



**ANALISA UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI TIGA FASE
DENGAN SUMBER SATU FASE MENGGUNAKAN
SEPIC CONVERTER DAN *INVERTER* TIGA FASE
*PULSE WIDTH MODULATION (PWM)***

SKRIPSI

oleh

**Achmad Yudi Cahyadi
NIM 111910201031**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**ANALISA UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI TIGA FASE
DENGAN SUMBER SATU FASE MENGGUNAKAN
SEPIC CONVERTER DAN *INVERTER* TIGA FASE
*PULSE WIDTH MODULATION (PWM)***

SKRIPSI

**diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro
dan mencapai gelar Sarjana Teknik**

oleh

**Achmad Yudi Cahyadi
NIM 111910201031**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur ke hadirat Allah S.W.T yang telah memberikan limpahan rahmat yang sangat luar biasa kepada penulis dan juga sholawat serta salam kepada Nabi SAW yang telah membawa kita semua menuju peradaban manusia yang lebih baik. Skripsi adalah salah satu ujian yang akan membawa kita menjadi manusia yang lebih mampu mengolah dan menganalisis suatu permasalahan untuk mendapatkan hasil maksimal. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis mempersembahkan karya tulis ini untuk :

1. Kedua orang tua saya, ibu Farida Ariani, dan Bapak Rusyadi yang dengan tulus selalu mendo'akan dan selalu mendukung baik moral maupun materil.
2. Adikku Noer Fadiyah Dwi Amalia yang selalu mendo'akan saya sukses, dan menjadi salah satu alasan saya untuk segera menyelesaikan pendidikan ini.
3. Semua Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu. Terutama Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T selaku DPU dan H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T selaku DPA.
4. Rafika Sari Yaslan yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
5. Seluruh Guru-guru saya dari TK, SD, SMP, SMA, dan guru mengaji yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan ilmu.
6. Teman-temann teknik, khususnya Teknik Elektro angkatan 2011.
7. Teman-teman KOPI ASAP.
8. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTO

“Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu,
sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar”
(terjemahan Surat *Al Baqoroh* ayat 153)

“Ketika rasa takut menghantui anda dan menghalangi anda untuk meraih
kesuksesan yang ingin anda capai, maka lakukanlah hal yang anda takuti tersebut
dan rasa takut itu akan hilang di hati anda”
(Hitam Putih)

“Cita-cita itu memang dari mimpi, tapi anda jangan lupa bangun untuk
meraihnya”
(Achmad Yudi Cahyadi)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Achmad Yudi Cahyadi

NIM : 111910201031

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisa Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Dengan Sumber Satu Fase Menggunakan *Sepic Converter* dan *Inverter Tiga Fase Pulse Width Modulation (PWM)*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 23 Oktober 2015

Yang menyatakan,

Achmad Yudi Cahyadi
NIM 111910201031

SKRIPSI

**ANALISA UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI TIGA FASE
DENGAN SUMBER SATU FASE MENGGUNAKAN
SEPIC CONVERTER DAN *INVERTER* TIGA FASE
*PULSE WIDTH MODULATION (PWM)***

oleh

Achmad Yudi Cahyadi
NIM 111910201031

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “ANALISA UNJUK KERJA MOTOR INDUKSI TIGA FASE DENGAN SUMBER SATU FASE MENGGUNAKAN *SEPIC CONVERTER* DAN *INVERTER* TIGA FASE *PULSE WIDTH MODULATION* (PWM)” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jum’at, 23 Oktober 2015

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 197008261997021001

H.R.B.Moch. Gozali, S.T., M.T.
NIP 196906081999031002

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.
NIP 197106141997021001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

*Analisa Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Dengan Sumber Satu Fase
Menggunakan Sepic Converter dan Inverter Tiga Fase
Pulse Width Modulation (PWM)*

Achmad Yudi Cahyadi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Motor induksi salah satu jenis mesin listrik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun dirumah tangga. Pada dunia industri, motor induksi ini digunakan sebagai penggerak utama pada mesin produksi. Mengoperasikan motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase menjadi pilihan yang sangat baik untuk situasi di mana pasokan listrik tiga fase tidak tersedia. Untuk tegangan nominal sumber satu fase adalah 220 volt, jika menggunakan motor induksi tiga fase sesuai tegangan nominal 380 volt maka perlu meningkatkan tegangan dengan Sepic converter menggunakan control PI untuk merespon perubahan beban pada beban motor induksi. proses tiga tahap konversi melalui rangkaian inverter menggunakan pulsa dengan teknik modulasi. Untuk analisis kinerja motor induksi, dalam penelitian ini digunakan Matlab R2010b dengan spesifikasi motor induksi 5 HP 380 Volt 50 Hz 1500 rpm. Dalam analisis simulasi menghasilkan nilai faktor daya pada motor sumber satu fase mendapatkan 0.1052 tanpa beban dan 0.8535 beban penuh. Efisiensi menghasilkan 85,76% tanpa beban dan 89,60% pada beban penuh.

Kata kunci: motor induksi, *sepic converter*, *inverter pulse width modulation*.

An Analysis of Three Phase Induction Motor Performance with Single Source by using a Sepic Converter Phase and Three Phase Inverter Pulse Width Modulation (PWM)

Achmad Yudi Cahyadi

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Induction motor is one of electrical machines which mostly used in daily life both in industry and home stairs. In industrial area, induction motor is used as a prime mover on a production machine. Operating the three-phase induction motor with single-phase source is a good choice for situations where is the three-phase power supply unavailable. The nominal voltage source for single phase is 220 volt, if the use of three-phase induction motor based on nominal voltage of 380 volt, then it is necessary to increase the voltage by Sepic converter using PI control to respond the change of load on the induction motor load. Three stages process of conversion are through an inverter circuit by using pulse modulation techniques. However, an analysis of induction motor performance, this research used Matlab R2010b with specifications induction motor 5 HP 380 Volt 50 Hz 1500 rpm. In simulation analysis, it produces power factor score of source single phase motor get 0.8535 without load and 0.1052 full load. The efficiency is 85.76% without load and 89.60% for full load.

Key words: *induction motor, sepic converter, inverter pulse width modulation.*

RINGKASAN

Analisa Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Dengan Sumber Satu Fase Menggunakan *Sepic Converter* dan *Inverter Tiga Fase Pulse Width Modulation (PWM)* ; Achmad Yudi Cahyadi, 111910201031; 2015; 99 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Motor induksi salah satu jenis mesin listrik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Pada dunia industri, motor induksi ini digunakan sebagai penggerak utama pada mesin produksi seperti mesin bor, mesin bubut, konveyor dan lain-lain. Permasalahan timbul apabila di suatu industri tidak ada pasokan sumber tiga fase, sehingga motor tiga fase dapat digunakan dalam sumber satu fase. Pengkonversian ini menjadi pilihan apabila sumber tiga fase tidak tersedia.

Penelitian ini sudah dilakukan oleh “Alexander Aqwi Islamy”, 2013 pengembangan dari penelitian “Arie Subianto”, 2009. Judul penelitian yang dilakukan Alexander Aqwi Islamy yaitu “**Perancangan Simulasi Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Dengan Sumber Satu Fase Menggunakan *Boost Buck Converter* dan *Inverter Tiga Fase Pulse Width Modulation (PWM)***”. Kekurangan dari penelitian ini yaitu *Boost Buck/Cuk Converter* yang digunakan masih belum optimal dalam merespon perubahan tegangan pada *inverter*, banyaknya ripple tegangan sehingga kecepatan motor tidak konstan .

Untuk itu penulis memperbaiki penelitian dari Alexander Aqwi Islamy yaitu menggantikan *Boost Buck/Cuk Converter* dengan *Sepic Converter*. Dimana kelebihan *Sepic Converter* dibanding *Boost Buck/ Cuk converter* ialah polaritas tegangan keluaran pada *Sepic Converter* sama dengan polaritas tegangan masukannya, ripple tegangannya sedikit, dan meningkatkan faktor daya.

Unjuk kerja motor induksi dapat dilihat pada parameter perubahan kecepatan, daya, faktor daya, serta efisiensi motor. Dalam analisa hasil simulasi diperoleh nilai kecepatan rotor yang dihasilkan oleh motor induksi saat tanpa beban yang terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter*

sebesar 1498 rpm dan saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *boost-buck/cuk converter* sebesar 1498 sedangkan pada beban penuh saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* sebesar 1449 rpm dan saat terhubung *boost-buck/cuk converter* sebesar 1450 rpm. Nilai faktor daya yang dihasilkan oleh motor induksi saat tanpa beban yang terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* sebesar 0.1052 dan saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *boost-buck/cuk converter* sebesar 0.0925 sedangkan pada beban penuh saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* sebesar 0.8535 dan saat terhubung *boost-buck/cuk converter* sebesar 0.8259. Nilai daya aktif yang dihasilkan oleh motor induksi saat tanpa beban yang terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* sebesar 152.5 watt dan saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *boost-buck/cuk converter* sebesar 133 watt sedangkan pada beban penuh saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* sebesar 2696 watt dan saat terhubung *boost-buck/cuk converter* sebesar 2715.33 watt. Efisiensi motor induksi yang terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* pada penelitian ini diperoleh sebesar 85,76% saat tanpa beban dan 89,60% pada beban penuh hampir sama dengan Efisiensi untuk motor yang terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *boost-buck/cuk converter* sebesar 85,74% saat tanpa beban dan 90.39% pada beban penuh.

PRAKATA

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulisan laporan skripsi dengan judul “ Analisa Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Menggunakan *Sepic Converter* dan *Inverter Tiga Fase Pulse Width Modulation (PWM)*” dapat diselesaikan. Karya tulis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis sampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember dan juga selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam membimbing dan penyusunan skripsi ini.
3. Bapak H.R.B. Moch Gozali, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membantu meluangkan waktu dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT. selaku Dosen Penguji Anggota I.
5. Bapak Dr. Azmi Saleh, ST., MT. selaku Dosen Penguji Anggota II.
6. Para Dosen beserta seluruh jajaran Karyawan dan Staf Fakultas Teknik Universitas Jember, terima kasih atas segala dukungannya selama ini.
7. Ibu Farida Ariani, Bapak Rusyadi, dan adikku Noer Fadiyah Dwi Amalia, terima kasih atas segala kasih sayang, kesabaran, do'a, ketulusan, pengorbanan, dan dukungan kalian.
8. Kakak-kakak dan adik-adik angkatan Teknik Elektro juga membantu dalam memberikan saran dan tenaganya.
9. Teman-teman “KOPI ASAP” yang selama ini berjuang bersama-sama menikmati pahit dan manisnya kuliah.

10. Teman-teman seperjuangan teknik elektro khususnya angkatan 2011 “terima kasih atas rasa kekeluargaan dan persahabatannya yang luar biasa, semoga selalu kompak dan tetap terjalin rasa persaudaraan”.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan. Kritik dan saran tetap diharapkan bagi perbaikan dalam penyusunan karya tulis berikutnya.

Jember, 23 Oktober 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PEMNGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Motor Induksi	6
2.2.1 Konstruksi	6
2.2.2 Stator	7

2.2.3 Rotor	7
2.2.4 Prinsip kerja motor induksi	8
2.2.5 Rangkaian Rotor	9
2.2.6 Slip.....	9
2.2.7 Kecepatan motor induksi.....	9
2.2.8 Torsi motor induksi	10
2.2.9 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi.....	11
2.2.10 Daya motor induksi	13
2.2.11 Efisiensi motor induksi.....	14
2.2.12 Daya kompleks dan faktor daya	14
2.3 Komponen Elektronika Daya	15
2.3.1 Diode.....	15
2.3.2 IGBT	16
2.4 Konverter Daya.....	18
2.4.1 Rectifier	18
2.4.2 Konverter	22
2.4.3 Inverter	25
2.5 Pulse Width Modulation	26
2.6 Kontrol PI.....	28
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	30
3.2 Alat dan Bahan.....	30
3.3 Prosedur Penelitian.....	30
3.4 Jadwal Perencanaan Penelitian	31
3.5 Perencanaan Simulasi Sistem Motor Induksi 3 Fase Dengan Sumber Satu Fase di Matlab.....	32
3.5.1 Pemodelan <i>Sepic converter</i> dengan Kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fase	32
3.5.2 Pemodelan <i>Boost-Buck/Cuk converter</i> dengan Kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fase	33

3.5.3 Software Matlab	34
3.5.4 Parameter-parameter Matlab	35
3.5.5 Rangkaian pengukuran daya dan faktor daya.....	38
3.5.6 Rangkaian Rectifier	38
3.5.7 Rangkaian <i>Sepic converter</i>	39
3.5.8 Rangkaian <i>Cuk converter</i>	39
3.5.9 Rangkaian Inverter	40
3.5.10 Pengukuran kecepatan motor induksi.....	40
3.6 Pengujian system simulasi.....	41
3.7 Diagram Alir	42
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Pengujian motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase menggunakan <i>Sepic converter</i> dan inverter tiga fase	44
4.2 Pengujian motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase menggunakan <i>Cuk converter</i> dan inverter tiga fase	71
4.3 Perbandingan unjuk kerja motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase menggunakan <i>Sepic converter</i> dan <i>Boost-buck/cuk converter</i>	84
4.3.1 Arus dan tegangan motor induksi tiga fase	85
4.3.2 Kecepatan motor induksi tiga fase	86
4.3.3 Faktor daya motor induksi tiga fase	87
4.3.4 Daya motor induksi tiga fase	88
4.3.5 Efisiensi motor induksi tiga fase	89
BAB 5. PENUTUP.....	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN.....	94

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Jadwal perencanaan penelitian	31
3.2 Spesifikasi motor induksi	32
4.1 Spesifikasi motor induksi tiga fase	44
4.2 Hasil unjuk kerja motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase menggunakan <i>Sepic converter</i> dan <i>inverter</i> tiga fase.....	64
4.3 Arus dan tegangan masukan pada sumber satu fae menggunakan <i>Sepic converter</i> dan <i>inverter</i> tiga fase.....	65
4.4 Nilai slip dan reaktansi pada sumber satu fae menggunakan <i>Sepic converter</i> dan <i>inverter</i> tiga fase.....	66
4.5 Efisiensi motor induksi pada sumber satu fae menggunakan <i>Sepic converter</i> dan <i>inverter</i> tiga fase.....	72
4.6 Hasil unjuk kerja motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase menggunakan <i>Boost-buck/Cuk converter</i> dan <i>inverter</i> tiga fase.....	82
4.7 Arus dan tegangan masukan pada sumber satu fae menggunakan <i>Boost-buck/Cuk converter</i> dan <i>inverter</i> tiga fase.....	83
4.8 Nilai slip dan reaktansi pada sumber satu fae menggunakan <i>Boost-buck/Cuk converter</i> dan <i>inverter</i> tiga fase.....	83
4.9 Efisiensi motor induksi pada sumber satu fae menggunakan <i>Boost-buck/Cuk converter</i> dan <i>inverter</i> tiga fase.....	83
4.10 Perbandingan Arus dan tegangan motor induksi	84
4.11 Perbandingan kecepatanmotor induksi	85
4.12 Perbandingan Faktor daya motor induksi	86
4.13 Perbandingan Daya aktif motor induksi	87
4.14 Perbandingan Daya reaktif motor induksi	88
4.15 Perbandingan Efisiensi motor induksi	89

DAFTAR GAMBAR

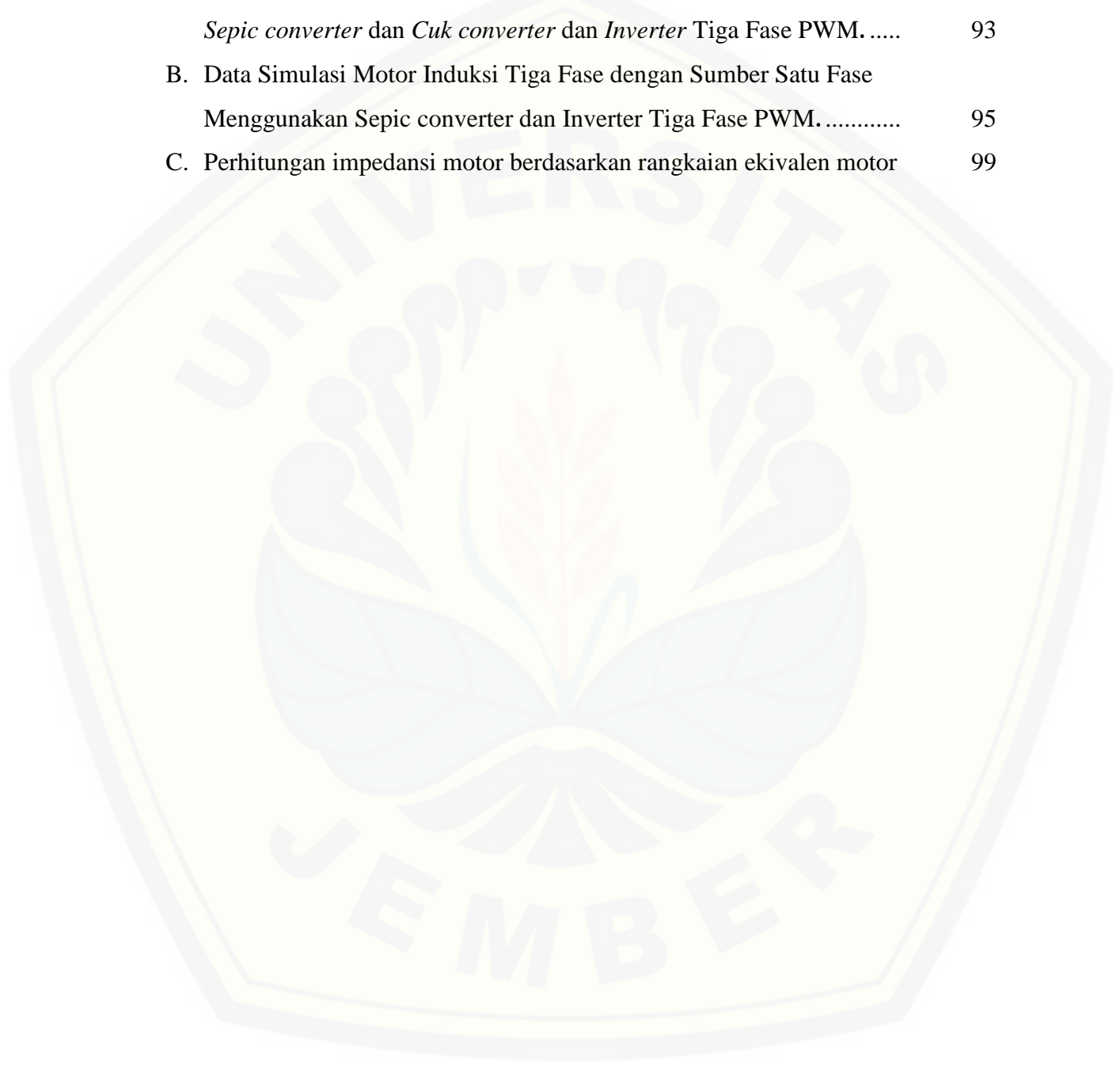
	Halaman
2.1 Konstruksi motor induksi	7
2.2 Rangkaian pengganti rotor.....	9
2.3 Hubungan daya nyata, aktif, dan reaktif.....	12
2.4 Karakteristik dioda.....	14
2.5 Rangkaian ekuivalen semikonduktor IGBT	14
2.6 Karakteristik keluaran IGBT	15
2.7 <i>Bridge rectifier</i>	16
2.8 Pengubah tipe linier	17
2.9 Pengubah tipe peralihan.....	17
2.10 Tegangan keluaran.....	21
2.11 Rangkaian dasar <i>Buck converter</i>	22
2.12 <i>Boost converter</i>	22
2.13 <i>Buck-Boost converter</i>	23
2.14 <i>Boost-Buck converter</i>	24
2.15 <i>Sepic converter</i>	25
2.16 <i>Inverter</i>	26
2.17 Tabel kebenaran <i>VSI</i>	26
2.18 Gelombang keluran <i>VSI</i>	27
2.19 <i>Pulse Width Modulation</i>	28
2.20 Tabel <i>Generalized Harmonic</i>	28
2.21 Blog diagram pengendali PI	29
3.1 Pemodelan <i>Sepic converter</i> dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fase PWM	32
3.2 Pemodelan <i>Cuk converter</i> dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fase PWM	33
3.3 <i>Library Simulink matlab</i>	35
3.4 Komponen daya dioda	35
3.5 Komponen daya IGBT.....	35

3.6	<i>Asynchronous machine</i> SI unit	36
3.7	AC voltage source	36
3.8	Blok AC voltage source.....	36
3.9	Ground.....	36
3.10	Bus Selektor.....	37
3.11	Blok bus selektor	37
3.12	Scope	37
3.13	Fourier	37
3.14	Parameter pengukuran daya.....	38
3.15	Rangkaian <i>rectifier</i>	38
3.16	Rangkaian <i>Sepic converter</i>	39
3.17	Rangkaian <i>Cuk converter</i>	39
3.18	<i>Inverter</i> tiga fase	40
3.19	Diagram alir.....	42
4.1	Pengujian motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase menggunakan <i>Sepic converter</i> dan <i>Inverter</i> tiga fase PWM	44
4.2	Blok sumber tegangan AC.....	46
4.3	Tegangan keluaran sumber tegangan AC	46
4.4	Rangkaian <i>Rectifier</i> dengan filter kapasitor	48
4.5	Tegangan keluaran <i>Rectifier</i> dengan filter kapasitor	48
4.6	Rangkaian <i>Sepic converter</i> menggunakan kontrol PI.....	49
4.7	Blok diagram pengendali PI	52
4.8	Blok pengendali PI	55
4.9	Tegangan keluaran <i>Sepic converter</i> menggunakan kontrol PI	56
4.10	Blok IGBT <i>Inverter</i>	57
4.11	Gelombang tegangan keluaran V_{ab} pada <i>inverter</i>	57
4.12	Gelombang tegangan keluaran V_{bc} pada <i>inverter</i>	58
4.13	Gelombang tegangan keluaran V_{ca} pada <i>inverter</i>	58
4.14	Gelombang tegangan keluaran <i>inverter</i> tiga fase PWM.....	58
4.15	Gelombang Arua keluaran <i>inverter</i> tiga fase PWM	59
4.16	Kecepatan rotor =1449 rpm.....	62

4.17	Pengujian motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase menggunakan <i>Boost-Buck/Cuk converter</i> dan <i>Inverter</i> tiga fase PWM	74
4.18	Rangkaian <i>Boost-buck/Cuk Konverter</i> menggunakan <i>PI controller</i> .	75
4.19	Tegangan keluaran Sepic converter menggunakan kontrol PI	76
4.20	Gelombang tegangan keluaran V_{ab} pada <i>inverter</i>	77
4.21	Gelombang tegangan keluaran V_{bc} pada <i>inverter</i>	77
4.22	Gelombang tegangan keluaran V_{ca} pada <i>inverter</i>	77
4.23	Gelombang tegangan keluaran <i>inverter</i> tiga fase PWM.....	78
4.24	Gelombang Arus keluaran <i>inverter</i> tiga fase PWM	78
4.25	Kecepatan rotor =1450 rpm.....	80
4.26	Grafik perbandingan kecepatan motor induksi.....	85
4.27	Grafik perbandingan faktor daya motor induksi.....	86
4.28	Grafik perbandingan daya aktif motor induksi.....	87
4.29	Grafik perbandingan daya reaktif motor induksi.....	88
4.30	Grafik perbandingan efisiensi motor induksi	89

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Simulasi Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan <i>Sepic converter</i> dan <i>Cuk converter</i> dan <i>Inverter</i> Tiga Fase PWM.	93
B. Data Simulasi Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan <i>Sepic converter</i> dan <i>Inverter</i> Tiga Fase PWM.	95
C. Perhitungan impedansi motor berdasarkan rangkaian ekivalen motor	99



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi salah satu jenis mesin listrik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun dirumah tangga. Pada dunia industri, motor induksi ini digunakan sebagai penggerak utama pada mesin produksi seperti mesin bor, mesin bubut, konveyor dan lain-lain, sedangkan didalam rumah tangga banyak digunakan terutama pada penggunaan untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, dan sebagainya. Motor induksi memiliki beberapa kelebihan diantaranya konstruksi yang sederhana dan kokoh, harganya relatif murah, serta perawatannya mudah. Selain mempunyai kelebihan, motor induksi juga mempunyai kekurangan dalam hal pengendalian kecepatannya yang sulit. Oleh karena itu pada aplikasinya digunakan sebuah kontroller / pengendali untuk merespon perubahan perilaku yang terjadi pada motor induksi selama beroperasi, baik kondisi tanpa beban maupun berbeban.

Berdasarkan pada *input* motor induksi dibagi menjadi dua yaitu motor induksi satu fase dan tiga fase. Motor induksi satu fase memiliki gulungan stator (kumparan utama dan kumparan bantu), beroperasi dengan daya satu fase. Sedangkan motor induksi tiga fase dihasilkan oleh sumber tiga fase yang memiliki kemampuan daya yang tinggi dalam ukuran hingga ratusan *Horse Power*. Permasalahan timbul apabila di suatu industri tidak ada pasokan sumber tiga fase, sehingga motor tiga fase dapat digunakan dalam sumber satu fase. Pengkonversian ini menjadi pilihan apabila sumber tiga fase tidak tersedia.

Elektronika daya memberikan kemudahan dalam aplikasi teknologi listrik dengan pengubahan daya dari sumber ke beban listrik. Terdapat empat jenis sistem pengubahan daya yaitu AC-DC *rectifier*, DC-AC *inverter*, AC-AC *converter* dan DC-DC *chopper* dengan masing-masing keunikan aplikasinya. Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dalam membandingkan unjuk kerja pada sumber *inverter*, digunakan tegangan *regulator converter* untuk merespon setiap perubahan tegangan pada inverter saat dilakukan perubahan pembebanan

motor. *Inverter* adalah *converter* sumber DC ke AC dengan tegangan dan frekuensi keluaran yang dapat dikendalikan. *PWM inverter* merupakan jenis *inverter* yang menggunakan modulasi lebar pulsa dalam teknik konversinya.

Penelitian ini sudah dilakukan oleh “Alexander Aqiu Islamy”, 2013 pengembangan dari penelitian “Arie Subianto”, 2009. Judul penelitian yang dilakukan Alexander Aqiu Islamy yaitu “**Perancangan Simulasi Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Dengan Sumber Satu Fase Menggunakan *Boost Buck Converter* dan *Inverter Tiga Fase Pulse Width Modulation (PWM)*”**”. Kekurangan dari penelitian ini yaitu *Boost Buck/Cuk Converter* yang digunakan masih belum optimal dalam merespon perubahan tegangan pada *inverter*, banyaknya ripple tegangan sehingga kecepatan motor tidak konstan .

Berdasarkan masalah di atas penulis mencoba untuk menganalisis penggunaan *SEPIC converter* dengan menggunakan kontrol PI dan *PWM inverter* pada sumber masukan sumber satu fase terhadap motor induksi tiga fase. Dimana kelebihan *Sepic Converter* dibanding *Boost Buck/ Cuk converter* ialah polaritas tegangan keluaran pada *Sepic Converter* sama dengan polaritas tegangan masukannya, ripple tegangannya sedikit, dan meningkatkan faktor daya.

1.2 Rumusan Masalah

Berpijak dari latar belakang di atas, maka yang menjadi rumusan masalah pada penulisan skripsi ini sebagai berikut.

1. Bagaimana menganalisa motor induksi tiga fase dengan menggunakan *PWM inverter* sebagai masukannya dan *SEPIC converter* menggunakan kontrol PI untuk merespon setiap perubahan tegangan pada inverter?
2. Bagaimana pengaruh *SEPIC converter* menggunakan kontrol PI dan *PWM inverter* terhadap unjuk kerja motor induksi tiga fase?
3. Bagaimana perbandingan antara *SEPIC converter* dan *BOOST-BUCK/CUK converter* dalam merespon perubahan pada tegangan pada inverter?

1.3 Batasan masalah

Untuk memperjelas arah pembahasan skripsi ini maka batasan masalah yang akan diambil antara lain:

1. Dalam melakukan pengambilan data, dilakukan simulasi dengan menggunakan motor induksi yang disesuaikan dengan program *toolbox Simulink* MATLAB R.2010b.
2. Dalam melakukan pengkorvesian dari sumber sinus satu fasa menjadi tiga fasa menggunakan *SEPIC converter* dengan kontrol PI dan inverter tiga fase *pulse width modulation* (PWM)
3. Membahas pengaruh kecepatan motor induksi tiga fase, besarnya daya dan factor daya serta efisiensi terhadap kondisi tanpa beban dan berbeban motor induksi tiga fase.
4. Membandingkan *SEPIC converter* dan *CUK converter* dalam merespon perubahan tegangan pada *inverter*.
5. Membahas harmonik dan losses yang ditimbulkan oleh *inverter*.

1.4 tujuan

Dalam penyusunan skripsi ini, tujuan yang hendak dicapai adalah:

1. Menganalisa respon *inverter* pada kinerja motor induksi tiga fase.
2. Menganalisa perubahan kecepatan dan daya motor induksi fase terhadap kinerja motor induksi tiga fase.
3. Mengetahui perbandingan antara *SEPIC converter* dan *CUK converter* dalam merespon perubahan tegangan pada *inverter*.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dengan adanya penelitian ini adalah diperoleh suatu analisis motor induksi tiga fase yang dioperasikan pada suplai tegangan satu fase dengan menggunakan *PWM inverter* dan *SEPIC converter* dengan kontrol PI.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini dikerjakan melalui beberapa tahapan-tahapan dan disusun secara sistematis yang terdiri dari beberapa bagian seperti di bawah ini.

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, tujuan pembahasan, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi mengenai penjelasan teoritis yang berhubungan motor induksi, rectifier, konverter, inverter, dan kontrol PI.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi ini, serta proses

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

BAB 5. PENUTUP

Bab ini menguraikan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian dan mengemukakan saran untuk penelitian selanjutnya sehingga dapat memperoleh hasil yang lebih baik.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

“ Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Dengan Sumber Satu Fase Menggunakan Inverter Tiga Fase Pulse Width Modulation ”

Arie Subianto, 2009. Melakukan penelitian motor induksi tiga fase yang diberi sumber satu fase. Untuk merubah sumber arus satu fase peneliti menggunakan *inverter* tiga fase. Tetapi hasil penelitian tersebut didapatkan hasil tentang kecepatan pada motor induksi cenderung naik turun sekitar 1,3 % pada sumber *inverter*, Daya yang dibutuhkan oleh motor induksi juga semakin besar saat motor induksi di operasikan melalui sumber *inverter*, dikarenakan daya yang dibutuhkan saat motor dioperasikan dengan sumber *inverter* besar, otomatis faktor daya juga bertambah besar, dan efisiensi motor induksi yang terhubung dengan sumber *inverter* pada penelitian ini diperoleh lebih kecil sebesar 77,77% saat tanpa beban dan 87,29% pada beban penuh sedangkan untuk motor yang terhubung dengan sumber sinus diperoleh efisiensi sebesar 82,91% saat tanpa beban dan 88,71% pada beban penuh.

“ Perancangan Simulasi Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Dengan Sumber Satu Fase Menggunakan Boost Buck Converter Regulator dan Inverter Tiga Fase Pulse Width Modulation (PWM) Menggunakan Software Matlab ”

Alexander Aqwi Islamy, 2013. Melakukan pengembangan dari penelitian Arie Subianto dengan menambahkan *Boost Bust Converter Regulator* untuk merespon setiap perubahan tegangan pada inverter. Efisiensi motor induksi yang terhubung dengan sumber tegangan *inverter* pada penelitian ini lebih besar dibandingkan dengan motor induksi yang langsung di suplai oleh sumber sinus. Hasil efisiensi motor induksi dengan sumber *inverter* sebesar 81,27% saat tanpa beban dan 89,05% pada saat beban penuh sedangkan untuk motor induksi yang disuplai dari sumber sinus diperoleh sebesar 79,31% saat tanpa beban dan 88,19% pada beban penuh. Akan tetapi pada *Boost Buck Converter Regulator* ini tegangan kelurannya masih belum optimal.

2.2 Motor Induksi

Motor AC digunakan secara luas baik dipemukiman, industri, kawasan perdagangan, maupun di bidang lain. Motor AC mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor AC bisa menjadi bagian dari pompa air, kipas angin atau disambungkan dengan beberapa bentuk peralatan mekanik lainnya seperti *blower*, *konveyor*, *krane*, *elevator*, dll. Motor-motor listrik pada dasarnya digunakan sebagai sumber beban untuk menjalankan alat-alat tertentu atau membantu manusia dalam menjalankan pekerjaannya sehari-hari, terutama dalam bidang perindustrian. Motor listrik memiliki beberapa klasifikasi berdasarkan pasokan input, konstruksi dan mekanisme operasinya.

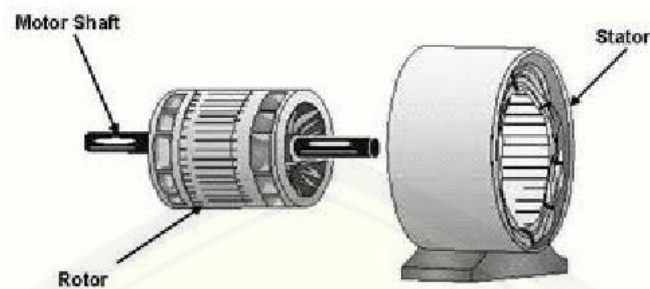
Ditinjau dari jumlah fasa tegangan yang digunakan dikenal dua jenis motor:

- a. motor satu fasa, menggunakan tegangan satu fasa . Lilitan statornya terdiri dari lilitan pokok dan lilitan bantu . Dibuat sehingga walaupun arus yang mengalir pada motor adalah arus / tegangan satu fasa tetapi akan menghasilkan arus yang mengalir pada masing-masing lilitan mempunyai perbedaan fasa.
- b. motor tiga fasa, untuk menghasilkan tenaga mekanik tegangan yang dimasukkan pada motor tersebut adalah tegangan tiga fasa.

Setiap motor induksi mempunyai klasifikasi tertentu sesuai dengan maksud penggunaannya sebagai alat penggerak yang diperlukan menurut kebutuhannya. Klasifikasi bisa dilihat pada papan nama (*name plate*), sehingga untuk berbagai kebutuhan dipilih motor yang sesuai.

2.2.1 Konstruksi

Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara (*gap*) yang jaraknya sangat kecil. Konstruksi motor induksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.1 Konstruksi Motor Induksi

Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri dari susunan laminasi inti yang memiliki alur (slot) yang menjadi tempat dudukan kumparan yang dililitkan dan berbentuk silindris.

Motor induksi memiliki dua komponen yang utama, kedua komponen tersebut :

1. Stator (bagian yang diam)
2. Rotor (bagian yang bergerak)

2.2.2 Stator

Merupakan bagian yang diam dari motor induksi tiga fasa, berfungsi untuk menghasilkan medan magnet putar. Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari kumparan tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa, maka pada kumparan tersebut segera timbul medan putar. Dengan adanya medan magnet putar pada kumparan stator akan mengakibatkan rotor berputar, hal ini terjadi karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dan kecepatan putar stator.

2.2.3 Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak atau berputar dari motor induksi tiga fasa, Bila dilihat dari konstruksinya, rotor dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- a. Rotor Belitan (wound rotor)

Motor induksi tiga fasa jenis rotor belitan mempunyai kumparan tiga fasa sama seperti stator. Belitan-belitan terisolasi (seperti pada belitan stator)

diletakkan pada alur-alur rotor. Keuntungan dari motor induksi tiga fasa jenis rotor belitan adalah bahwa motor ini dapat ditambahkan tahanan luar. Hal ini sangat menguntungkan untuk starting motor pada saat beban yang berat dan sekaligus sebagai pengatur putaran motor. Tapi motor induksi tiga fasa jenis rotor belitan ini jarang digunakan karena harganya mahal dan biaya pemeliharaannya lebih besar bila dibandingkan dengan rotor sangkar bajing.

b. Rotor Sangkar Bajing (*Squirrel Cage Rotor*)

Pada dasarnya bahwa suatu motor induksi tiga fasa jenis rotor sangkar bajing ini mempunyai rotor dengan kumparan yang terdiri dari sejumlah batang-batang yang dihubungkan sedemikian rupa sehingga menyerupai suatu kurungan atau sangkar yang berbentuk silinder. Hampir 90% motor induksi tiga fasa dalam praktek menggunakan jenis rotor sangkar bajing, karena konstruksi dari inti berlapis dengan konduktor yang dipasangkan dengan parallel terhadap porosnya dengan mengelilingi permukaan inti.

Batang-batang konduktor rotor tidak selalu dipasang parallel terhadap poros motor, tetapi sering dipasang secara aksial atau agak miring dan pada ujung-ujungnya disatukan dengan cincin yang bahannya terbuat dari konduktor juga. Dengan konstruksi tersebut, maka tidak diberikan pengaturan tahanan luar seperti halnya pada motor induksi tiga fasa jenis rotor belitan. Untuk membatasi arus mula yang besar, tegangan sumber harus dikurangi dan biasanya digunakan auto transformator, tetapi berkurangnya arus akan berakibat berkurangnya kopel mula.

2.2.4 Prinsip Kerja Motor Induksi

Prinsip kerja motor induksi atau terjadinya putaran pada motor, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Bila kumparan stator diberi suplai tegangan, maka akan terjadi medan putar dengan kecepatan

$$N_s = (120 \times f) / P$$

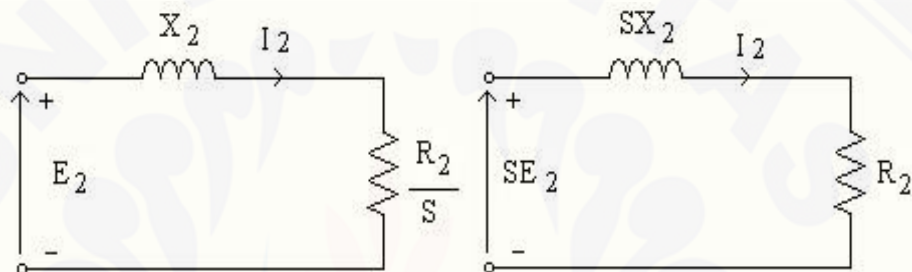
- Medan putar stator tersebut akan mengimbas penghantar yang ada pada rotor, sehingga pada rotor timbul tegangan induksi.
- Tegangan yang terjadi pada rotor menyebabkan timbulnya arus pada

penghantar rotor.

- Selanjutnya arus di dalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada rotor.
- Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk menanggung kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.

2.2.5 Rangkaian Rotor

Motor induksi 3-fasa mempunyai kumparan stator dan kumparan rotor. Rangkaian pengganti rotor motor induksi ditunjukkan pada gambar :



Gambar 2.2 Rangkaian pengganti rotor

Karena pada saat rotor berputar tegangan induksi rotor (E_2) dan reaktansi rotor (X) dipengaruhi oleh slip, maka arus rotor menjadi :

$$I_2 = \frac{SE_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_2)^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (sX_2)^2}} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.2.6 Slip

Motor induksi tidak dapat berputar pada kecepatan sinkron, suatu cara agar motor dapat mencapai kecepatan sinkron yaitu rotor harus diam relatif terhadap fluksi yang berputar. Perbedaan kecepatan putaran rotor (n_r) terhadap kecepatan medan putar stator (n_s) disebut dengan slip. Hubungan antara frekuensi dengan slip dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$N_s = \frac{120 \cdot f_1}{P} \text{ atau } f_1 = \frac{P n_x}{120} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Pada rotor berlaku hubungan } f_2 = \frac{P(n_x - n_r)}{120} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.2.7 Kecepatan Motor induksi

Kecepatan motor induksi ditentukan oleh frekuensi tegangan masukan

dan jumlah kutub motor seperti yang dijelaskan dengan rumus:

$$N_s = 120 f/P \dots\dots\dots (2.4)$$

di mana:

- N_s = kecepatan sinkron
- f = frekuensi tegangan sumber
- P = jumlah kutub motor (ditentukan oleh belitan stator).

Berdasarkan rumus 2.4 diatas kecepatan putaran motor induksi dipengaruhi oleh jumlah kutub dan besarnya frekuensi tegangan masukan motor. Oleh karena jumlah kutub ditentukan oleh belitan statornya, maka pengubahan kutub ini hanya bisa dilakukan melalui desain belitan stator motor, sedangkan untuk pengaturan frekuensi dan tegangan masukan memerlukan pengubahan frekuensi tegangan.

- a. Pengaturan kutub banyak digunakan pada beban-beban yang dalam operasinya memerlukan beberapa kecepatan yang berbeda, misalnya kecepatan rendah dan kecepatan tinggi.
- b. Sedangkan pengaturan frekuensi pada motor induksi banyak diterapkan untuk beban-beban yang memerlukan pengaturan kecepatan dari nol sampai dengan maksimal seperti yang diterapkan di bidang transportasi seperti kereta listrik.

2.2.8 Torsi Motor Induksi

Besarnya daya motor tiga fase yang dibangkitkan dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$P_2 = \omega_2 \cdot T \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

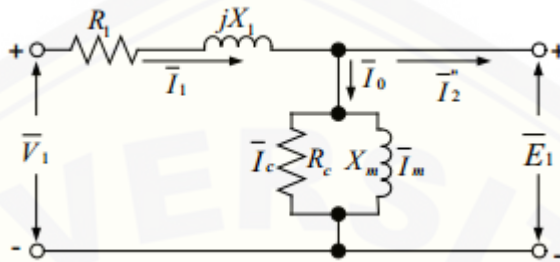
- P_2 = Daya Rotor
- ω_2 = Kecepatan putar rotor (rpm)
- T = Torsi

Torsi dapat ditentukan juga dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{K \cdot E_2^2 \cdot R_2}{R_2^2 + X_2^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.2.9 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Untuk menentukan rangkaian ekuivalen dari motor induksi tiga fasa, pertama-tama perhatikan keadaan stator.



Gambar 2.3 Rangkaian ekuivalen stator per-fasa motor induksi

Besarnya tegangan terminal stator berbeda dengan ggl lawan sebesar jatuh tegangan pada impedansi bocor stator, sehingga dinyatakan dengan persamaan

$$V_i = E_1 + I_1 (R_1 + jX_1) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

V_i = tegangan terminal stator (volt)

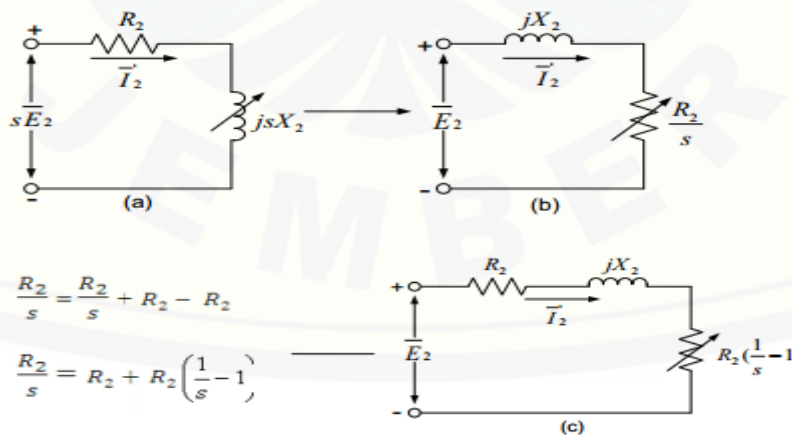
E_1 = GGL lawan yang dihasilkan oleh fluks celah udara resultan (volt)

I_1 = arus stator (ampere)

R_1 = resistansi efektif stator (ohm)

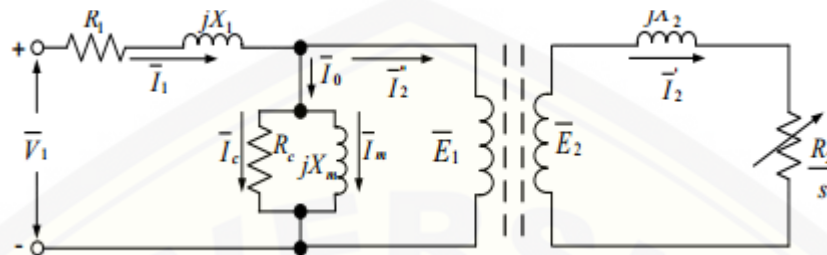
jX_1 = reaktansi bocor stator (ohm)

Kedua perhatikan rangkaian ekuivalen pada rotor sebagai berikut :



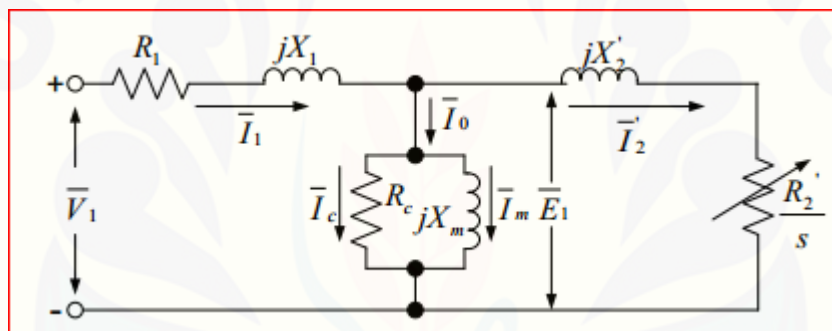
Gambar 2.4 rangkaian ekuivalen rotor.

Dari penjelasan mengenai rangkaian ekivalen pada stator dan rotor di atas, maka dapat dibuat rangkaian ekivalen motor induksi tiga phasa pada masing-masing phasanya.



Gambar 2.5 Rangkaian ekivalen motor induksi dari sisi stator.

Untuk mempermudah perhitungan dapat dilihat dari sisi stator, rangkaian ekivalen motor induksi tiga phasa akan dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.6 Rangkaian ekivalen pendekatan motor induksi

Dimana :

R_1 = Tahanan stator

V_1 = Tegangan masukan motor

X_1 = Reaktansi stator

R_2 = Reaktansi rotor

X_2 = Reaktansi rotor

X_m = Reaktansi rangkaian magnetisasi

X_2' = X_2/k

R_2'/S = $R_2'/k.S$

R_2'/S = menggambarkan tahanan yang mewakili beban yang merupakan fungsi dari S

K = I_1/I_2

Dari gambar rangkaian ekuivalen diatas, arus stator dan rotor juga impedansi dapat ditentukan seperti berikut:

$$Z_e = R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2}{s.k^2} + \frac{jX_2}{k^2} \right)}{\frac{R_2}{s.k^2} + j \left(X_m + \frac{X_2}{k^2} \right)} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$I_1 = \frac{V_i}{R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2}{s.k^2} + \frac{jX_2}{k^2} \right)}{\frac{R_2}{s.k^2} + j \left(X_m + \frac{X_2}{k^2} \right)}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$I_2 = \frac{jX_m}{\left(\frac{R_2}{s} \right) + j(X_m + X_r)} \times I_1 \dots\dots\dots(2.10)$$

2.2.10 Daya Motor Induksi

Arus yang diserap oleh motor induksi tiga fasa yang sedang berjalan tanpa beban sebagian besar merupakan arus pemagnetan, arus tanpa beban tertinggal dari tegangan dengan sudut yang besar. Jika beban ditambah, maka komponen aktif menghasilkan suatu faktor daya yang lebih tinggi.

Daya dari rotor terdiri dari daya mekanik dan daya yang hilang berupa panas di rotor.

$$P_2 = P_{mk} + P_{cu} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

P_2 : Daya input rotor

P_{mk} : Daya mekanik = $I_2^2 R_2$

P_{cu} : Daya yang hilang berupa panas = $I_2^2 R_2$

2.2.11 Efisiensi Motor Induksi

Semua beban rugi-rugi inti praktis konstan, dan untuk tujuan praktis rugi-rugi gesekan dan udara juga dianggap konstan. Tidak demikian halnya dengan rugi-rugi tembaga yang besarnya berubah, tergantung besarnya beban. Secara umum semakin besar motor efisiensi beban penuhnya makin tinggi.

Besarnya efisiensi motor induksi adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{3xI_2^2 x R_2 x (\frac{1-S}{S})}{P_{out+3xI_2^2 x (R_1 + R_2)+ P_0}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

- Pout : Daya mekanis yang keluar
- Pin : Daya input
- Po : Daya tanpa beban

Efisiensi dapat ditentukan dengan dua cara, yaitu :

- Cara langsung, yaitu mengukur daya masuk P dengan watt meter dan daya keluaran Pm dengan pengukuran putaran dan kopel.
- Cara tidak langsung, yaitu dilakukan dengan memperhitungkan rugi-rugi inti besi, rugi-rugi gesekan bantalan dan angin serta rugi-rugi tembaga.

2.2.12 Daya Kompleks Dan Faktor Daya

Satuan daya listrik dalam SI adalah watt, yang didefinisikan sebagai berubahnya energi terhadap waktu dalam bentuk tegangan dan arus. Daya dalam watt diserap oleh suatu beban pada setiap saat yang merupakan jatuh tegangan pada beban tersebut (volt) dikalikan dengan arus yang mengalir melewati beban (Ampere), atau

$$P = V.I \text{ Cos}\phi \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

- P = daya (watt)
- I = Arus (Ampere)
- V = tegangan (Volt)

Sebuah sumber listrik AC mengalirkan energi listrik dalam bentuk daya aktif dan reaktif. Yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

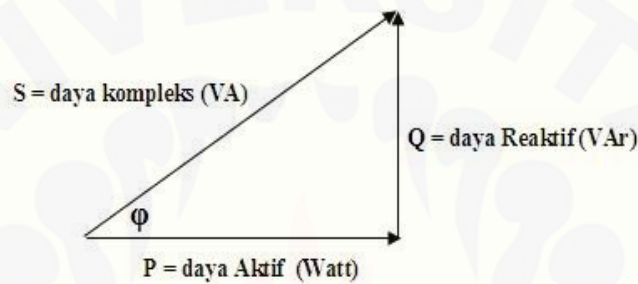
1. Daya Aktif (dinyatakan dalam Watt)
 - Adalah daya yang diperlukan untuk ditransformasikan atau diubah kebentuk daya yang lain, atau dalam kata lain daya aktif inilah yang disalurkan oleh PLN ke pelanggan
2. Daya Reaktif (dinyatakan dalam VAR)
 - Adalah daya yang diperlukan oleh peralatan yang bekerja dengan sistem

elektromagnetik yaitu untuk membentuk medan magnetnya. Daya reaktif (Q) ini tidak memiliki dampak apapun dalam kerja suatu beban listrik, dengan kata lain daya reaktif ini tidak berguna bagi konsumen listrik akan tetapi diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban.

3. Daya nyata (dinyatakan dalam VA)

Adalah penjumlahan vektor dari daya aktif dan reaktif.

Dengan demikian daya aktif, daya reaktif dan daya nyata merupakan suatu kesatuan yang dapat digambarkan seperti segitiga siku-siku.



Gambar 2.7 Hubungan Daya Nyata, Aktif dan Reaktif

Dimana :

$$\text{daya aktif} : P = |V||I| \cos \varphi \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\text{daya reaktif} : Q = |V||I| \sin \varphi \dots\dots\dots(2.14)$$

φ disebut sudut faktor daya, sudut ini menentukan kondisi terdahulu (leading) atau tertinggal (lagging) tegangan terhadap arus. Bila sebuah beban diberi tegangan, impedansi dan beban tersebut akan menentukan besar arus dan sudut fasa yang mengalir pada beban tersebut. Faktor daya merupakan petunjuk yang menyatakan sifat suatu beban.

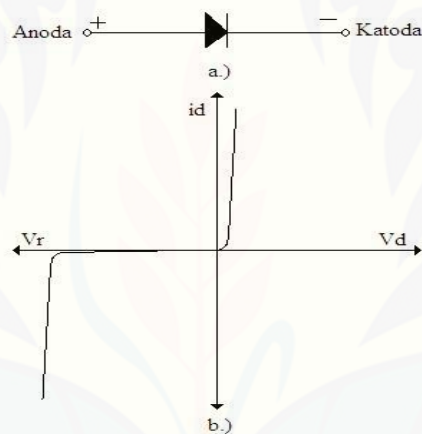
2.3 Komponen Elektronika Daya

Elektronika daya dapat didefinisikan sebagai penerapan elektronika untuk pengendalian dan konversi tenaga listrik. Komponen elektronika daya terbuat dari bahan semikonduktor (*solid state*) yang berfungsi sebagai saklar elektronik. Komponen daya yang sering digunakan adalah : *Dioda, Transistor, Thyristor, Silicon Controlled Rectifier (SCR), DIAC, TRIAC, MOSFET, IGBT dan GTO.*

2.3.1 Dioda

Dioda adalah suatu bahan semikonduktor yang didesain sedemikian

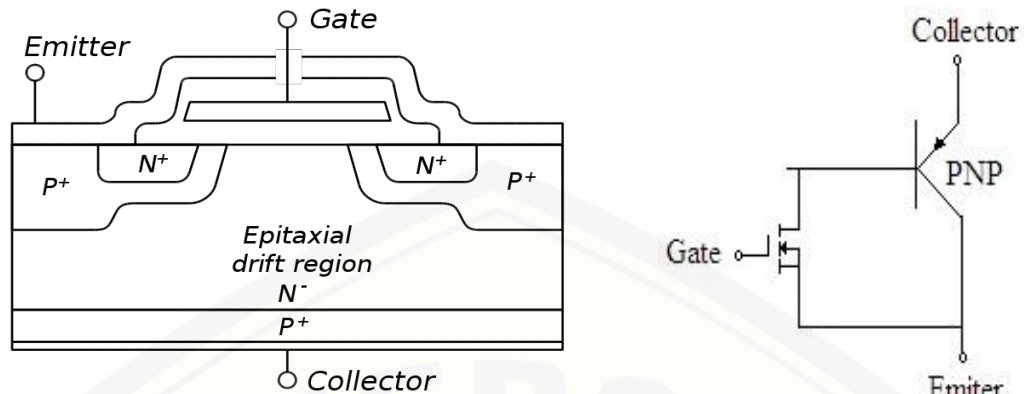
sehingga mampu menghasilkan arus pada satu arah saja yang berperan sebagai saklar untuk menjalankan fungsi dalam rangkaian elektronika. Ketika tegangan anode positif terhadap katode, maka diode terkonduksi (bias maju), dalam keadaan ini arus mengalir dengan pemberian tegangan yang relatif kecil tergantung dari bahan pembuatannya (germanium : 0,3 Volt dan silicon : 0.7 volt). Sebaliknya ketika katode positif terhadap anode, diode tidak menghantar (bias mundur). Dibawah kondisi ini, sebuah arus balik mengalir dan bertambah besar secara perlahan hingga batas tegangan balik tertentu yang disebut *break down voltage*. Dalam wilayah ini arus akan meningkat secara cepat dengan kenaikan tegangan mencapai ribuan volt. Simbol dan karakteristik v-i dioda dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah :



Gambar2.8 a). Simbol b). Karakteristik Dioda

2.3.2 IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*)

Transistor dwi kutub gerbang-terisolasi (IGBT) adalah piranti semikonduktor yang merupakan gabungan sebuah BJT dan MOSFET. Sesuai dengan namanya, komponen ini menggabungkan struktur kerja dan keunggulan sifat dari kedua jenis transistor, BJT dan MOSFET. Saluran gerbang dari IGBT, merupakan saluran kendali yang mempunyai struktur bahan penyekat (isolator) sebagaimana pada MOSFET.



Gambar2.9 Penampang umum & Rangkaian ekivalen semikonduktor IGBT

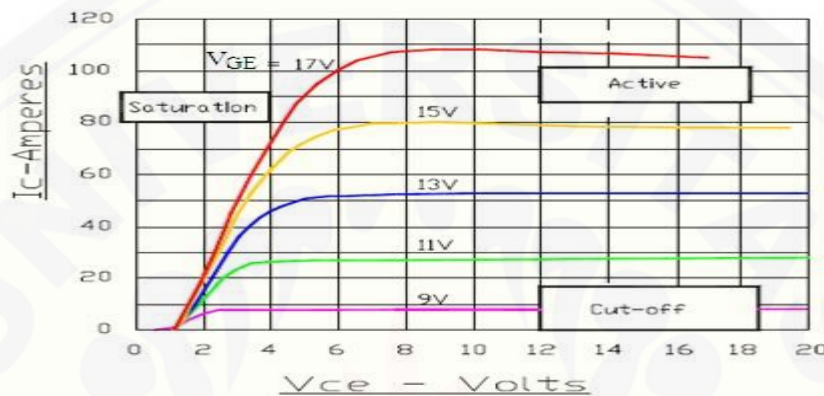
Sumber Wikipedia.org

Masukan dari IGBT adalah terminal *Gerbang* dari MOSFET, yang mempunyai impedansi yang tinggi sedangkan terminal *Sumber* dari MOSFET terhubung ke terminal *Basis* dari BJT. Dengan demikian, arus dari MOSFET akan menjadi arus basis dari BJT. Karena besarnya resistansi masukan dari MOSFET, maka terminal masukan IGBT hanya akan menarik arus yang kecil dari sumber. Di pihak lain, arus keluaran dari MOSFET akan cukup besar untuk membuat BJT mencapai keadaan jenuh. Dengan gabungan sifat kedua unsur tersebut, IGBT mempunyai perilaku yang cukup ideal sebagai sebuah saklar elektronik. Di satu pihak IGBT tidak terlalu membebani sumber, di pihak lain mampu menghasilkan arus yang besar bagi beban listrik yang dikendalikannya.

Kecepatan pensaklaran IGBT juga lebih tinggi dibandingkan BJT, meskipun lebih rendah dari komponen MOSFET. Selain itu, terminal keluaran IGBT mempunyai sifat yang menyerupai terminal keluaran (kolektor-emitor) BJT. Sehingga, pada saat keadaan menghantar, nilai resistansi (R_{On}) dari IGBT sangat kecil, menyerupai R_{On} pada BJT dan tegangan jatuh pada saat keadaan menghantar juga kecil. Dengan sifat- sifat seperti ini, IGBT akan sesuai untuk aplikasi pada perangkat *Inverter* maupun kendali Motor Listrik (*Drive*) yang membutuhkan arus besar mencapai ratusan ampere tanpa terjadi kerugian daya yang cukup besar

Karakteristik Keluaran

Karakteristik keluaran sebuah NPT-IGBT pada gambar dibawah terdiri dari grafik tegangan gerbang ke emitor V_{GE} pada level tertentu yang saling berhubungan. Arus kolektor I_c sebagai fungsi tegangan kolektor ke emitor V_{CE} terhadap tegangan gerbang ke emitor V_{GE} secara konstan.

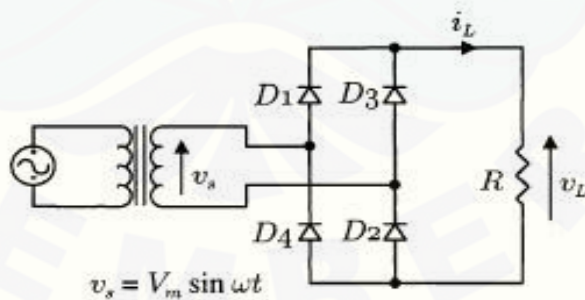


Gambar 2.10 Karakteristik Keluaran IGBT

2.4 Konverter Daya

2.4.1 Rectifier

Penyearah digunakan untuk mengubah listrik AC menjadi listrik DC, listrik DC dipakai untuk berbagai kebutuhan misalnya *power supply*. Komponen elektronika yang dipakai adalah diode atau thyristor.



Gambar 2.11 Bridge rectifier

Tegangan *root-mean-square* (V_{rms}) pada penyearah gelombang penuh adalah sebagai berikut :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (V_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$= \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$= 0.707 V_m$$

Sedangkan tegangan rata-rata (Vdc) adalah sebagai berikut :

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) \dots \dots \dots (2.16)$$

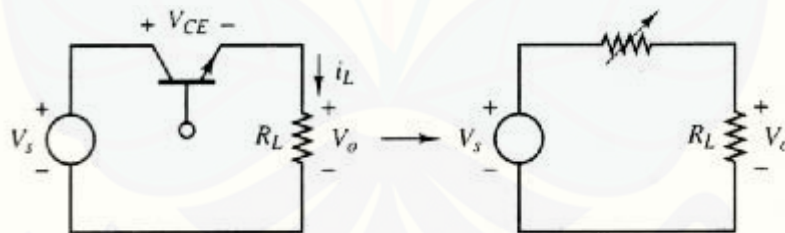
$$= \frac{2V_m}{\pi}$$

$$= 0.636 V_m$$

rangkaian yang sama. Komponen yang digunakan untuk menjalankan fungsi penghubung tersebut tidak lain adalah switch (solid state electronic switch) seperti misalnya Thyristor, MOSFET, IGBT, GTO. Secara umum ada dua fungsi pengoperasian dari DC Chopper yaitu penaikan tegangan dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan, dan penurunan tegangan dimana tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan.

Prinsip dasar Pengubah DC-DC Tipe Peralihan

Untuk lebih memahami keuntungan dari tipe peralihan, kita lihat kembali prinsip pengubahan daya DC-DC tipe linier seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.12 Pengubah tipe linier

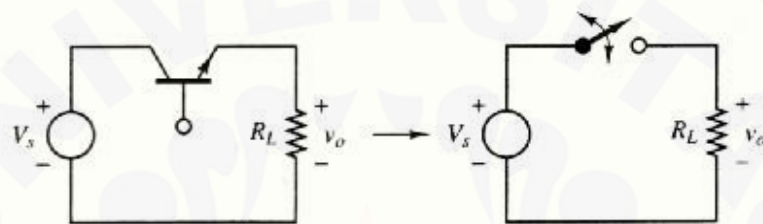
Pada tipe linier, pengaturan tegangan keluaran dicapai dengan menyesuaikan arus pada beban yang besarnya tergantung dari besar arus pada base-nya transistor:

$$V_0 = I_L \cdot R_L \dots \dots \dots (2.17)$$

Dengan demikian pada tipe linier, fungsi transistor menyerupai tahanan yang dapat diubah ubah besarnya seperti yang juga terlihat dalam Gambar 2.12. Lebih jauh lagi, transistor yang digunakan hanya dapat dioperasikan

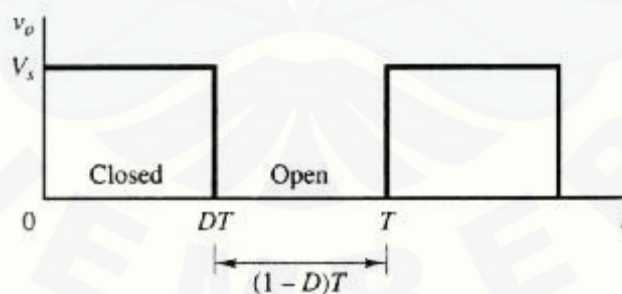
pada batasan liniernya (linear region) dan tidak melebihi batasan *cutoff* dan selebihnya (saturation region).

Maka dari itu tipe ini dikenal dengan tipe linier. Walau tipe linier merupakan cara termudah untuk mencapai tegangan keluaran yang bervariasi, namun kurang diminati pada aplikasi daya karena tingginya daya yang hilang (power loss) pada transistor ($V_{CE} \cdot I_L$) sehingga berakibat rendahnya efisiensi. Sebagai alternatif, maka muncul tipe peralihan yang pada prinsipnya dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.13 Pengubah tipe peralihan

Pada tipe peralihan, terlihat fungsi transistor sebagai *electronic switch* yang dapat dibuka (off) dan ditutup (on). Dengan asumsi bahwa switch tersebut ideal, jika switch ditutup maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan, sedangkan jika switch dibuka maka tegangan keluaran akan menjadi nol. Dengan demikian tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbentuk pulsa seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.14 Tegangan keluaran

Besaran rata rata atau komponen DC dari tegangan keluaran dapat diturunkan dari persamaan berikut:

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T V_0(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_{in} dt = V_{in} D \dots \dots \dots (2.18)$$

Dari persamaan diatas terlihat bahwa tegangan keluaran DC dapat

diatur. besarnya dengan menyesuaikan parameter D. Parameter D dikenal sebagai *Duty ratio* yaitu rasio antara lamanya waktu switch ditutup (t_{on}) dengan perioda T dari pulsa tegangan keluaran, atau (lihat Gambar 2.10):

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on}f \dots \dots \dots (2.19)$$

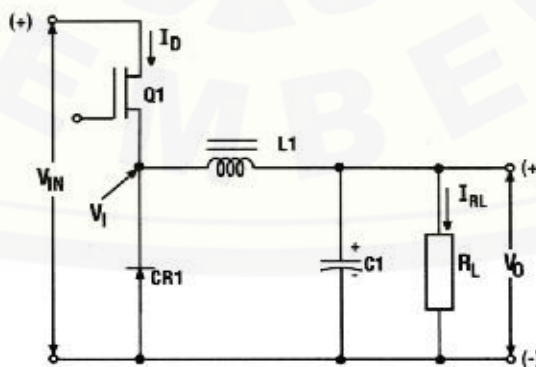
dengan $0 \leq D \leq 1$. Parameter f adalah frekuensi peralihan (*switching frequency*) yang digunakan dalam mengoperasikan switch. Berbeda dengan tipe linier, pada tipe peralihan tidak ada daya yang diserap pada transistor sebagai switch. Ini dimungkinkan karena pada waktu switch ditutup tidak ada tegangan yang jatuh pada transistor, sedangkan pada waktu switch dibuka, tidak ada arus listrik mengalir. Ini berarti semua daya terserap pada beban, sehingga efisiensi daya menjadi 100%. Namun perlu diingat pada prakteknya, tidak ada switch yang ideal, sehingga akan tetap ada daya yang hilang sekecil apapun pada komponen switch dan efisiensinya walaupun sangat tinggi, tidak akan pernah mencapai 100%.

➤ Step down (*Buck Converter*)

Dalam metoda ini, tegangan keluaran akan lebih rendah atau sama dengan tegangan masukan. Disamping itu, jika pada pengoperasiannya arus yang mengalir melalui induktor selalu lebih besar dari nol (CCM - Continuous Conduction Mode), maka hubungan antara tegangan keluaran dengan tegangan masukan adalah sebagai berikut:

$$V_0 = D \cdot V_{in} (4) \dots \dots \dots (2.20)$$

Rangkaian dasar dalam metoda *Buck Converter* dapat dilihat pada gambar 2.11



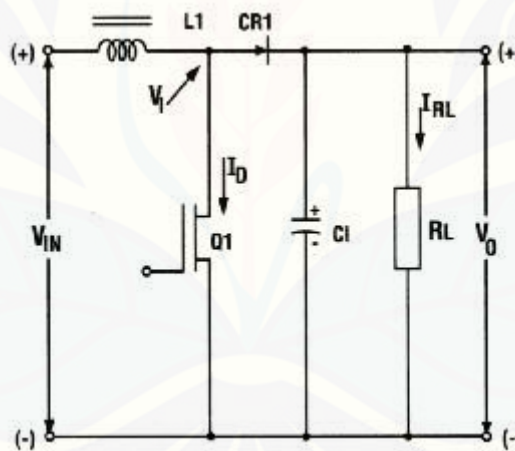
Gambar 2.15 rangkaian dasar *Buck Converter*

Keuntungan pada konfigurasi *Buck* antara lain adalah efisiensi yang tinggi, rangkaiannya sederhana, tidak memerlukan transformer, tingkatan *stress* pada komponen switch yang rendah, riak (ripple) pada tegangan keluaran juga rendah sehingga penyaring atau filter yang dibutuhkan pun relatif kecil. Kekurangan yang ditemukan misalnya adalah tidak adanya isolasi antara masukan dan keluaran, hanya satu keluaran yang dihasilkan, dan tingkat ripple yang tinggi pada arus masukan.

➤ *Step Up (Boost Converter)*

Jika tegangan keluaran yang diinginkan lebih besar dari tegangan masukan, maka rangkaian Boost dapat dipakai. Topologi Boost terlihat pada Gambar 2.12 Pada operasi CCM, tegangan keluaran dan tegangan masukan diekspresikan seperti:

$$V_0 = \frac{V_{in}}{(1-D)} \dots \dots \dots (2.21)$$



Gambar 2.16 rangkaian dasar *boost converter*

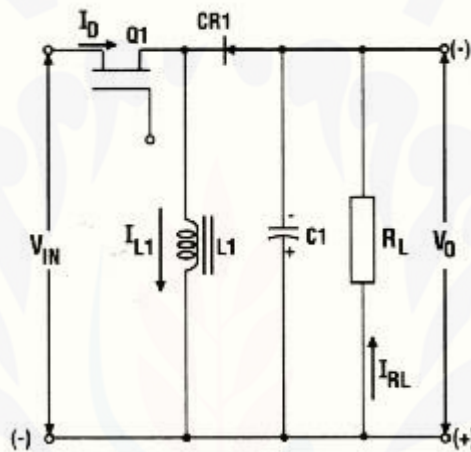
Boost juga memiliki efisiensi tinggi, rangkaian sederhana, tanpa transformer dan tingkat ripple yang rendah pada arus masukan. Namun juga *Boost* tidak memiliki isolasi antara masukan dan keluaran, hanya satu keluaran yang dihasilkan, dan tingkatan ripple yang tinggi pada tegangan keluaran. Aplikasi Boost mencakup.

misalnya untuk perbaikan faktor daya (*Power Factor*), dan untuk menaikkan tegangan pada baterai

➤ *Buck-Boost Converter*

Metoda *Buck-Boost* tidak lain adalah kombinasi antara *Buck* dan *Boost*, seperti terlihat pada Gambar 2.13, dimana tegangan keluaran dapat diatur menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan. Dalam operasi CCM, persamaan tegangan yang dipakai adalah:

$$V_0 = -\frac{D}{(1-D)} V_{in} \dots \dots \dots (2.22)$$



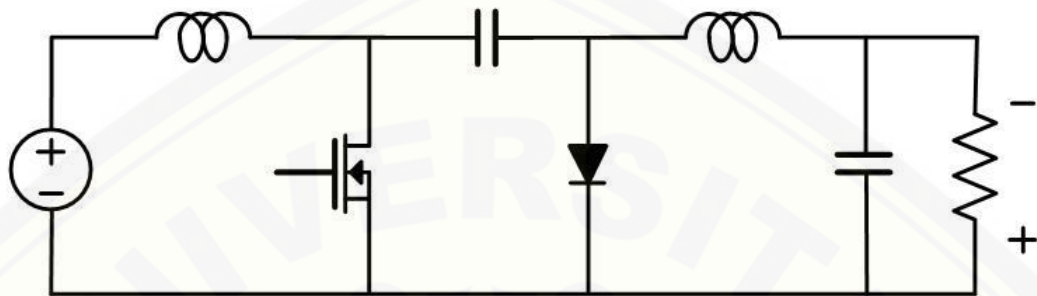
Gambar 2.17 Rangkaian dasar *Buck-Boost Converter*

Yang menarik dari Buck-Boost adalah bahwa tegangan keluaran memiliki tanda berlawanan dengan tegangan masukan. Oleh karena itu metoda ini pun ditemui pada aplikasi yang memerlukan pembalikan tegangan (*voltage inversion*) tanpa transformer. Walaupun memiliki rangkaian sederhana, metoda Buck-Boost memiliki kekurangan seperti tidak adanya isolasi antara sisi masukan dan keluaran, dan juga tingkat ripple yang tinggi pada tegangan keluaran maupun arus keluaran.

➤ *Boost-Buck Converter* atau *Cuk*

Cara lain untuk mengkombinasikan metoda Buck dan Boost dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan dikenal dengan nama Boost-Buck atau Cuk. Seperti halnya metoda Buck-Boost, tegangan keluaran yang dihasilkan dapat diatur menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan. Persamaan

tegangan yang berlaku pada CCM pun sama dengan Buck-Boost. Metoda Cuk juga digunakan pada aplikasi yang memerlukan pembalikan tegangan (*voltage inversion*) tanpa transformer, namun dengan kelebihan tingkat ripple yang rendah pada arus masukan maupun arus keluaran.



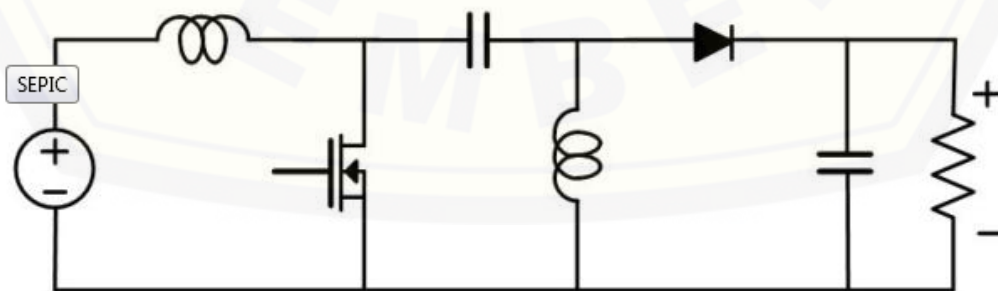
Gambar 2.18 rangkaian dasar *boost-buck converter* atau Cuk

➤ *Sepic Converter*

Jika kombinasi Buck dan Boost diinginkan tanpa adanya proses pembalikan tegangan, maka salah satu pilihannya adalah dengan konfigurasi *SEPIC*. Keuntungan pada *SEPIC* adalah memiliki arus masukan dengan tingkat ripple rendah, tidak memakai transformer, penjagaan kerusakan pada rangkaian melalui kapasitor jika switch gagal berfungsi (*capacitive isolation*). Kekurangan yang ditemui misalnya tidak adanya isolasi antara sisi masukan dan keluaran serta tegangan keluaran memiliki ripple yang tinggi. *SEPIC* sering digunakan pada aplikasi perbaikan faktor daya (*Power Factor*).

Persamaan yang dipakai adalah :

$$V_0 = \frac{D}{(1-D)} V_{in} \dots \dots \dots (2.23)$$



Gambar 2.19 rangkaian dasar *Sepic converter*.

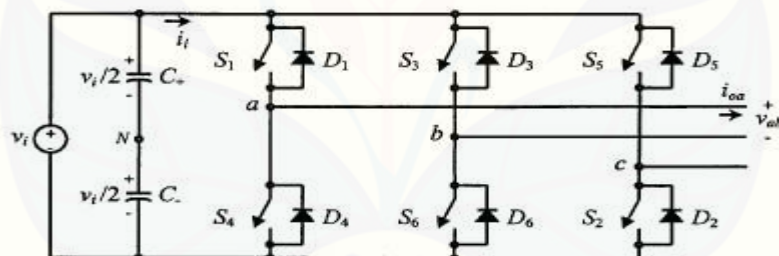
2.4.3 *Inverter*

Inverter adalah suatu rangkaian yang mampu mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Ada dua jenis *inverter* yang umum digunakan pada sistem tenaga listrik yaitu :

1. *Inverter* dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang konstan CVCF (*Constant Voltage Constant Frequency*)
2. *Inverter* dengan frekuensi dan tegangan keluaran yang berubah – ubah.

Inverter jenis ini digunakan pada pemakaian khusus seperti pemakaian pada pompa listrik 3 fase dengan menggunakan sumber tegangan dc. Kerugian cara ini adalah sistem hanya dapat digunakan pada pemakaian khusus saja, sedangkan keuntungannya adalah kemampuannya untuk menggerakkan sistem (beban) dengan sumber yang berubah – ubah.

Prinsip dasar dari *inverter* tiga fasa dengan menggunakan modulasi lebar pulsa dapat dilihat pada Gambar di bawah:



Gambar 2.20 Rangkaian *Voltage Source Inverter* (VSI)

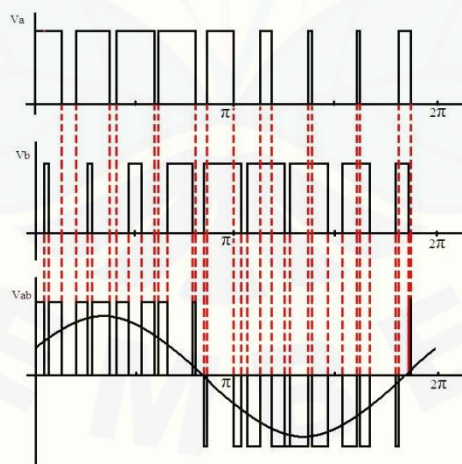
TABLE 14.3 Valid switch states for a three-phase VSI

State	State	v_{ab}	v_b	v_a
1, 2, and 6 are on and 4, 5, and 3 are off	1	v	0	$-v$
2, 3, and 1 are on and 5, 6, and 4 are off	2	0	v	$-v$
3, 4, and 2 are on and 6, 1, and 5 are off	3	$-v$	v	0
4, 5, and 3 are on and 1, 2, and 6 are off	4	$-v$	0	v
5, 6, and 4 are on and 2, 3, and 1 are off	5	0	$-v$	v
6, 1, and 5 are on and 3, 4, and 2 are off	6	v	$-v$	0
1, 3, and 5 are on and 4, 6, and 2 are off	7	0	0	0
4, 6, and 2 are on and 1, 3, and 5 are off	8	0	0	0

Gambar 2.21 Tabel kebenaran Voltage Source Inverter (VSI)

Setiap *switch* dalam *inverter* (S1 dan S4, S3 dan S6, S5 dan S2) tidak dapat *on* secara serempak, karena hal ini akan menimbulkan *short circuit*, untuk menghindari penafsiran yang salah dalam *inverter* dan tegangan keluaran, *switch*.

tidak dapat juga disaklar *off* secara serempak. Untuk membangkitkan gelombang tegangan yang diberikan, *inverter* berpindah dari satu kondisi ke kondisi lainnya.



Gambar 2.22 Gelombang keluaran (V_{ab}) Voltage Source Inverter (VSI)

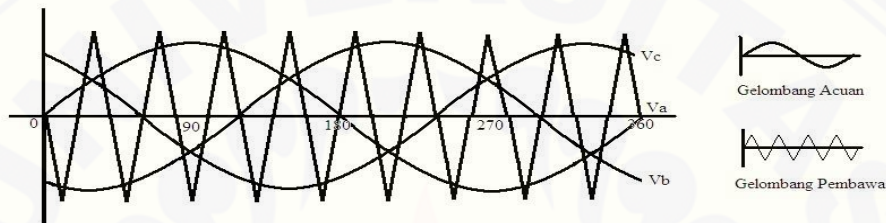
2.5 Pulse Width Modulation (PWM)

PWM tiga fase terdiri dari 3 buah sinyal sinus dengan beda fase 120°

sebagai gelombang modulasi dan sebuah sinyal segitiga sebagai gelombang pembawa / carrier. Dengan tegangan keluarannya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{ab} m \times \frac{\sqrt{3}}{2} V_i \dots\dots\dots (2.24)$$

Pada proses pembangkitan SPWM dilakukan dengan perbandingan amplitudo antara sinyal segitiga dengan sinyal sinus. Sinyal penggerak akan dibangkitkan apabila amplitude sinyal sinus lebih besar daripada amplitudo sinyal segitiga.



Gambar 2.23 Pulse Width Modu

THD (*Total Harmonic Distortion*) merupakan nilai prosentase antara total komponen harmonisa dengan komponen fundamentalnya. Semakin besar prosentase THD ini menyebabkan semakin besarnya resiko kerusakan peralatan akibat harmonisa yang terjadi pada arus maupun tegangan. Nilai THD yang diijinkan secara internasional maksimal berkisar 5% dari tegangan atau arus frekuensi fundamentalnya.

ntuk mencari nilai THD dari tegangan dapat digunakan persamaan:

$$THD \% = \frac{\sqrt{\sum_h^{\infty} (V_{AO})_h^2}}{V_1} \dots\dots\dots (2.25)$$

Sedangkan untuk mencari $(V_{AO})_h$ sebagai berikut :

$$(V_{AO})_h = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_d}{2} \frac{(V_{AO})_h}{V_d/2} \dots\dots\dots (2.26)$$

Table 8-2 Generalized Harmonics of v_{LL} for a Large and Odd m_f That Is a Multiple of 3.

h \ m_a	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	0.122	0.245	0.367	0.490	0.612
$m_f \pm 2$	0.010	0.037	0.080	0.135	0.195
$m_f \pm 4$				0.005	0.011
$2m_f \pm 1$	0.116	0.200	0.227	0.192	0.111
$2m_f \pm 5$				0.008	0.020
$3m_f \pm 2$	0.027	0.085	0.124	0.108	0.038
$3m_f \pm 4$		0.007	0.029	0.064	0.096
$4m_f \pm 1$	0.100	0.096	0.005	0.064	0.042
$4m_f \pm 5$			0.021	0.051	0.073
$4m_f \pm 7$				0.010	0.030

Note: $(V_{LL})_h/V_d$ are tabulated as a function of m_a where, $(V_{LL})_h$ are the rms values of the harmonic voltages.

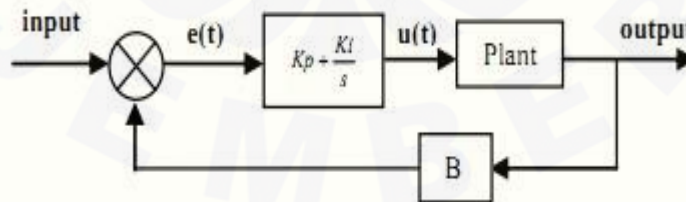
Gambar 2.24 Tabel generalized Harmonic of V_{LL} for a Large and Odd m_f that is a multiple of 3

Tabel diatas berfungsi untuk mencari nilai dari $\frac{(V_{AO})h}{Vd/2}$.

m_f sendiri dapat dicari dengan rumus sebagai berikut : $m_f = \frac{f_s}{f_i}$

2.6 Kontroller PI

Pengendali PI adalah sistem pengendali gabungan antara pengendali proporsional dan integral. Diagram blok pengendali PI dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.25 Blog diagram pengendali PI

Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PI dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$\mu(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt \right) \dots \dots \dots (2.27)$$

Dengan :

$u(t)$ = sinyal keluaran pengendali PI

K_p = Konstanta proporsional

T_I = waktu integral

K_i = konstanta integral

$e(t)$ = sinyal kesalahan

$e(t)$ = referensi – keluaran plant

Jadi, fungsi alih pengendali PI (dalam domain S) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{e(t)}{\mu(t)} = K_p + \frac{K_i}{s} \dots\dots\dots(2.28)$$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian - analisis dilakukan secara umum dilakukan di:

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Listrik Fakultas
Teknik, Universitas Jember

Alamat : Jalan Slamet Riyadi no 62 Patrang Kabupaten Jember

Waktu : Mei 2015 – September 2015

3.2 Alat dan Bahan

- a. Satu unit komputer.

Komputer digunakan untuk melakukan simulasi rancangan sistem serta melakukan analisis hasil simulasi.

- b. *Software* Matlab R.2010b

Perancangan dan simulasi sistem kendali menggunakan *software* Matlab R.2010b. Alasan digunakannya *software* ini karena di dalam Matlab R.2010b telah memiliki kelengkapan untuk merancang dan melakukan simulasi sistem kendali.

3.3 Prosedur Penelitian

Dalam pembuatan skripsi dan penelitian ini, dibuat langkah-langkah / prosedur penelitian sebagai berikut :

1. Studi literatur.
2. Penentuan parameter motor induksi
3. Pemodelan *SEPIC converter* dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fasa PWM.
4. Pemodelan *Boost Buck converter* dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fasa PWM.
5. Pemodelan PWM *inverter* sebagai masukan motor induksi tiga fasa.
6. Melakukan pengujian respon yang telah dirancang.
7. Analisis hasil simulasi
8. Selesai.

3.4 Jadwal Perencanaan Penelitian

Dalam pembuatan Skripsi ini dibutuhkan penjadwalan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Penjadwalan Penelitian

No	Kegiatan	BULAN					
		1	2	3	4	5	6
1	Tahap Persiapan						
2	Study Literatur						
3	Penentuan parameter motor induksi						
4	Pemodelan <i>SEPIC konverter</i> dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fase PWM.						
5	Pemodelan <i>Boost Buck converter</i> dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fasa PWM.						
6	Pemodelan PWM <i>inverter</i> sebagai masukan motor induksi						
7	pengujian respon yang telah dirancang.						
8	Analisis hasil simulasi						
9	Penulisan laporan akhir						

*) Perhitungan Bulan dimulai ketika selesai seminar proposal

3.5 Perancangan Simulasi Sistem Motor Induksi 3 Fase dengan sumber satu fase di Matlab

Motor induksi tiga fase yang digunakan dalam *software* matlab ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

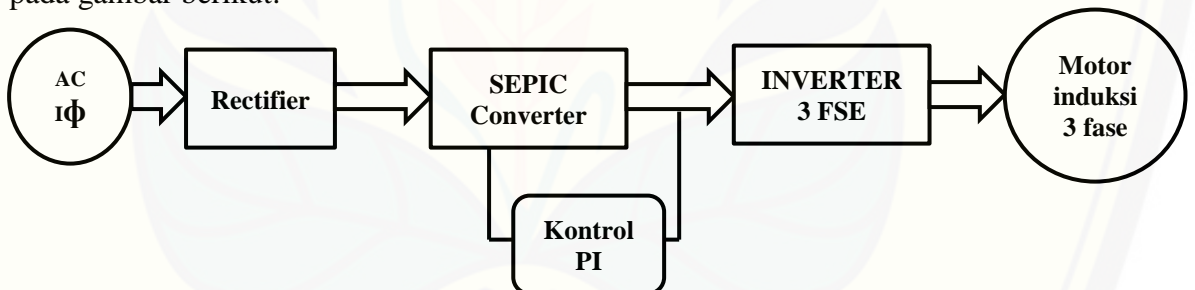
Tabel 3.2 Spesifikasi Motor Induksi

5HP 380 V line to line 50 Hz	
$R_1 = 1,115\Omega$	$L_1 = 0,005974$ Henry
$R_2 = 1,083 \Omega$	$L_2 = 0,005974$ Henry
$N_s = 1500$ Rpm	$L_m = 0,2037$ Henry

Spesifikasi *nameplate* motor induksi tersebut telah disediakan oleh *software* matlab sehingga mempermudah dalam proses perancangan dan pengambilan data.

3.5.1 Pemodelan *SEPIC converter* dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fasa PWM.

Secara garis besar desain dan blok diagram untuk perancangan ditunjukkan pada gambar berikut:



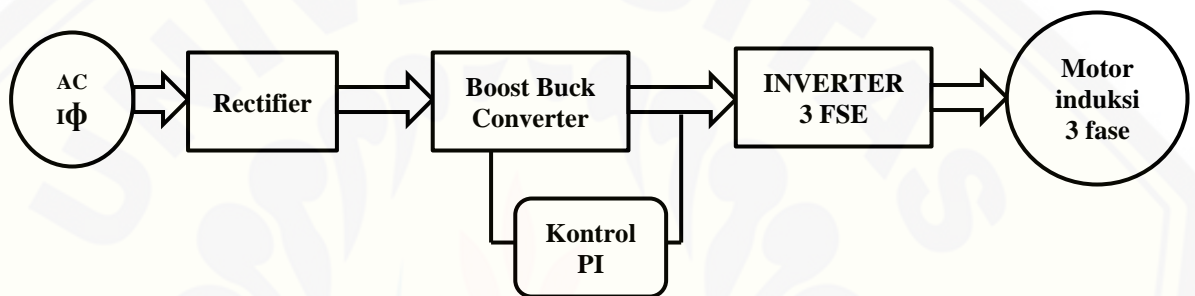
Gambar 3.1 Pemodelan *SEPIC converter* dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fasa PWM.

Gambar di atas merupakan desain sistem rancangan motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase. Sistem tersebut terdiri dari tegangan AC satu fase, *Rectifier*, *Sepic Converter*, *Inverter*, dan Motor induksi tiga fase yang ditunjukkan pada gambar 3.2. Skema ini di modelkan dengan menggunakan MATLAB. Langkah awal dimana sumber tegangan AC satu fase dikonversikan menjadi tegangan DC dengan menggunakan *rectifier*. Setelah itu tegangan DC dari keluaran *rectifier* di *Sepic konverter* yang berfungsi untuk menaikkan dan

menurunkan tegangan dengan menggunakan kontrol PI yaitu berfungsi untuk merespon setiap perubahan tegangan dari *inverter*. Inverter sendiri berfungsi sebagai pengubah tegangan DC menjadi Tegangan AC dan inverter disini menggunakan *inverter* tiga fase. Keluaran tegangan dari *inverter* ini yang digunakan untuk menyuplai tegangan masukan pada motor induksi tiga fase.

3.5.2 Pemodelan *Boost Buck/Cuk converter* dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fasa PWM.

Secara garis besar desain dan blok diagram untuk perancangan ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.2 Pemodelan *Boost Buck/Cuk converter* dengan kontrol PI sebagai masukan inverter tiga fasa PWM.

Gambar di atas merupakan desain sistem rancangan motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase. Sistem tersebut terdiri dari tegangan AC satu fase, *Rectifier*, *Boost Buck/Cuk Converter*, *Inverter*, dan Motor induksi tiga fase yang ditunjukkan pada gambar 3.2. Skema ini di modelkan dengan menggunakan MATLAB. Langkah awal dimana sumber tegangan AC satu fase dikonversikan menjadi tegangan DC dengan menggunakan *rectifier*. Setelah itu tegangan DC dari keluaran *rectifier* di *Boost Buck/Cuk konverter* yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan dengan menggunakan kontrol PI yaitu berfungsi untuk merespon setiap perubahan tegangan dari *inverter*. Inverter sendiri berfungsi sebagai pengubah tegangan DC menjadi Tegangan AC dan inverter disini menggunakan *inverter* tiga fase. Keluaran tegangan dari *inverter* ini yang digunakan untuk menyuplai tegangan masukan pada motor induksi tiga fase.

3.5.3 Software Matlab

Matlab merupakan singkatan dari *matrix laboratory* dengan menggunakan bahasa tingkat tinggi untuk mengintegrasikan komputasi, visualisasi dan pemrograman dalam suatu sistem dimana permasalahan dan solusinya diekspresikan dalam bentuk notasi matematika.

Penggunaannya meliputi :

- Komputasi matematika
- Pengembangan algoritma
- Pemodelan, simulasi dan pembuatan *prototype*
- Analisis, eksplorasi dan visualisasi data
- Grafik

Fasilitas matlab

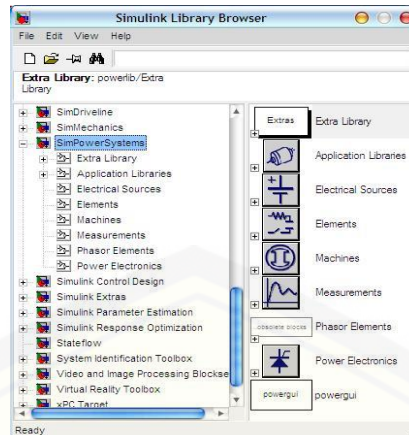
Sebagai suatu sistem yang lengkap, matlab menawarkan bermacam fasilitas. Sebagai software aplikasi yang berbasis pada operasi matriks, maka matlab memberikan suatu kemudahan dalam penyelesaian suatu masalah. Fasilitas *toolbox* yang memadai. Toolbox adalah kumpulan file matlab (M-file, berektensi *.m) , dimana *file – file* tersebut merupakan fungsi yang dibuat. *Toolbox* mencakup *signal processing, control system, neural networks, fuzzy logic, simulation* dan lainnya.

Simulink

Simulink adalah paket *software* yang disediakan oleh **MATLAB** untuk pemodelan, simulasi dan analisa sistem. Simulink mendukung untuk sistem linear dan non linear, model waktu *sample* atau *continuous*.

SimPowerSystem

SimPowerSystem merupakan *tool* yang memberikan kemudahan untuk membangun model simulasi sistem daya. *Library* yang disediakan antara lain tranformator, sistem transmisi, mesin – mesin, dan elektronika daya.



Gambar 3.3 Library simulink MATLAB

3.5.4 Parameter – parameter dalam Matlab

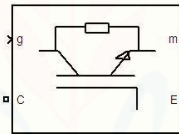
Berikut akan dijelaskan keterangan yang digunakan dalam menjalankan simulasi unjuk kerja motor induksi dengan sumber *inverter* ini.

diode



Gambar 3.4 Komponen daya dioda

Komponen Daya



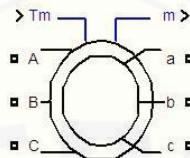
Gambar 3.5 Komponen daya IGBT

Blok IGBT merupakan bahan semikonduktor yang dapat dikontrol oleh *signal gate*. IGBT disimulasikan sebagai kombinasi rangkaian seri dari resistor R_{on} , inductor L_{on} , dan tegangan sumber DC V_f dirangkai seri dengan saklar yang dikontrol oleh sinyal logika ($g > 0$ atau $g = 0$). IGBT aktif saat tegangan kolektor-emitor positif dan lebih besar V_f dan signal berharga positif pada *gate* ($g > 0$). Sebaliknya, IGBT tidak aktif saat tegangan kolektor-emitor positif dan $g = 0$. IGBT *state off* saat tegangan kolektor-emitor bernilai negatif.

Mesin asinkron

Blok mesin asinkron juga dikenal sebagai mesin induksi yang beroperasi mode generator dan motor. Mode operasi ditunjukkan oleh tanda dari torsi mekanik (positif untuk motor, negatif untuk generator). Blok mesin ini mengikuti

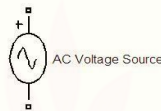
aturan-aturan dan persamaan seperti pada bab II. Blok ini dibuat sedemikian rupa sehingga dengan mengisi parameter – parameter yang ada di dalamnya seperti daya, tegangan, frekuensi, hambatan stator dan rotor, dll. Kemudian memberikan input tegangan dan torsi bebannya, maka akan diperoleh secara grafis nilai – nilai yang diinginkan seperti arus stator, arus rotor, kecepatan, torsi dsb.



Gambar 3.6 *Asynchronous machine SI unit*

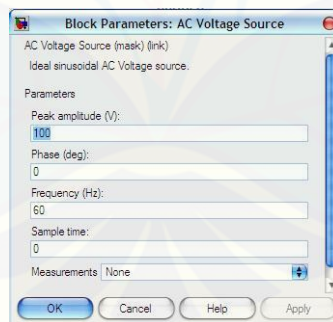
Sumber tegangan

Pada simulasi ini menggunakan sumber tegangan AC yang memiliki parameter sebagai berikut :



Gambar 3.7 *AC voltage source*

Dari blok ini kemudian diisikan data – data parameter yang diperlukan yaitu : tegangan puncak, fasa, dan frekuensi sumber yang diinginkan.



Gambar 3.8 Blok *AC voltage source*

Ground



Gambar 3.9 *Ground*

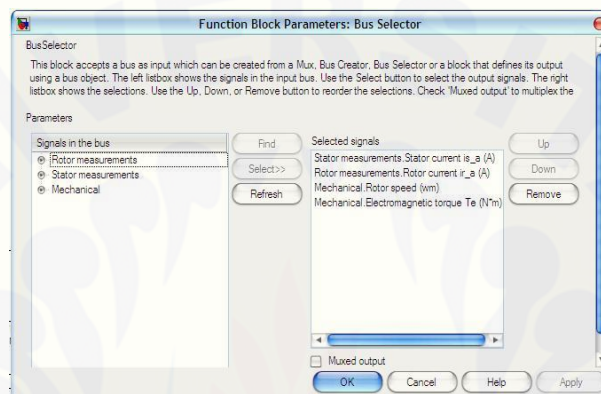
Parameter ini digunakan bersamaan dengan sumber tegangan, berfungsi sebagai pengaman

Bus Selektor



Gambar 3.10 Bus Selektor

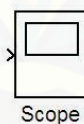
Parameter ini terhubung dengan mesin berfungsi untuk menangkap sinyal/gelombang yang dihasilkan oleh motor asinkron diantaranya adalah arus rotor, arus stator, torsi, kecepatan, dsb.



Gambar 3.11 Blok Bus Selektor

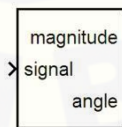
Scope

Berfungsi untuk menampilkan gelombang yang terdapat pada *voltage/current measurement* maupun bus selektor



Gambar 3.12 Scope

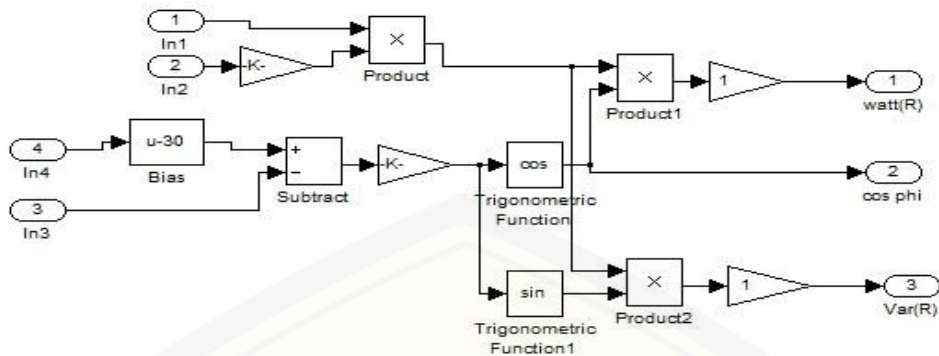
Fourier



Gambar 3.13 Fourier

Blok fourier digunakan untuk analisa fourier suatu sinyal masukan satu siklus pada frekuensi dasar. Hasil keluaran sinyal berupa *magnitude* dan sudut yang dibentuk oleh sinyal.

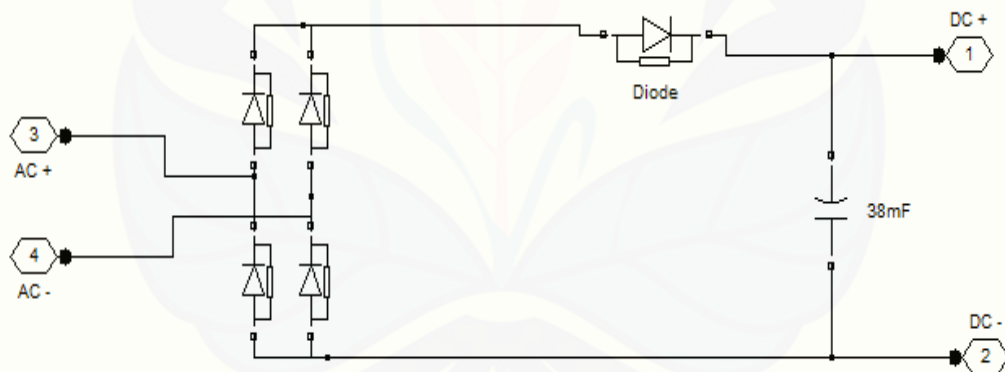
3.5.5 Rangkaian pengukuran daya dan faktor daya.



Gambar 3.14 Parameter pengukuran daya

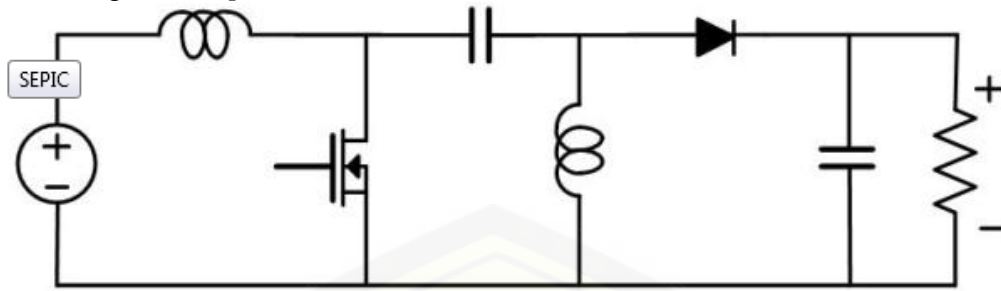
Dalam blok system ini besarnya Daya aktif dan reaktif yang dihasilkan oleh motor induksi diukur dengan perkalian tegangan dan arus pada stator. Melalui blok fourier, akan didapatkan besar dan sudut dari sinyal yaitu arus dan tegangan. Selanjutnya dengan menggunakan rumus, nilai yang terukur dapat diketahui dengan mengalikan konstanta 1.

3.5.6 Rangkaian *Rectifier*

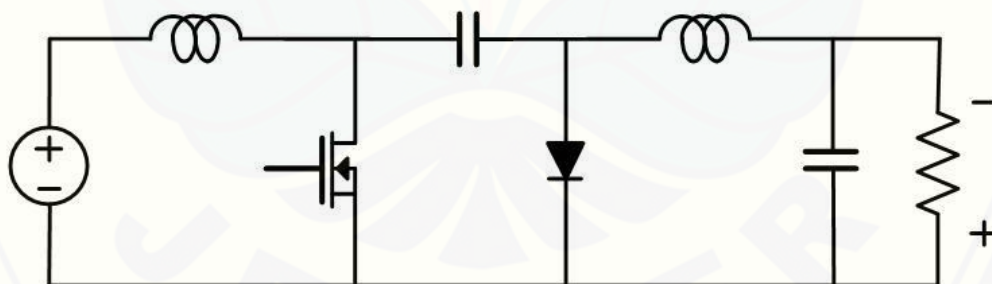


Gambar 3.15 Rangkaian *Rectifier*.

Rangkaian rectifier ini berfungsi untuk mengkonversikan tegangan AC menjadi tegangan DC. Rectifier yang digunakan pada penelitian ini adalah penyearah gelombang penuh yang dirangkai dengan rangkaian filter kapasitor yang berfungsi untuk mengurangi faktor *ripple* yang terjadi pada suatu rangkaian penyearah.

3.5.7 Rangkaian *Sepic Converter*Gambar 3.16 Rangkaian *Sepic Converter*

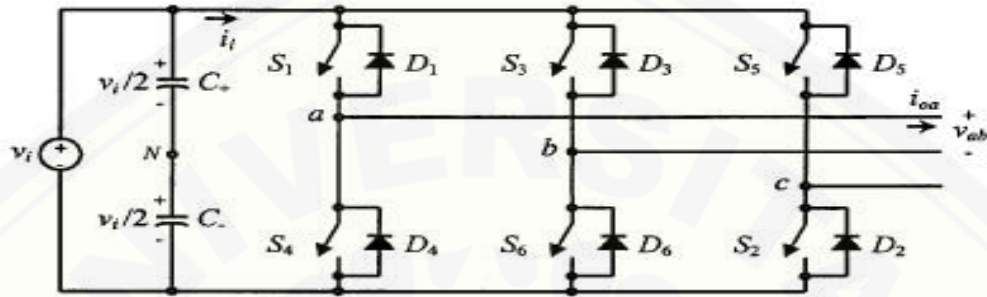
Rangkaian ini berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan DC. Prinsip kerjanya yaitu apabila saklar dalam kondisi *on*, maka saklar akan berlaku sebagai hubung singkat. Disisi lain, diode akan *off* dan positif sumber terputus dengan positif beban, sehingga arus mengalir melalui negatif beban. Jika *ducty cycle* diperbesar, maka arus yang melalui negatif beban lebih besar. Polaritas beban akan negatif. Sedangkan apabila saklar dalam kondisi *off*, maka saklar akan berlaku sebagai hubung buka. Disisi lain, diode akan *on* dan positif sumber terputus dengan positif beban, sehingga arus mengalir melalui positif beban. Jika *ducty cycle* diperbesar, maka arus yang melalui positif beban lebih besar. Polaritas beban akan positif.

3.5.8 Rangkaian *Cuk Converter*Gambar 3.17 Rangkaian *Cuk Converter*

Rangkaian ini berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan DC. Prinsip kerjanya yaitu apabila saklar dalam kondisi *on*, maka saklar akan berlaku sebagai hubung singkat. Disisi lain, diode akan *off* dan positif sumber terputus dengan positif beban, sehingga arus mengalir melalui positif beban. Jika *ducty cycle* diperbesar, maka arus yang melalui positif beban lebih besar. Polaritas

beban akan positif. Sedangkan apabila saklar dalam kondisi *off*, maka saklar akan berlaku sebagai hubung buka. Disisi lain, diode akan *on* dan positif sumber terputus dengan positif beban, sehingga arus mengalir melalui negatif beban. Jika *ducty cycle* diperbesar, maka arus yang melalui negatif beban lebih besar. Polaritas beban akan negatif.

3.5.9 Rangkaian *Inverter*



Gambar 3.18 Rangkaian *inverter* tiga fase

Gambar 3.6 merupakan rangkaian dasar inverter jembatan tiga fasa yang berfungsi mengkonversikan tegangan DC menjadi AC. Dalam rangkaian ini diperlukan dua buah kapasitor untuk menghasilkan titik N agar tegangan pada setiap kapasitor $V_i/2$ dapat dijaga konstan. Terdapat tiga sisi saklar, yaitu: saklar S1+ dan S1- serta S2+ dan S2-. Kedua sisi saklar ini, saklar S1 dan S4, S3 dan S4, serta S5 dan S2. Masing-masing saklar, S1 dan S4, atau S3 dan S4, atau S5 dan S2, tidak boleh bekerja secara serempak/ simultan, karena akan terjadi hubung singkat rangkaian. Kondisi *ON* dan *OFF* dari kedua sisi saklar ditentukan dengan teknik modulasi, dalam hal ini menggunakan prinsip PWM.

3.5.10 Pengukuran kecepatan motor induksi

Dalam blok tersebut, masukan yang berasal dari motor induksi masih bernilai rad/s, untuk itu harus diubah dulu ke bentuk rpm. Dalam hal ini rad/s dikalikan dengan *gain* yang nilainya adalah $30/\pi$. Untuk lebih jelasnya akan diuraikan dalam rumus tersebut.

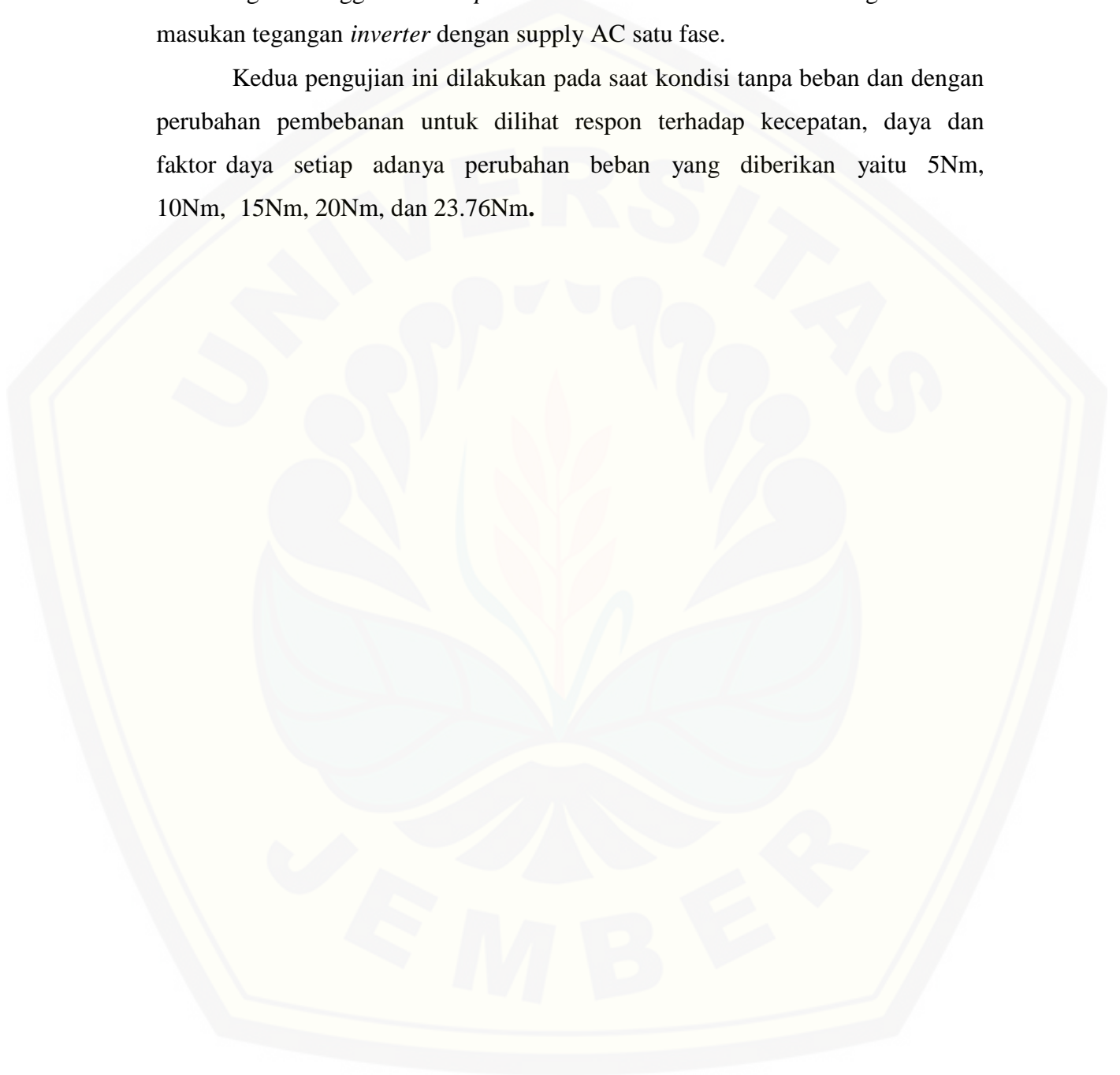
$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{n}{60}$$

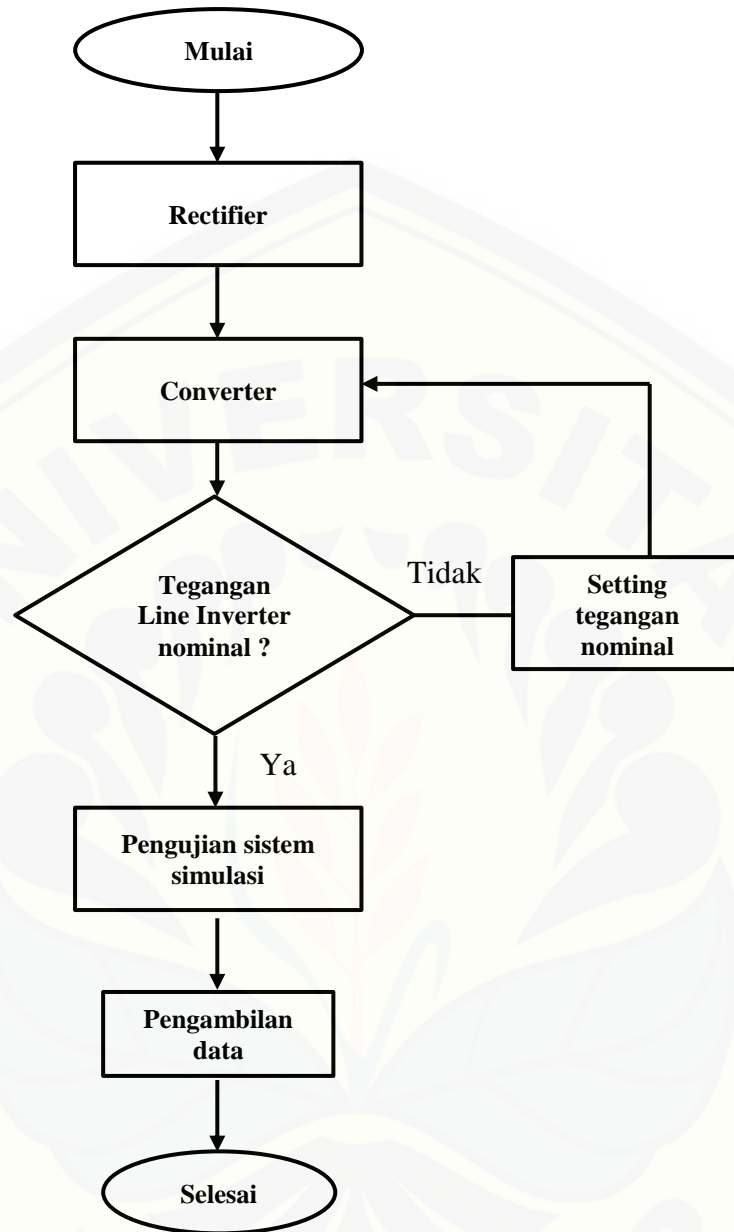
$$n = \frac{30\omega}{\pi} \dots\dots\dots (3.3)$$

3.6 Pengujian Sistem Simulasi

Setelah semua blok simulasi sistem tersebut dirancang, langkah selanjutnya adalah penggabungan blok sistem tersebut menjadi satu kesatuan serta melakukan pengujian sistem simulasi. Yaitu pengujian motor induksi tiga fase dengan menggunakan *Sepic dan Boost Buck converter* sebagai sumber masukan tegangan *inverter* dengan supply AC satu fase.

Kedua pengujian ini dilakukan pada saat kondisi tanpa beban dan dengan perubahan pembebanan untuk dilihat respon terhadap kecepatan, daya dan faktor daya setiap adanya perubahan beban yang diberikan yaitu 5Nm, 10Nm, 15Nm, 20Nm, dan 23.76Nm.



3.7 Diagram Alir (*Flowchart*)Gambar 3.19 Diagram alir (*Flowchart*)

3.3 Tabel pengambilan data yang diinginkan untuk pengujian unjuk kerja motor induksi tiga fase pada sumber 1 fase.

Torsi (Nm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Faktor daya	Kecepatan (rpm)	Daya aktif (watt)	Daya reaktif (VAr)
0						
5						
10						
15						
20						
23,76						

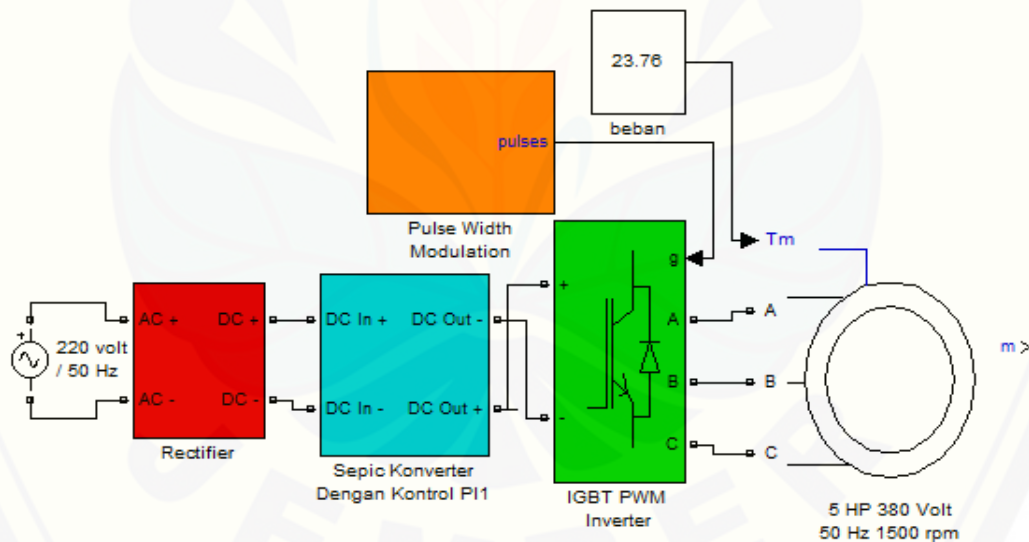
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan menampilkan hasil dari simulasi yang telah dibuat beserta analisa pembahasannya. Berikut spesifikasi motor induksi tiga fase yang digunakan,

Tabel 4.1 Spesifikasi motor induksi tiga fase

5HP 380 V line to line 50 Hz	
$R_1 = 1,115\Omega$	$L_1 = 0,005974$ Henry
$R_2 = 1,083 \Omega$	$L_2 = 0,005974$ Henry
$N_s = 1500$ Rpm	$L_m = 0,2037$ Henry

4.1 Pengujian Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan Sepic Converter dan Inverter Tiga Fase PWM.



Gambar 4.1 Pengujian Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan Sepic Converter dan Inverter Tiga Fase PWM.

Pada gambar 4.1 diatas, dalam pengujian ini terdiri 3 bagian rangkaian yaitu sumber / suplai satu fase yang terhubung dengan rangkaian *rectifier* yang

berfungsi mengkonversikan tegangan AC menjadi tegangan DC, *Sepic Converter* yang berfungsi sebagai menaikkan atau menurunkan tegangan DC yang di kontrol menggunakan *control PI* agar tegangan keluarannya bernilai konstan, dan *inverter* tiga fase mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC sebagai sumber motor induksi.

Sumber tegangan satu fase yang digunakan adalah 220 Volt (rms). Adapun untuk parameter yang ada pada blok sumber tegangan AC ini telah disesuaikan dengan karakteristik motor induksi 3 fase diantaranya frekuensi dan tegangan puncak (V_{peak}). Sesuai dengan spesifikasi motor induksi dengan nilai tegangan sebesar 380 Volt rms *line to line*, maka V_{peak} diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V_{LL} = V_{LN} \times \sqrt{3} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$380 = V_{LN} \times \sqrt{3}$$

$$V_{LN} = \frac{380}{\sqrt{3}}$$

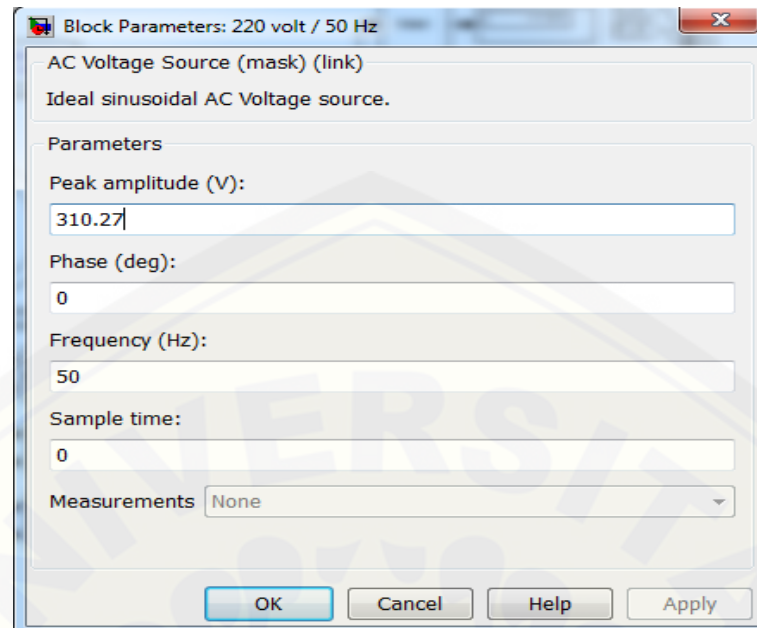
$$V_{LN} = 219.39 \text{ Volt}$$

$$V_{LN} = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$219.39 = \frac{V_{peak}}{\sqrt{2}}$$

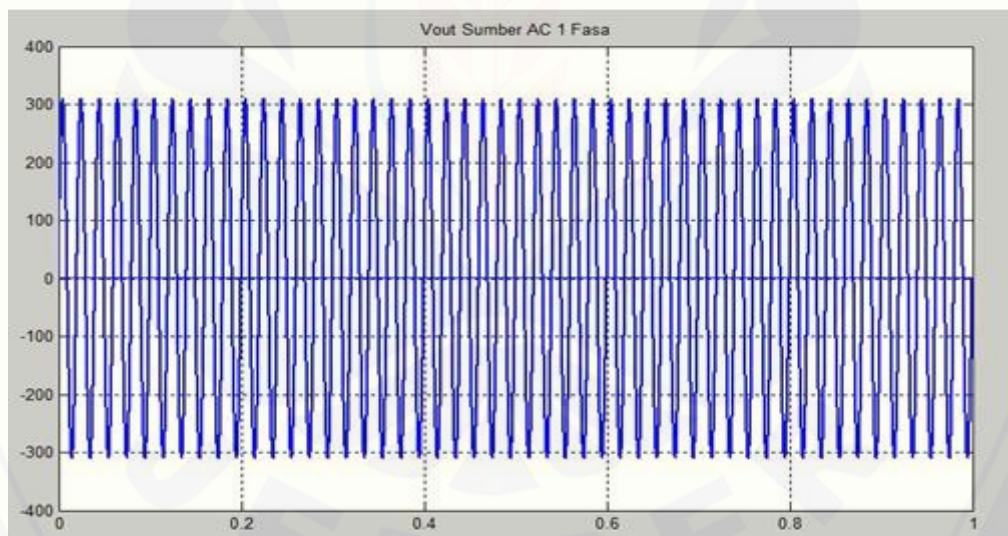
$$V_{peak} = 219.39 \times \sqrt{2}$$

$$V_{peak} = 310.27 \text{ Volt}$$



Gambar 4.2 Blok sumber tegangan AC

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sumber AC satu fase adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Tegangan keluaran sumber AC 1 fase

Pada pengujian ini, beban nominal motor induksi tiga fase diperoleh dengan rumus:

$$T = \frac{P}{\omega} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana $\omega = 2.\pi.f$ karena frekuensi merupakan banyaknya putaran yang terjadi dalam satu menit (rpm), $\omega = 2.\pi.\frac{n}{60}$, maka :

$$T = \frac{P.60}{2.\pi.n}$$

$$T = \frac{P.30}{\pi.n} \dots\dots\dots (4.4)$$

Sehingga untuk motor sebesar 5 Hp (beban nominal motor induksi 3 fase) yang digunakan dalam penelitian ini, maka dapat dihitung nilai torsi beban motor dengan kecepatan nominal motor sebesar 1500 rpm.

$$1 \text{ Hp} = 746 \text{ watt}$$

Jadi,

$$5 \text{ Hp} = 5 \times 746 \text{ watt}$$

$$= 3730 \text{ watt}$$

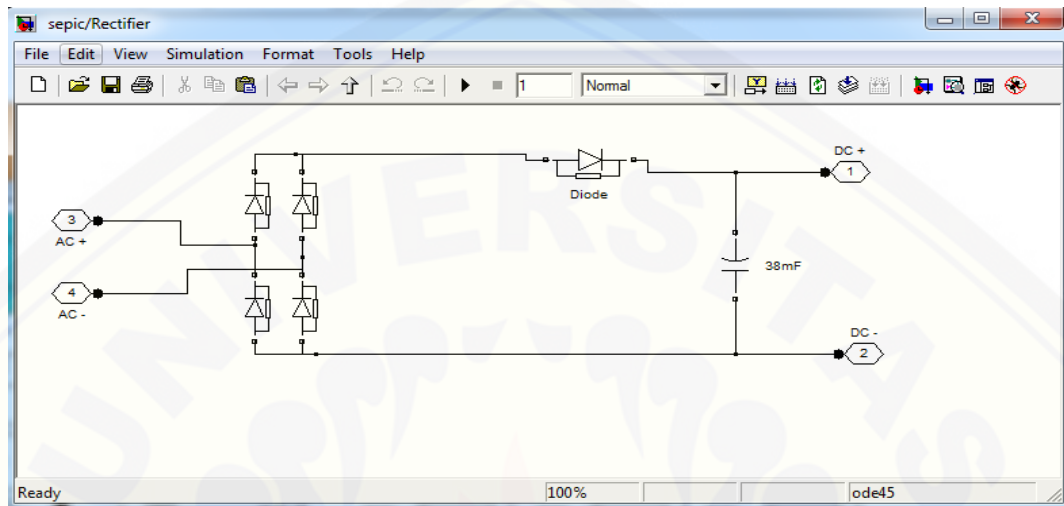
Sehingga nilai Torsi (T) didapatkan:

$$T = \frac{3730 \times 30}{3.14 \times 1500}$$

$$= 23.76 \text{ Nm}$$

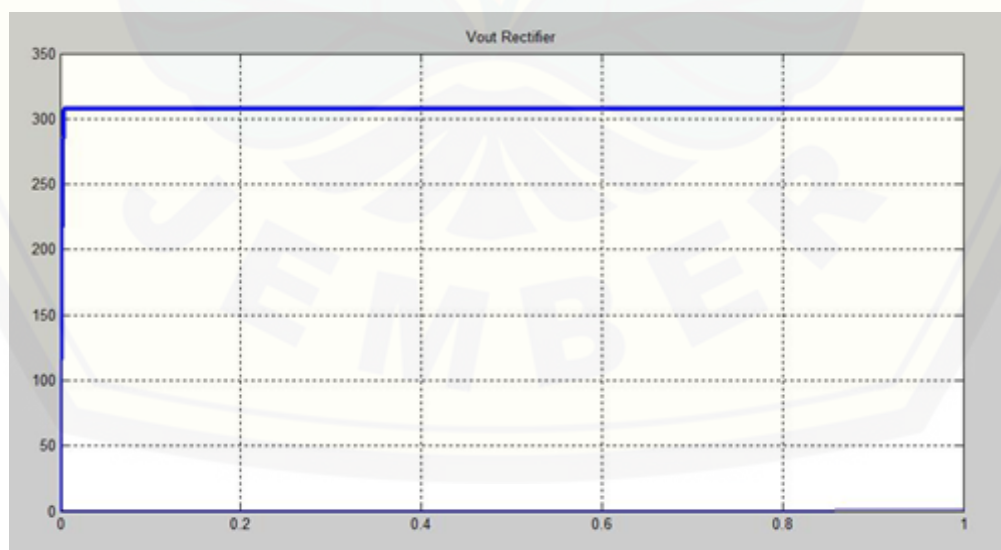
Jadi dalam melakukan pengujian unjuk kerja motor induksi 3 fase dengan sumber satu fase menggunakan *sepic converter* dan *inverter* tiga fase PWM beban nominalnya sebesar 23.76 Nm.

Rectifier yang digunakan pada penelitian ini adalah penyearah gelombang penuh yang dirangkai dengan rangkaian filter kapasitor yang berfungsi untuk mengurangi faktor *ripple* yang terjadi pada suatu rangkaian penyearah. Adapun gambar rangkaiannya adalah sebagai berikut.



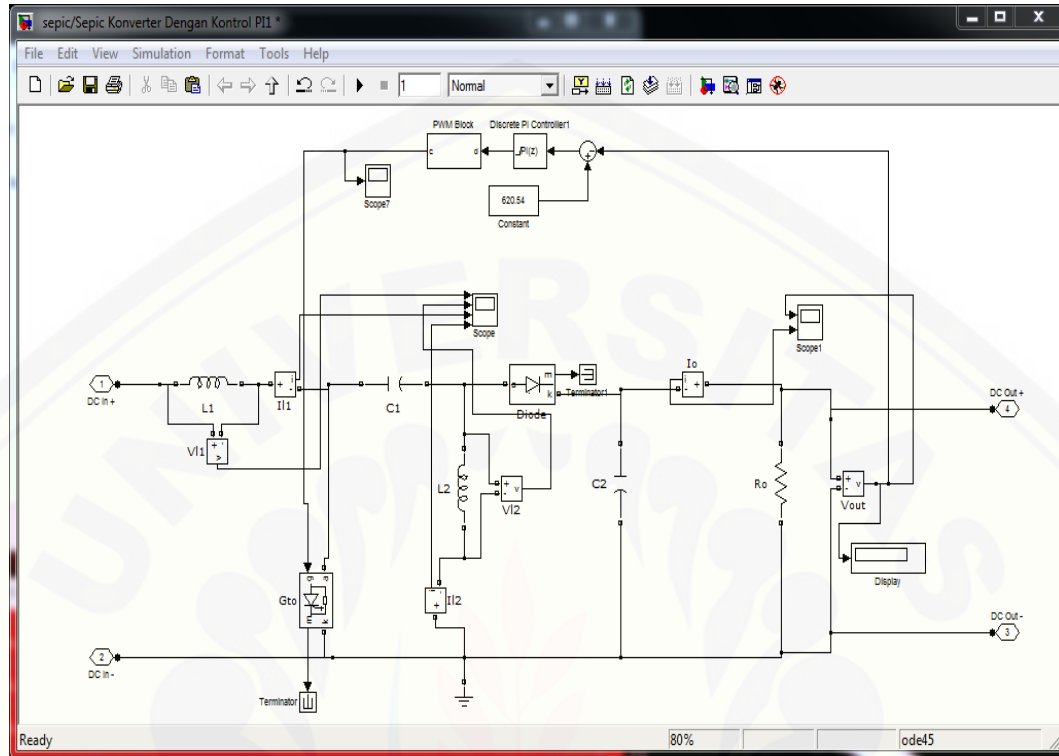
Gambar 4.4 Rangkaian *Rectifier* dengan *filter* kapasitor

Setelah dilakukan penyesuaian saat simulasi diperoleh nilai $C = 3,8 \text{ mF}$. Nilai ini digunakan berdasarkan respon terhadap motor induksi yang didapatkan dengan percobaan simulasi. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *rectifier* adalah sebagai berikut :



Gambar 4.5 Gambar tegangan keluaran *rectifier* gelombang penuh.

Untuk rangkaian dalam blok *Sepic converter dengan control PI* adalah sebagai berikut :



Gambar 4.6 Rangkaian *Sepic Converter* menggunakan *PI controller*

Dalam mendesain *Sepic Converter* pada awal perencanaan nilai parameter yang ditetapkan adalah sebagai berikut :

Daya	: 5 HP
Tegangan Input	: 307 Volt
Tegangan output	: 50 Volt – 650 Volt
Switching frekuensi	: 40 Khz
Arus Output	: 3.25 Ampere
ΔV_0	: 0.005 %
ΔV_{CI}	: 0.01 %

Mencari nilai Duty Ratio

- Nilai duty ratio minimum

Tagangan output : 50 Volt

Tegangan input : 307 Volt

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D}$$

$$\frac{50}{307} = \frac{D}{1-D}$$

$$D = 0.14$$

- Nilai duty ratio maksimum

Tagangan output : 650 Volt

Tegangan input : 307 Volt

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D}$$

$$\frac{650}{307} = \frac{D}{1-D}$$

$$D = 0.68$$

Jadi range untuk ratio :

$$D = 0.14 - 0.68$$

Mencari nilai L_1 dan L_2

Untuk mencari nilai induktor terlebih dahulu mencari nilai arus yang melewati induktor.

Data yang diketahui

Duty ratio : 0.14 – 0.68

Tegangan output : 50 Volt – 650 Volt

Resistor (R) : 200 Ω

- Disaat $D = 0.14$ dan $V_0 = 50$ Volt

Maka,

$$I_0 = \frac{V_0}{R}$$

$$= \frac{50}{200}$$

$$= 0.25 \text{ A}$$

$$\Delta I_{L2} = I_0$$

$$= 0.25 \text{ A}$$

Kemudian mencari arus yang melewati induktor pertama

$$\frac{\Delta I_{L2}}{\Delta I_{L1}} = \frac{1-D}{D}$$

$$\frac{0.25}{\Delta I_{L1}} = \frac{1-0.14}{0.14}$$

$$\Delta I_{L1} = 0.041 \text{ A}$$

➤ Disaat $D = 0.68$ dan $V_0 = 650$ Volt

Maka,

$$I_0 = \frac{V_0}{R}$$

$$= \frac{650}{200}$$

$$= 3.25 \text{ A}$$

$$\Delta I_{L2} = I_0$$

$$= 3.25 \text{ A}$$

Kemudian mencari arus yang melewati induktor pertama

$$\frac{\Delta I_{L2}}{\Delta I_{L1}} = \frac{1-D}{D}$$

$$\frac{3.25}{\Delta I_{L1}} = \frac{1-0.68}{0.68}$$

$$\Delta I_{L1} = 6.91 \text{ A}$$

Mencari nilai L_1

➤ Pada saat $D = 0.14$

$$L_1 = \frac{V_s \times D}{F \times \Delta I_{L1}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{307 \times 0.14}{40.10^3 \times 0.041} \\
 &= 26.21 \times 10^{-3} \text{ H}
 \end{aligned}$$

- Pada saat $D = 0.68$

$$\begin{aligned}
 L_1 &= \frac{V_S \times D}{F \times \Delta I_{L1}} \\
 &= \frac{307 \times 0.68}{40.10^3 \times 6.91} \\
 &= 75.53 \times 10^{-5} \text{ H} \\
 &= 0.7553 \times 10^{-3} \text{ H}
 \end{aligned}$$

Mencari nilai L_2

- Pada saat $D = 0.14$

$$\begin{aligned}
 L_2 &= \frac{V_S \times D}{F \times \Delta I_{L2}} \\
 &= \frac{307 \times 0.14}{40.10^3 \times 0.25} \\
 &= 4.298 \times 10^{-3} \text{ H}
 \end{aligned}$$

- Pada saat $D = 0.68$

$$\begin{aligned}
 L_2 &= \frac{V_S \times D}{F \times \Delta I_{L2}} \\
 &= \frac{307 \times 0.68}{40.10^3 \times 3.25} \\
 &= 1.606 \times 10^{-3} \text{ H}
 \end{aligned}$$

Mencari nilai kapasitor

Terdapat dua kapaasitor yang digunakan pada rangkaian, untuk menghitung masing – masing yang digunakan dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Mencari nilai C_1

- Pada saat $D = 0.14$

$$C_1 = \frac{\Delta I_{L1}(1-D)}{F \times \Delta V_{CI}}$$

$$= \frac{0.041 (1-0.14)}{40 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-4}}$$

$$= 8.815 \times 10^{-3} \text{ F}$$

- Pada saat $D = 0.68$

$$C_1 = \frac{\Delta I_{L1}(1-D)}{F \times \Delta V_{CI}}$$

$$= \frac{0.041 (1-0.68)}{40 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-4}}$$

$$= 3.28 \times 10^{-3} \text{ F}$$

Mencari nilai C_2

- Pada saat $D = 0.14$

$$C_1 = \frac{\Delta I_{L1}(1-D)}{F \times \Delta V_0}$$

$$= \frac{0.041 (1-0.14)}{40 \times 10^3 \times 5 \times 10^{-5}}$$

$$= 17.63 \times 10^{-3} \text{ F}$$

- Pada saat $D = 0.68$

$$C_1 = \frac{\Delta I_{L1}(1-D)}{F \times \Delta V_0}$$

$$= \frac{0.041 (1-0.68)}{40 \times 10^3 \times 5 \times 10^{-5}}$$

$$= 6.56 \times 10^{-3} \text{ F}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai dari masing – masing komponen

yaitu sebagai berikut :

$$L_1 = 26.21 \times 10^{-3} \text{ H dan } 0.7553 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$L_2 = 4.298 \times 10^{-3} \text{ H dan } 1.606 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$C_1 = 8.815 \times 10^{-3} \text{ F dan } 3.28 \times 10^{-3} \text{ F}$$

$$C_2 = 17.63 \times 10^{-3} \text{ F dan } 6.56 \times 10^{-3} \text{ F}$$

Dari hasil percobaan nilai – nilai komponen yang digunakan pada rangkaian *Sepic Converter* ini adalah sebagai berikut :

$$L_1 = 0.7553 \times 10^{-3} \text{ H}$$

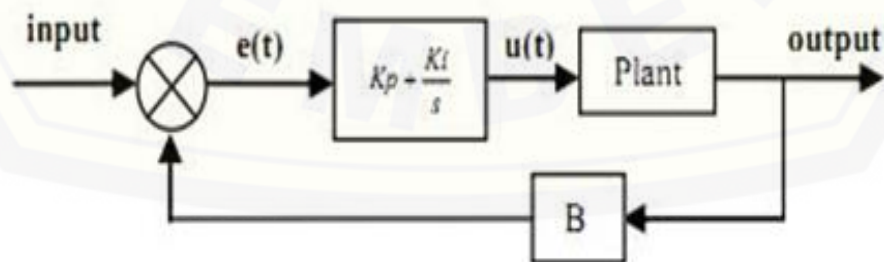
$$L_2 = 1.606 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$C_1 = 3.28 \times 10^{-3} \text{ F}$$

$$C_2 = 6.56 \times 10^{-3} \text{ F}$$

Dan $R = 200 \text{ Ohm}$

Pada pengujian ini digunakan *Kontroller PI* yang digunakan sebagai metode pengontrolan tegangan keluaran pada *Sepic Converter*, yang diharapkan tegangan keluarannya bernilai konstan. Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing – masing *Kontroller P* dan *I* dapat saling menutupi dengan menggabungkan keduanya secara parallel menjadi *kontroller proporsional plus integral*. Elemen – elemen *kontroller P* dan *I* masing – masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Keluaran *kontroller PI* merupakan jumlahan dari keluaran *kontroller proporsional* dan *integral*. Penyetelan konstanta K_p dan K_i akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing – masing elemen. Salah satu konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dari konstanta yang lain. Konstanta yang menonjol itulah yang memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan. Diagram blok pengendali *PI* dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4.7 Blok diagram pengendali *PI*.

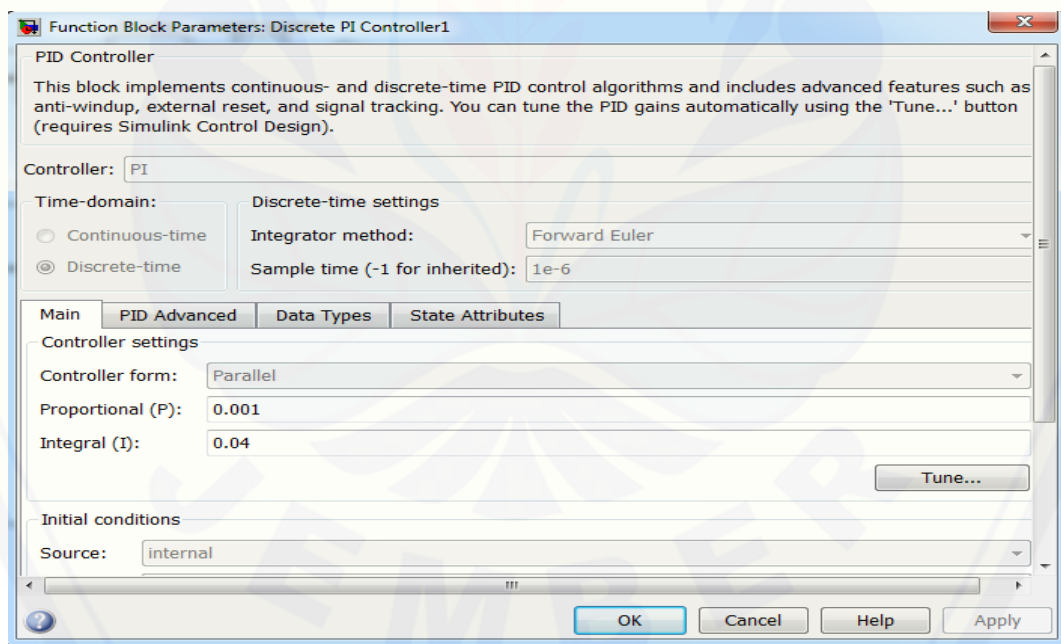
Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PI dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu(t) = K_p \left(e(t) + \int_0^1 e(t) dt \right) \dots\dots\dots (4.3)$$

Jadi fungsi alih pengendali PI (dalam dominan S) dapat dinyatakan sebagai berikut :

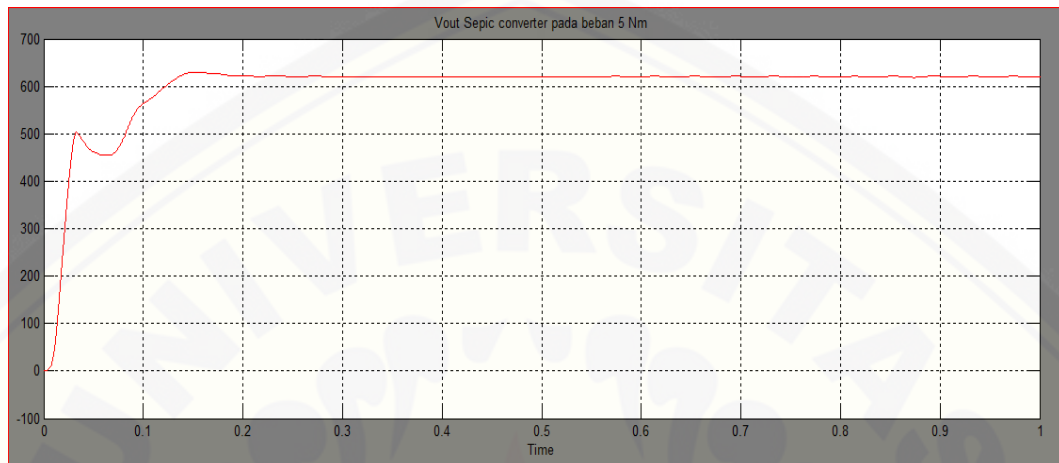
$$\frac{e(t)}{\mu(t)} = K_p + \frac{K_i}{S} \dots\dots\dots (4.4)$$

Pada kontroller PI ini untuk nilai *setting point* yang digunakan untuk mengatur tegangan keluaran yang diharapkan adalah sebesar 620,54 volt, sedangkan untuk mengatur nilai konstanta P dan I digunakan metode *trial error*, dari hasil pengujian didapatkan nilai konstanta P sebesar 0,001 dan konstanta I sebesar 0,04. Pada *toolbox simulink matlab* telah disediakan blok parameter PI *controller* seperti gambar berikut.

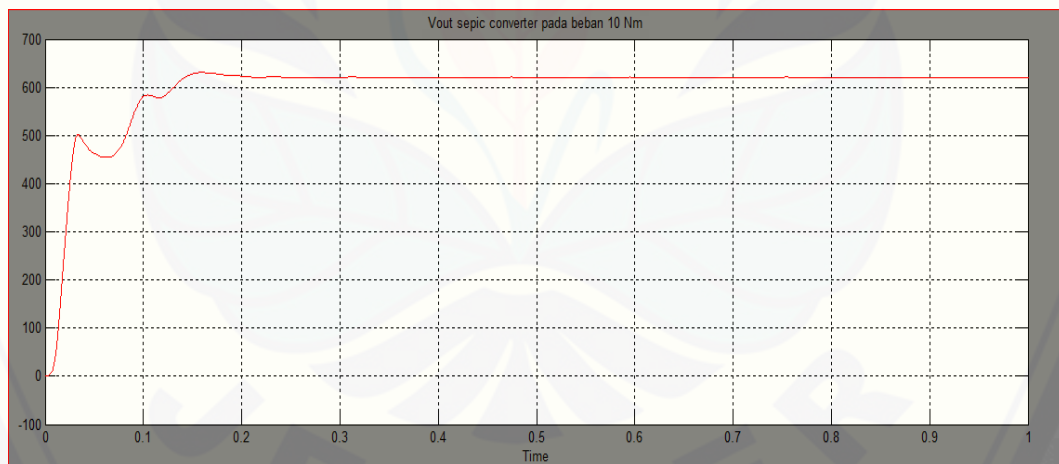


Gambar 4.8 Blok parameter *PI controller*

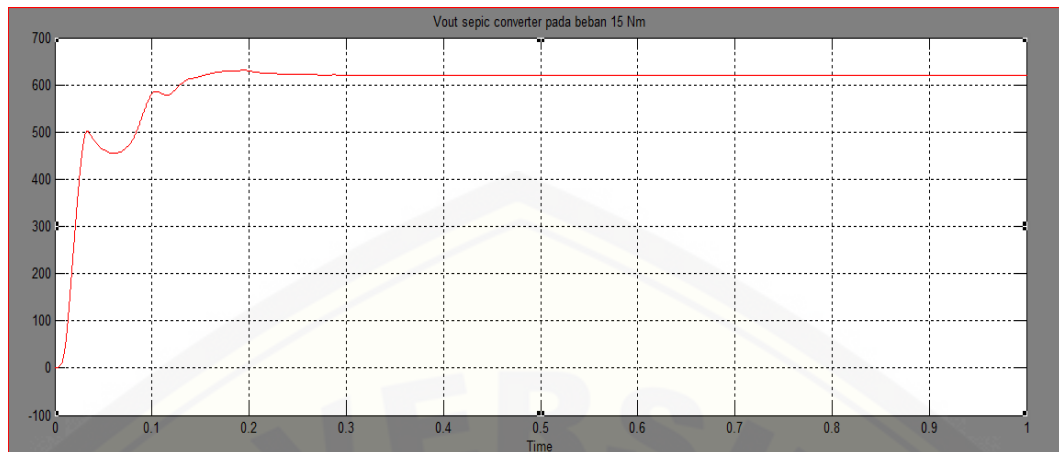
Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *Sepic converter* menggunakan *control PI* sebesar 620,5 Volt, nilai tersebut sesuai dengan tegangan masukan yang dibutuhkan oleh inverter, gambar tegangan keluarannya adalah sebagai berikut :



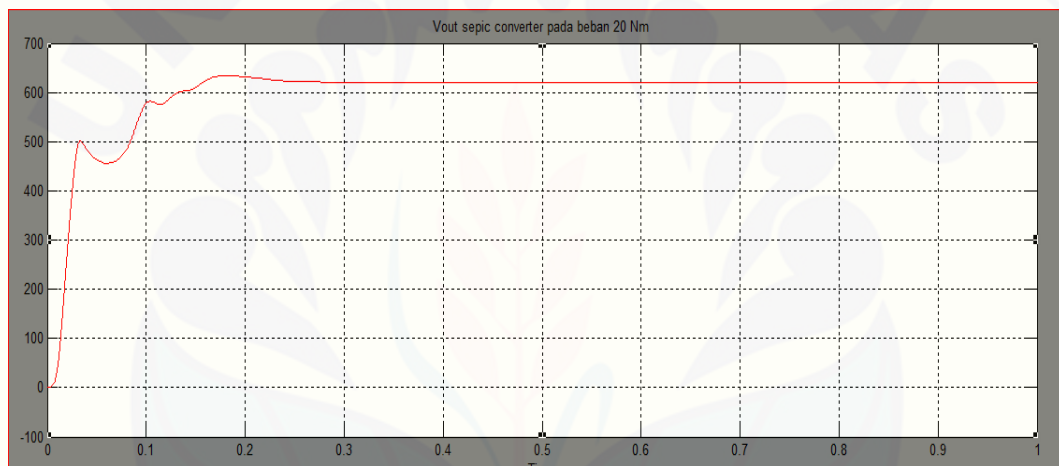
Gambar 4.9 Tegangan keluaran *Sepic Converter* menggunakan *Control PI* pada beban torsi 5 Nm



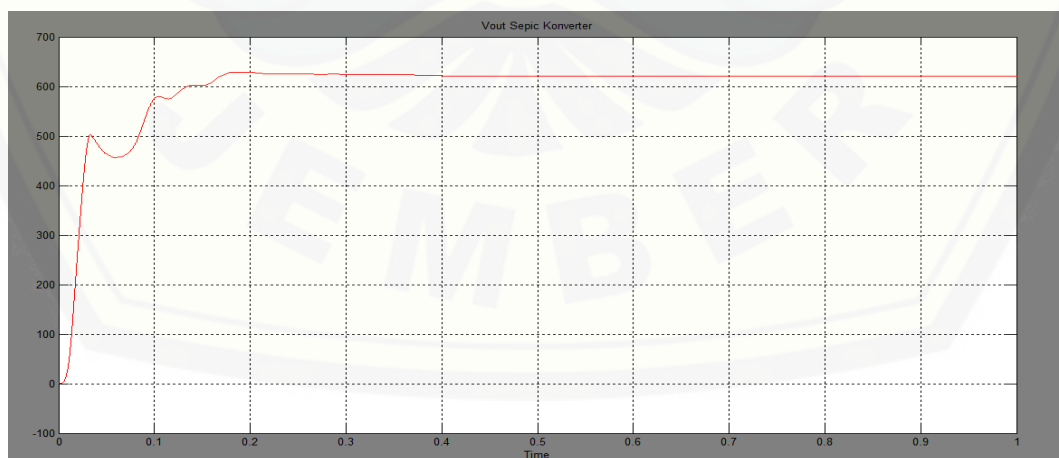
Gambar 4.10 Tegangan keluaran *Sepic Converter* menggunakan *Control PI* pada beban torsi 10 Nm



Gambar 4.11 Tegangan keluaran *Sepic Converter* menggunakan *Control PI* pada beban torsi 15 Nm



Gambar 4.12 Tegangan keluaran *Sepic Converter* menggunakan *Control PI* pada beban torsi 20 Nm



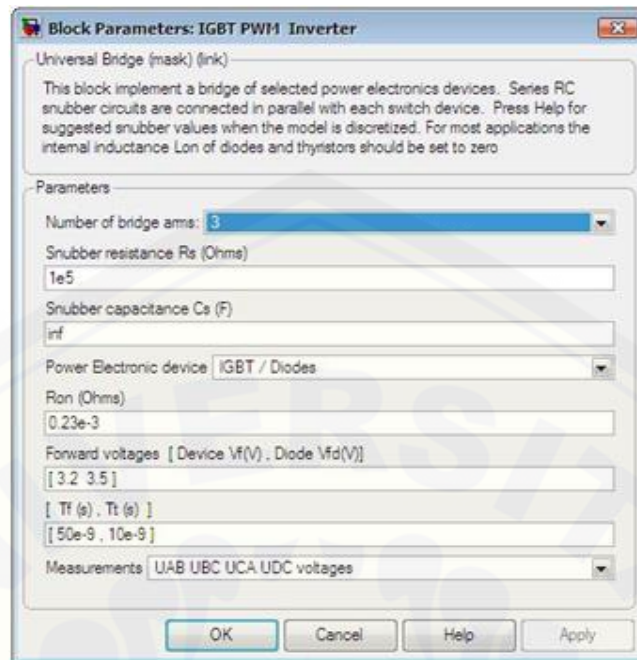
Gambar 4.13 Tegangan keluaran *Sepic Converter* menggunakan *Control PI* pada beban torsi 23.76 Nm

Gambar 4.13 tegangan keluaran sepic *converter* yang telah terlihat menyerupai tegangan pada sumber DC namun masih memiliki *ripple*. Tegangan ini akan menjadi sumber pada rangkaian *inverter* tiga fase. Adanya nilai *ripple* pada proses ini menyebabkan *amplitude* gelombang tegangan pada keluaran *inverter* akan menyesuaikan yaitu gelombang persegi dengan tinggi yang bervariasi pada setiap proses *switching*. Tegangan keluaran dari *converter* tersebut mulai konstan disaat $t > 0.3$ s.

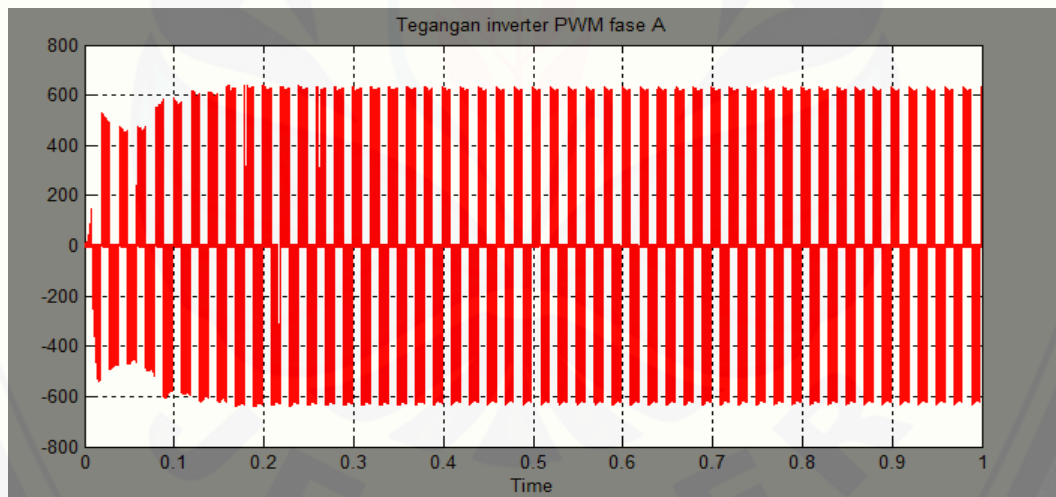
Untuk mendapatkan kesesuaian tegangan nominal dari motor yaitu tegangan *peak* motor sebesar $380 \text{ V} \times \sqrt{2} = 537,4 \text{ Volt}$, maka tegangan masukan *inverter* 3 fase diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut:

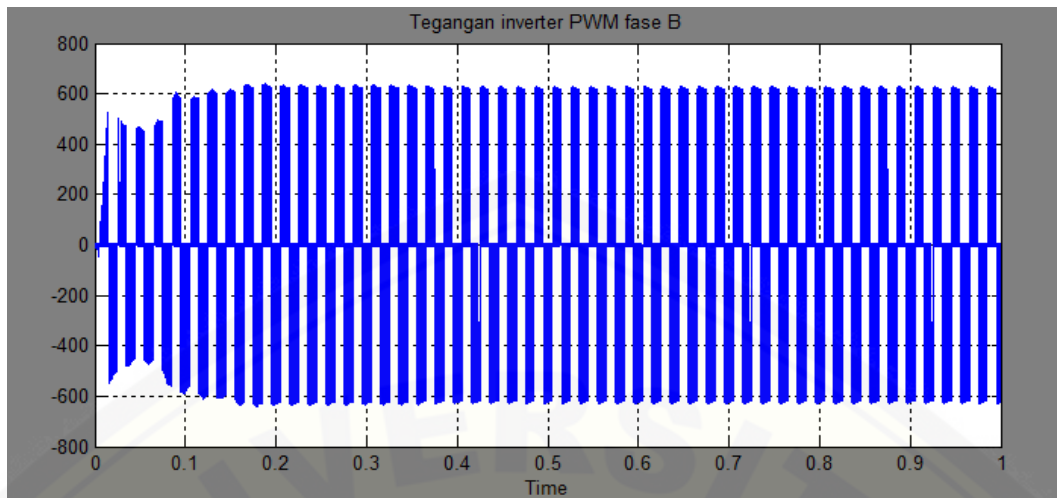
$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{2 \times V_{LL}}{\sqrt{3} \times m} \\ &= \frac{2 \times 537.4}{\sqrt{3} \times 1} \\ &= 620.54 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Dalam blok IGBT PWM *inverter* pada gambar 4.10 merupakan modul *inverter* dengan parameter yang dapat diubah sesuai kebutuhan. Dalam penelitian ini digunakan 3 pasang IGBT yang membentuk beda fase sebesar 120° melalui modulasi gelombang sinus dan segitiga. Untuk parameter yang ada dalam blok ini beberapa parameter telah disesuaikan dengan karakteristik *Inverter* 50 A/1200 V dalam data sheet yang digunakan. Yaitu nilai hambatan R_{on} sebesar $0,23 \text{ m}\Omega$, *forward voltage* untuk IGBT dan diode sebesar 3,2 volt dan 3,5 volt.

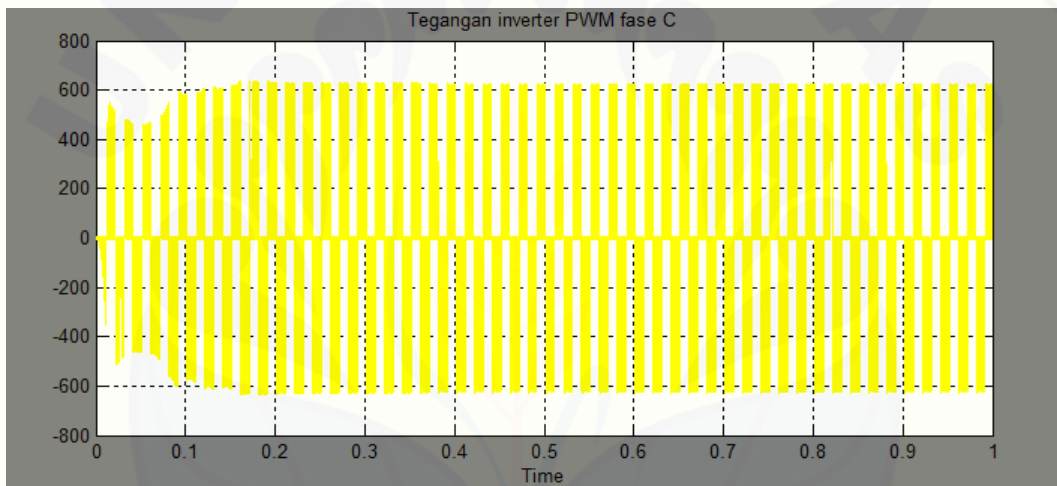
Gambar 4.14 Blok IGBT *Inverter*

Gambar gelombang tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *inverter* tiga fase *Pulse Width Modulation (PWM)* adalah sebagai berikut :

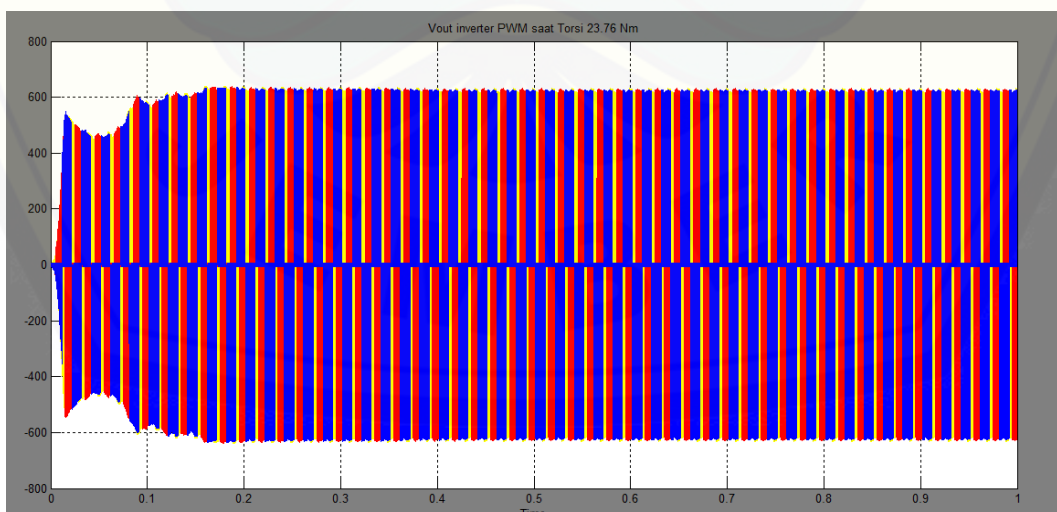
Gambar 4.15 Gelombang tegangan keluaran V_{ab} pada *inverter*.



Gambar 4.16 Gelombang tegangan keluaran V_{bc} pada *inverter*.



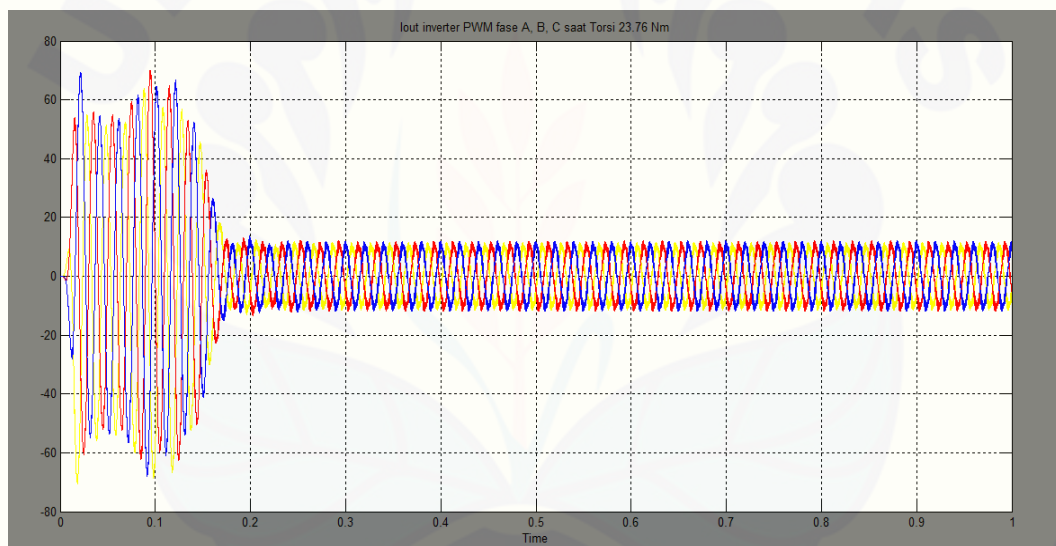
Gambar 4.17 Gelombang tegangan keluaran V_{ca} pada *inverter*.



Gambar 4.18 Gelombang tegangan keluaran *inverter* PWM tiga fase

Gambar 4.18 merupakan bentuk gelombang tegangan *inverter* yang diperoleh melalui teknik modulasi lebar pulsa. Gelombang Tegangan keluaran *inverter* berupa sinyal persegi / kotak bolak – balik bukan berupa gelombang sinus. Hal ini dikarenakan pada proses PWM dihasilkan pulsa yang berbentuk persegi yaitu dengan membandingkan *amplitude* sinyal sinus terhadap sinyal segitiga. Pulsa akan bernilai tinggi (*on*) apabila *amplitude* sinyal sinus lebih besar dari sinyal segitiga, dan sebaliknya pulsa bernilai rendah (*off*) apabila *amplitude* sinyal sinus lebih kecil dari sinyal segitiga.

Dan untuk gambar gelombang arus keluaran yang dihasilkan oleh inverter tiga fase *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah sebagai berikut :



Gambar 4.19 Arus keluaran pada *inverter* PWM

Pada Gambar 4.19 terlihat gelombang arus yang dihasilkan oleh *inverter* yang berbentuk sinus dengan *ripple* yang diakibatkan oleh proses *switching*.

PWM tiga fase terdiri dari 3 buah sinyal sinus dengan beda fase 120° sebagai gelombang modulasi dan sebuah sinyal segitiga sebagai gelombang pembawa / *carrier*. Dengan tegangan keluarannya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_{ab} = V_i \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$= 620.5 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$= 537.4 \text{ Volt}$$

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *inverter* sesuai dengan nilai nominal masukan motor yaitu sebesar 537,4 Volt nilai tersebut sesuai dengan tegangan masukan yang dibutuhkan oleh motor induksi 3 fase.

Setelah melakukan pengujian dan mendapatkan data-data *inverter* 3 fase selanjutnya dilakukan perhitungan besar THD (*Total Harmonic Distortion*) yang timbul. Sementara itu THD (*Total Harmonic Distortion*) adalah persentase antara total harmonisa dengan komponen fundamentalnya. Semakin besar presentase THD dapat menyebabkan semakin besar resiko kerusakan peralatan yang digunakan, karena harmonisa yang terjadi pada tegangan. Secara internasional presentase THD yang diizinkan maksimal nsekitar 5% dari tegangan dan frekuensi fundamentalnya. Dengan menggunakan tegangan input AC 220 Volt didapatkan tegangan DC sebesar 620.5 Volt, maka THD didapatkan :

Diketahui :

$$V_d = 620.5 \text{ Volt}$$

$$M_a = 1$$

$$f_s = 1500 \text{ Hz}$$

$$f_i = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Maka, } m_f = \frac{f_s}{f_i}$$

$$= \frac{1500}{50}$$

$$= 30$$

$$(V_{AO})_h = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_d}{2} \frac{(V_{AO})_h}{V_d/2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{620.5}{\sqrt{2}} \frac{(V_{AO})_h}{V_d/2}$$

$$= 219.38 \frac{(V_{AO})_h}{V_d/2}$$

Nilai dari $\frac{(V_{AO})h}{va/2}$ dapat dilihat pada tabel 2.20

Jadi,

$$\begin{aligned}(V_{AO})1 &= 219.38 \times 1 \\ &= 219.38\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(V_{AO})28 &= 219.38 \times 0.318 \\ &= 69.76\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(V_{AO})30 &= 219.38 \times 0.601 \\ &= 131.85\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(V_{AO})32 &= 219.38 \times 0.318 \\ &= 69.76\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(V_{AO})59 &= 219.38 \times 0.181 \\ &= 39.71\end{aligned}$$

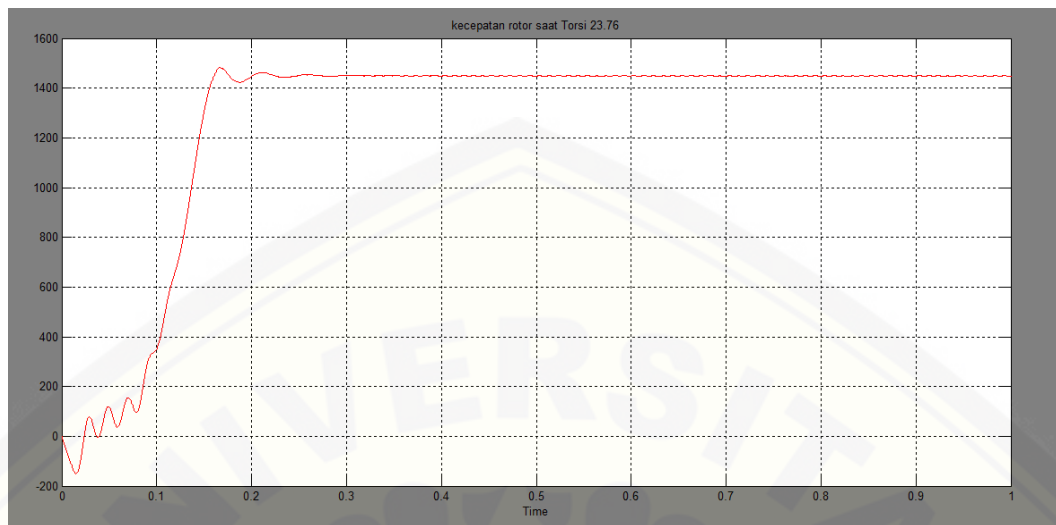
$$\begin{aligned}(V_{AO})61 &= 219.38 \times 0.181 \\ &= 39.71\end{aligned}$$

Jadi THD :

$$\begin{aligned}\text{THD \%} &= \frac{\sqrt{\sum_h^\infty Vh^2}}{V1} \\ &= \frac{\sqrt{\sum_{28,30,32,59,61}^\infty Vh^2}}{V1} \\ &= \frac{\sqrt{69.76^2 + 131.85^2 + 69.76^2 + 39.71^2 + 39.71^2}}{219.38} \\ &= 0.68 \%\end{aligned}$$

Dengan THD sebesar 0.68% dapat dikatakan bahwa inverter 3 fasa ini dapat diaplikasikan untuk daya tinggi karena THD kurang dari 5% standart internasional.

Gambar gelombang kecepatan rotor disaat beban 23.76 Nm sebagai berikut :



Gambar 4.20 Kecepatan rotor = 1449 rpm

Gambar 4.20 merupakan gelombang kecepatan rotor dari sumber *inverter* yang juga memiliki ripple pada nilai tertentu tiap waktu. Akan tetapi disaat waktu mendekati 0.3s kecepatan rotor mulai stabil atau konstan karena tegangan yang dibutuhkan motor sesuai dengan tegangan masukan motor.

Hasil pengujian pada sumber satu fase menggunakan *Sepic converter* dan PWM *Inverter* untuk setiap perubahan beban motor dapat dilihat pada tabel 4.2. :
Tabel 4.2 Unjuk Kerja motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase menggunakan Sepic Konverter dan Inverter Tiga Fase

Torsi (Nm)	Faktor Daya	Kecepatan (rpm)	Daya aktif (watt) per fase	Daya reaktif (VAr) per fase
0	0.1052	1498	152.5	1442.33
5	0.4645	1487	717.367	1367.667
10	0.6119	1479	1148.33	1484.33
15	0.7454	1468	1724	1501.667
20	0.8226	1457	2275.667	1572
23.76	0.8535	1449	2696	1645

Sumber : hasil simulasi matlab

Pada tabel 4.2 Diketahui bahwa semakin besar pembebanan pada motor maka kecepatan motor semakin menurun. Disetiap kenaikan beban motor maka faktor daya semakin besar dan daya aktif, daya reaktifnya semakin meningkat.

Tabel 4.3 Tegangan masukan dan arus pada motor induksi 3 fase.

Torsi (Nm)	Arus masukan (A)	Tegangan masukan (V)
0	3.31	379.48
5	3.54	377.41
10	4.31	377.24
15	5.27	376.23
20	6.37	375.87
23.76	7.28	375.71

Sumber : hasil simulasi matlab

Pada tabel 4.3 Dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya pembebanan maka arus yang dihasilkan semakin besar pula, akan tetapi tegangannya semakin menurun.

Sesuai dengan rumus dibawah ini, kenaikan beban dihasilkan slip yang semakin besar sehingga arus induksi / arus rotor juga semakin besar. Besarnya arus pada rotor menyebabkan arus masukan juga akan semakin besar.

$$I_2 = \frac{V}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2}{s})^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

Besarnya efisiensi motor induksi 3 fase diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi} : \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

Dan untuk mencari besarnya P_{out} dan P_{in} sesuai dengan rumus berikut ini :

$$P_{out} = 3 (I_2)^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right)$$

Dimana :

$$s = \text{Slip}$$

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \%$$

$$I_2' = \frac{V_i}{\sqrt{(R1 + \frac{R2}{S})^2 + (X1 + X2)^2}}$$

Dimana $V_i = V_t - I_0 \sqrt{R1^2 + X1^2}$

$$P_{in} = P_{out} + 3 (I_0)^2 x (R1 + R2) + P_o$$

Sedangkan besaran X_1 dan X_2 yang dipengaruhi oleh slip adalah :

$$X = \omega . L$$

Tabel 4.4 Nilai slip dan reaktansi pada sumber satu fase menggunakan *Sepic converter* dan *Inverter* tiga fase.

Beban	0 Nm	5 Nm	10 Nm	15 Nm	20 Nm	23.76 Nm
Kecepatan	1498	1487	1479	1468	1457	1449
Slip	0.0013	0.0087	0.014	0.0213	0.0287	0.034
Reaktansi X_2	0.0025	0.0163	0.0263	0.0399	0.0538	0.0638

Reaktansi X_1 adalah :

$$2 \times 3.14 \times 50 \times 0.005974 = 1.8758 \text{ Ohm}$$

Mencari efisiensi

➤ **Pada beban 5 Nm**

$$\begin{aligned} \text{Tegangan masukan nominal per fase} &= \frac{377.41}{\sqrt{3}} \\ &= 217.898 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_i &= V_t - I_0 \sqrt{R1^2 + X1^2} \\ &= 217.898 - 3.54 \sqrt{1.115^2 + 1.8758^2} \\ &= 210.17 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$I_2' = \frac{V_i}{\sqrt{(R1 + \frac{R2}{S})^2 + (X1 + X2)^2}}$$

$$\begin{aligned} I_2' &= \frac{210.17}{\sqrt{(1.115 + \frac{1.083}{0.0087})^2 + (1.8758 + 0.0163)^2}} \\ &= \frac{210.17}{\sqrt{15774.858 + 3.57966}} \end{aligned}$$

$$= \frac{210.17}{125.612}$$

$$= 1.67 \text{ A}$$

Sehingga daya keluar pada beban sebesar 5 Nm

$$P_{out} = 3 (I_2)^2 R_2 \left(\frac{1-S}{S} \right)$$

$$= 3 (1.67)^2 1.083 \left(\frac{1-0.0087}{0.0087} \right)$$

$$= 1032,45 \text{ Watt}$$

Pada pengukuran beban nol $P_{in} = 152.5 \text{ Watt}$, jadi $P_o = 152.5 \text{ Watt}$

Sehingga daya masuk saat beban 5 Nm sebesar

$$P_{in} = P_{out} + 3 (I_0)^2 x (R_1 + R_2) + P_o$$

$$P_{in} = 1032.45 + 3 (1.67)^2 x (1.115 + 1.083) + 152.5$$

$$= 1203.34 \text{ Watt}$$

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{1032.45}{1203.34} \times 100 \%$$

$$= 85.76 \%$$

$$Efisiensi = \frac{P_{in} - losses}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$85.76\% = \frac{1203.34 - losses}{1203.34} \times 100 \%$$

$$Losses = 171.36 \text{ watt}$$

➤ **Pada beban 10 Nm**

$$\text{Tegangan masukan nominal per fase} = \frac{377.24}{\sqrt{3}}$$

$$= 217.799 \text{ Volt}$$

$$V_i = V_t - I_0 \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$$

$$= 217.799 - 4.31 \sqrt{1.115^2 + 1.8758^2}$$

$$= 208.39 \text{ Volt}$$

$$I_2' = \frac{V_i}{\sqrt{(R1 + \frac{R2}{S})^2 + (X1 + X2)^2}}$$

$$I_2' = \frac{208.39}{\sqrt{(1.115 + \frac{1.083}{0.014})^2 + (1.8758 + 0.0263)^2}}$$

$$= \frac{208.39}{\sqrt{6157.855 + 3.618}}$$

$$= \frac{208.39}{78.495}$$

$$= 2.65 \text{ A}$$

Sehingga daya keluar pada beban sebesar 10 Nm

$$P_{out} = 3 (I_2)^2 R_2 \left(\frac{1-S}{S} \right)$$

$$= 3 (2.65)^2 1.083 \left(\frac{1-0.014}{0.014} \right)$$

$$= 1606.906 \text{ Watt}$$

Pada pengukuran beban nol $P_{in} = 152.5 \text{ Watt}$, jadi $P_o = 152.5 \text{ Watt}$

Sehingga daya masuk saat beban 10 Nm sebesar

$$P_{in} = P_{out} + 3 (I_0)^2 x (R1 + R2) + P_o$$

$$P_{in} = 1606.906 + 3 (2.65)^2 x (1.115 + 1.083) + 152.5$$

$$= 1805.71 \text{ Watt}$$

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{1606.906}{1805.71} \times 100 \%$$

$$= 88.99 \%$$

$$Efisiensi = \frac{P_{in} - losses}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$88.99\% = \frac{1805.71 - losses}{1805.71} \times 100 \%$$

$$Losses = 198.81 \text{ watt}$$

➤ **Pada beban 15 Nm**

$$\begin{aligned} \text{Tegangan masukan nominal per fase} &= \frac{376.23}{\sqrt{3}} \\ &= 217.22 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_i &= V_t - I_0 \sqrt{R1^2 + X1^2} \\ &= 217.22 - 5.27 \sqrt{1.115^2 + 1.8758^2} \\ &= 205.72 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$I_2' = \frac{V_i}{\sqrt{(R1 + \frac{R2}{S})^2 + (X1 + X2)^2}}$$

$$\begin{aligned} I_2' &= \frac{205.72}{\sqrt{(1.115 + \frac{1.083}{0.0213})^2 + (1.8758 + 0.0399)^2}} \\ &= \frac{205.72}{\sqrt{2699.84 + 3.67}} \\ &= \frac{205.72}{51.995} \\ &= 3.96 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga daya keluar pada beban sebesar 15 Nm

$$\begin{aligned} P_{out} &= 3 (I_2)^2 R_2 \left(\frac{1-S}{S} \right) \\ &= 3 (3.96)^2 1.083 \left(\frac{1-0.0213}{0.0213} \right) \\ &= 2341.05 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Pada pengukuran beban nol $P_{in} = 152.5$ Watt, jadi $P_o = 152.5$ Watt

Sehingga daya masuk saat beban 15 Nm sebesar

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_{out} + 3 (I_0)^2 x (R1 + R2) + P_o \\ P_{in} &= 2341.05 + 3 (3.96)^2 x (1.115 + 1.083) + 152.5 \\ &= 2596.95 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{2341.05}{2596.95} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= 90.14 \%$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{in} - \text{losses}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$90.14 \% = \frac{2596.95 - \text{losses}}{2596.95} \times 100 \%$$

$$\text{Losses} = 256.06 \text{ watt}$$

➤ **Pada beban 20 Nm**

$$\begin{aligned} \text{Tegangan masukan nominal per fase} &= \frac{375.87}{\sqrt{3}} \\ &= 217.01 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_i &= V_t - I_0 \sqrt{R_1^2 + X_1^2} \\ &= 217.01 - 6.37 \sqrt{1.115^2 + 1.8758^2} \\ &= 203.11 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$I_2' = \frac{V_i}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

$$I_2' = \frac{203.11}{\sqrt{\left(1.115 + \frac{1.083}{0.0287}\right)^2 + (1.8758 + 0.0538)^2}}$$

$$= \frac{203.11}{\sqrt{1509.32 + 3.7249}}$$

$$= \frac{203.11}{38.9}$$

$$= 5.22 \text{ A}$$

Sehingga daya keluar pada beban sebesar 20 Nm

$$\begin{aligned} P_{out} &= 3 (I_2)^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s}\right) \\ &= 3 (5.22)^2 1.083 \left(\frac{1-0.0287}{0.0287}\right) \end{aligned}$$

$$= 2996.14 \text{ Watt}$$

Pada pengukuran beban nol $P_{in} = 152.5 \text{ Watt}$, jadi $P_o = 152.5 \text{ Watt}$

Sehingga daya masuk saat beban 20 Nm sebesar

$$P_{in} = P_{out} + 3 (I_0)^2 \times (R1+R2) + P_o$$

$$P_{in} = 2996.14 + 3 (5.22)^2 \times (1.115 + 1.083) + 152.5$$

$$= 3328.32 \text{ Watt}$$

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{2996.14}{3328.32} \times 100 \%$$

$$= 90.02 \%$$

$$Efisiensi = \frac{P_{in} - losses}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$90.02 \% = \frac{3328.32 - losses}{3328.32} \times 100 \%$$

$$Losses = 332.17 \text{ watt}$$

➤ **Pada beban 23.76 Nm**

$$\text{Tegangan masukan nominal per fase} = \frac{375.71}{\sqrt{3}}$$

$$= 216.92 \text{ Volt}$$

$$V_i = V_t - I_0 \sqrt{R1^2 + X1^2}$$

$$= 216.92 - 7.28 \sqrt{1.115^2 + 1.8758^2}$$

$$= 201.034 \text{ Volt}$$

$$I_2' = \frac{V_i}{\sqrt{(R1 + \frac{R2}{S})^2 + (X1 + X2)^2}}$$

$$I_2' = \frac{201.034}{\sqrt{(1.115 + \frac{1.083}{0.034})^2 + (1.8758 + 0.0638)^2}}$$

$$= \frac{201.034}{\sqrt{1086.89 + 3.7636}}$$

$$= \frac{201.034}{33.03}$$

$$= 6.087 \text{ A}$$

Sehingga daya keluar pada beban sebesar 23.76 Nm

$$P_{out} = 3 (I_2)^2 R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right)$$

$$= 3 (6.087)^2 1.083 \left(\frac{1-0.034}{0.034} \right)$$

$$= 3420.22 \text{ Watt}$$

Pada pengukuran beban nol $P_{in} = 152.5 \text{ Watt}$, jadi $P_o = 152.5 \text{ Watt}$

Sehingga daya masuk saat beban 23.76 Nm sebesar

$$P_{in} = P_{out} + 3 (I_0)^2 \times (R_1 + R_2) + P_o$$

$$P_{in} = 3420.22 + 3 (6.087)^2 \times (1.115 + 1.083) + 152.5$$

$$= 3817.04 \text{ Watt}$$

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$= \frac{3420.22}{3817.04} \times 100 \%$$

$$= 89.6 \%$$

$$Efisiensi = \frac{P_{in} - losses}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$89.6 \% = \frac{3817.04 - losses}{3817.04} \times 100 \%$$

$$Losses = 396.97 \text{ watt}$$

Tabel 4.5 Efisiensi motor induksi pada sumber satu fase menggunakan *Sepic converter* dan *Inverter* tiga fase.

Torsi (Nm)	Efisiensi (%)	Losses (watt)
5	85.76	171.36
10	88.99	198.81
15	90.14	256.06
20	90.02	332.17
23.76	89.60	396.97

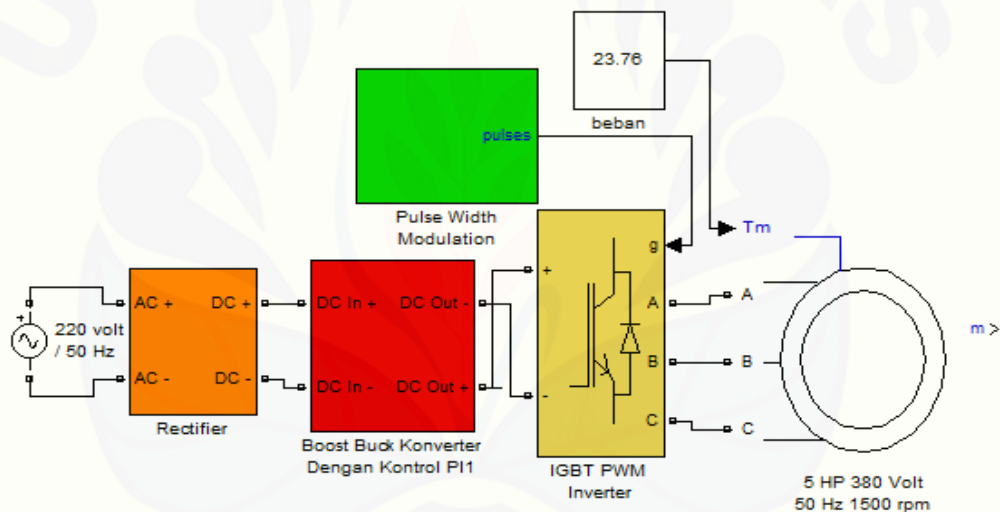
Sumber : hasil perhitungan

Setelah dilakukan perhitungan, dalam Tabel 4.5 menunjukkan dengan beban yang semakin besar nilai efisiensi juga semakin besar. Hal ini dikarenakan

daya masukan yang diserap oleh motor digunakan untuk memikul beban yang sebanding dengan kenaikan beban sehingga perbandingan daya keluaran dan masukan relatif kecil dan nilai efisiensinya akan meningkat. Dan pada losses semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar pula *losses* yang dihasilkan.

4.2 Pengujian Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan Boost –Buck / Cuk Converter dan Inverter Tiga Fase PWM.

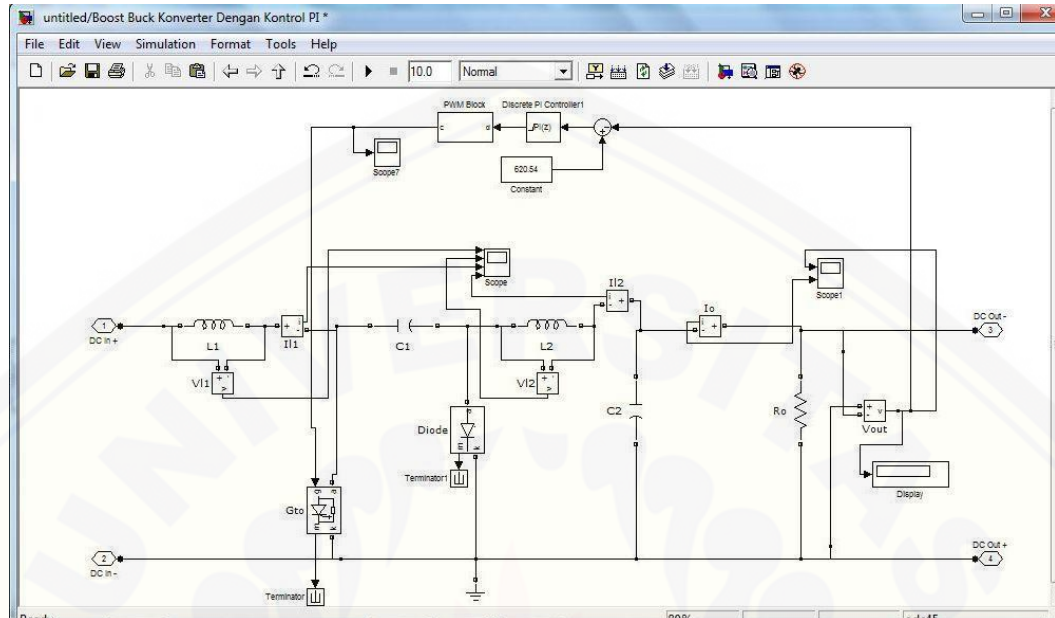
Pada pengujian motor induksi tiga fase dengan sumber satu fase menggunakan *boost-buck / cuk converter* dan *inverter* tiga fase PWM ini hasil data diambil dari penelitian Alexander Aqiu Islamy (061910201133).



Gambar 4.21 Pengujian motor induksi tiga fase dengan sumber satu fasa

Sesuai pada gambar 4.21 diatas, dalam pengujian ini terdiri 3 bagian rangkaian yaitu sumber / suplai satu fase yang terhubung dengan rangkaian *rectifier*, *Boost Buck Converter menggunakan control PI* dan *inverter* tiga fase sebagai sumber motor induksi. Sumber tegangan satu fase yang digunakan adalah 220 Volt (rms). Adapun untuk parameter yang ada pada blok sumber tegangan AC ini telah disesuaikan dengan karakteristik motor induksi 3 fase diantaranya frekuensi dan tegangan puncak (V_{peak}).

Untuk rangkaian dalam blok *boost buck converter dengan control PI* adalah sebagai berikut



Gambar 4.22 Rangkaian *Boost-buck/Cuk Converter* menggunakan *PI controller*

Nilai – nilai komponen yang digunakan pada rangkaian *boost-buck converter* ini adalah sebagai berikut :

$$L_1 = 75,53 \times 10^{-5} \text{ Henry}$$

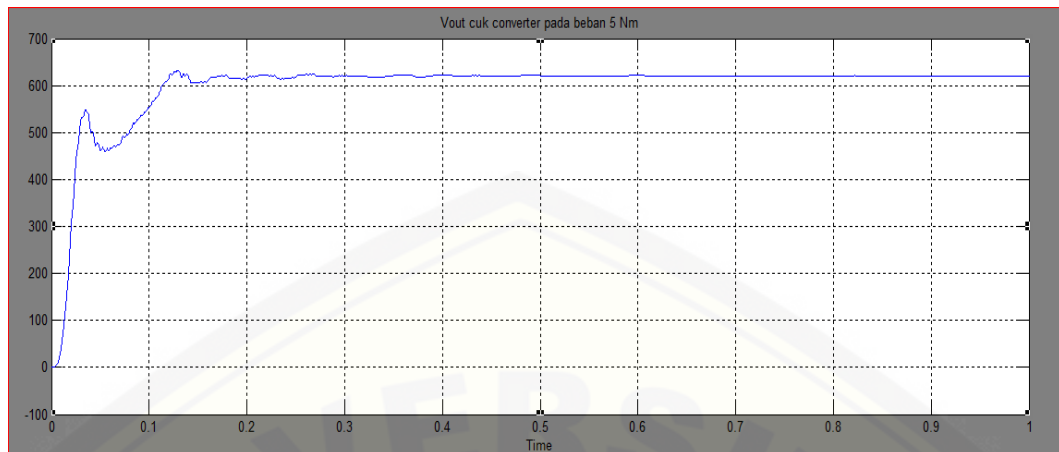
$$L_2 = 1,6 \times 10^{-3} \text{ Henry}$$

$$C_1 = 3,28 \times 10^{-3} \text{ Farad}$$

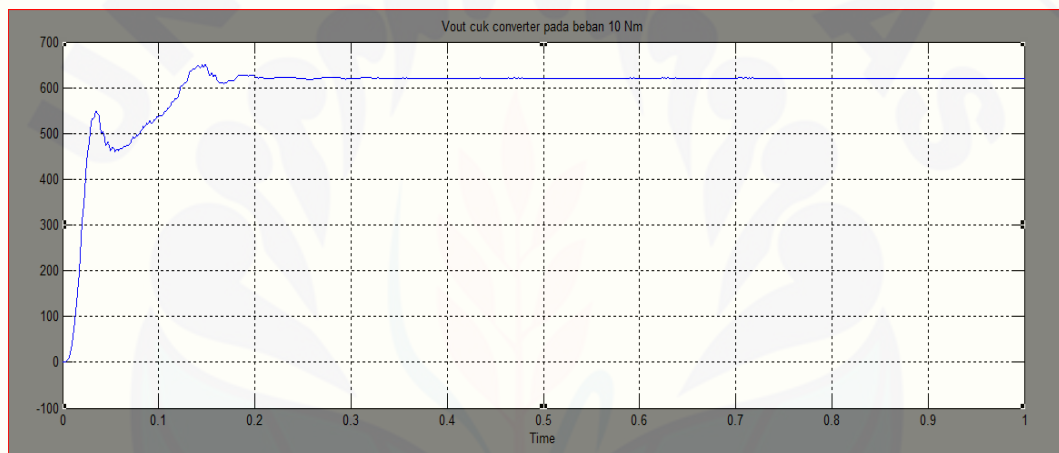
$$C_2 = 3,5 \times 10^{-4} \text{ Farad}$$

$$R = 200 \text{ Ohm}$$

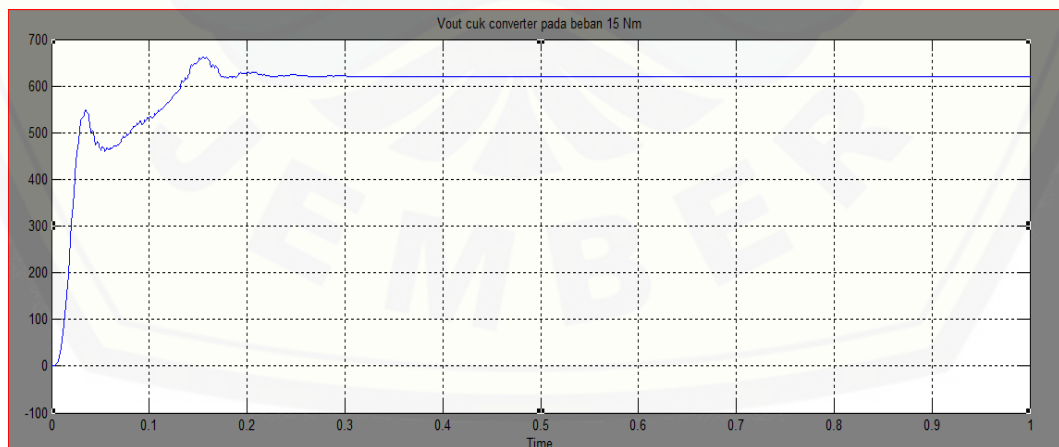
Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *boost – buck Converter* menggunakan *control PI* sebesar 620,9 volt, nilai tersebut sesuai dengan tegangan masukan yang dibutuhkan oleh inverter, gambar tegangan keluarannya adalah sebagai berikut :



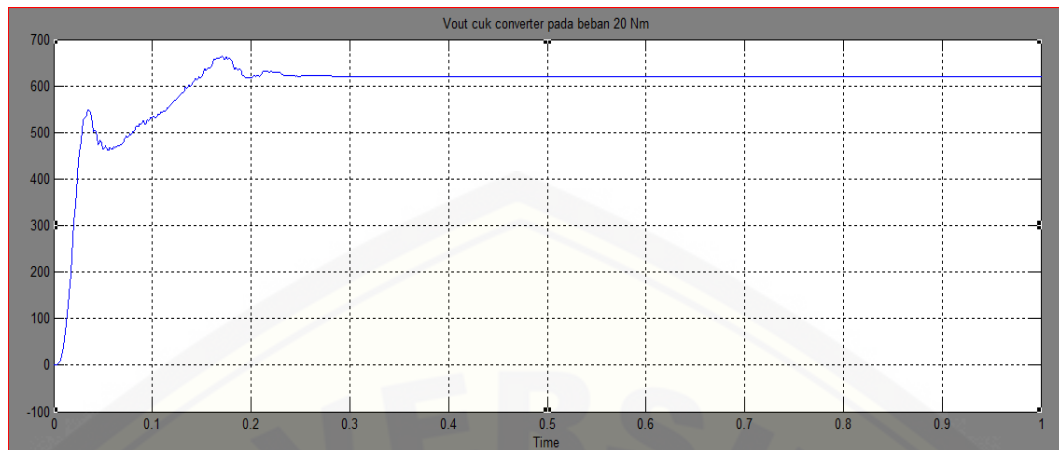
Gambar 4.23 tegangan keluaran *boost-buck converter* menggunakan control PI pada beban torsi 5 Nm.



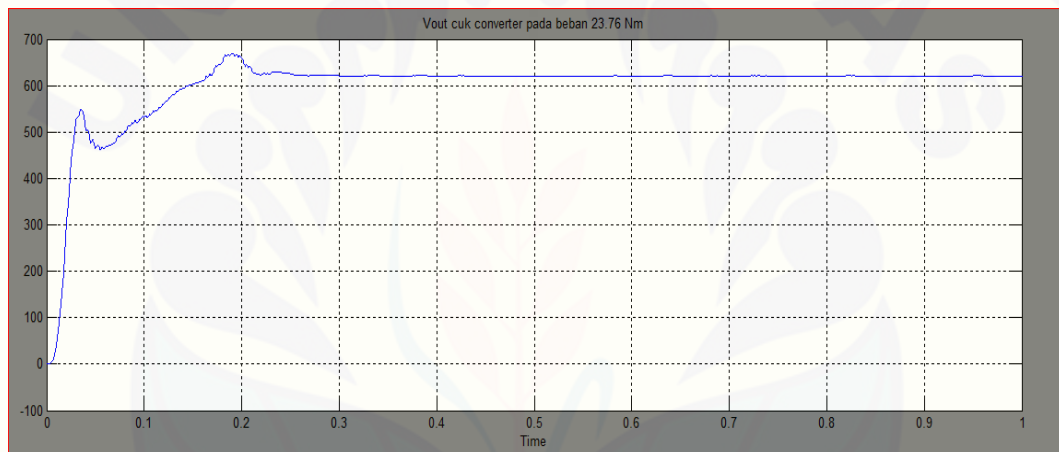
Gambar 4.24 tegangan keluaran *boost-buck converter* menggunakan control PI pada beban torsi 10 Nm.



Gambar 4.25 tegangan keluaran *boost-buck converter* menggunakan control PI pada beban torsi 15 Nm.



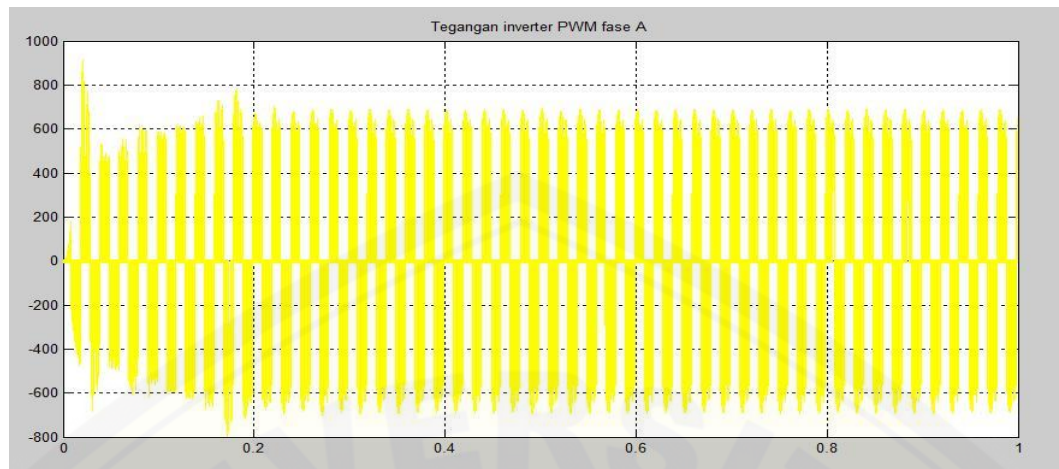
Gambar 4.26 tegangan keluaran *boost-buck converter* menggunakan control PI pada beban torsi 20 Nm.



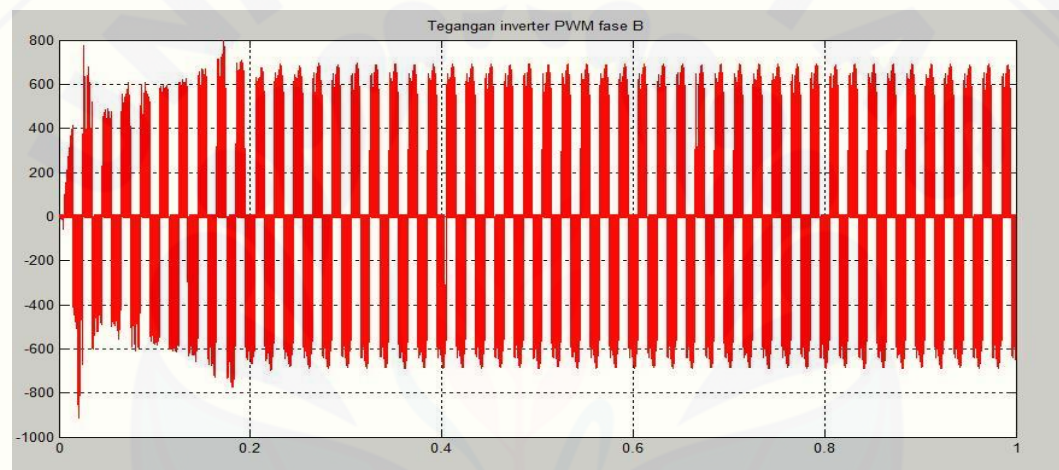
Gambar 4.26 tegangan keluaran *boost-buck converter* menggunakan control PI pada beban torsi 20 Nm.

Gambar 4.26 merupakan gelombang tegangan searah pada *Boost buck converter* yang telah terlihat menyerupai tegangan pada sumber DC namun masih memiliki *ripple*. Tegangan ini akan menjadi sumber pada rangkaian *inverter* tiga fase. Adanya nilai *ripple* pada proses ini menyebabkan *amplitude* gelombang tegangan pada keluaran *inverter* akan menyesuaikan yaitu gelombang persegi dengan tinggi yang bervariasi pada setiap proses *switching*.

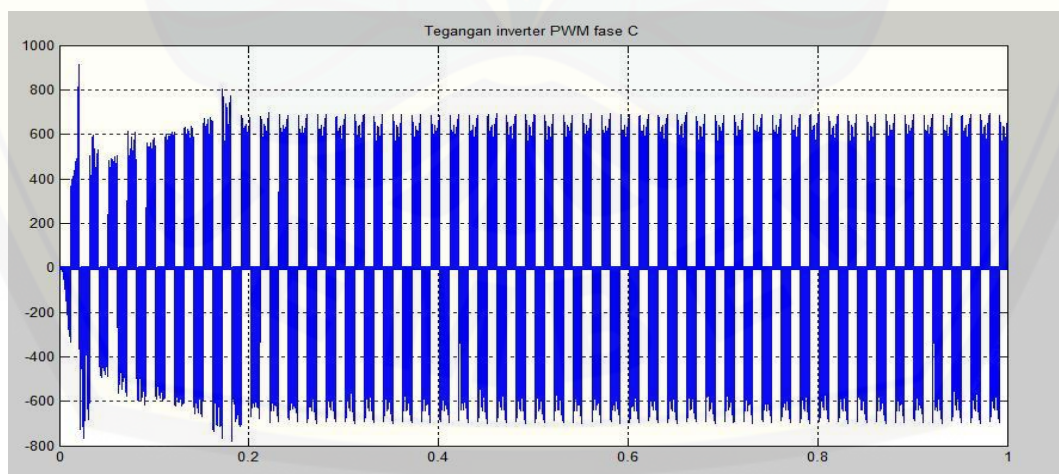
Gambar gelombang tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *inverter* tiga fase *Pulse Width Modulation (PWM)* adalah sebagai berikut :



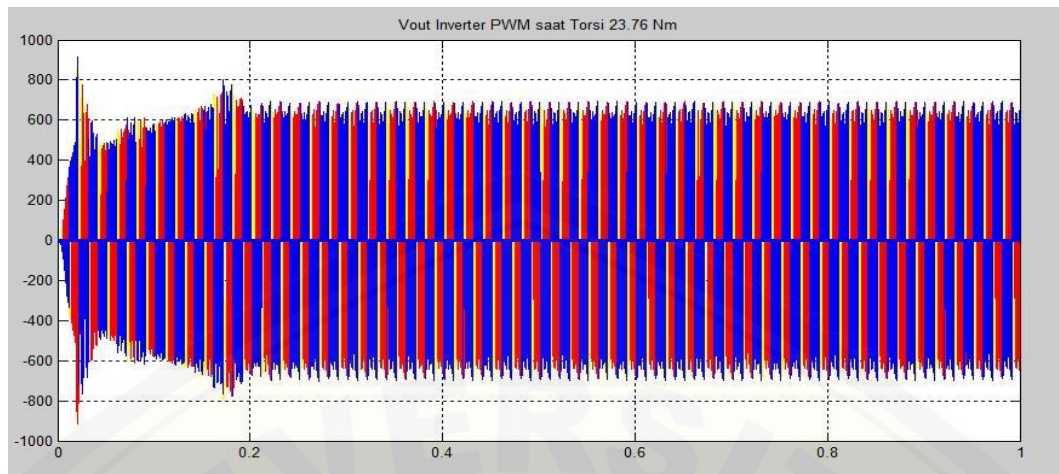
Gambar 4.27 Gelombang tegangan keluaran V_{ab} pada *inverter*.



Gambar 4.28 Gelombang tegangan keluaran V_{bc} pada *inverter*.



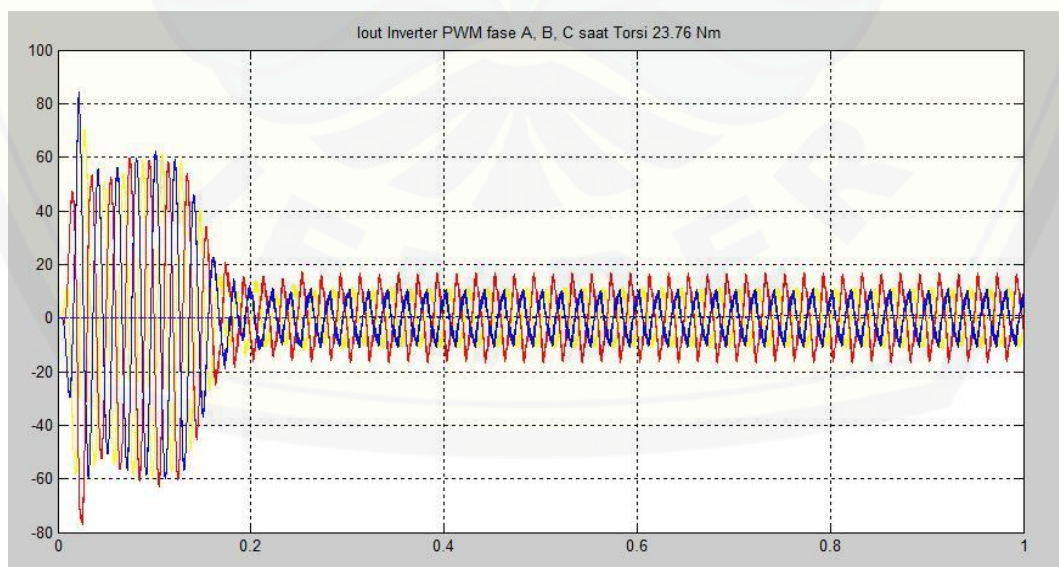
Gambar 4.29 Gelombang tegangan keluaran V_{ca} pada *inverter*.



Gambar 4.30 Gelombang tegangan keluaran *inverter* PWM tiga fase.

Gambar 4.31 merupakan bentuk gelombang tegangan *inverter* yang diperoleh melalui teknik modulasi lebar pulsa. Gelombang Tegangan keluaran *inverter* berupa sinyal persegi / kotak bolak – balik bukan berupa gelombang sinus. Hal ini dikarenakan pada proses PWM dihasilkan pulsa yang berbentuk persegi yaitu dengan membandingkan *amplitude* sinyal sinus terhadap sinyal segitiga. Pulsa akan bernilai tinggi (on) apabila *amplitude* sinyal sinus lebih besar dari sinyal segitiga, dan sebaliknya pulsa bernilai rendah (off) apabila *amplitude* sinyal sinus lebih kecil dari sinyal segitiga.

Gambar gelombang arus keluaran yang dihasilkan oleh inverter tiga fase *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah sebagai berikut :



Gambar 4.32 Arus keluaran pada *inverter* PWM

Pada Gambar 4.32 terlihat gelombang arus yang dihasilkan oleh *inverter* yang berbentuk sinus dengan *ripple* yang diakibatkan oleh proses *switching*.

Dengan menggunakan tegangan input AC 220 Volt didapatkan tegangan DC sebesar 620.5 Volt, maka THD didapatkan :

Diketahui :

$$V_d = 620.9 \text{ Volt}$$

$$M_a = 1$$

$$f_s = 1500 \text{ Hz}$$

$$f_i = 50 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } m_f &= \frac{f_s}{f_i} \\ &= \frac{1500}{50} \\ &= 30 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (V_{AO})_h &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_d}{2} \frac{(V_{AO})_h}{V_d/2} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{620.9}{2} \frac{(V_{AO})_h}{V_d/2} \\ &= 219.52 \frac{(V_{AO})_h}{V_d/2} \end{aligned}$$

Nilai dari $\frac{(V_{AO})_h}{V_d/2}$ dapat dilihat pada tabel 2.20

Jadi,

$$\begin{aligned} (V_{AO})_1 &= 219.52 \times 1 \\ &= 219.52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (V_{AO})_{28} &= 219.52 \times 0.318 \\ &= 69.81 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (V_{AO})_{30} &= 219.52 \times 0.601 \\ &= 131.93 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (V_{AO})_{32} &= 219.52 \times 0.318 \\ &= 69.81 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (V_{AO})_{59} &= 219.52 \times 0.181 \\ &= 39.73 \end{aligned}$$

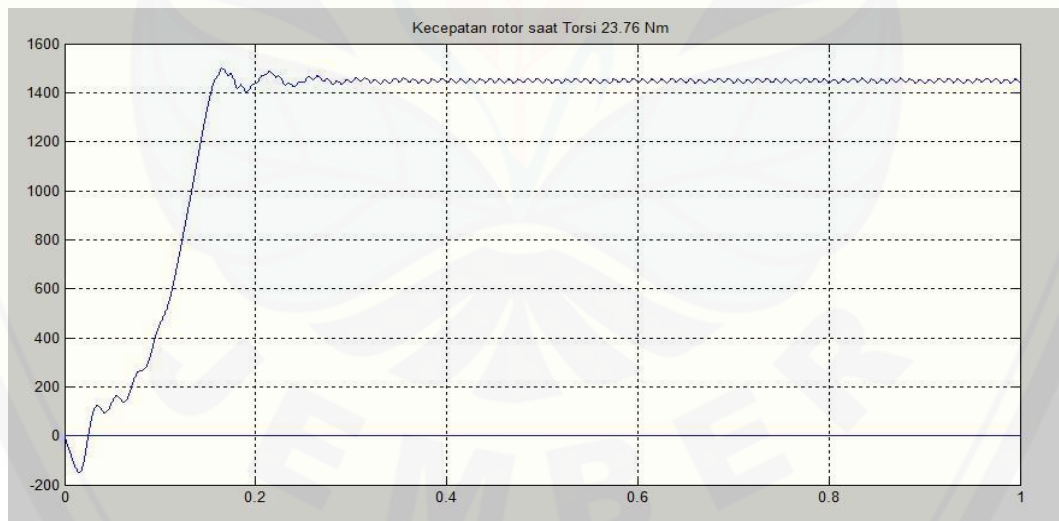
$$\begin{aligned}(V_{AO})_{61} &= 219.38 \times 0.181 \\ &= 39.73\end{aligned}$$

Jadi THD :

$$\begin{aligned}\text{THD \%} &= \frac{\sqrt{\sum_h^\infty V_h^2}}{V_1} \\ &= \frac{\sqrt{\sum_{28,30,32,59,61}^\infty V_h^2}}{V_1} \\ &= \frac{\sqrt{69.81^2 + 131.93^2 + 69.81^2 + 39.73^2 + 39.73^2}}{219.52} \\ &= 0.79 \%\end{aligned}$$

Dengan THD sebesar 0.79 % dapat dikatakan bahwa inverter 3 fasa ini dapat diaplikasikan untuk daya tinggi karena THD kurang dari 5% standart internasional.

Gambar gelombang kecepatan rotor disaat beban 23.76 Nm sebagai berikut :



Gambar 4.33 Kecepatan rotor = 1450 rpm

Gambar 4.33 merupakan gelombang kecepatan rotor dari sumber *inverter* yang juga memiliki *ripple* pada nilai tertentu tiap waktu. Hal ini berbeda dengan motor yang terhubung dengan sumber sinus. Adanya *ripple* pada gelombang kecepatan dikarenakan arus yang diresap oleh motor tidak berupa sinus murni

sehingga kecepatan motor cenderung berubah – ubah mengikuti nilai arus yang dihasilkan.

Hasil pengujian pada sumber satu fase menggunakan *boost buck converter* dan PWM *inverter* untuk setiap perubahan beban motor dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 4.6 Unjuk Kerja motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase menggunakan *Boost-buck / Cuk Converter* dan *Inverter* Tiga Fase

Torsi (Nm)	Faktor Daya	Kecepatan (rpm)	Daya aktif (watt) per fase	Daya reaktif (VAr) per fase
0	0.0925	1498	133	1459.67
5	0.4121	1489	662.97	1431.67
10	0.5947	1479	1180	1498.63
15	0.7272	1468	1743.8	1510.87
20	0.8001	1457	2306.67	1578.13
23.76	0.8259	1450	2715.33	1685.13

Sumber : hasil simulasi matlab

Tabel 4.6 diketahui, ketika motor induksi diberikan pembebanan, kecepatan motor semakin menurun. *Cos phi* yang dihasilkan semakin besar sebanding dengan daya aktif yang meningkat pada setiap kenaikan beban motor.

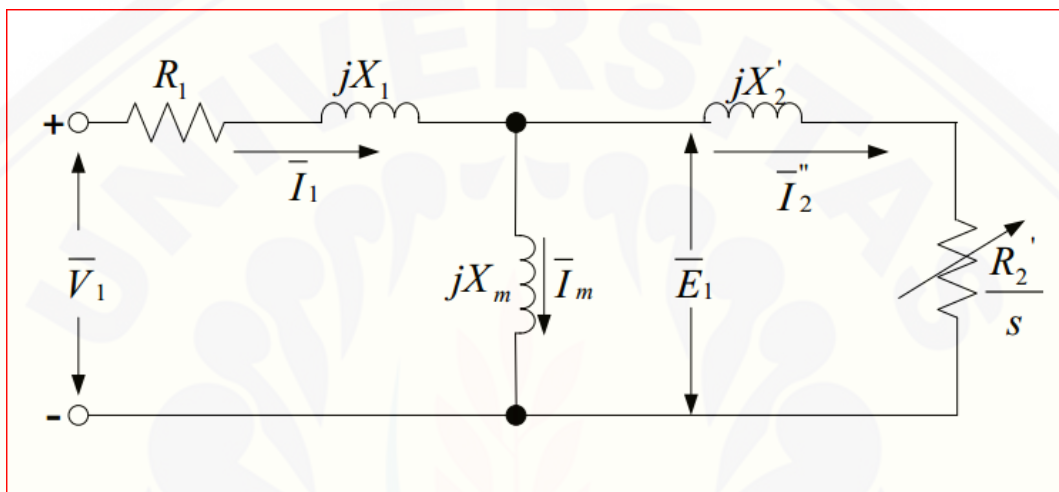
Tabel 4.7 Tegangan masukan dan arus pada motor induksi 3 fase.

Torsi (Nm)	Arus masukan (A)	Tegangan masukan (V)
0	3.4	379.97
5	3.72	377.97
10	4.5	377.78
15	5.42	376.63
20	6.54	376.23
23.76	7.46	376.39

Sumber : hasil simulasi matlab

Pada tabel 4.7 terlihat bahwa dengan sumber tegangan yang tetap apabila beban torsi meningkat maka arus akan meningkat, di karenakan torsi berhubungan dengan kecepatan, semakin besar beban torsi maka kecepatannya akan menurun, akibatnya nilai slip pada motor akan semakin besar.

Slip berhubungan dengan nilai impedansi, semakin besar slip maka nilai impedansinya semakin kecil. Seperti rumus di bawah ini dimana nilai impedansi berdasarkan rangkaian ekivalen motor.



$$Z_e = R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2'}{s} + X_2' \right)}{\frac{R_2'}{s} + j(X_m + X_2')}$$

Sehingga $I = \frac{V}{Z_e}$

Jadi nilai arus berubah dikarenakan nilai impedansinya juga berubah.

Dari simulasi yang diperoleh pada Tabel 4.7 disimpulkan bahwa semakin besar beban torsi maka arus yang dihasilkan akan besar pula sedangkan tegangannya akan semakin menurun.

Tabel 4.8 Nilai Slip dan Reaktansi pada sumber Satu Fase menggunakan *Boost-buck / Cuk Converter* dan *Inverter* Tiga Fase.

Beban	0 Nm	5 Nm	10 Nm	15 Nm	20 Nm	23.76 Nm
Kecepatan	1498	1489	1479	1468	1457	1450
Slip	0.0013	0.0073	0.01467	0.0213	0.0286	0.0333
Reaktansi X2	0.00244	0.0137	0.02752	0.0399	0.0538	0.06246

Sumber : hasil perhitungan

Tabel 4.9 Efisiensi Motor Induksi pada Sumber Satu Fase menggunakan *Boost-buck / Cuk Converter* dan *Inverter* Tiga Fase.

Torsi (Nm)	Efisiensi (%)	Losses (watt)
5	85.74	146.1
10	90.30	185.1
15	91.01	240.52
20	90.78	323.77
23.76	90.39	389.18

Sumber : hasil perhitungan

4.3 Perbandingan Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan *SEPIC CONVERTER* dan *BOOST-BUCK/CUK CONVERTER*.

4.3.1 Arus dan Tegangan Motor Induksi Tiga Fase.

Tabel 4.10 Perbandingan Arus dan Tegangan Motor Induksi.

Torsi Beban (Nm)	Sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Sepic converter</i>		Sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Cuk converter</i>	
	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
0	3.31	379.48	3.4	379.97
5	3.54	377.41	3.72	377.97
10	4.31	377.24	4.5	377.78
15	5.27	376.23	5.42	376.63
20	6.37	375.87	6.54	376.23
23.76	7.28	375.71	7.46	376.39

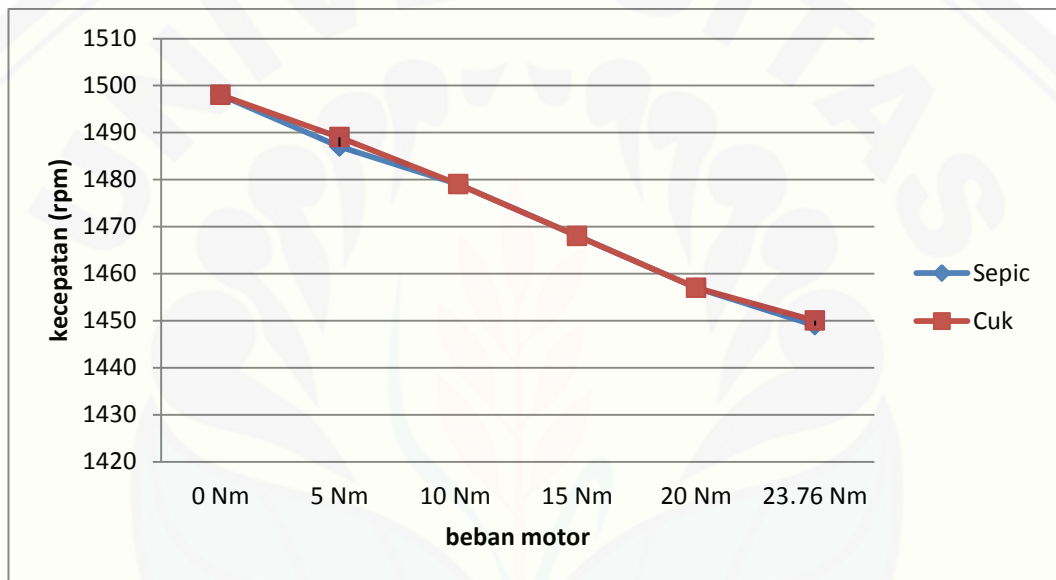
Dari tabel dapat dijelaskan bahwa arus dan tegangan yang dihasilkan *sepic converter* dan *cuk converter* hampir sama akan tetapi ripple pada arus dan tegangan motor induksi menggunakan *cuk converter* lebih banyak dibanding *sepic converter*.

4.3.2 Kecepatan Motor Induksi Tiga Fase

Tabel 4.11 Perbandingan kecepatan motor induksi tiga fase.

Torsi (Nm)	Kecepatan pada sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Sepic converter</i>	Kecepatan pada sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Cuk converter</i>
0	1498	1498
5	1487	1489
10	1479	1479
15	1468	1468
20	1457	1457
23.76	1449	1450

Pada tabel 4.11 Menjelaskan bahwa kecepatan motor akan semakin menurun dengan penambahan beban pada motor. Disaat beban 5 Nm dan 23.76 Nm kecepatan pada sumber sinus satu fase menggunakan *Cuk converter* lebih besar. Akan tetapi *ripple* gelombang yang dihasilkan pada sumber sinus satu fase menggunakan *Cuk converter* lebih banyak dibandingkan pada sumber sinus satu fase menggunakan *Sepic converter*. Dan juga kecepatan pada sumber sinus satu fase menggunakan *Sepic converter* lebih konstan. Dapat dilihat pada gambar 4.16 dan 4.24.



4.34 Grafik perbandingan kecepatan motor induksi tiga fase

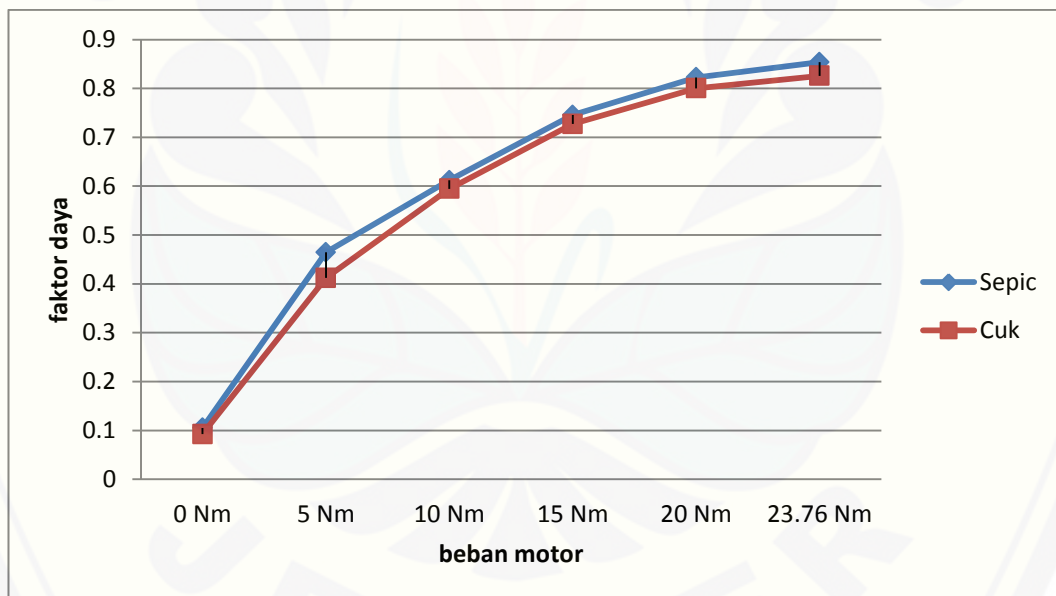
Untuk mengetahui besarnya kecepatan motor induksi pada tiap perubahan beban selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.11 diatas. Sedangkan dalam grafik gambar 4.26 Terlihat perbandingan kecepatan yang hampir sama baik menggunakan sumber sinus satu fase menggunakan *Sepic converter* maupun dengan *boost buck / Cuk converter*.

4.3.3 Perbandingan faktor daya motor induksi tiga fase

Tabel 4.12 Perbandingan faktor daya motor induksi tiga fase

Torsi (Nm)	Faktor daya pada sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Sepic converter</i>	Faktor daya pada sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Cuk converter</i>
0	0.1052	0.0925
5	0.4645	0.4121
10	0.6119	0.5947
15	0.7454	0.7272
20	0.8226	0.8001
23.76	0.8535	0.8259

Sumber : hasil simulasi matlab



Gambar 4.35 Grafik perbandingan faktor daya motor induksi tiga fase

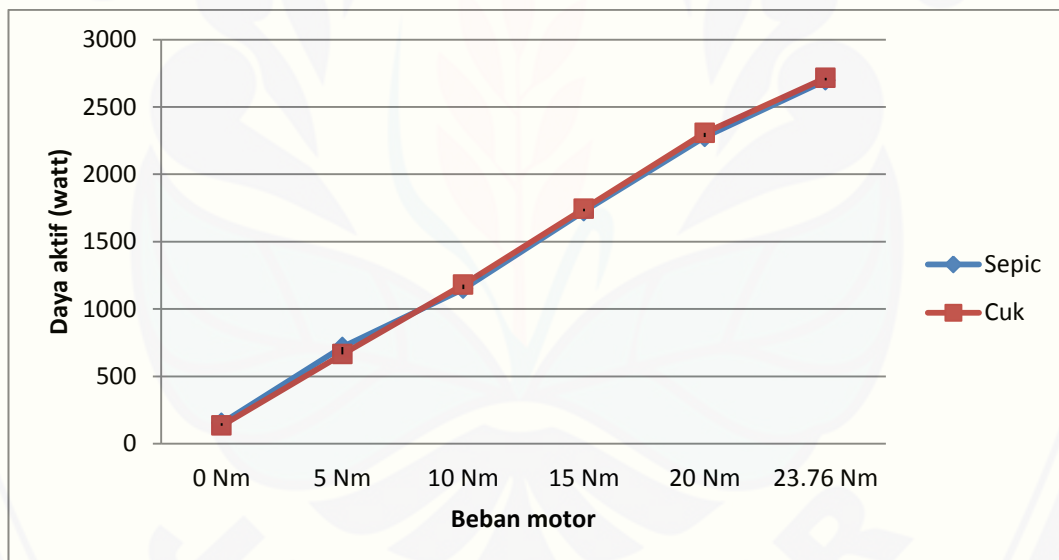
Pada gambar 4.35 dapat dilihat bahwa nilai faktor daya yang dihasilkan oleh motor induksi disaat terhubung sumber sinus satu fase menggunakan *sepic converter* lebih besar dibandingkan saat terhubung sumber sinus satu fase dengan menggunakan *boost-buck / cuk converter*. Kenaikan faktor daya diikuti dengan semakin besarnya pembebanan yang diberikan pada motor.

4.3.4 Perbandingan Daya Motor Induksi Tiga Fase

Tabel 4.13 Perbandingan Daya Aktif Motor Induksi Tiga Fase

Torsi (Nm)	Daya aktif pada sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Sepic converter</i>	Daya aktif pada sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Cuk converter</i>
0	152.5	133
5	717.367	662.97
10	1148.33	1180
15	1724	1743.8
20	2275.67	2306.67
23.76	2696	2715.33

Sumber : hasil simulasi matlab



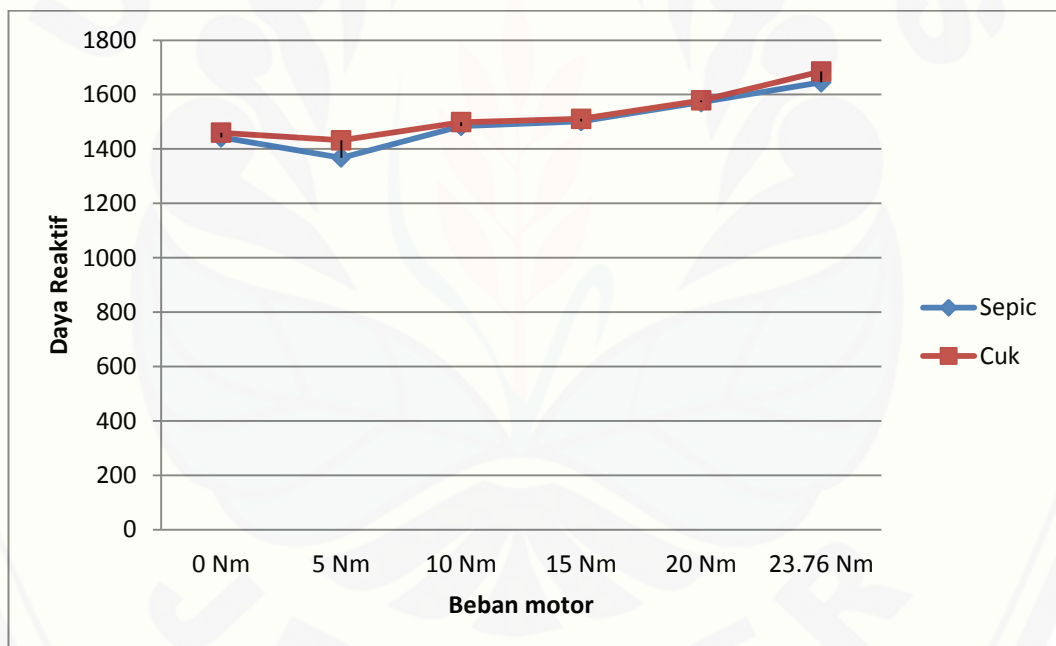
Gambar 4.36 Grafik perbandingan daya aktif motor induksi 3 fase.

Dapat dilihat bahwa daya aktif motor induksi yang terhubung *cuk converter* lebih besar dibandingkan dengan daya aktif motor induksi yang terhubung *sepic converter*.

Tabel 4.14 Perbandingan Daya Reaktif Motor Induksi 3 Fase

Torsi (Nm)	Daya reaktif pada sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Sepic converter</i>	Daya reaktif pada sumber sinus 1 fase menggunakan <i>Cuk converter</i>
0	1442.33	1459.67
5	1367.667	1431.67
10	1484.33	1498.63
15	1501.667	1510.87
20	1572	1578.13
23.76	1645	1685.13

Sumber : hasil simulasi matlab



Gambar 4.37 Grafik perbandingan daya reaktif motor induksi 3 fase.

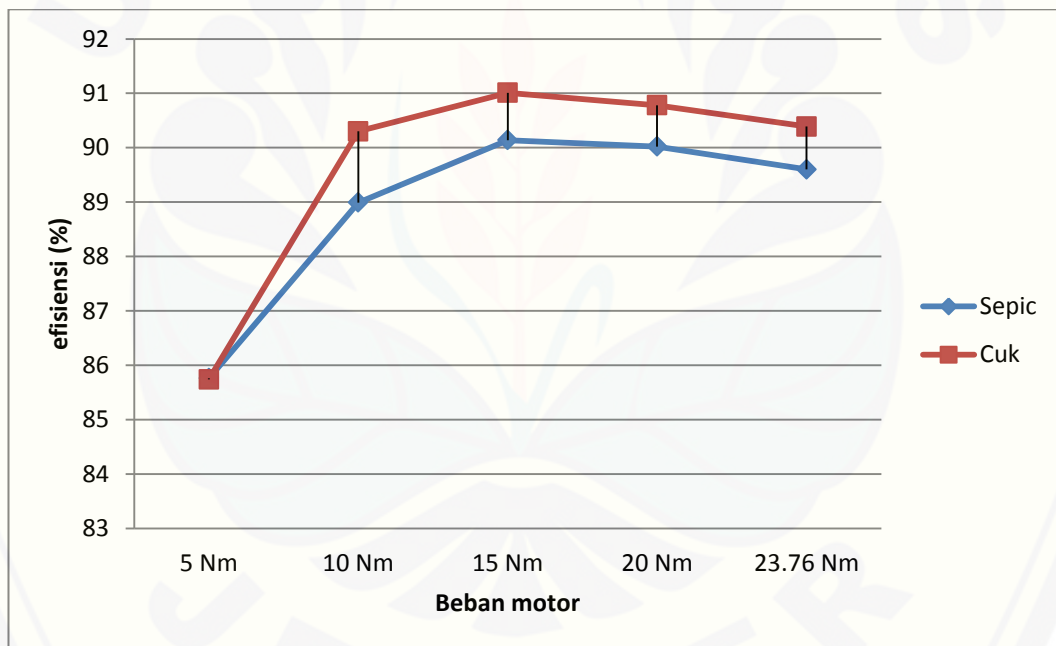
Dapat dilihat bahwa daya reaktif motor induksi yang terhubung *cuk converter* lebih besar dibandingkan dengan daya reaktif motor induksi yang terhubung *sepic converter*.

4.3.5 Efisiensi Motor Induksi Tiga Fase

Tabel 4.15 Perbandingan efisiensi motor induksi tiga fase

Torsi (Nm)	Efisiensi pada sumber sinus 1 fase menggunakan Sepic converter (%)	Efisiensi pada sumber sinus 1 fase menggunakan Cuk converter (%)
5	85.76	85.74
10	88.99	90.30
15	90.14	91.01
20	90.02	90.78
23.76	89.60	90.39

Sumber : hasil perhitungan



Gambar 4.38 Grafik Perbandingan efisiensi motor induksi tiga fase.

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.15 dalam penelitian ini diperoleh nilai efisiensi motor saat terhubung sumber sinus satu fase menggunakan *boost-buck / cuk converter* lebih besar dibandingkan dengan menggunakan *sepic converter* dikarenakan disaat pengambilan data pada *boost-buck / cuk converter* dengan $t = 1s$ nilai tegangan keluaran dari inverter sama dengan tegangan yang diinginkan oleh motor induksi. Jika dilihat dari hasil simulasi pada *boost-buck / cuk converter*

nilai keluaran tegangannya berubah ubah atau tidak konstan, berbeda apabila dibandingkan dengan menggunakan *sepic converter* tegangan keluarannya konstan disaat $t > 0.2$ s.

Untuk perbandingan THD (*Total Harmonic Distortion*) pada inverter yang sumber tegangannya terhubung pada *sepic converter* sebesar 0.68 % dan pada inverter yang sumber tegangannya terhubung pada *cuk converter* 0.79 %. THD (*Total Harmonic Distortion*) inverter yang terhubung *sepic converter* lebih kecil dari pada yang terhubung pada *cuk converter*, ini menandakan bahwa *sepic converter* lebih baik dibandingkan dengan *cuk converter*.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa melalui simulasi sistem, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Sepic converter regulator* dengan kontrol PI dapat menaikkan tegangan sebesar 620,5 Volt sesuai dengan tegangan nominal masukan pada inverter tiga fase PWM.
2. Efisiensi motor induksi yang terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* pada penelitian ini diperoleh sebesar 85,76% saat tanpa beban dan 89,60% pada beban penuh hampir sama dengan Efisiensi untuk motor yang terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *boost-buck/cuk converter* sebesar 85,74% saat tanpa beban dan 90.39% pada beban penuh.
3. Kecepatan rotor yang dihasilkan oleh motor induksi saat tanpa beban yang terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* sebesar 1498 rpm dan saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *boost-buck/cuk converter* sebesar 1498 sedangkan pada beban penuh saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* sebesar 1449 rpm dan saat terhubung *boost-buck/cuk converter* sebesar 1450 rpm.
4. Nilai faktor daya yang dihasilkan oleh motor induksi saat tanpa beban yang terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* sebesar 0.1052 dan saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *boost-buck/cuk converter* sebesar 0.0925 sedangkan pada beban penuh saat terhubung dengan sumber *inverter* menggunakan *sepic converter* sebesar 0.8535 dan saat terhubung *boost-buck/cuk converter* sebesar 0.8259.
5. Kecepatan rotor dari sumber *inverter* menggunakan *boost-buck/cuk converter* memiliki ripple yang lebih banyak dibandingkan kecepatan rotor dari sumber *inverter* menggunakan *sepic converter*.

5.2 Saran

Dengan adanya penelitian simulasi motor induksi 3 fase dengan sumber satu fase ini, untuk lebih aplikatif diharapkan nantinya ada penerapan dengan pembuatan alat untuk pengoperasian motor induksi tiga fase pada suplai satu fase.

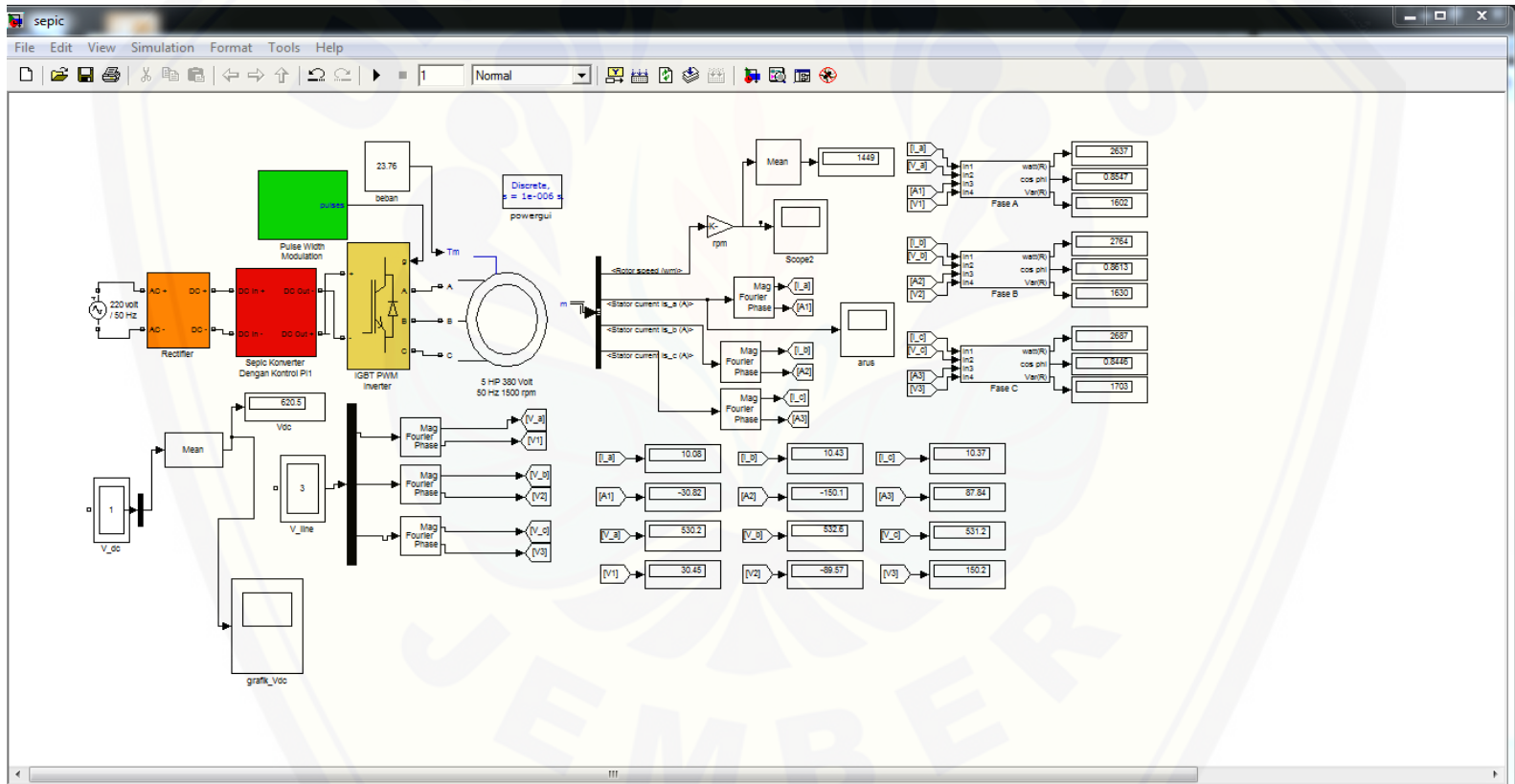


DAFTAR PUSTAKA

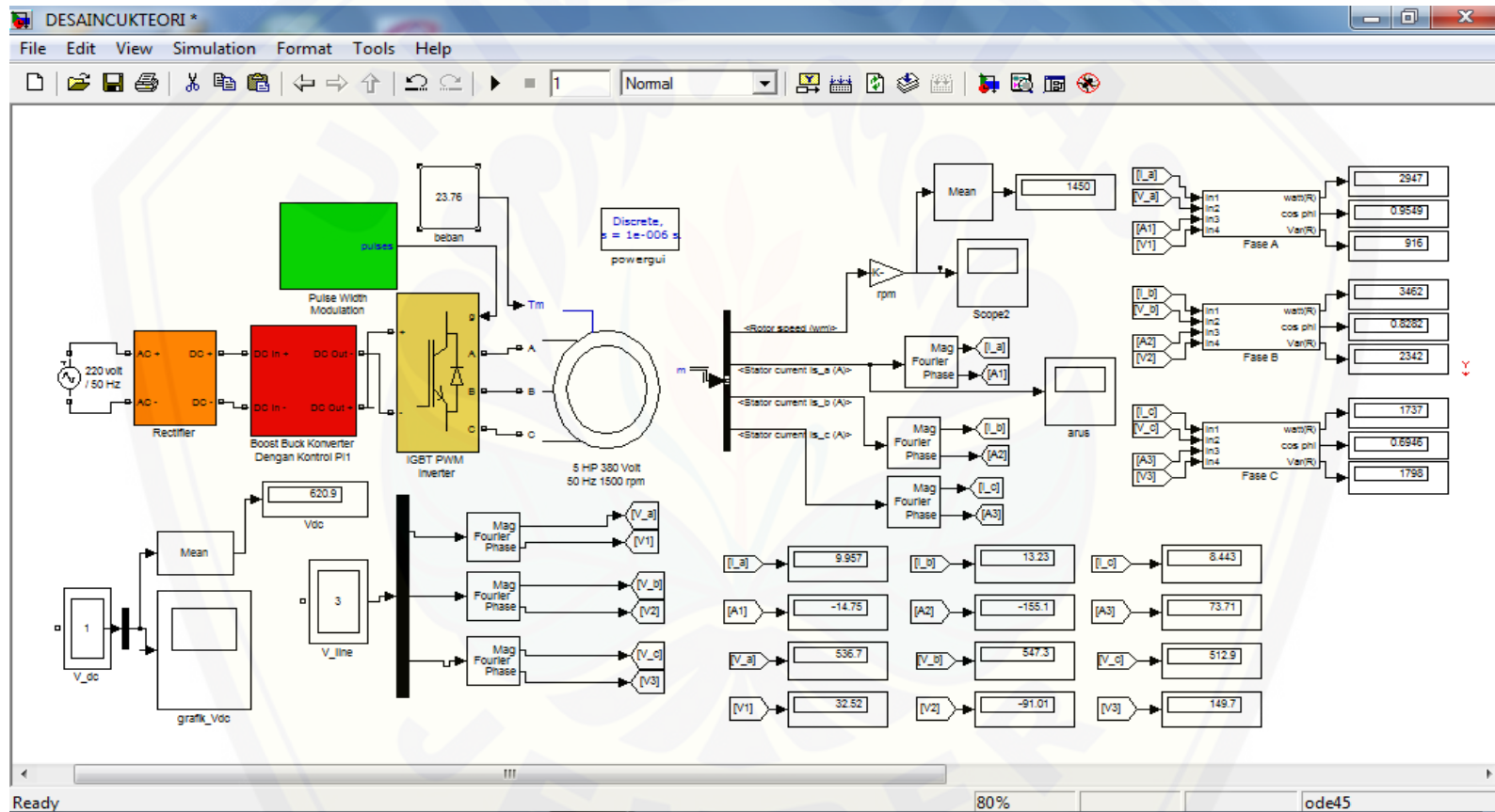
1. Alexander Aqul Islamy, 2013, *“Perancangan Simulasi Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Dengan Sumber Satu Fase Menggunakan Boost Buck Converter Regulator dan Inverter Tiga Fase Pulse Width Modulation (PWM) Menggunakan Software Matlab”*.
2. Arie Subianto, 2009, *“Analisis Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Dengan Sumber Satu Fase Menggunakan Inverter Tiga Fase Pulse Width Modulation”*.
3. Anton. 2013, *“Unjuk Kerja dan Pemanfaatan Inverter Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa” Politeknik Negeri Padang.*
4. James Dunia, Bakari M.M. Mwinyiwiwa. 2013, *“Performance Comparison between ĆUK and SEPIC Converters for Maximum Power Point Tracking Using Incremental Conductance Technique in Solar Power Applications “*
5. Muhammad Yusuf. 2013, *“Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Inverter SVPWM Sebagai Alternatif Pengganti Motor DC Pada Penggerak Elektrik Dengan Beban Variabel”*.
6. Muhammad Syafei Gozali *“Perbandingan Konverter CUK dan SEPIC Untuk Pelacakan Titik Daya Maksimum Berbasis Panel Surya”*
7. Zuhail. 1991. *Dasar Tenaga Listrik (Cetakan ke-2)*. Bandung : Penerbit ITB _____ . 1995. *Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : Gramedia Pustaka Umum.
8. Austin Hughes. *Electric motor and drives .*
9. Ned Mohan. *Power Electronics.*
10. Theraja Vol 2. *Electrical Technology.*

LAMPIRAN A

- Simulasi Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan *Sepic converter* dan *Inverter Tiga Fase PWM*.



- Simulasi Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan *Boost-Buck/Cuk converter* dan *Inverter Tiga Fase PWM*.



LAMPIRAN B

1. Simulasi Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan *Sepic converter* dan *Inverter* Tiga Fase PWM.

➤ Beban motor 0 Nm, kecepatan rotor = 1498 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	4.617	-83.45	536.4	30.76	144.3	1423	0.1009
B	4.696	157.5	537	-89.26	172.3	1446	0.1184
C	4.727	36.22	536.6	150.7	140.9	1458	0.09622

➤ Beban motor 5 Nm, kecepatan rotor = 1487 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	5.039	-63.36	532.8	30.68	702.8	1382	0.4534
B	4.943	178.4	534.3	-89.25	708.5	1350	0.4647
C	5.052	58.97	534.1	150.6	740.8	1371	0.4755

➤ Beban motor 10 Nm, kecepatan rotor = 1479 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	5.943	-52.09	532.9	30.64	1107	1455	0.6056
B	6.123	-170.3	534.1	-89.37	1193	1467	0.6309
C	6.207	67.33	533.5	150.5	1145	1531	0.5991

➤ Beban motor 15 Nm, kecepatan rotor = 1468 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	7.286	-40.93	531.1	30.51	1675	1479	0.7496
B	7.483	-159.4	532.8	-89.45	1765	1477	0.7669
C	7.56	78.57	532.3	150.4	1732	1549	0.7455

➤ Beban motor 20 Nm, kecepatan rotor = 1457 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	8.815	-34.32	530.4	30.46	2217	1539	0.8214
B	9.104	-153.1	532.6	-89.52	2331	1549	0.8329
C	9.124	74.71	531.7	150.3	2279	1628	0.8136

➤ Beban motor 23.76 Nm, kecepatan rotor = 1449 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	10.08	-30.82	530.2	30.45	2637	1602	0.8547
B	10.43	-150.1	532.6	-89.57	2764	1630	0.8613
C	10.37	87.84	531.2	150.2	2667	1703	0.8446

2. Simulasi Motor Induksi Tiga Fase dengan Sumber Satu Fase Menggunakan *Cuk converter* dan *Inverter Tiga Fase PWM*.

➤ Beban motor 0 Nm, kecepatan rotor = 1498 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	3.558	-75.13	539.6	31.63	253.7	1079	0.2289
B	5.869	163.1	543.9	-89.97	416.5	1795	0.226
C	5.011	20.21	528.6	150.4	-271.2	1505	-0.1774

➤ Beban motor 5 Nm, kecepatan rotor = 1489 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	3.921	-48.45	536.7	31.87	775.8	935	0.6385
B	6.749	-179.8	543.5	-90.18	1071	1827	0.5055
C	5.094	35.48	523.4	150.2	142.1	1533	0.0923

➤ Beban motor 10 Nm, kecepatan rotor = 1479 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	Angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	5.145	-31.95	537	32.1	1322	892.9	0.8286
B	8.298	-169.8	543.4	-90.43	1700	1984	0.6508
C	5.656	47.76	520.4	150	518	1619	0.3047

➤ Beban motor 15 Nm, kecepatan rotor = 1468 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	Angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	6.837	-21.94	536.2	32.2	1932	865.6	0.9126
B	9.844	-162.3	544.7	-90.66	2315	2055	0.7478
C	6.329	61.35	517	149.9	984.4	1612	0.5211

➤ Beban motor 20 Nm, kecepatan rotor = 1457 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	Angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	8.614	-16.79	536.1	32.35	1519	874.4	0.9447
B	11.67	-157.2	545.6	-90.86	2962	2177	0.8059
C	7.453	70.34	514.5	149.8	1439	1683	0.6498

➤ Beban motor 23.76 Nm, kecepatan rotor = 1450 rpm

Fase	Arus		Tegangan		Daya		Cos phi
	amplitude	Angle	amplitude	angle	Aktif	Reaktif	
A	9.957	-14.75	536.7	32.52	2947	916	0.9549
B	13.23	-155.1	547.3	-91.01	3462	2342	0.8282
C	8.443	73.71	512.9	149.7	1737	1798	0.6946



LAMPIRAN C

Perhitungan impedansi motor berdasarkan rangkaian ekivalen motor

➤ Pada beban 0 Nm

$$\begin{aligned}
 Z_e &= R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2}{s.k^2} + \frac{jX_2}{k^2} \right)}{\frac{R_2}{s.k^2} + j \left(X_m + \frac{X_2}{k^2} \right)} \\
 &= 1.115 + j1.8758 + \frac{j109.29 \left(\frac{1.083}{0.0013 \times 2.41^2} + j \frac{0.0024}{2.41^2} \right)}{\frac{1.083}{0.0013 \times 2.41^2} + j \left(109.29 + \frac{0.0024}{2.41^2} \right)} \\
 &= 1.115 + j1.8758 + \frac{-0.26 + j89785.58}{821.54 + j109.29} \\
 &= \frac{916.02 - 206.19 + j(1541.04 + 121.85) - 0.26 + j89785.58}{821.54 + j109.29} \\
 &= \frac{709.57 + j91448.47}{821.54 + j109.29} \\
 &= \frac{91451.22 \angle 89.55^\circ}{828.78 \angle 7.58^\circ} \\
 &= 110.34 \angle 81.97^\circ \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

Jadi nilai arus :

$$\begin{aligned}
 V &= I \cdot Z_e \\
 I &= \frac{V}{Z_e} \\
 &= \frac{379.97}{110.34} \\
 &= 3.44 \text{ A}
 \end{aligned}$$

➤ Pada beban 5 Nm

$$Z_e = R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2}{s.k^2} + \frac{jX_2}{k^2} \right)}{\frac{R_2}{s.k^2} + j \left(X_m + \frac{X_2}{k^2} \right)}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.115 + j1.8758 + \frac{j109.29\left(\frac{1.083}{0.0073 \times 2.23^2} + j\frac{0.0137}{2.23^2}\right)}{\frac{1.083}{0.0073 \times 2.23^2} + j\left(109.29 + \frac{0.0137}{2.23^2}\right)} \\
 &= 1.115 + j1.8758 + \frac{-2.21 + j23879.85}{218.49 + j190.31} \\
 &= \frac{243.62 - 356.98 + j(409.84 + 122.2) - 2.21 + j23879.85}{218.49 + j190.31} \\
 &= \frac{-115.57 + j24411.89}{218.49 + j190.31} \\
 &= \frac{24412 \angle 89.72^\circ}{106.32 \angle 5.89^\circ} \\
 &= 104.32 \angle 83.64^\circ \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

Jadi nilai arus :

$$\begin{aligned}
 V &= I \cdot Z_e \\
 I &= \frac{V}{Z_e} \\
 &= \frac{377.97}{104.32} \\
 &= 3.623 \text{ A}
 \end{aligned}$$

➤ Pada beban 10 Nm

$$\begin{aligned}
 Z_e &= R_1 + jX_1 + \frac{jX_m\left(\frac{R_2}{s \cdot k^2} + \frac{jX_2}{k^2}\right)}{\frac{R_2}{s \cdot k^2} + j\left(X_m + \frac{X_2}{k^2}\right)} \\
 &= 1.115 + j1.8758 + \frac{j109.29\left(\frac{1.083}{0.01467 \times 1.71^2} + j\frac{0.02752}{1.71^2}\right)}{\frac{1.083}{0.01467 \times 1.71^2} + j\left(109.29 + \frac{0.02752}{1.71^2}\right)} \\
 &= 1.115 + j1.8758 + \frac{-7.8 + j21057.05}{192.67 + j109.36} \\
 &= \frac{214.83 - 205.14 + j(361.41 + 121.94) - 7.8 + j21057.05}{192.67 + j109.36}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1.89 + j21540.4}{192.67 + j109.36} \\
 &= \frac{18901.19 \angle 89.55^\circ}{221.54 \angle 7.58^\circ} \\
 &= 85.32 \angle 81.97^\circ \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

Jadi nilai arus :

$$\begin{aligned}
 V &= I \cdot Z_e \\
 I &= \frac{V}{Z_e} \\
 &= \frac{377.78}{85.32} \\
 &= 4.43 \text{ A}
 \end{aligned}$$

➤ Pada beban 15 Nm

$$\begin{aligned}
 Z_e &= R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2}{s \cdot k^2} + \frac{jX_2}{k^2} \right)}{\frac{R_2}{s \cdot k^2} + j \left(X_m + \frac{X_2}{k^2} \right)} \\
 &= 1.115 + j1.8758 + \frac{j109.29 \left(\frac{1.083}{0.0213 \times 1.42^2} + j \frac{0.0399}{1.42^2} \right)}{\frac{1.083}{0.0213 \times 1.42^2} + j \left(109.29 + \frac{0.0399}{1.42^2} \right)} \\
 &= 1.115 + j1.8758 + \frac{-435.19 + j9655.99}{204.35 + j194.27} \\
 &= \frac{5657.9 - 364.41 + j(9518.47 + 216.61) - 435.19 + j9655.99}{204.35 + j194.27} \\
 &= \frac{4858.3 + j19391.07}{204.35 + j194.27} \\
 &= \frac{19990.4 \angle 89.55^\circ}{278.07 \angle 7.58^\circ} \\
 &= 70.01 \angle 81.97^\circ \text{ ohm}
 \end{aligned}$$

Jadi nilai arus :

$$V = I \cdot Z_e$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{Z_e} \\ &= \frac{376.63}{70.01} \\ &= 5.37 \text{ A} \end{aligned}$$

➤ Pada beban 23.76 Nm

$$\begin{aligned} Z_e &= R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2}{s \cdot k^2} + \frac{jX_2}{k^2} \right)}{\frac{R_2}{s \cdot k^2} + j \left(X_m + \frac{X_2}{k^2} \right)} \\ &= 1.115 + j1.8758 + \frac{j109.29 \left(\frac{1.083}{0.033 \times 1.21^2} + j \frac{0.06246}{1.21^2} \right)}{\frac{1.083}{0.033 \times 1.21^2} + j \left(109.29 + \frac{0.06246}{1.21^2} \right)} \\ &= 1.115 + j1.8758 + \frac{-681.26 + j357953.6}{3275.26 + j196.52} \\ &= \frac{3651.9 - 368.6 + j(613.9 + 219.1) - 681.26 + j357953.6}{3275.26 + j196.52} \\ &= \frac{2602.04 + j358786.6}{3275.26 + j196.52} \\ &= \frac{165634.98 \angle 89.55^\circ}{3281.2 \angle 7.58^\circ} \\ &= 50.48 \angle 81.97^\circ \text{ ohm} \end{aligned}$$

Jadi nilai arus :

$$\begin{aligned} V &= I \cdot Z_e \\ I &= \frac{V}{Z_e} \\ &= \frac{376.39}{50.48} \\ &= 7.45 \text{ A} \end{aligned}$$