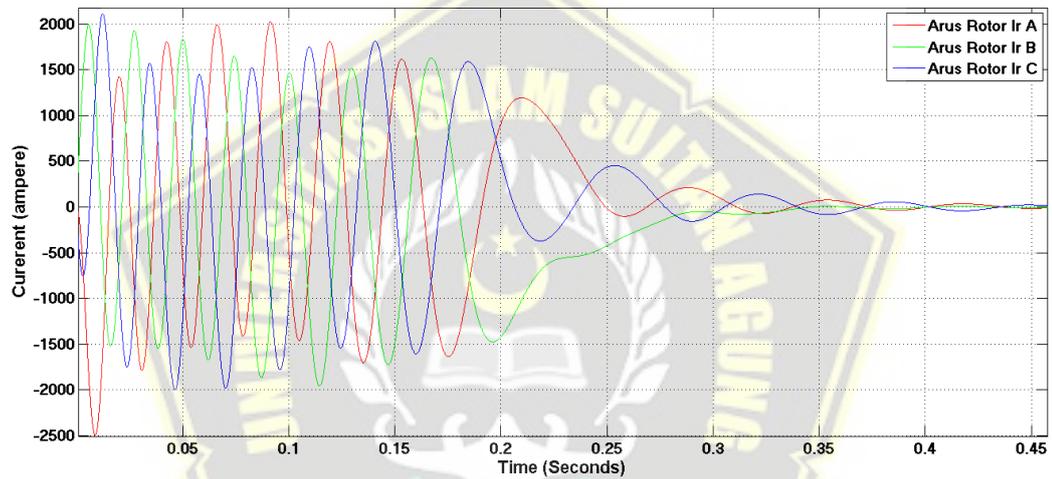
Gambar 4. 8 Putaran Motor Tegangan Tidak Seimbang

Pada gambar 4.7 dan 4.8 dapat dilihat bahwa putaran rotor akan naik hingga 1.600 rpm pada detik ke 0,3 pada saat motor dilakukan start, kemudian akan mulai berangsur menurun ke putaran kerjanya pada detik ke 0.4 dengan putaran mencapai 1.500 (rpm)

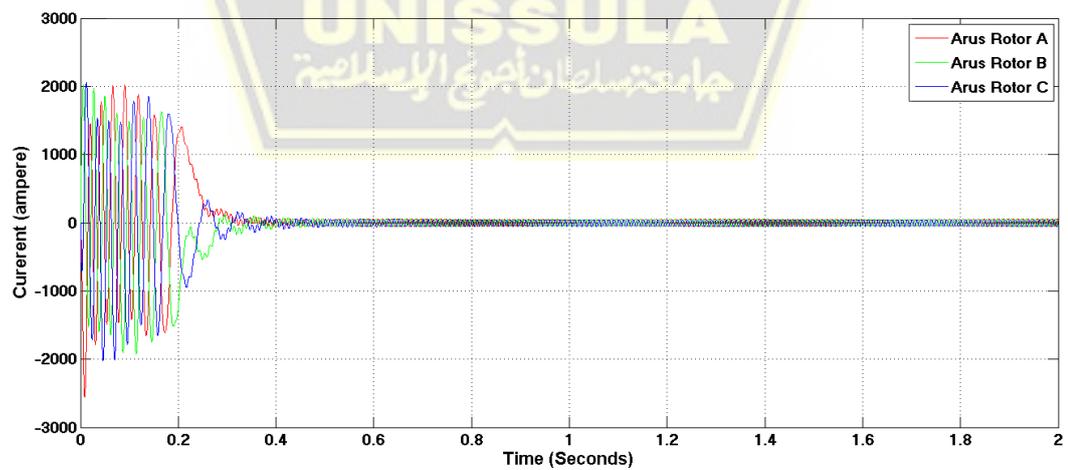
4.5.3 Gelombang Pada Rotor dan Stator



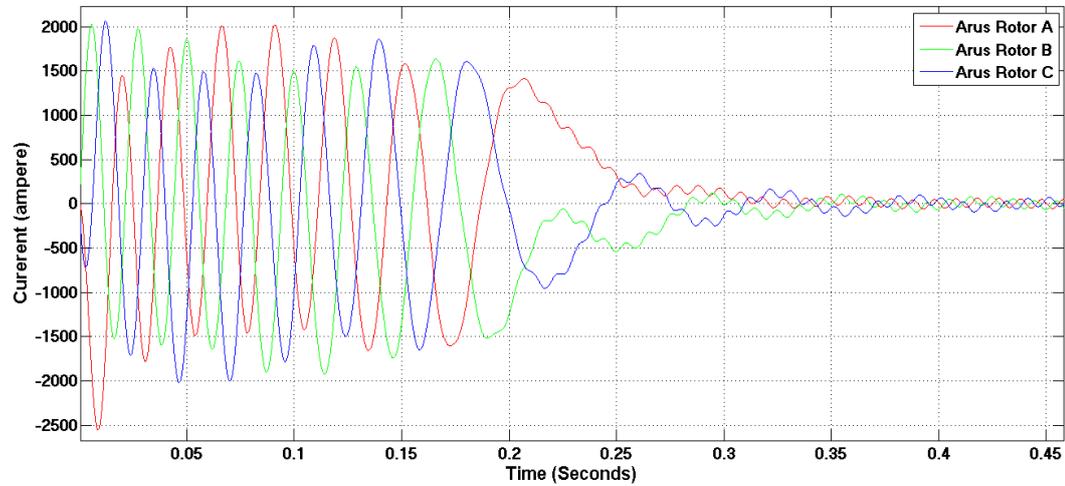
Gambar 4. 9 Arus Rotor Tegangan Seimbang



Gambar 4. 10 Arus Rotor Tegangan Seimbang Detik 0 Sampai 0,45

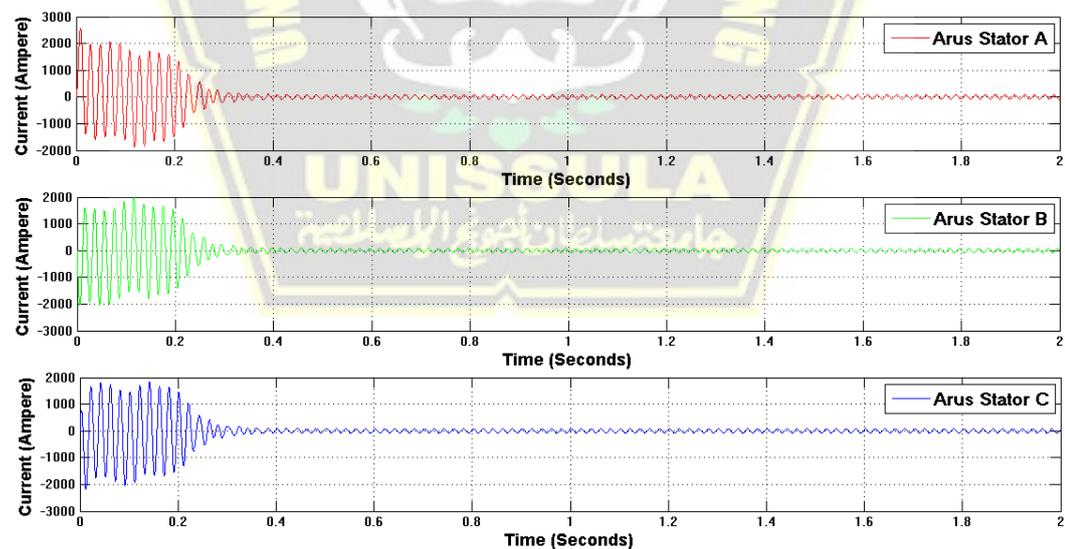


Gambar 4. 11 Arus Rotor Tegangan Tidak Seimbang

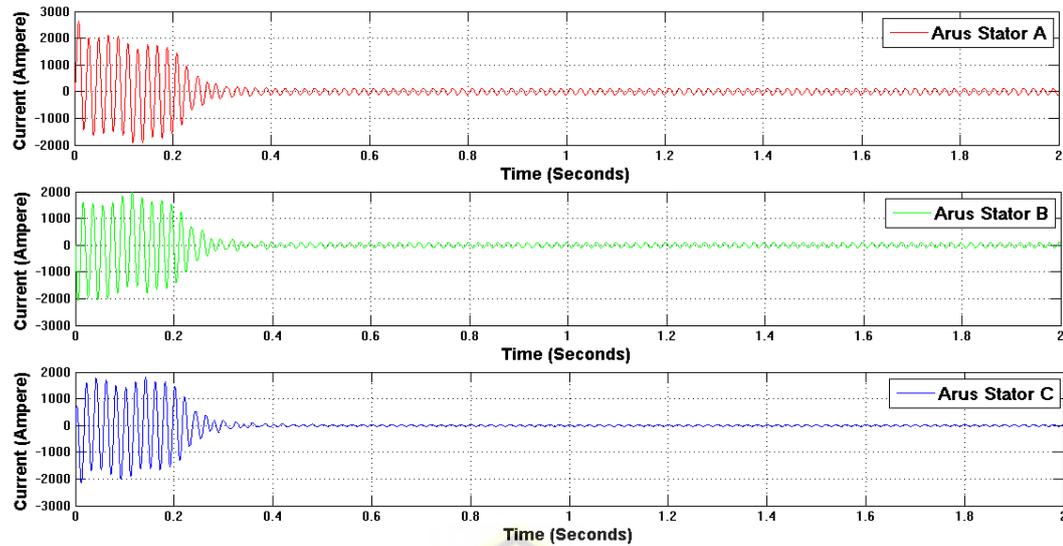


Gambar 4. 12 Arus Rotor Trgangan Tidak Seimbang Detik 0 Sampai 0,45

Dari gambar 4.10 dan 4.12 dapat dilihat pada detik 0,2 saat kondisi tegangan seimbang arus tertinggi berada pada I_{r_A} dengan nilai 1200 A dengan penurunan yang stabil, sedangkan pada kondisi tegangan tidak seimbang I_{r_A} memiliki nilai 1400 A dan terjadi sedikit lonjakan saat memasuki arus kerjanya. Pada karakteristik arus rotor juga terdapat osilasi (flicker atau gangguan yang membuat gelombang menjadi rusak) yang semakin besar bila tegangan tidak seimbang. Yang dapat membuat getaran motor semakin membesar.



Gambar 4. 13 Arus Stator Tegangan Seimbang



Gambar 4. 14 Arus Stator Tegangan Tidak Seimbang

Pada gambar 4.13 dan 4.14 terlihat hasil gelombang pada detik ke 0 sampai detik 0,2 arus pada rotor dan stator sangat tinggi ini dikarenakan saat motor induksi dilakukan start akan menarik arus yang lebih besar dari nilai arus kerjanya, karena motor listrik membutuhkan torsi awal yang tinggi untuk melawan inersianya, dan inersia bebannya dalam keadaan diam.

Pada saat motor dilakukan start gelombang arus stator A mempunyai nilai arus tertingginya mencapai 2.500 Amper, dan arus terendah berada pada arus stator B dengan nilai terendah 1200 A. Pada kondisi tegangan seimbang dengan beban 10 N.m arus pada stator bernilai 55,49 A sedangkan pada kondisi tidak seimbang bernilai 35,66 A.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Sesuai dengan hasil simulasi yang telah dianalisa penulis mengenai tegangan tidak seimbang pada motor induksi tiga fase 75 Kva dengan menggunakan MATLAB SIMULINK, dapat diambil kesimpulan seperti berikut :

1. Disaat tegangan tidak seimbang terjadi perbedaan signifikan terhadap gelombang torsi, dimana karakteristik gelombang pada torsi mengalami osilasi yang berakibat getaran pada motor semakin besar. Tegangan yang tidak seimbang menyebabkan peningkatan nilai torsi karena daya yang digunakan ketika tegangan tidak seimbang menggunakan lebih banyak daya. Pada beban 10 N.m daya pada motor sebesar 65,546 KW dengan torsi 130,5 dan pada saat beban 25 N.m daya motor 65,55 9KW dengan torsi 133,2 N.m. sehingga dengan semakin naiknya beban nilai torsi akan meningkat.
2. Ketika tegangan tidak seimbang daya yang dibutuhkan motor untuk mendapatkan torsi yang sebanding dengan tegangan seimbang lebih besar, hubungna antara daya dan torsi adalah berbanding lurus. Sehingga ketika motor mengalami kenaikan beban daya pada motor akan meningkat dapat dilihat pada beban 5 N.m nilai daya 65,544 KW, pada beban 10 N.m nilai daya 65,546 KW dan beban 25 N.m dengan daya 65,559 KW.

5.2. Saran

Disarankan melakukan percobaan ketidakseimbangan secara langsung dan secara praktikum terhadap motor yang akan dianalisa.

DAFTAR PUSTAKA

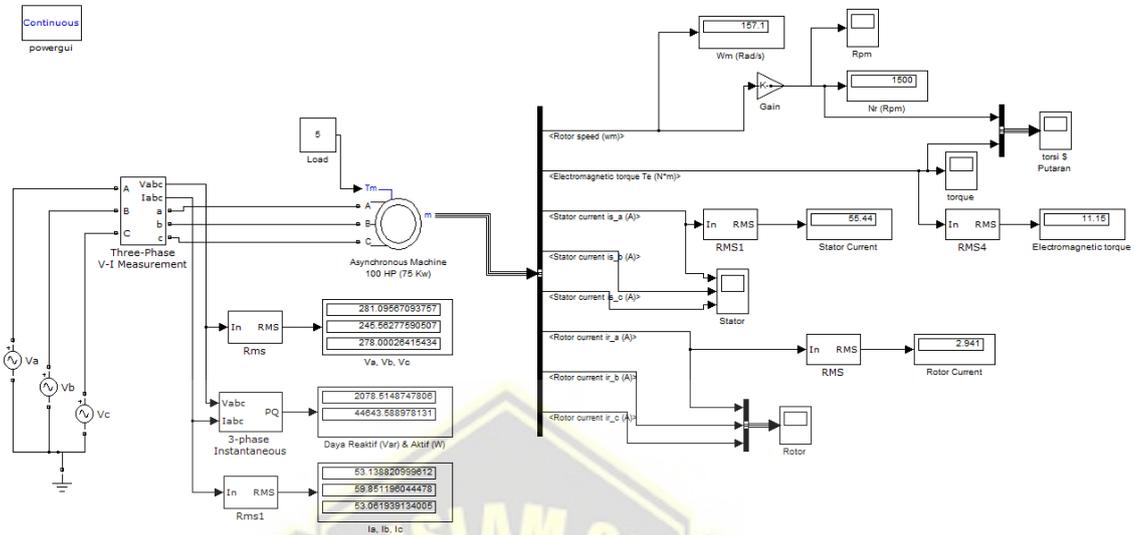
- [1] U. W. Kusuma, “Analisa Ketidakseimbangan Fasa Terhadap Kemampuan Kerja (Derating) Motor Induksi,” vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2012.
- [2] Y. Oktariani, “Studi Pengaruh Torsi Beban Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fase,” *Inst. Teknol. Padang*, vol. 5, no. 1, pp. 9–15, 2016.
- [3] A. K. Pratama, E. Zondra, and H. Yuvendius, “Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan,” vol. 5, no. 1, pp. 35–43, 2020.
- [4] I. Zainul, “Motor Induksi Tiga Fasa,” pp. 1–84, 2004, [Online]. Available: <https://slideplayer.info>.
- [5] I. M. I. N. P. Parsa, *MOTOR-MOTOR LISTRIK*, 2018th ed., no. April. Nusa Tenggara Barat: CV. Rasi Terbit, 2018.
- [6] A. B. Priahutama, T. Sukmadi, and I. Setiawan, “Perancangan Modul Soft Starting Motor Induksi 3 Fasa dengan ATMEGA 8535,” *Transmisi*, vol. 12, no. 4, pp. 160–167, 2010, doi: 10.12777/transmisi.12.4.160-167.
- [7] A. Belly, C. Agusman, and B. Lukman, “Daya aktif, reaktif & nyata,” 2010.
- [8] K. B. P. M. S. Sundaygara, Chandra, *MATERI LISTRIK MAGNET*. Malang: MNC Publissing, 2018.
- [9] A. Mayssara A. Abo Hassanin Supervised, *Klasifikasi-Motor-Listrik-DC*. Malang: Toward a Media History of Documents, 2014.
- [10] G. A. M. J. G. Douglass, *Energy Management for Motor Driven*, 200th ed. Washington: The U.S Departement of Energy Officeof Industrial Teknologi, 2000.
- [11] M. E. El-Hawary *et al.*, “Power Engineering Letters Voltage Sag Correction by Dynamic Voltage Restorer with Mini-mum Power Injection,

by M.H. Haque * Synthesis of Harmonic Distortion Levels in an LV Distribution Network, by,” no. May, pp. 49–51, 2001.



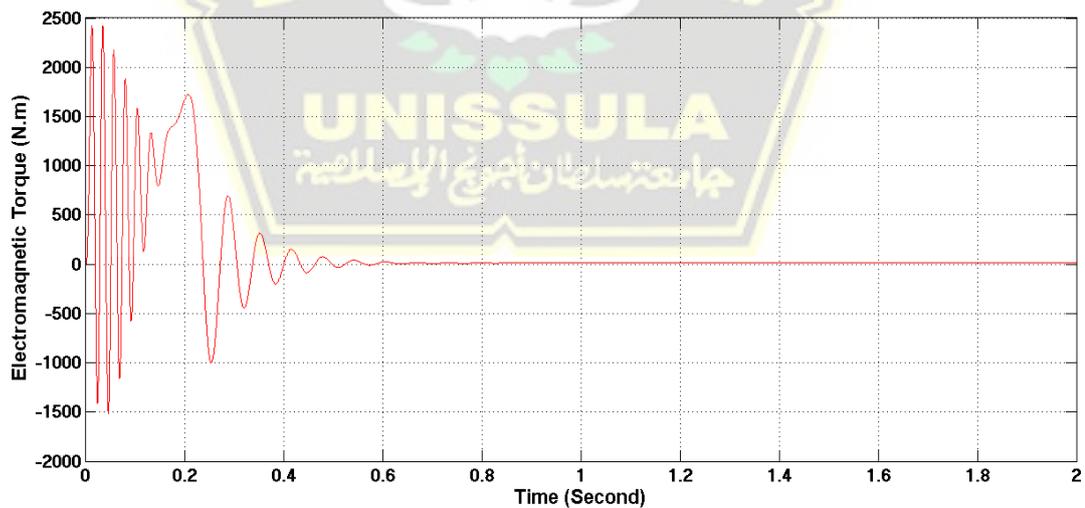
LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Beban 5 N.m Tegangan Seimbang

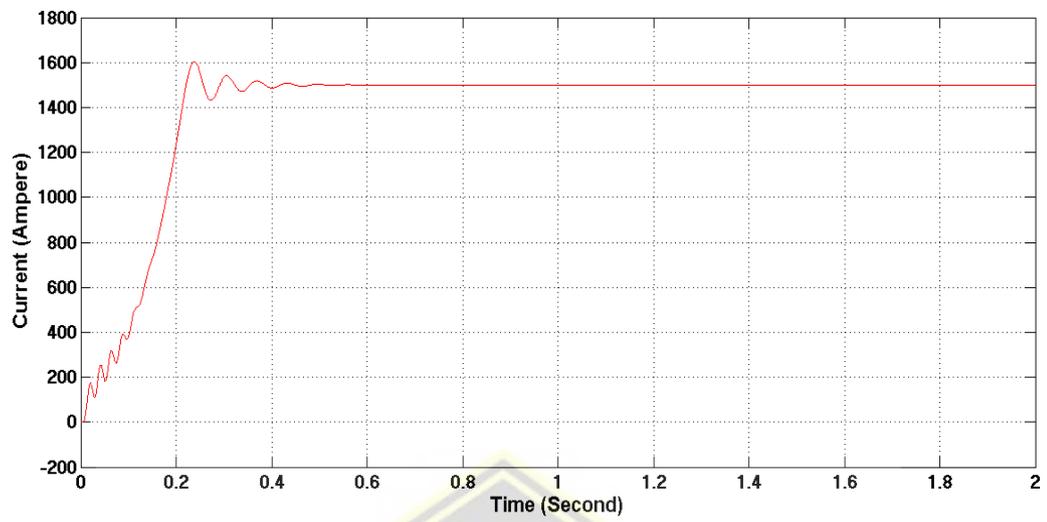


Rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1500	11,15	2,941	55,44	44.643

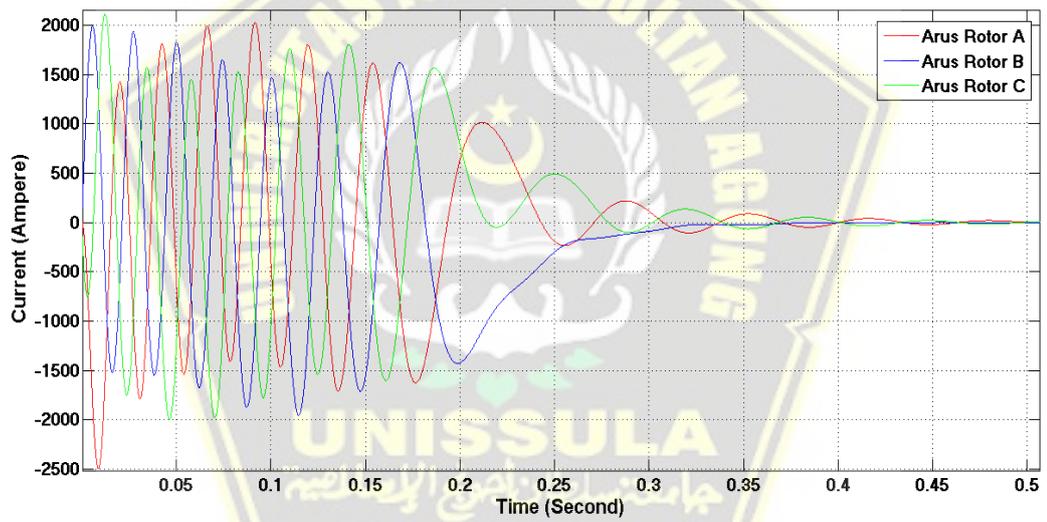
Torsi



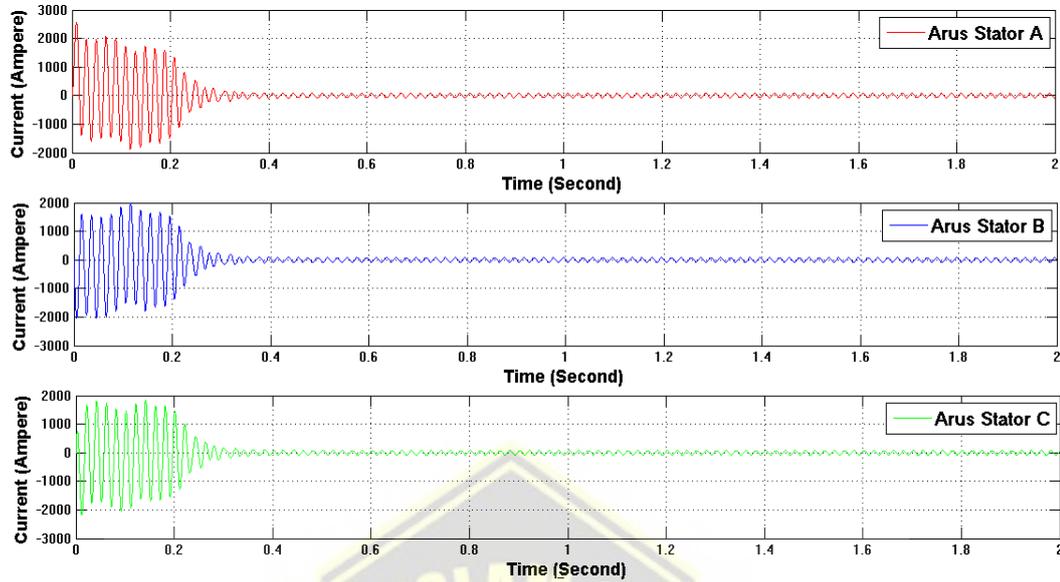
Putaran (rpm)



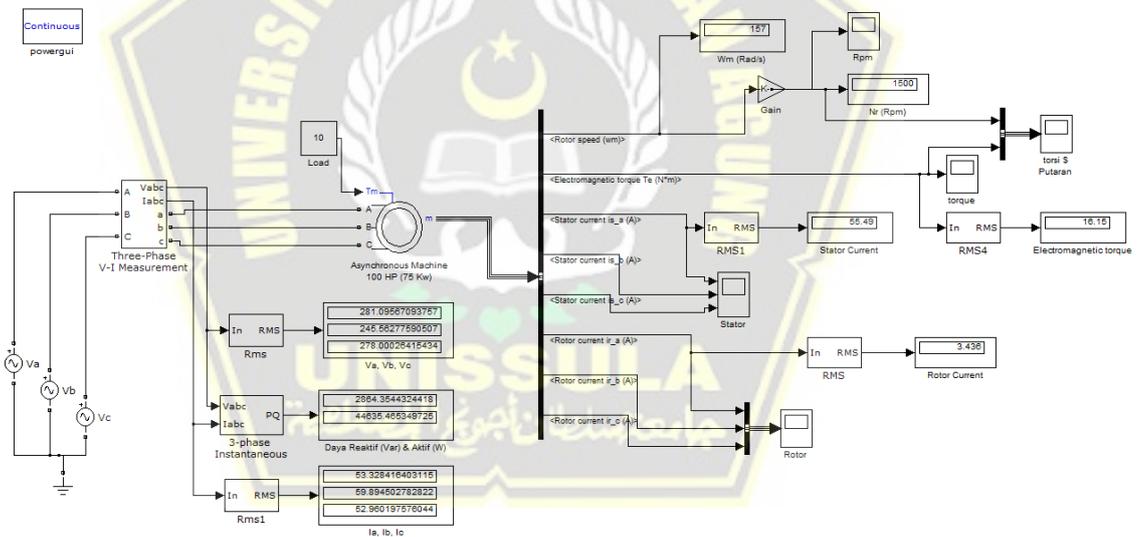
I Rotor



I Stator

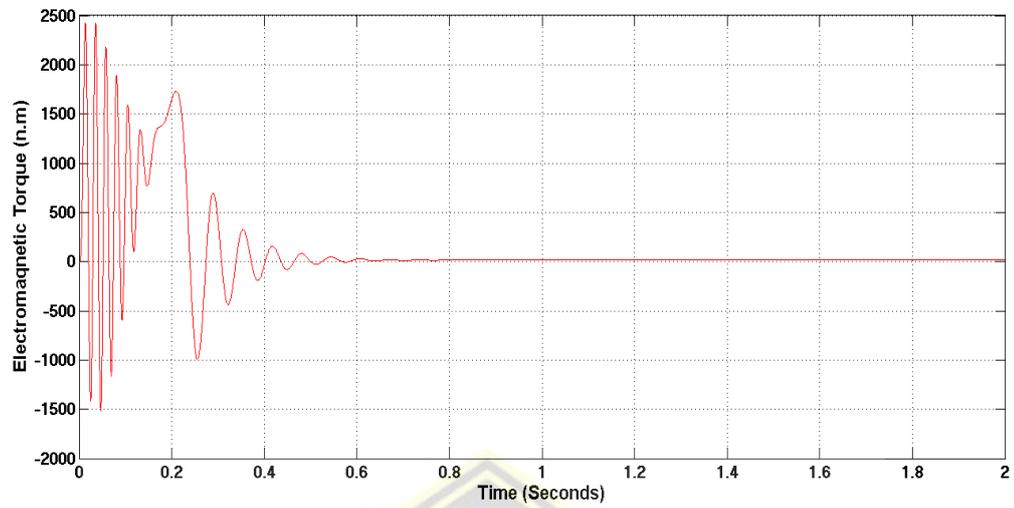


Lampiran 1.2 Beban 10 N.m Tegangan Seimbang

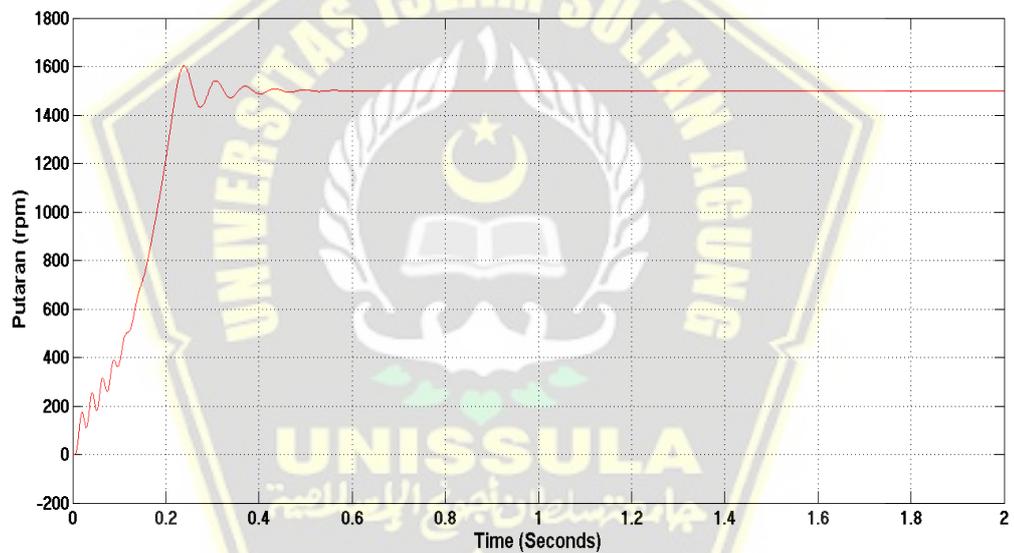


Rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1500	16,15	3,436	55,49	44.635

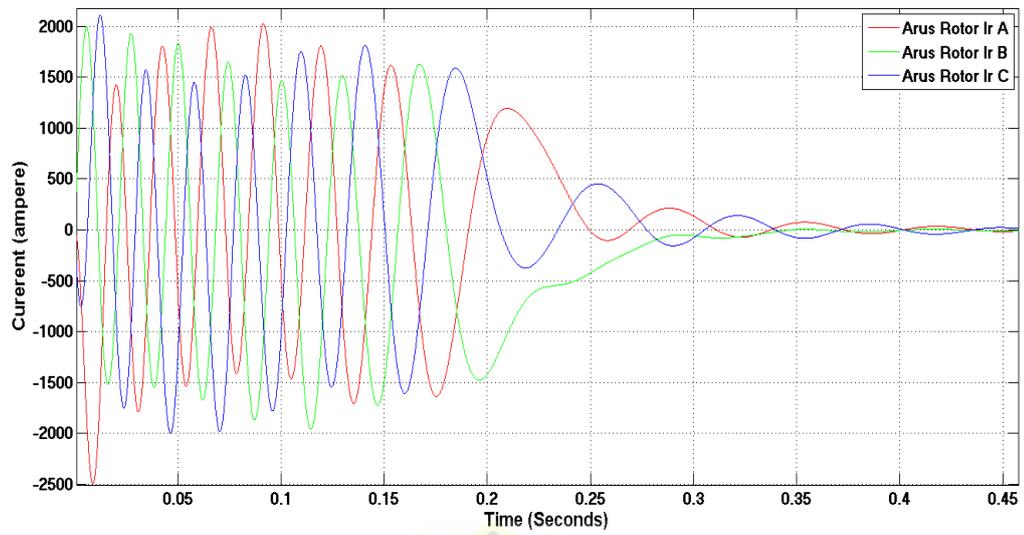
Torsi



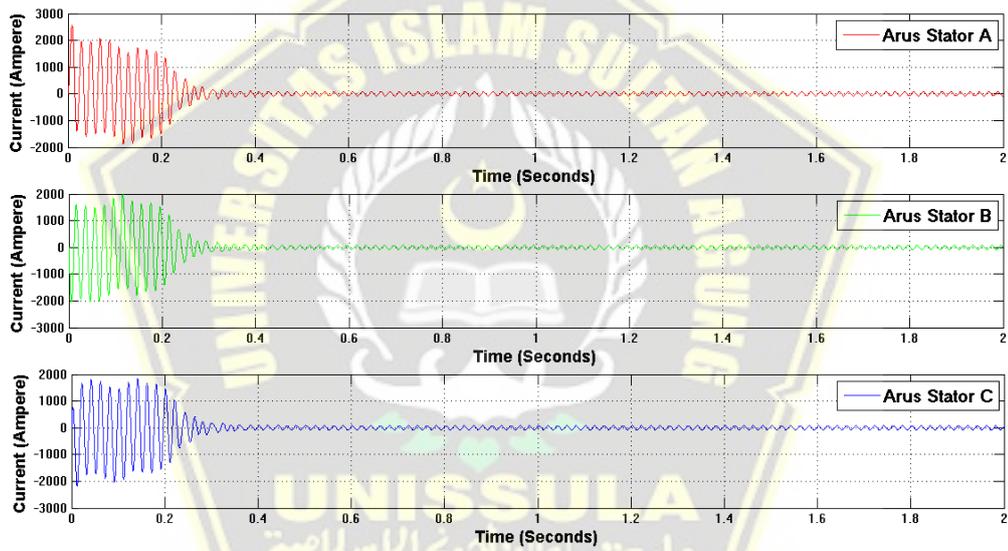
Putaran (rpm)



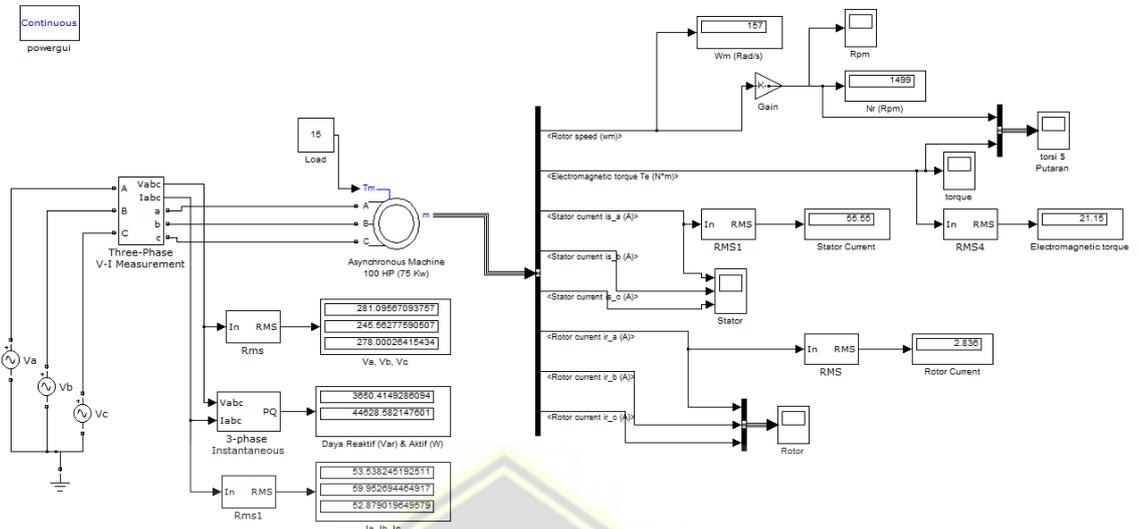
I Rotor



I Stator

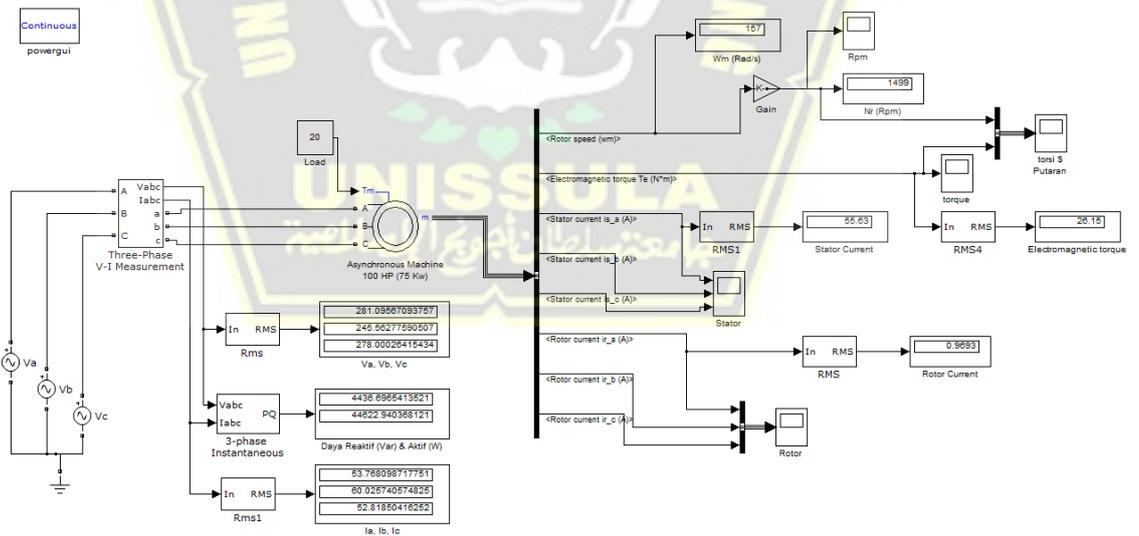


Lampiran 1.3 Beban 15 N.m Tegangan Seimbang



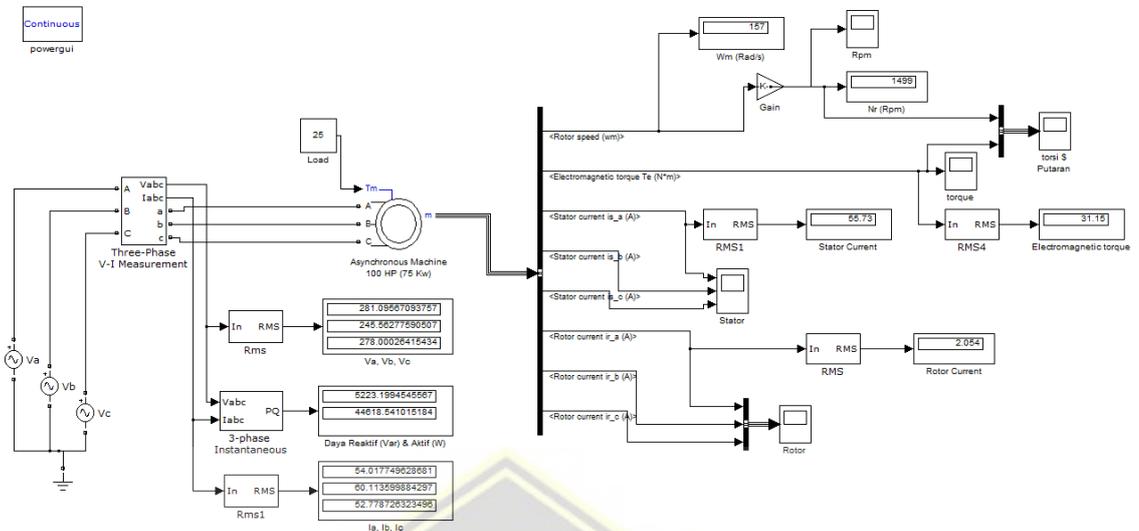
rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1499	21,15	2,836	55,55	44.628

Lampiran 1.4 Beban 20 N.m Tegangan Seimbang



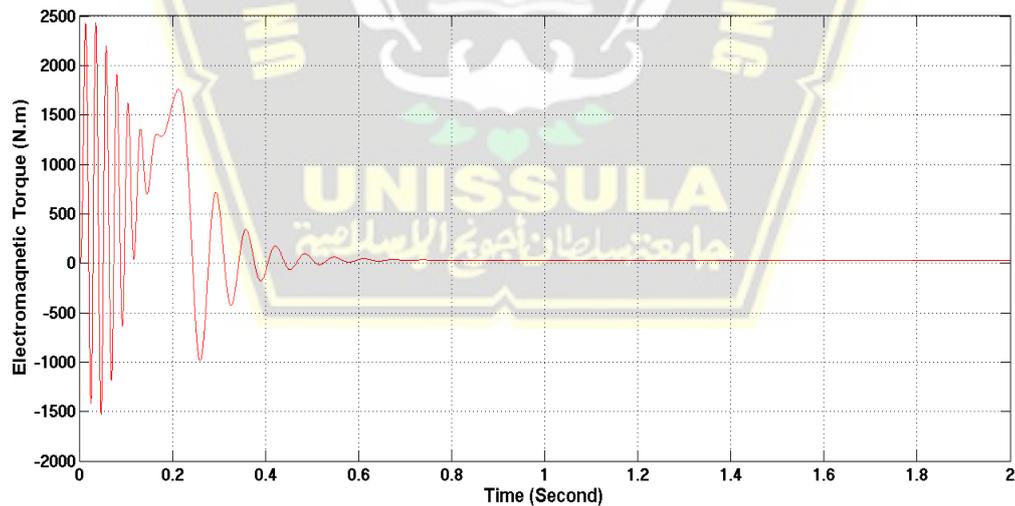
rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1499	26,15	2,526	55,63	44.622

Lampiran 1.5 Beban 25 N.m Tegangan Seimbang

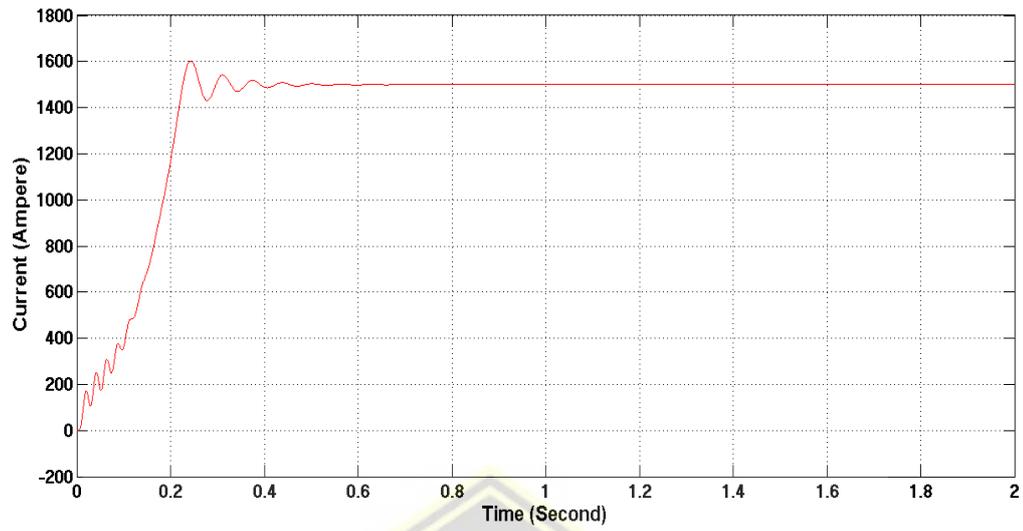


rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1499	31,15	2,054	55,73	44.618

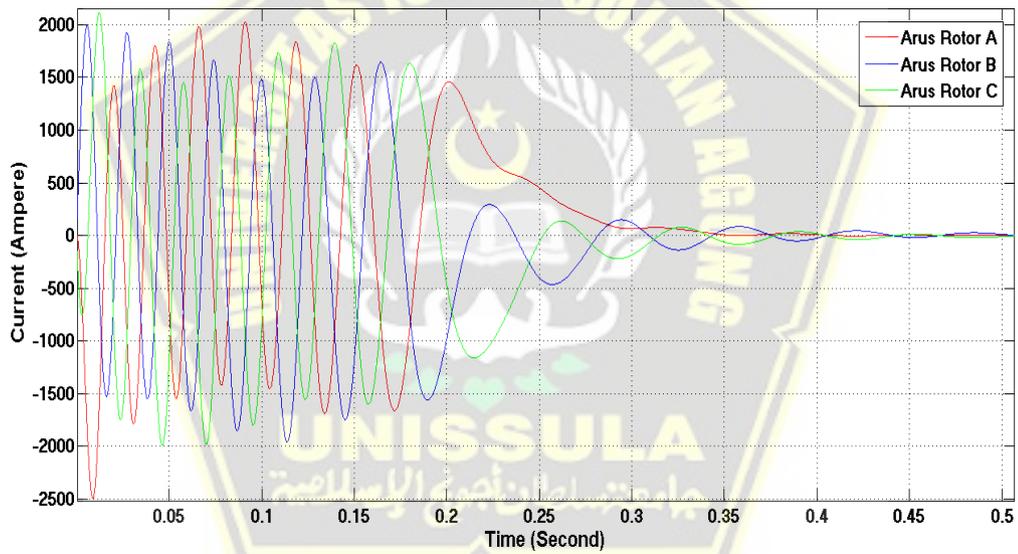
Torsi



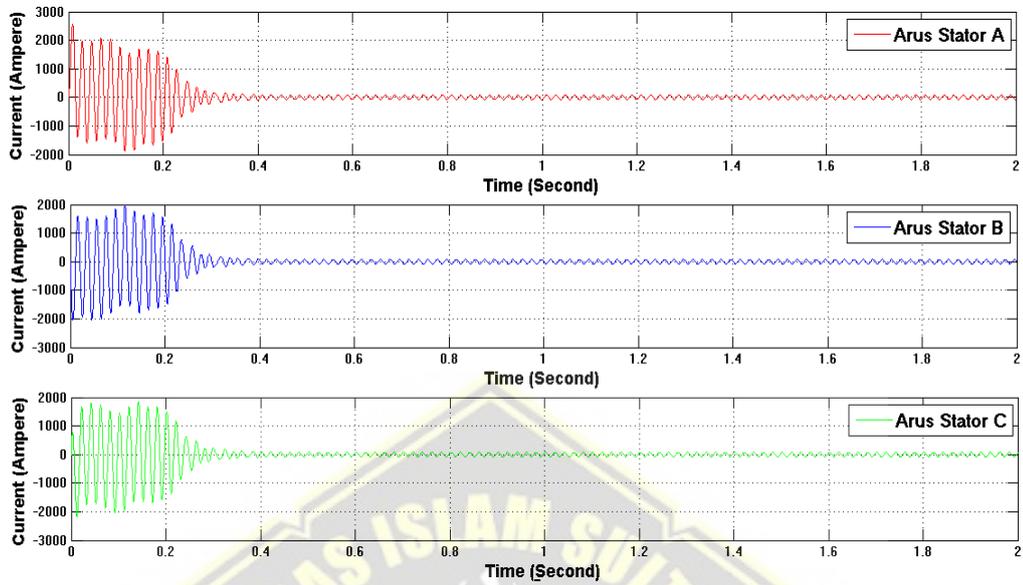
Putaran (rpm)



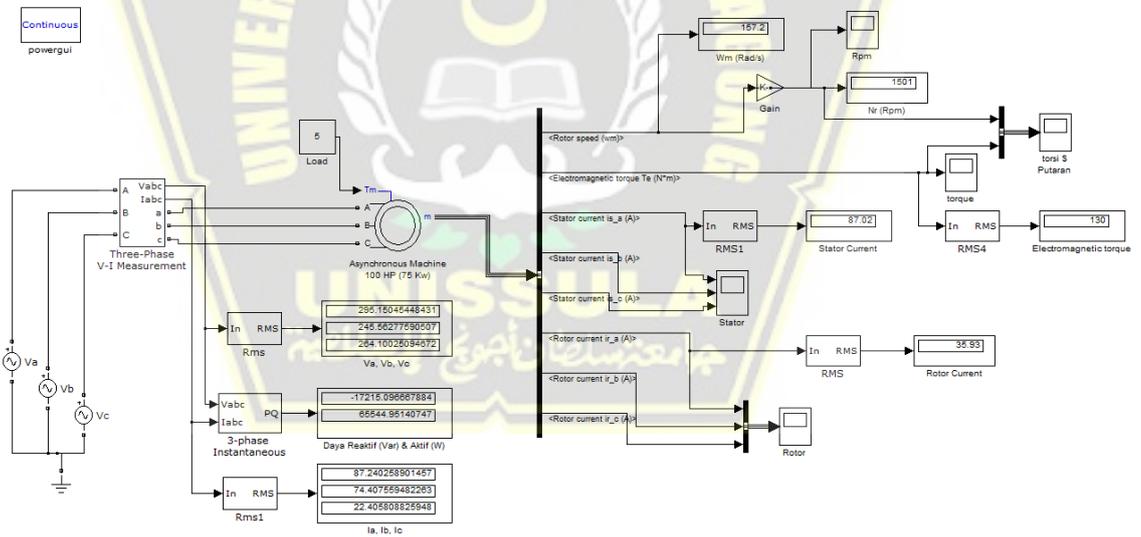
I Rotor



I Stator

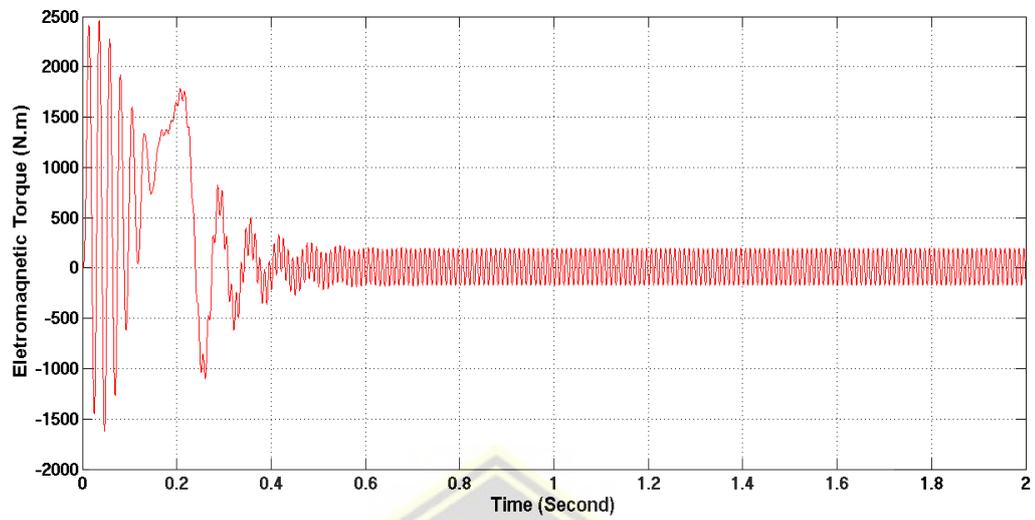


Lampiran 1.6 Beban 5 N.m Tegangan Tidak Seimbang

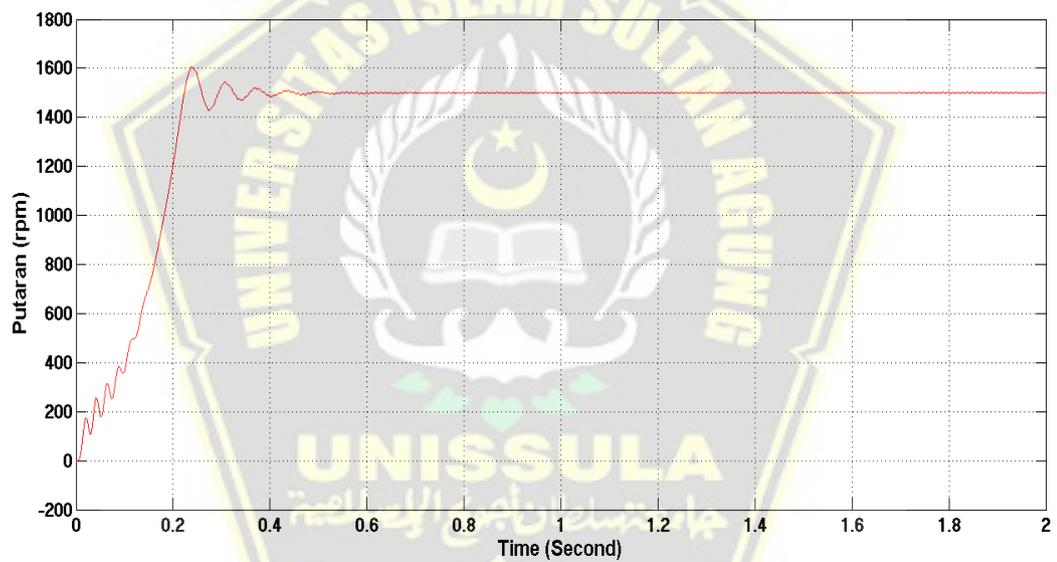


Rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1501	130	35,93	87,02	65.544

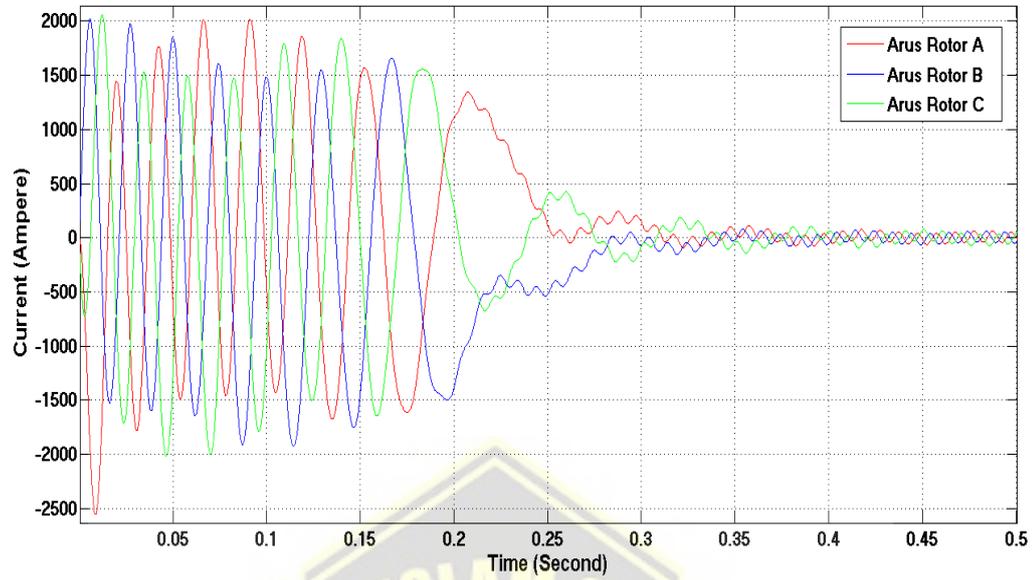
Torsi



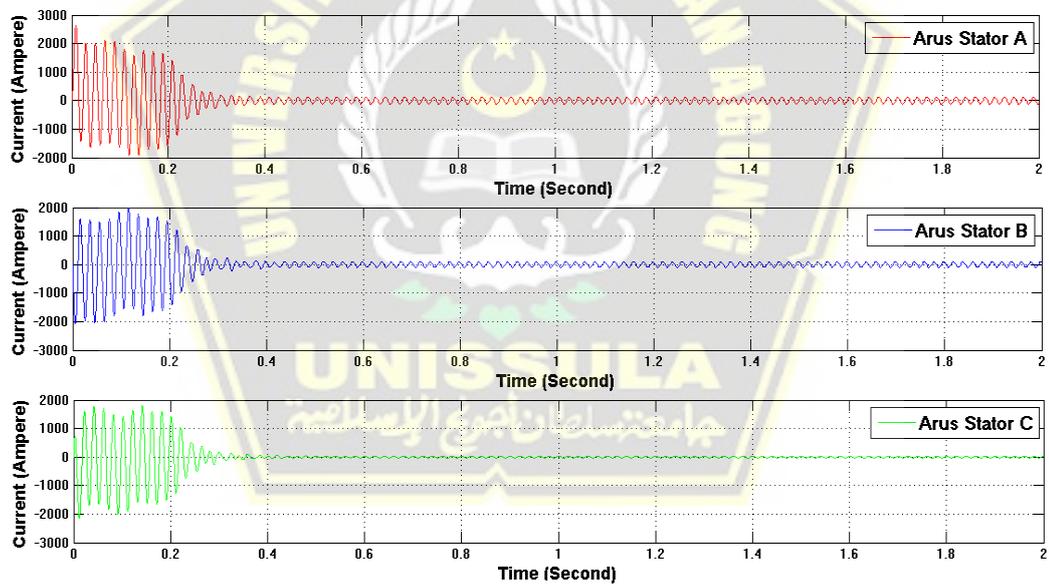
Putaran



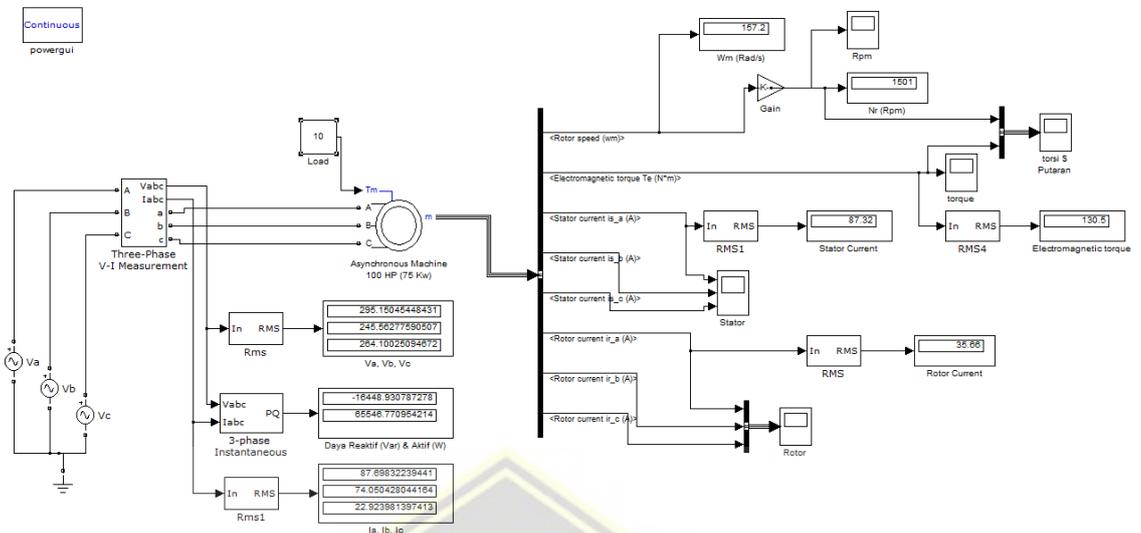
I Rotor



I Stator

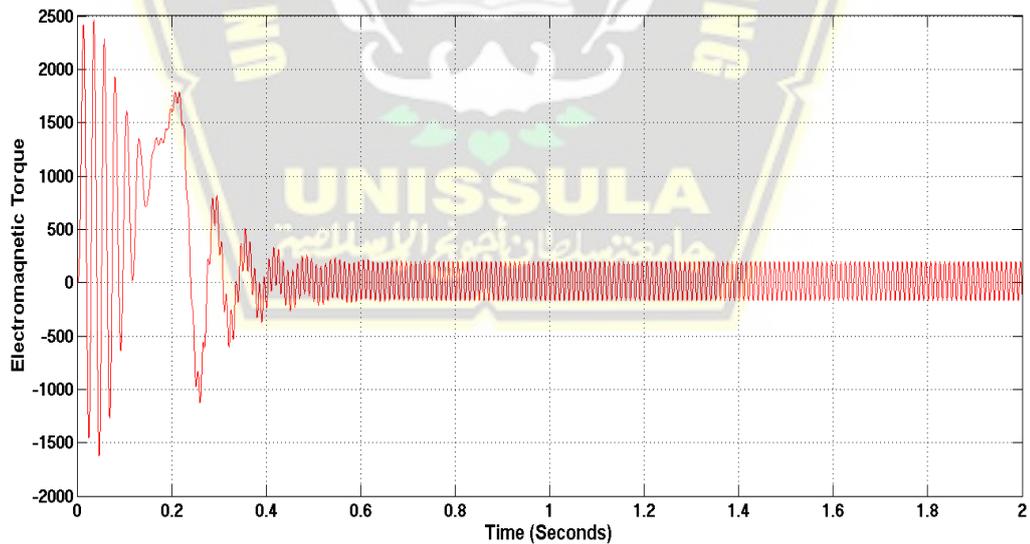


Lampiran 1.7 Beban 10 N.m Tegangan Tidak Seimbang

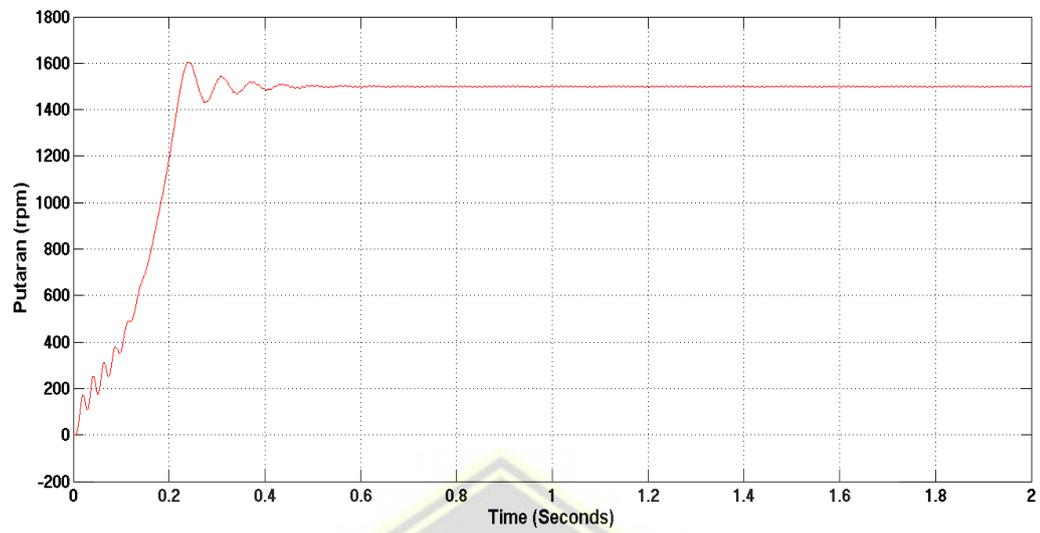


rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1501	130,5	35,66	87,32	65.546

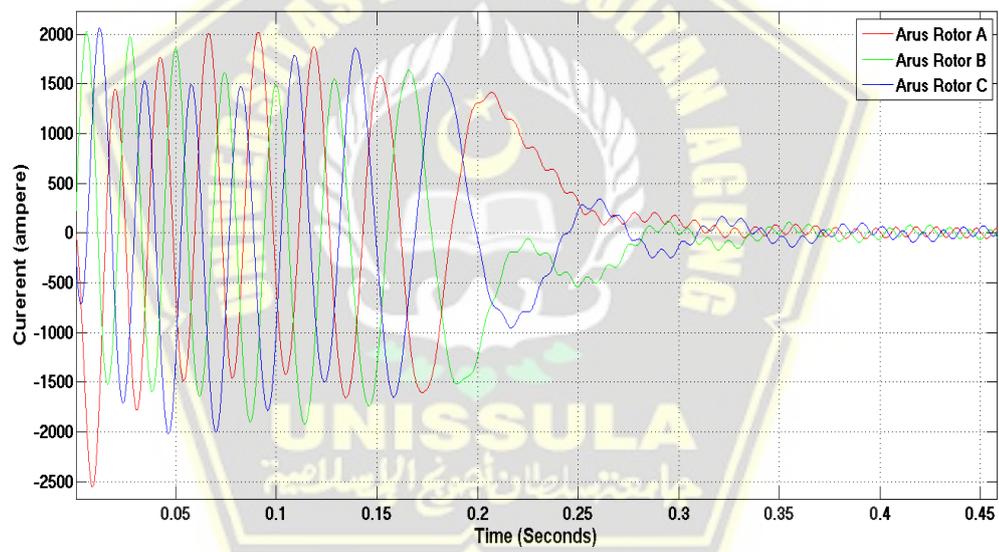
Torsi



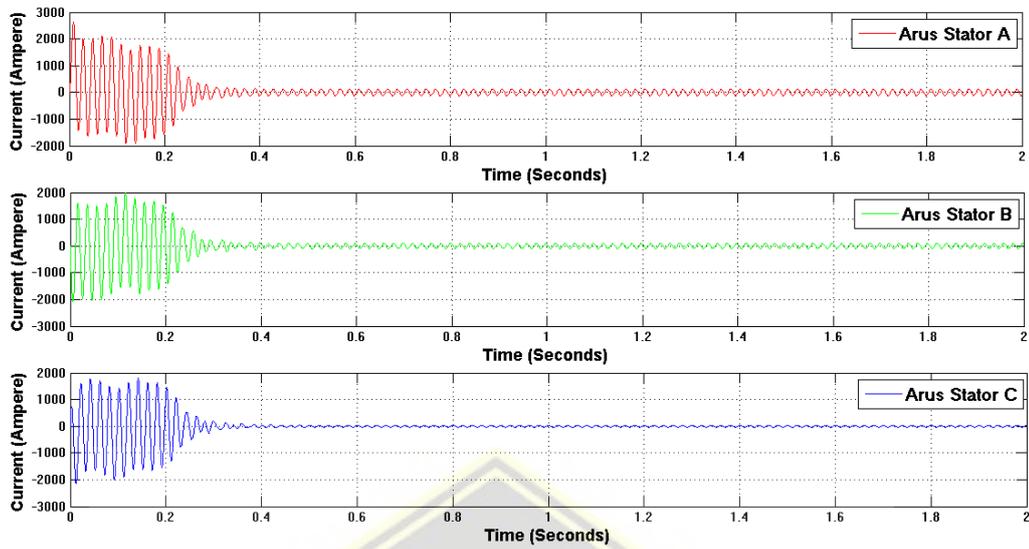
Putaran (rpm)



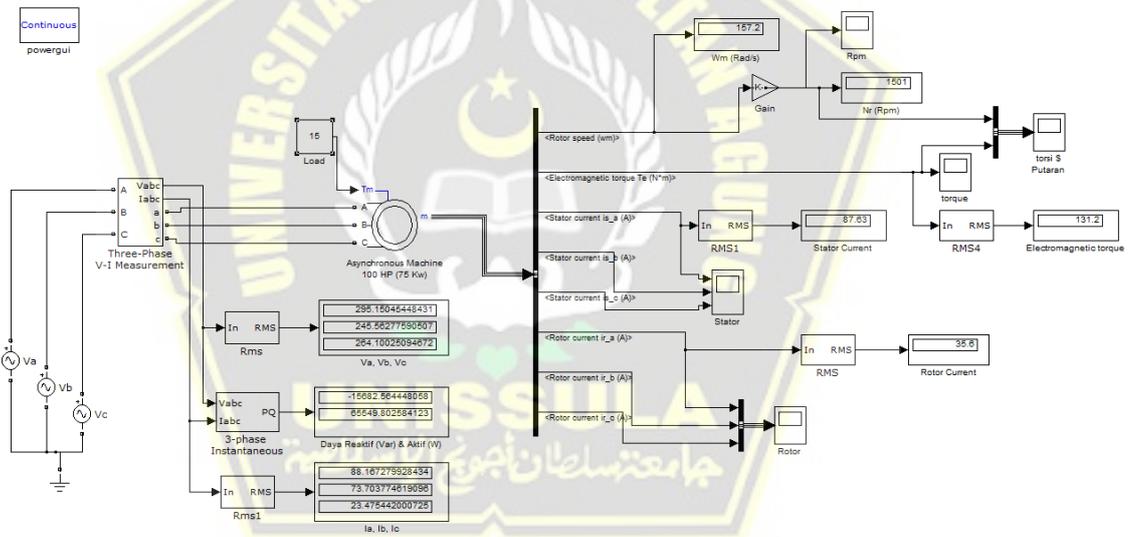
I Rotor



I Stator

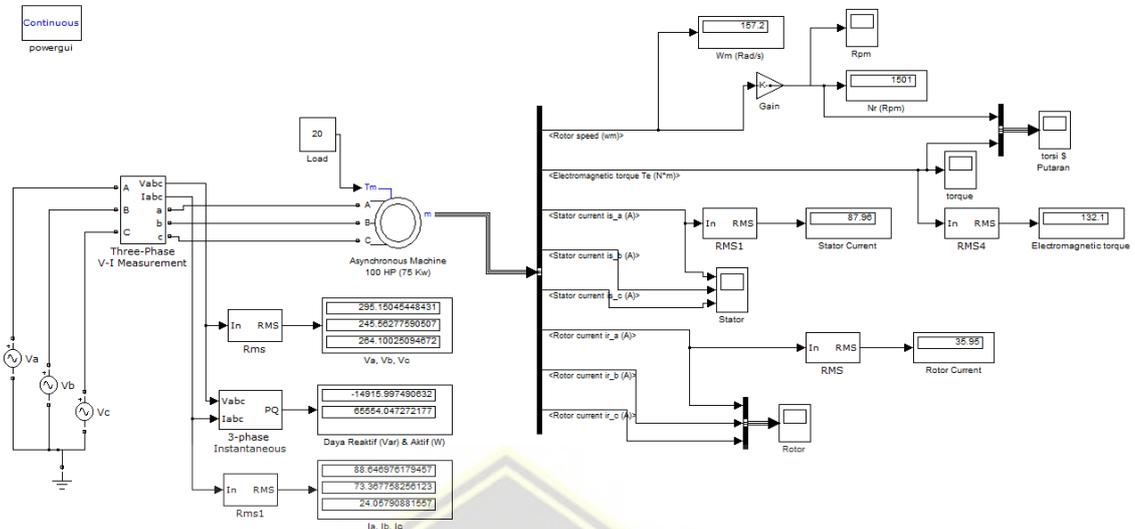


Lampiran 1.8 Beban 15 N.m Tegangan Tidak Seimbang



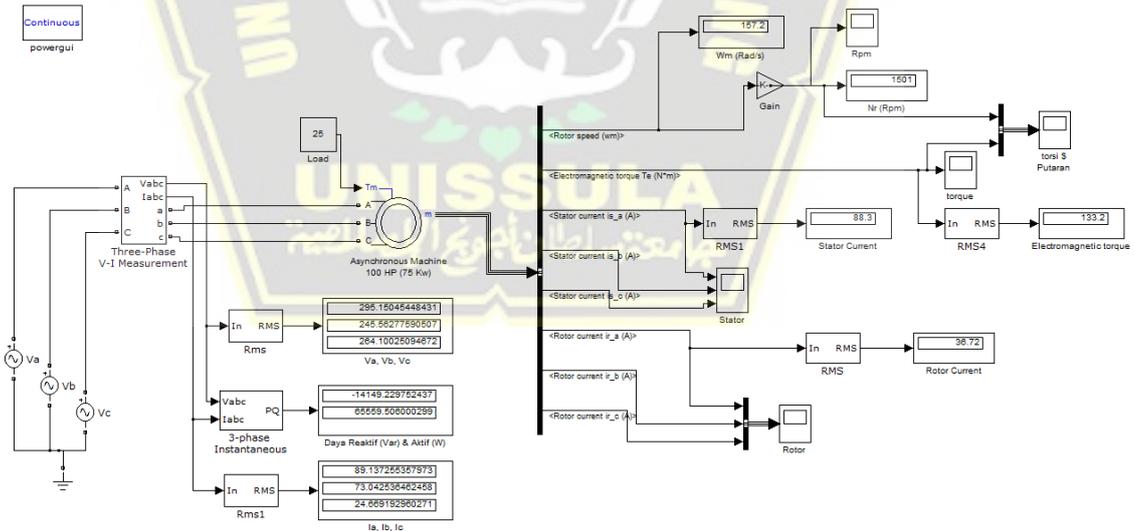
rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1501	131,2	35,6	87,63	65.549

Lampiran 1.9 Beban 20 N.m Tegangan Tidak Seimbang



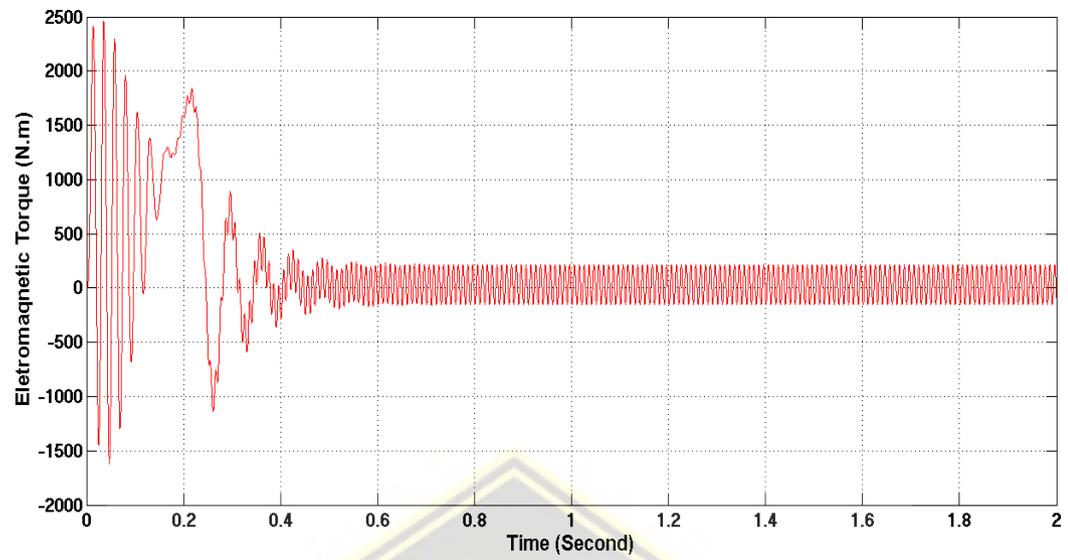
rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1501	132,1	35,95	87,96	65.554

Lampiran 1.10 Beban 25 N.m tegangan Tidak Seimbang

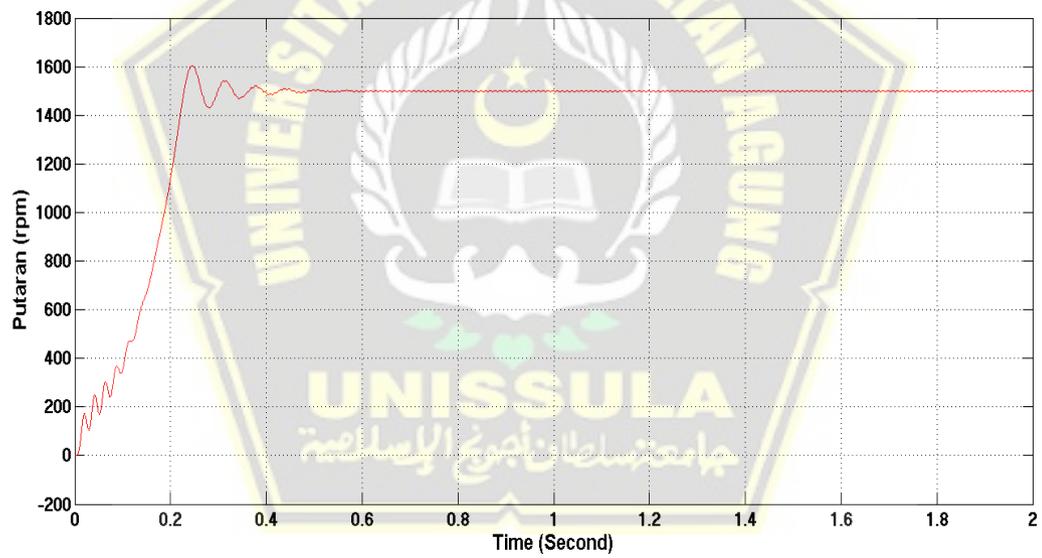


rpm	Torsi	I rotor	I stator	Daya (W)
1501	133,2	36,72	88,3	65.559

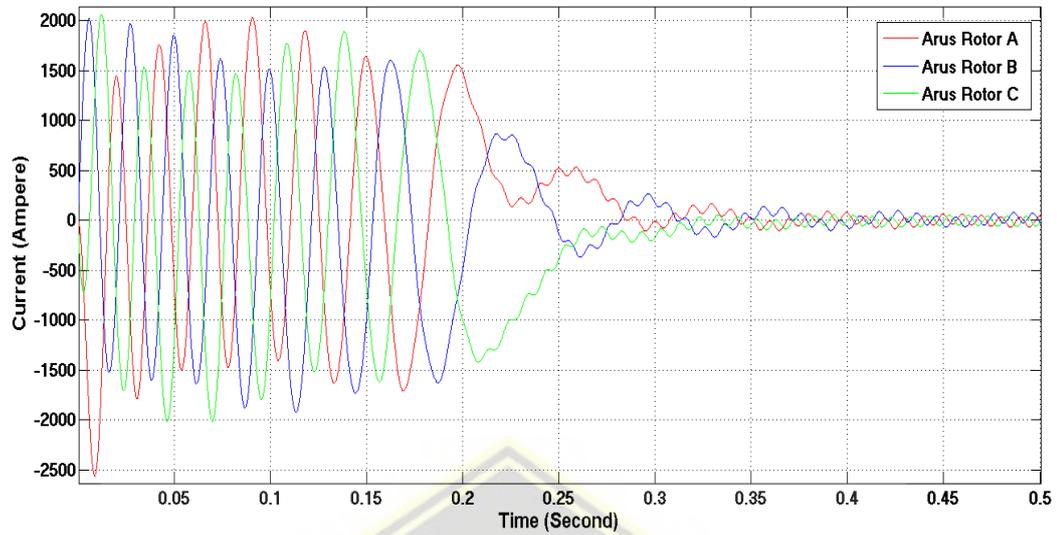
Torsi



Putaran (rpm)



I Rotor



I Stator

