



**PENGGUNAAN MINI DVR SEBAGAI PEMULIH TEGANGAN
UNTUK PENGGANTI UPS MENGGUNAKAN
PI CONTROLLER**

SKRIPSI

Oleh :

ALIF FIRDAUS

NIM : 081910201030

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

2013



**PENGGUNAAN MINI DVR SEBAGAI PEMULIH TEGANGAN
UNTUK PENGGANTI UPS MENGGUNAKAN
PI CONTROLLER**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

ALIF FIRDAUS

NIM : 081910201030

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

2013

PERSEMBAHAN

Skripsi ini merupakan gerbang awal sebelum menuju kesuksesan selanjutnya dalam hidup. Untuk itu saya ingin mempersembahkan karya ini kepada:

- 1. Ibunda Fikholqis dan Ayahanda Wargiyo, terima kasih atas doa, dukungan, kasih sayang, kesabaran, ketabahan dan doa restunya;*
- 2. Teman dan sahabatku sebagai tempat berbagi suka dan duka yang tidak akan terlupakan karena kalianlah aku bisa seperti ini;*
- 3. Buat semua dosen, teman Project-D dan Jurusan Teknik Elektro. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan yang ikut dalam membantu dan berdoa;*
- 4. Guru-guruku sejak TK sampai Perguruan Tinggi yang terhormat, terima kasih telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran;*
- 5. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.*

Tanpa kalian semua, karya ini tidak akan pernah selesai. Terima kasih banyak untuk bimbingan, doa serta kasih sayang yang telah saya terima.

MOTTO

“Man Jadda Wa Jadda (siapa yang bersungguh-sungguh, akan berhasil)”

“Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari Al'alaq. Bacalah, dan Tuhanmulah yang Maha Pemurah. Yang mengajar manusia dengan perantaraan kalam, mengajar manusia apa yang tidak diketahuinya”

(QS Al-'Alaq [96]: 1-5)

” Manusia tidak merancang untuk gagal, mereka gagal untuk merancang”

(William J. Siegel)

”Hiduplah seperti pohon kayu yang lebat buahnya; hidup di tepi jalan dan dilempari orang dengan batu, tetapi dibalas dengan buah”

(Abu Bakar Sibli)

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

(QS Al-Baqarah: 282)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alif Firdaus

NIM : 081910201030

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: **Penggunaan Mini DVR Sebagai Pemulih Tegangan Untuk Pengganti UPS Menggunakan PI Controller** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, Juni 2013

Yang menyatakan,

Alif Firdaus
NIM. 081910201030

SKRIPSI

**PENGGUNAAN MINI DVR SEBAGAI PEMULIH TEGANGAN
UNTUK PENGGANTI UPS MENGGUNAKAN
PI CONTROLLER**

Oleh

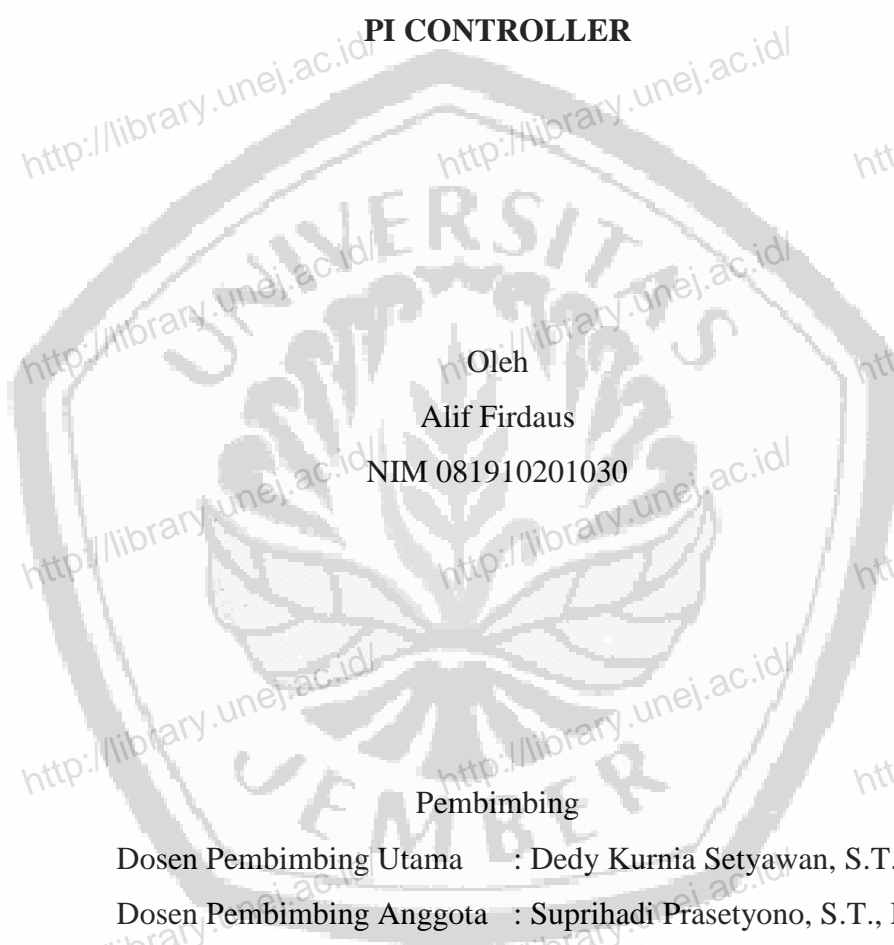
Alif Firdaus

NIM 081910201030

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedy Kurnia Setyawan, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.



PENGESAHAN

Skripsi berjudul **Penggunaan Mini DVR Sebagai Pemulih Tegangan Untuk Pengganti UPS Menggunakan PI Controller** telah diuji dan disahkan oleh Fakultas

Teknik Universitas Jember pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

NIP. 19800610 200501 1 003

NIP. 19700404 199601 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T.,M.T.

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

NIP. 19710402 200312 1 001

NIP. 19700826 199702 1 001

Mengesahkan

Dekan,

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP. 19610414 198902 1 001

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul **Penggunaan Mini DVR Sebagai Pemulih Tegangan Untuk Pengganti UPS Menggunakan Pi Controller** dapat terselesaikan dengan baik. Laporan skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

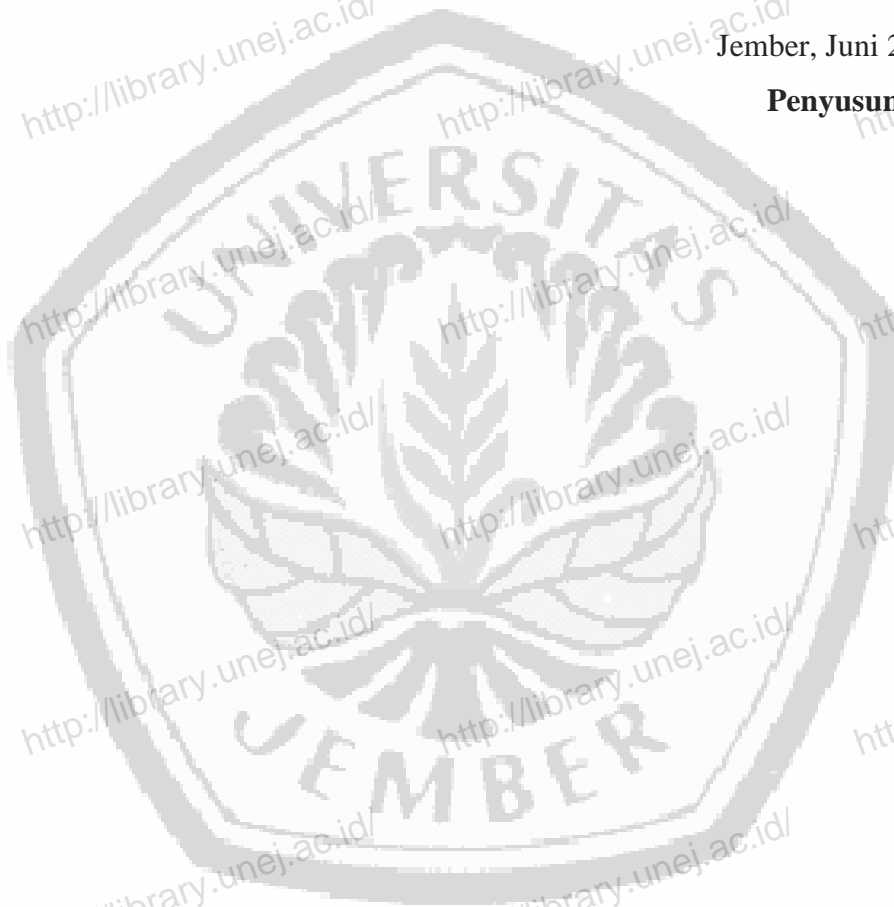
Terselesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ir. Widiono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Sumardi, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT selaku dosen pembimbing Utama dan Suprihadi Prasetyono, ST., MT. selaku dosen pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesainya penulisan laporan skripsi ini;
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T.,M.T. dan Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T., selaku Tim Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu memberikan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
5. Ibunda Fikholqis, Ayahanda Wargiyo, dan adikku Ahda terima kasih atas doa, dukungan, ketulusan, kasih sayang, kesabaran, ketabahan dan doa restunya;
6. Teman-teman seperjuangan di teknik elektro yang telah membantu meluangkan pikiran dan tenaga demi terselesainya laporan tugas akhir ini.

Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro, kritik dan saran diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan diharapkan dapat dikembangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, Juni 2013

Penyusun



Penggunaan Mini DVR Sebagai Pemulih Tegangan Untuk Pengganti UPS Menggunakan PI Controller

Alif Firdaus

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Tegangan jatuh dan pemadaman listrik merupakan gangguan listrik yang apabila terus terjadi dapat merusak komponen listrik. Penelitian ini merupakan perancangan penstabil tegangan akibat gangguan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah menggabungkan prinsip kerja dari DVR (*Dynamic Voltage Restorer*) dan UPS (*Uninterruptible Power System*). Setiap alat tersebut terdapat kekurangan dan kelebihan masing-masing. Penelitian ini bertujuan menggabungkan kelebihan tiap alat tersebut yaitu menstabilkan tegangan akibat tegangan jatuh fungsi dari DVR dan menjadi sumber listrik apabila terjadi pemadaman listrik fungsi dari UPS. Kontrol yang digunakan pada mini DVR adalah PI Controller dengan nilai $K_p=0.27$ dan $K_i=0.01$ yang merupakan nilai konstanta yang memberi nilai respon yang baik. Dengan menggunakan mini DVR, gangguan berupa jatuh tegangan dan pemadaman listrik dapat diatasi, sehingga peralatan listrik yang digunakan mendapat *supply* listrik yang stabil.

Kata kunci : DVR (*Dynamic Voltage Restorer*), tegangan jatuh, pemadaman listrik, PI Controller, UPS (*Uninterruptible Power System*).

The Using Of Mini DVR as Voltage Restorer for Replace UPS

by PI Controller

Alif Firdaus

Departement of Electrical Engineering, Fakultas of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Voltage drop and power outage are electrical disturbances that can happening if it continues to damage the electrical components. This study is the design of the interference a voltage stabilizer. The purpose of this study is to combine the working principle of a DVR (Dynamic Voltage Restorer) and UPS (Uninterruptible Power System). Each of these tools there are shortages and advantages of each. This research aims to combine the advantages of each of these tools is to stabilize the voltage due to the voltage drop of the DVR functions and a power source in the event of a power outage the UPS function. The controls used in mini DVR is a PI controller with $K_p = 0,27$ and $K_i = 0,01$ which is a constant value which gave a good response. By using a mini DVR, interference voltage drop and power outages can resolved, so that the equipment gets used electricity were stable electricity supply.

KeyWord : *DVR (Dynamic Voltage Restorer), drop voltage, voltage outage, PI Controller, UPS (Uninterruptible Power System).*

RINGKASAN

Penggunaan Mini DVR Sebagai Pemulih Tegangan Untuk Pengganti Ups Menggunakan PI Controller: Alif Firdaus : 081910201030: 2013: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Akibat berkembangnya dunia industri saat ini, kebutuhan listrik menjadi kebutuhan yang harus terpenuhi, tidak hanya makanan yang penting bagi kehidupan, tapi listrik juga menjadi kebutuhan penting pada era sekarang. Kualitas listrik yang disalurkan ke konsumen tersebut haruslah memenuhi standar, antara lain dapat ditinjau dari gangguan yang sering terjadi pada konsumen. Gangguan yang sering terjadi biasanya berupa teagangan jatuh dan pemadaman listrik pada tegangan rendah. Oleh karena itu perlu adanya suatu alat yang dapat meminimalisir gangguan tersebut salah satunya adalah DVR dan UPS.

DVR (*Dynamic Voltage Restorer*) adalah suatu alat penginjeksi tegangan terkontrol pada suatu sistem kelistrikan apabila terjadi gangguan berupa tegangan sumber yang fluktuatif, sehingga tegangan pada beban dapat stabil. UPS (*Uninterruptible Power System*) adalah sebuah alat penyedia daya listrik apabila terjadi gangguan berupa tegangan sumber mati atau padam. Oleh karena itu perlu adanya suatu alat yang dapat meminimalisis gangguan berupa tegangan sumber yang fluktuatif dan tegangan sumber mati yaitu mini DVR yang dirancang pada penelitian ini.

Mini DVR pada penelitian ini menggunakan PI *Controller* dengan metode *try and error*. Mini DVR terdiri dari beberapa bagian antara lain sumber DC yang nantinya akan dirubah dalam bentuk tegangan AC, inverter merupakan bagian yang mengubah tegangan DC menjadi AC, selain itu terdapat sebuah kontrol yang akan mengontrol level dari inverter apakah harus menghasilkan tegangan besar atau kecil, sebuah sensor yang menjadi referensi kontrol itu. Bagian-bagian tersebut dirancang

dan dilakukan pengujian terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi sebuah mini DVR. Langkah terakhir dalam penelitian ini adalah penyusunan bagian-bagian tersebut menjadi mini DVR dan dilakukan analisis kinerjanya.

Dari pengujian yang dilakukana, konstanta $K_p=0,27$ dan $K_i=0,01$ merupakan konstanta yang memiliki respon baik dengan menggunakan metode *try and error*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah mini DVR dapat meminimalisir gangguan tegangan yang terjadi. Hal ini sesuai dengan tujuan awal yaitu untuk meminimalisir gangguan berupa tegangan sumber yang fluktuatif dan pemadaman listrik.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
PRAKATA	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
RINGKASAN	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Gangguan Tegangan.....	4
2.2 DVR (<i>Dynamic Voltage Restorer</i>)	9
2.2.1 Inverter	10
2.2.2 Filter	11
2.2.3 Sumber DC.....	13

2.2.4 PID Controller	14
2.2.5 Beban	15
2.3 UPS (<i>Uninterruptible Power Supply</i>)	20
BAB 3. METODE PENELITIAN	22
3.1 Tempat dan waktu penelitian	22
3.2 Flowchart	22
3.3 Mini DVR	24
3.3.1 Tegangan Sumber AC	25
3.3.2 Beban	25
3.3.3 Sensor	26
3.3.4 Inverter PWM	26
3.3.5 PI Controller	27
3.3.6 Sumber DC	29
3.3.7 Transformator Seri	29
3.3.8 Rangkaian Driver Mosfet	31
3.4 UPS (<i>Uninterruptible Power Supply</i>)	31
BAB 4. HASIL DAN ANALISA DATA	33
4.1 Pengambilan data	33
4.2 Perangkat dan Pengujian	33
4.2.1 Pengujian Analog Digitan Converter pada Sensor Tegangan ...	34
4.2.2 Pengujian PWM	36
4.2.3 Pengujian Kontrol PI	40
4.3 Pengujian dan Pembahasan	42
4.3.1 Tegangan Sumber Konstan	42
4.3.2 Tegangan Sumber Fluktuatif	43
a. Tegangan Sumber 200V-25V	43
b. Tegangan Sumber Naik-Turun	44
4.3.3 Tegangan Sumber Mati	46
4.3.4 Pengaruh Bertambahnya Daya Beban	47

4.3.5 Pengaruh Transformator Seri	48
BAB 5. PENUTUP.....	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	56
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kategori dan karakteristik gangguan kualitas daya listrik (IEEE Std. 1159 – 1995)	5
Tabel 2.2 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter	15
Tabel 4.1 Data pengujian ADC	34
Tabel 4.2 Data output inverter akibat perubahan nilai PWM	39
Tabel 4.3 Data pengujian konstanta PI pada inverter	41
Tabel 4.4 Data pengujian tegangan sumber konstan	42
Tabel 4.5 Data pengujian tegangan sumber 200V-25V	43
Tabel 4.6 Data pengujian tegangan sumber fluktuatif naik-turun.....	45
Tabel 4.7 Data pengujian mini DVR sebagai UPS	46
Tabel 4.8 Data pengujian pengaruh besar beban yang digunakan	47
Tabel 4.9 Data pengujian terhadap pengaruh transformator seri	50
Tabel 4.10 Data hasil simulasi pengaruh transformator seri.....	52

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram segaris simulasi tegangan kedip	6
Gambar 2.2 Diagram vektor dari tegangan kedip	7
Gambar 2.3 Gelombang terjadinya tegangan kedip	7
Gambar 2.4 Klasifikasi besar dan durasi tegangan standart IEEE.....	8
Gambar 2.5 Inverter 1 fasa.....	10
Gambar 2.6 Inverter 3 fasa.....	11
Gambar 2.7 Gelombang beban resistif gelombang AC	17
Gambar 2.8 Grafik arus dan tegangan pada beban resistif.....	17
Gambar 2.9 Gelombang beban induktif gelombang AC.....	18
Gambar 2.10 Grafik arus dan tegangan pada beban induktif.....	18
Gambar 2.11 Gelombang beban kapasitif gelombang AC.....	19
Gambar 2.12 Grafik arus dan tegangan pada beban kapasitif.....	19
Gambar 3.1 Alur penelitian.....	23
Gambar 3.2 Blok diagram DVR.....	25
Gambar 3.3 Sensor tegangan.....	26
Gambar 3.4 (a) Inverter <i>full bridge</i> ; (b) Mosfet IRFZ44N	27
Gambar 3.5 (a) ATMEGA 16; (b) Konfigurasi pin ATMEGA 16	29
Gambar 3.6 Tranfomator step up.....	30
Gambar 3.7 Rangkain driver mosfet	31
Gambar 4.1 Grafik perbandingan antara ADC praktek dan teori	35
Gambar 4.2 PWM <i>duty cycle</i> 0%	37
Gambar 4.3 PWM <i>duty cycle</i> 10%	38
Gambar 4.4 PWM <i>duty cycle</i> 25%	38
Gambar 4.5 PWM <i>duty cycle</i> 50%	38
Gambar 4.6 PWM <i>duty cycle</i> 75%	38

Gambar 4.7 PWM <i>duty cycle</i> 90%	39
Gambar 4.8 PWM <i>duty cycle</i> 100%	39
Gambar 4.9 Grafik perbandingan antara <i>duty cycle</i> dengan tegangan output inverter.....	40
Gambar 4.10 Desain kontrol PI untuk mengatur tegangan inverter.....	41
Gambar 4.11 Grafik perbandingan tegangan sumber dengan tegangan beban	44
Gambar 4.12 Grafik perbandingan tegangan sumber fluktuatif dengan tegangan beban.....	45
Gambar 4.13 Grafik perbandingan mini DVR dengan UPS pasaran.....	47
Gambar 4.14 Grafik perbandingan tegangan inverter terhadap bertambahnya daya beban	48
Gambar 4.15 Grafik perbandingan tegangan inverter akibat induktansi pada transformator seri	51
Gambar 4.16 (a) Rangkaian Trafo; (b) Rangkaian pengganti trafo	51
Gambar 4.17 Terjadinya pergeseran tegangan menggunakan simulasi	52

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Akibat berkembangnya dunia industri saat ini, kebutuhan listrik menjadi kebutuhan yang harus terpenuhi, tidak hanya makanan yang penting bagi kehidupan, tapi listrik juga menjadi kebutuhan penting pada era sekarang. Dalam penyaluran energi listrik agar sampai ke konsumen, dilakukan dengan tiga tahapan yaitu dari pembangkit yang merupakan sumber listrik, kemudian sisi transmisi yang menyalurkan listrik antara pembangkit dan sistem distribusi, dan sisi yang terakhir adalah distribusi. Ketiga komponen tersebut berperan penting dalam penyaluran listrik agar sampai ke konsumen.

Kualitas sumber listrik yang disalurkan ke konsumen haruslah memenuhi standar, antara lain dapat ditinjau dari gangguan yang sering terjadi pada konsumen. Seperti kualitas makanan yang dikonsumsi oleh manusia, apabila kualitas makanan itu buruk, maka akan mempengaruhi kesehatan manusia itu sendiri. Hal tersebut juga berlaku pada listrik yang kita gunakan, apabila kualitas energi listrik itu jelek atau sering terjadi gangguan, maka peralatan yang kita gunakan akan mengalami gangguan atau bahkan kerusakan. Oleh karena itu perlu adanya suatu alat yang dapat meminimalisir gangguan yang terjadi salah satunya adalah DVR dan UPS.

DVR (*Dynamic Voltage Restorer*) adalah suatu alat penginjeksi tegangan terkontrol pada suatu sistem kelistrikan apabila terjadi gangguan berupa tegangan sumber yang fluktuatif, sehingga tegangan pada beban dapat stabil. DVR biasanya terdapat pada tegangan tinggi maupun tegangan menengah. Kekurangan DVR pada umumnya adalah tidak diterapkan pada tegangan rendah, padahal pada tegangan rendah juga sering terjadi gangguan berupa tegangan sumber yang fluktuatif.

UPS (*Uninterruptible Power System*) adalah sebuah alat penyedia daya listrik apabila terjadi gangguan berupa tegangan sumber mati atau padam. UPS sering digunakan pada suatu komputer yang bertujuan apabila suatu waktu terjadi

pemadaman listrik, komputer masing menyala dan pengguna masih diberi waktu untuk menyimpan suatu file. Kekurangan UPS adalah hanya berfungsi apabila terjadi gangguan berupa tegangan sumber mati.

Oleh karena itu perlu adanya suatu alat yang dapat meminimalisir gangguan berupa tegangan sumber yang fluktuatif dan tegangan sumber mati atau pemadaman listrik. Pada penelitian ini akan dibuat sebuah alat yang dapat meminimalisir gangguan berupa tegangan sumber yang fluktuatif dan pemadaman listrik pada tegangan rendah skala rumah tangga sehingga gangguan-gangguan tersebut tidak berdampak pada komponen listrik yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah penelitian ini adalah

1. Bagaimana mendesain dan membuat alat penstabil tegangan berupa mini DVR untuk menggantikan UPS?
2. Bagaimana mendesain kontrol mini DVR menggunakan PI *controller* yang dapat berfungsi sebagai pemulih tegangan sekaligus sebagai pengganti UPS?

1.3 Batasan Masalah

1. DVR yang didesain adalah untuk sistem 1 fasa
2. Gangguan yang terjadi berupa tegangan jatuh dan pemadaman listrik
3. Sumber DC yang digunakan adalah aki dengan spesifikasi 12V 5Ah
4. Beban yang digunakan berupa lampu dengan daya yang telah ditentukan.
5. Rugi-rugi pada rangkaian tidak diperhitungkan

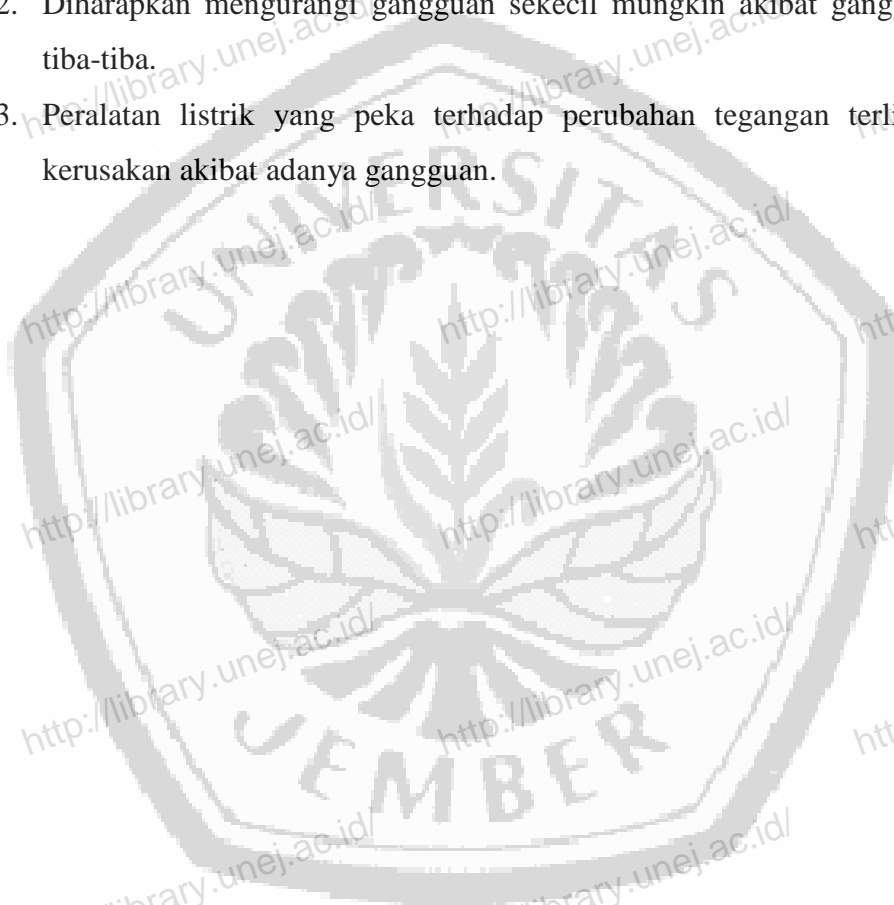
1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat alat penstabil tegangan berupa mini DVR yang dapat menstabilkan tegangan akibat naik turun tegangan sumber. Selain itu mini DVR yang dibuat dapat difungsikan sebagai UPS dengan menggunakan PI

controller. Tujuan yang lain adalah untuk menganalisis kinerja kontrol PI yang telah didesain pada mini DVR.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Terciptanya alat berupa mini DVR pengganti UPS untuk pemulihan tegangan.
2. Diharapkan mengurangi gangguan sekecil mungkin akibat gangguan secara tiba-tiba.
3. Peralatan listrik yang peka terhadap perubahan tegangan terlindung dari kerusakan akibat adanya gangguan.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gangguan Tegangan

Drop tegangan didefinisikan sebagai penurunan nilai tegangan efektif (*rms*) antara 0.1 sampai 0.9 pu selama periode waktu 0,5 detik sampai dengan satu menit. Pada umumnya *drop* tegangan selalu dikaitkan dengan adanya gangguan pada sistem, akan tetapi *drop* tegangan tidak hanya terjadi dikarenakan adanya gangguan pada sistem, *drop* tegangan juga dapat terjadi dikarenakan adanya starting motor berkapasitas besar dan pembebanan yang sangat besar. Oleh karena itu, *Drop* tegangan merupakan permasalahan yang sangat penting dalam menjaga kualitas daya yang akan disalurkan kepada konsumen.

Dalam sistem tenaga, *drop* tegangan pada umumnya terjadi dikarenakan adanya gangguan hubung singkat pada sistem. Gangguan hubung singkat pada penyulang distribusi radial menyebabkan terjadinya *drop* tegangan pada busbar gardu induk. *Drop* tegangan ini akan dirasakan oleh pelanggan yang disuplai dari transformator tegangan menengah maupun tegangan rendah yang sama.

Pada rumah tangga terdapat peralatan yang banyak menggunakan listrik dan terdapat komponen-komponen peralatan rumah tangga yang dapat rusak apabila tegangan berubah-ubah atau tidak stabil. Peralatan tersebut antara lain televisi, *Personal Komputer* (PC), radio dan masih banyak lagi peralatan yang menggunakan rangkaian elektronika yang sensitif terhadap perubahan tegangan. Penggunaan secara terus menerus akan ada efek pada peralatan tersebut, salah satunya adalah kurang optimalnya kinerja dari peralatan tersebut atau bahkan menyebabkan kerusakan peralatan tersebut.

Tabel 2.1 Kategori dan karakteristik Gangguan Kualitas Daya Listrik
(IEEE Std. 1159 – 1995)

Categories	Typical Spectral Content	Duration	Magnitude
Transients			
<i>Impulsiv</i>			
Nanosecond	5 - ns rise	< 50 μ s	
Microsecond	1 - μ s rise	50 ns - 1 ms	
Milisecond	0.1 - Ms rise	> 1 ms	
<i>Oscillatory</i>			
Low Frequency	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu (per unit)
Medium frequency	5 - 500kHz	20 μ s	0 - 8 pu
High Frequency	0.5 - 5 MHz	5 μ s	0 - 4 pu
Long Duration Variation			
<i>Interruption</i>		> 1 minute	0.0 pu
Under Voltage		> 1 minute	0.8 - 0.9 pu
Over Voltage		> 1 minute	1.1 - 1.2 pu
Voltage Imbalace		Steady state	0.5 - 2 %
Waveform Distortion			
DC Offset	0 - 100 harmonic	Steady state	0 - 0.1 %
Harmonics	0 - 6 kHz	Steady state	0 - 20 %
Iner harmonics		Steady state	0 - 2 %

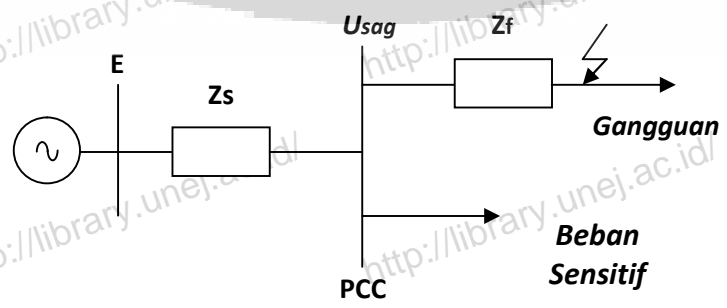
Notching	Broadband	Steady state	
Categories	Typical Speetral Content	Duration	Magnitude
Noise	< 25 Hz	Steady state	0 - 1 %
Voltage Fluctuations			0.1 - 7 % 0.2 2 Pst
Power Frequency Variations		< 10 s	

Magnitudo dan fasa dari tegangan usag selama terjadi tegangan kedip pada *Point of Common Coupling* (PCC) ditentukan oleh besarnya impedansi gangguan dan impedansi sumber, dengan persamaan (2.1) berikut (Bambang P.H.,2010) :

$$U_{sag} = E \frac{z_f}{z_f + z_s} \dots\dots\dots(2.1)$$

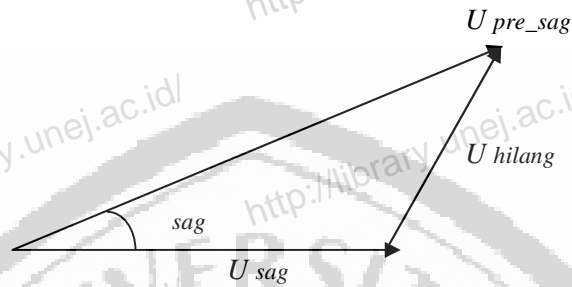
Dengan :

- U_{sag} = tegangan selama terjadi sag di PCC
- E = Tegangan suplai
- Z_s = Impedansi sumber
- Z_f = Impedansi pada saluran yang terganggu



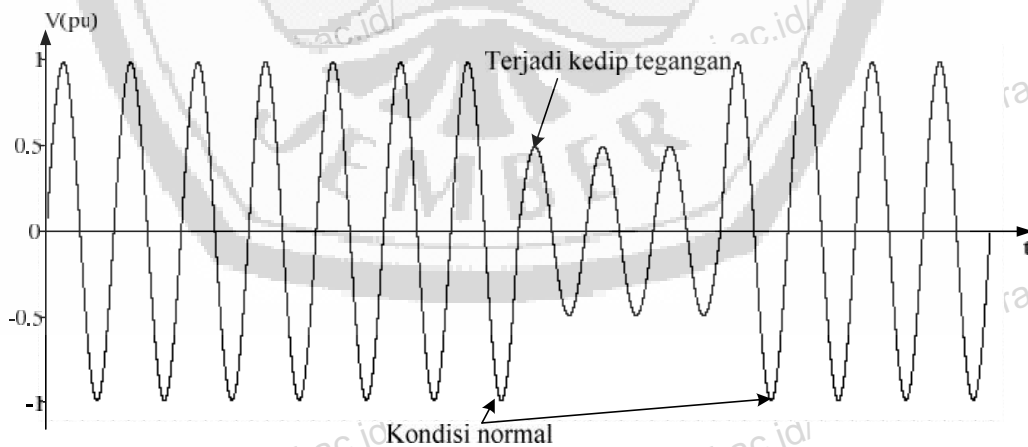
Gambar 2.1. Diagram segaris simulasi tegangan kedip

Perbedaan $usag$ dengan tegangan sebelum gangguan $upre_sag$ sebesar u hilang, dapat ditulis secara matematis sebagai: $usag = upre_sag - u\ hilang$, dan dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram vektor dari tegangan kedip

Perbedaan magnitudo dan pergeseran fasa sag dapat terjadi saat tegangan kedip berlangsung. Kedua besaran itu merupakan bagian dari tegangan kedip. Bentuk gelombang saat terjadi tegangan kedip dapat dilihat pada Gambar 2.3

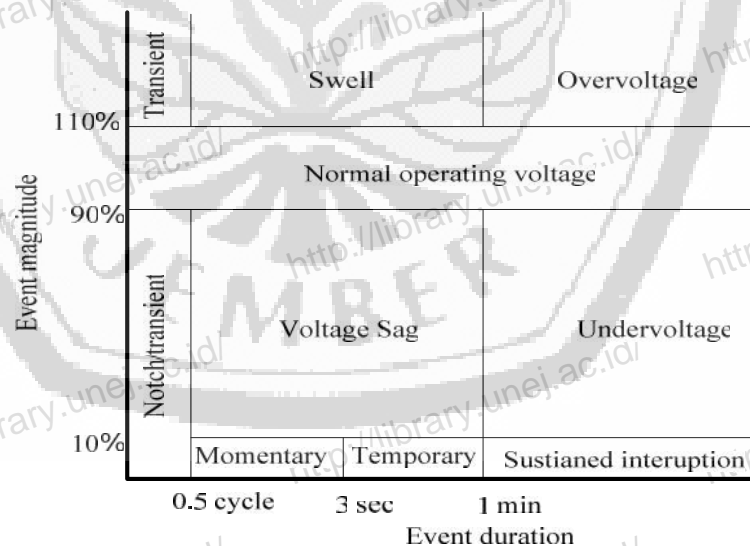


Gambar 2.3 Gelombang terjadinya tegangan kedip (Bambang P.H.,2007)

Dari studi yang telah banyak dilakukan, menyimpulkan bahwa tegangan kedip dapat disebabkan oleh berbagai macam kejadian di sistem tenaga, antara lain :

1. Gangguan hubung singkat, yang terjadi di instalasi itu sendiri ataupun yang terjadi di penyulang lain.
2. Surja alih-hubungan akibat pengoprasian pemutus tenaga di saluran tenaga tegangan tinggi atau sistem distribusi.
3. Perubahan beban yang cukup besar secara tiba – tiba.
4. Karakteristik pembebanan konsumen, seperti : *starting* motor kapasitas besar, mesin pemotong logam berkapasitas besar.

Klasifikasi tegangan kedip adalah 10% - 90% dari magnitudo tegangan dan dari setengah siklus sampai satu menit, yang dapat dilihat pada Gambar 2.4., berdasarkan standart IEEE 1159 – 1995. (Bambang P.H.,2010)



Gambar 2.4 Klasifikasi besar dan durasi dari tegangan standart IEEE

Upaya didalam mengatasi gangguan kedip tegangan dapat dilakukan berdasarkan penyebabnya. Apabila kedip tegangan berasal dari *system supply* maka

pihak pemasok tegangan listrik melakukan perbaikan pada pengelompokan beban – beban yang kritis dan mengupayakan perbaikan pada system sirkuit agar daya yang disalurkan ke konsumen sesuai dengan standar kualitas yang dikehendaki, dan jika kedip tegangan berasal dari sisi beban (konsumen maka perbaikan dilakukan dengan cara memanfaatkan teknologi elektronika daya sebagai kompensator daya, salah satunya dengan *Dynamic Voltage Restorer* (DVR).

2.2 DVR (*Dynamic Voltage Restorer*)

Prinsip dasar DVR adalah menginjeksi tegangan dinamik terkontrol yang dihasilkan oleh inverter secara seri pada bus tegangan dengan suatu trafo seri (*booster transformer*). Pada saat terjadi penurunan tegangan pada bus akibat gangguan, secara otomatis DVR bekerja menginjeksikan tegangan dinamik terkontrol untuk mengurangi pengaruh bus yang mengalami penurunan tegangan. Mula-mula saat terjadi penurunan tegangan, sensor deteksi gangguan akan memonitoring level tegangan pada bus. Hasil monitoring tersebut akan dikirimkan sebagai sinyal input pada rangkaian kontrol DVR. Sinyal tersebut diolah sedemikian rupa pada rangkaian kontrol sehingga menjadi sinyal referensi bagi *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) untuk mengatur besarnya tegangan yang harus diinjeksikan oleh inverter.

Prinsip injeksi tegangan adalah apabila sumber tegangan dengan frekuensi tertentu dihubungkan seri dengan sumber tegangan yang lain dengan frekuensi sama, maka akan dihasilkan tegangan yang besarnya sama dengan penjumlahan kedua sumber tegangan tersebut. Sebagai contoh diketahui amplitudo masing-masing tegangan V_s dan V_i dengan frekuensi (f) yang sama, yaitu $V_s = 200$ V dengan frekuensi 50 Hz dan V_i adalah 100 V, maka besar tegangan total sebesar 300 V dengan frekuensi 50 Hz.

Komponen dasar DVR adalah inverter, kontrol, sumber DC dan filter. Komponen-komponen tersebut akan dijelaskan pada sub bab berikut :

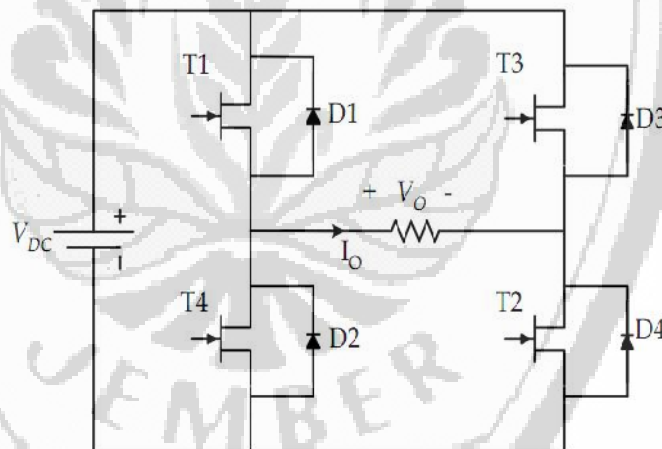
2.2.1 Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC). Keluaran inverter dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap, sumber tegangan input inverter dapat menggunakan baterai, *cell* bahan bakar, tenaga surya, atau sumber DC lain. Tegangan output yang dihasilkan adalah 120V 60 Hz, 220V 50 Hz, 115V 400 Hz (M. Thanthawi Yahya, 2007)

Inverter dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam :

1. Inverter 1 fasa

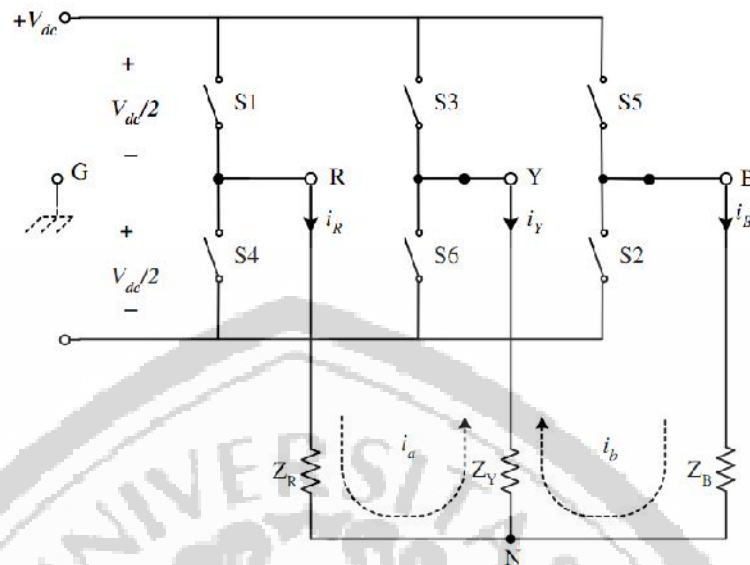
Inverter 1 fasa terdiri dari 4 semikonduktor berupa mosfet atau IGBT dimana penyusunannya hampir mirip dengan rectifier, hanya saja berbeda pada pengaturannya, mosfet dapat diatur sinyal pemicunya.



Gambar 2.5 Inverter 1 fasa (Dr.Zianal Salam,2003)

2. Inverter 3 fasa.

Prinsip kerjanya sama dengan inverter 1 fasa, perbedaannya hanya terdapat pada jumlah mosfet yaitu 6 buah dan output tegangan yang dihasilkan berupa 3 fasa.



Gambar 2.6 Inverter 3 fasa (Dr.Zianal Salam,2003)

Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa (*pulse width modulation* – PWM). Inverter juga dapat dibedakan dengan cara pengaturan tegangannya, yaitu :

- 1 Jika yang diatur tegangan input konstan disebut *Voltage Fed Inverter* (VFI),
- 2 Jika yang diatur arus input konstan disebut *Current Fed Inverter* (CFI),
- 3 Jika tegangan input yang diatur disebut *Variable dc linked inverter*.

2.2.2 Filter

Rangkaian filter (rangkain penyaring) merupakan rangkaian yang di desain hanya untuk memperbolehkan suatu frekuensi pada rentang tertentu memiliki nilai redaman (*atenuasi*) yang kecil (disebut sebagai '*Pass Band*'), sedangkan pada rentang frekuensi lainnya memiliki nilai redaman yang sangat besar (disebut sebagai '*Attenuation Band*' atau '*Stop Band*'). Sebuah rangkaian filter bisa terdiri hanya dari komponen-komponen pasif dan biasa disebut sebagai rangkaian filter pasif (*Passive Filter Network*). Ada juga rangkaian filter yang menggunakan komponen-komponen aktif dan biasa disebut sebagai rangkaian filter aktif (*Active Filter Network*)

Jenis-jenis filter:

1. Low pas filter

Low pass filter merupakan rangkaian filter yang memberikan redaman sangat kecil pada frekuensi di bawah frekuensi *cut-off* (-3dB) yang telah ditentukan, sedangkan frekuensi di atas frekuensi *cut-off* akan mendapatkan redaman yang sangat besar. Lebih sederhana-nya, hanya frekuensi rendah saja yang dapat melewati rangkaian filter ini. Frekuensi *Cut-Off* adalah frekuensi keluaran yang amplitudo-nya turun 70,7% (-3dB) terhadap amplitudo frekuensi masukan-nya.

Rangkaian *low pass filter* dapat dibangun menggunakan dua jenis rangkaian dasar, yakni rangkaian *low pass filter* induktif dan rangkaian *low pass filter* kapasitif. Untuk rangkaian *low pass filter* induktif, rangkaian terdiri dari induktor (L_1) dan beban (R_1)

2. High Pas Filter

High pass filter merupakan kebalikan dari *low pass filter* yaitu rangkaian filter yang memberikan redaman sangat kecil pada frekuensi di atas frekuensi *cut-off* (-dB) yang telah ditentukan, sedangkan frekuensi di bawah frekuensi *cut-off* akan mendapatkan redaman yang sangat besar. Lebih sederhananya, hanya frekuensi tinggi saja yang dapat melewati rangkaian filter ini. Seperti rangkaian *low pass filter*, *high pass filter* juga dapat dibangun menggunakan dua jenis rangkaian dasar, yakni rangkaian *high pass filter* induktif dan kapasitif. Untuk rangkaian *high pass filter induktif*, rangkaian terdiri dari resistor, induktor dan beban. Induktor akan memiliki reaktansi yang rendah ketika frekuensi juga rendah. Hal ini menyebabkan frekuensi rendah (di bawah frekuensi *cut-off*) akan mengalir (*bypass*) ke ground melalui induktor, sedangkan frekuensi tinggi (di atas frekuensi *cut-off*) akan terus mengalir ke beban.

3. Band Pas Filter

Band pass filter merupakan rangkaian filter yang hanya memperbolehkan frekuensi dengan rentang (*band*) tertentu untuk dapat melewatinya, dengan memberi redaman yang sangat besar pada frekuensi yang terlalu tinggi dan terlalu rendah. Pada

dasarnya rangkaian *band pass filter* dibangun oleh *low pass filter* dan *high pass filter* yang disusun secara seri, sehingga rangkaian *band pass filter* memiliki dua frekuensi *cut-off* (f_{cH} dan f_{cL}). Pada rangkaian *band pass filter*, terdapat R_1 dan C_1 bertindak sebagai *low pass filter*. C_2 dan R_{Load} bertindak sebagai *high pass filter*.

2.2.3 Sumber DC

Inverter dirancang untuk memberikan tegangan AC dari sumber DC. Sumber listrik DC (*Direct Current*), atau yang dikenal dengan sebutan sumber arus searah, merupakan tegangan arus searah yang dihasilkan oleh baterai kering maupun akumulator. Dikatakan arus searah karena arus listrik mengalir terus menerus dari kutub negatif ke kutub positif.

Kutub positif dari setiap baterai dibuat dengan menggunakan batang granit yang berbentuk silinder yang dipasang pada posisi tepat ditengah-tengah baterai. Sedangkan bagian yang menonjol keluar ditutup dengan lapisan kuningan yang merupakan bahan penghantar listrik yang bagus. Kemudian pada kutub negatifnya merupakan tabung seng yang dibuat menurut bentuk dari baterai yang bersangkutan.

Zat perantara antara kutub positif dengan kutub negatif tersebut, merupakan bahan elektrolit. Bahan elektrolit dari baterai kering adalah bubuk salmiak yang mampu mengalirkan arus listrik. Kemudian untuk *depolarisator* dipakai batu kawi yang berfungsi menyerap zat cair yang timbul pada kutub positif setelah terjadi proses kimia. Batu ini dimasukkan dalam sebuah kantong yang mengelilingi batang arang tersebut.

Sumber arus searah yang lainnya adalah akumulator atau yang lebih dikenal dengan aki (*accu*). Sumber listrik dari benda ini banyak sekali dipakai dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya saja untuk sumber listrik pada sepeda motor, mobil, atau barang-barang elektronika lainnya yang kebetulan pada daerah dimana belum ada arus listrik dari PLN yang masuk.

Akumulator atau aki yang banyak digunakan sebagai sumber listrik DC tersebut sebagai bahan pembangkit arus listriknya atau elektrolitnya adalah

menggunakan asam belerang cair atau asam sulfat (H_2SO_4). Bahan-bahan yang berada dalam aki itu akan menghasilkan tegangan antara terminal-terminal karena adanya proses kimia dari pelat-pelat dan asam belerang yang terdapat didalamnya. Terdapat dua cara dalam melakukan penyambungan pada sumber arus listrik DC ini, yaitu sambungan secara seri dan sambungan cara paralel. Pada cara penyambungan seri pada baterai kering arus total yang didapat jauh lebih besar dari tegangan masing-masing baterai tersebut. Sedangkan pada cara penyambungan paralel maka jumlah tegangan totalnya sama dengan tegangan total pada masing-masing baterai. Sumber DC inilah yang nantinya akan diubah kedalam tegangan AC oleh inverter.

2.2.4 PID controller

PID (*Proportional-Integral-Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant.

1. Kontrol Proporsional

Kontrol P jika $G(s) = K_p$, dengan k adalah konstanta. Jika $u = (G(s) \times e)$, maka $u = (K_p \times e)$, dengan K_p adalah Konstanta Proporsional. K_p berlaku sebagai Gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *settling time*.

2. Kontrol Integral

Jika $G(s)$ adalah kontrol I maka u dapat dinyatakan sebagai $u(t) = [\int e(t) dt] \times K_i$ dengan K_i adalah konstanta Integral, dan dari persamaan di atas, $G(s)$ dapat dinyatakan sebagai $u = K_d \times [\Delta e / \Delta t]$. Jika $e(T)$ mendekati

konstan (bukan nol) maka $u(t)$ akan menjadi sangat besar sehingga diharapkan dapat memperbaiki error. Jika $e(T)$ mendekati nol maka efek kontrol I ini semakin kecil. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon *steady-state*, namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde sistem

3. Kontrol Deriatif

Sinyal kontrol u yang dihasilkan oleh kontrol D dapat dinyatakan sebagai $G(s)=s \times K_d$. Dari persamaan di atas, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini dalam konteks "kecepatan" atau rate dari error. Dengan sifat ini ia dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi *error* yang akan terjadi. Kontrol Derivative hanya berubah saat ada perubahan *error* sehingga saat error statis kontrol ini tidak akan bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler Derivative tidak dapat dipakai sendiri. Tabel 2.2 menunjukkan tanggapan sistem kontrol PID pada perubahan parameter. (Muhammad Ali,2004)

Tabel 2.2 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter

Tanggapan Loop Tertutup	Waktu Naik	Overshoot	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
Proposional (K_p)	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Integral (K_i)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Deriative (K_d)	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

2.3 Beban

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedensi dan

perubahan tegangan. Sedangkan beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semi konduktor dalam peralatan elektronik. Perubahan bentuk gelombang ini tidak terkait dengan sumber tegangannya.

Beberapa peralatan yang dapat menyebabkan timbulnya harmonik antara lain komputer, printer, lampu fluorescent yang menggunakan elektronik ballast, kendali kecepatan motor, motor induksi, batere charger, proses elektroplating, dll. Peralatan ini dirancang untuk menggunakan arus listrik secara hemat dan efisien karena arus listrik hanya dapat melalui komponen semi konduktornya selama periode pengaturan yang telah ditentukan. Namun disisi lain hal ini akan menyebabkan gelombang mengalami gangguan gelombang arus dan tegangan yang pada akhirnya akan kembali ke bagian lain sistem tenaga listrik. Fenomena ini akan menimbulkan gangguan beban tidak linier satu *phase*. Hal di atas banyak terjadi pada distribusi yang memasok pada areal perkantoran/komersial. Sedangkan pada areal perindustrian gangguan yang terjadi adalah beban non linier tiga *phase* yang disebabkan oleh motor listrik, kontrol kecepatan motor, *batere charger*, *electroplating*, dapur busur listrik, dll. (Ir. Nanan Tribuana,1999)

Dalam sistem listrik arus bolak-balik, jenis beban dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu

1. Beban resistif (R)

Beban resistif (R) yaitu beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm saja (*resistance*), seperti elemen pemanas (*heating element*) dan lampu pijar. Beban jenis

ini hanya mengkonsumsi beban aktif saja dan mempunyai faktor daya sama dengan satu. Tegangan dan arus sefasa. persamaan daya sebagai berikut:

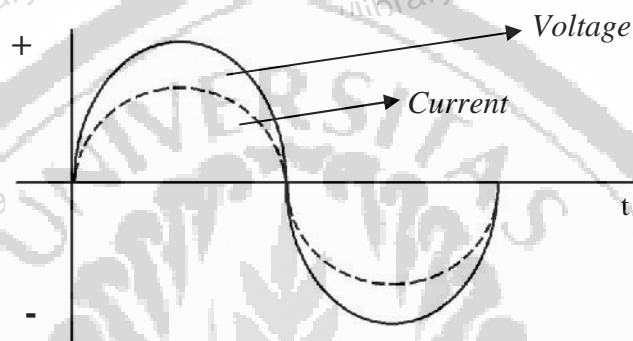
$$P = VI \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)



Gambar 2.7 Gelombang beban resistif gelombang AC



Gambar 2.8 Grafik arus dan tegangan pada beban resistif

2. Beban induktif (L)

Beban induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti, seperti *coil*, transformator dan solenoida. Beban ini dapat mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) pada arus sehingga bersifat lagging. Hal ini disebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis dan mengakibatkan fasa arus bergeser menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = VI \cos \varphi \dots\dots\dots(2.3)$$

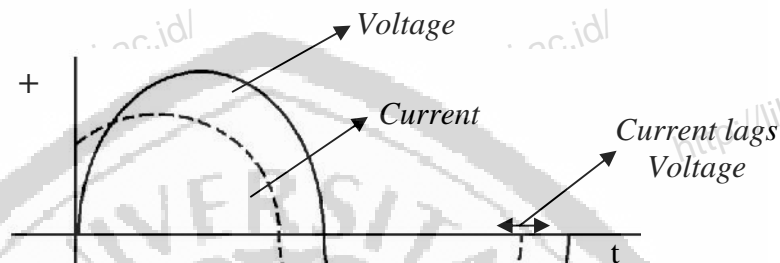
Dengan :

P = Daya aktif yang diserap beban (watt)

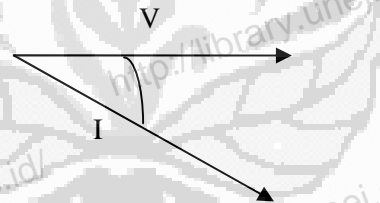
V = Tegangan yang mencatu beban (volt)

I = Arus yang mengalir pada beban (A)

= Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.9 Gelombang beban induktif gelombang AC



Gambar 2.10 Grafik arus dan tegangan pada beban induktif

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif (X_L), dapat digunakan rumus

$$X_L = 2\pi fL \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan

X_L = Reaktansi induktif

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Henry)

3. Beban kapasitif (C)

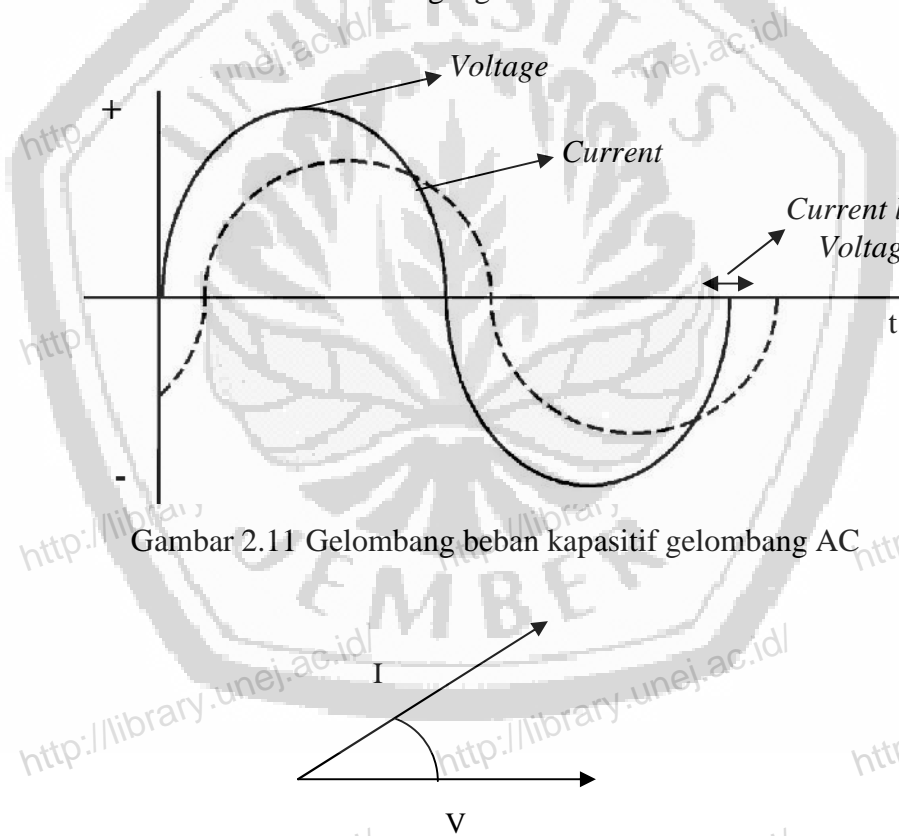
Beban kapasitif (C) yaitu beban yang memiliki kemampuan kapasitansi atau kemampuan menyimpan energi yang berasal dari pengisian elektrik (*electrical*

discharge) pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus *leading* terhadap tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = VI \cos \varphi \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan :

- P = Daya aktif yang diserap beban (watt)
- V = Tegangan yang mencatu beban (volt)
- I = Arus yang mengalir pada beban (A)
- φ = Sudut antara arus dan tegangan



Gambar 2.11 Gelombang beban kapasitif gelombang AC

Gambar 2.12 Grafik arus dan tegangan pada beban kapasitif

Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif (X_C), dapat digunakan rumus:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

- X_C = Reaktansi induktif
- f = Frekuensi (Hz)
- C = Kapasitansi (Farad)

2.4 UPS (*Uninterruptible Power System*)

Uninterruptible Power Supply merupakan sistem penyedia daya listrik yang sangat penting dan diperlukan sekaligus dijadikan sebagai benteng dari kegagalan daya serta kerusakan *system* dan *hardware*. UPS akan menjadi sistem yang sangat penting dan sangat diperlukan pada banyak perusahaan penyedia jasa telekomunikasi, Jasa informasi, penyedia jasa internet dan banyak lagi. Dapat dibayangkan berapa besar kerugian yang timbul akibat kegagalan daya listrik jika system tersebut tidak dilindungi dengan UPS.

Fungsi dari UPS itu sendiri adalah:

1. Dapat Memberikan Energi listrik Sementara ketika terjadi kegagalan daya pada listrik utama (PLN).
2. Memberikan kesempatan waktu yang cukup kepada kita untuk segera menghidupkan Genset sebagai pengganti PLN.
3. Memberikan kesempatan waktu yang cukup kepada kita untuk segera melakukan *back up* data dan mengamankan *Operating System* (OS) dengan melakukan *shutdown* sesuai prosedur ketika listrik utama (PLN) padam.
4. Mengamankan System komputer dari gangguan-gangguan listrik yang dapat mengganggu System komputer baik berupa kerusakan *software*, data maupun kerusakan *hardware*.

Pada sebuah UPS terdapat tiga buah komponen dasar, yaitu :

1. Baterai: Jenis baterai yang digunakan UPS umumnya berjenis *lead-acid* atau jenis *nikel-cadmium*. Baterai ini umumnya mampu menjadi sumber tegangan cadangan maksimal selama 30 menit.

2. Rectifier: Penyearah berfungsi untuk merubah arus AC menjadi arus DC dari suplai listrik PLN. Hal ini bermanfaat pada saat pengisian baterai.
3. Inverter: Kebalikan dari penyearah, inverter berfungsi untuk mengubah arus DC dari baterai menjadi arus AC. Hal ini dilakukan pada saat baterai pada UPS digunakan untuk memberikan tegangan ke komputer (Susanto,2007).



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

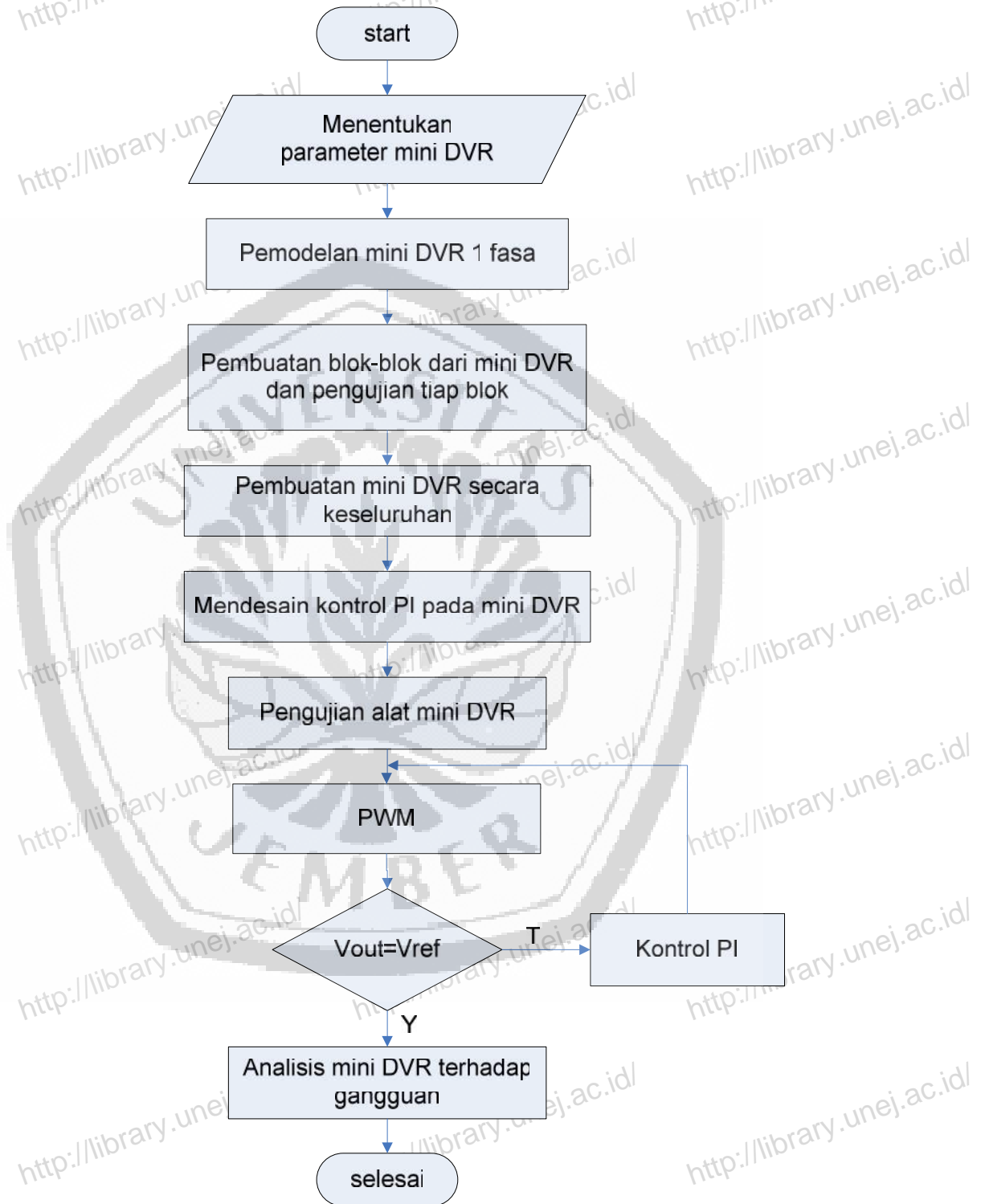
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan mulai pelaksanaan dari studi pustaka hingga penyusunan laporan dilakukan selama satu semester. Tempat penelitiannya di Laboratorium Dasar Konversi Energi, Kampus Fakultas Teknik, Universitas Jember di Jl. Slamet Riyadi no.62 Patrang, Jember

3.2 Flowchart

Alur dari penelitian ini dapat dilihat dari gambar 3.1, mulai dari awal persiapan penelitian yang akan dilaksanakan sampai dengan akhir dari penelitian akan dijelaskan pada *flowchart* penelitian, dengan langkah-langkah penelitian antara lain:

1. Melakukan studi literatur
2. Melakukan pemodelan untuk alat mini DVR
3. Pembuatan / perakitan mini DVR
4. Melakukan pemograman kontrol PI
5. Melakukan pengujian alat
6. Melakukan analisis hasil dari alat tersebut
7. Pembuatan laporan hasil analisis



Gambar 3.1 Alur Penelitian

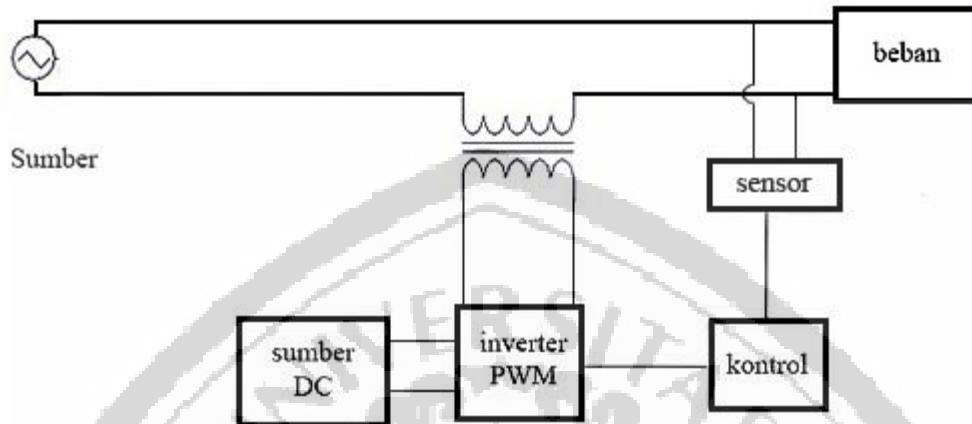
Pada gambar 3.1 dijelaskan alur dari penelitian ini, hal yang pertama kali dilakukan pada penelitian ini adalah menentukan parameter dari mini DVR tersebut yang kemudian melakukan pemodelan mini DVR menggunakan inverter 1 fasa. Setelah melakukan pemodelan yang sesuai dengan keinginan, maka langkah selanjutnya merancang blok-blok dari mini DVR yang sudah didesain tersebut, mini DVR terdapat beberapa bagian diantaranya inverter 1 fasa, sensor tegangan, sumber DC yang akan digunakan untuk inputan inverter dan beban yang akan digunakan pada penelitian ini.

Setelah semua bagian telah diuji dan sesuai harapan, maka langkah selanjutnya adalah mendesain kontrol dari mini DVR tersebut, kontrol yang akan digunakan berupa kontrol PI. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian pada alat mini DVR apakah alat dan kontrol sudah sesuai atau masih belum yaitu dengan cara melakukan pengujian tegangan $V_{ref}=V_{out}$, apabila tegangan V_{out} tidak sama maka kontrol akan bekerja yang bertujuan $V_{ref}=V_{out}$. Apabila hal tersebut sudah terpenuhi langkah selanjutnya melakukan analisis tentang mini DVR yang diberi gangguan dan apakah responnya bagus atau masih kurang. Langkah terakhir adalah penulisan laporan tentang alat mini DVR dengan kontrol PI.

3.3 Mini DVR

Prinsip dasar DVR adalah menginjeksi tegangan dinamik terkontrol yang dihasilkan oleh inverter secara seri pada bus tegangan dengan suatu transformator seri (*booster transformer*) terlihat pada gambar 3.2. Pada saat terjadi penurunan tegangan sumber akibat *drop* tegangan, secara otomatis DVR bekerja menginjeksikan tegangan dinamik terkontrol untuk mengurangi pengaruh penurunan tegangan. Mula-mula saat terjadi penurunan tegangan, sensor deteksi gangguan akan memonitoring level tegangan jatuh. Hasil monitoring tersebut akan dikirimkan sebagai sinyal input pada rangkaian kontrol DVR untuk mengatur besarnya tegangan yang harus diinjeksikan oleh inverter, tegangan yang dihasilkan inverter masih bernilai kecil sehingga harus dihubungkan pada transformator seri agar tegangannya lebih besar dan untuk

menginjekkan tegangan akibat tegangan jatuh. Inverter mengubah tegangan DC menjadi AC, sumber DC ini yang nantinya akan menjadi sumber tegangan injek pada inverter PWM.



Gambar 3.2 Blok Diagram mini DVR

3.3.1 Tegangan sumber AC

Tegangan AC yang digunakan adalah tegangan AC dari PLN 1 fasa yaitu 220V dengan frekuensi 50Hz atau dari jala-jala listrik PLN. Penulis menggunakan AVR (*Automatic Voltage Regulator*) untuk mensimulasikan *drop* tegangan karena apabila menunggu untuk terjadinya *drop* tegangan sangatlah sulit, oleh karena itu penulis menggunakan AVR untuk meregulator tegangan agar tegangan sumber bisa berubah-ubah, AVR tersebut mensimulasikan terjadinya *drop* tegangan hingga pemadaman listrik.

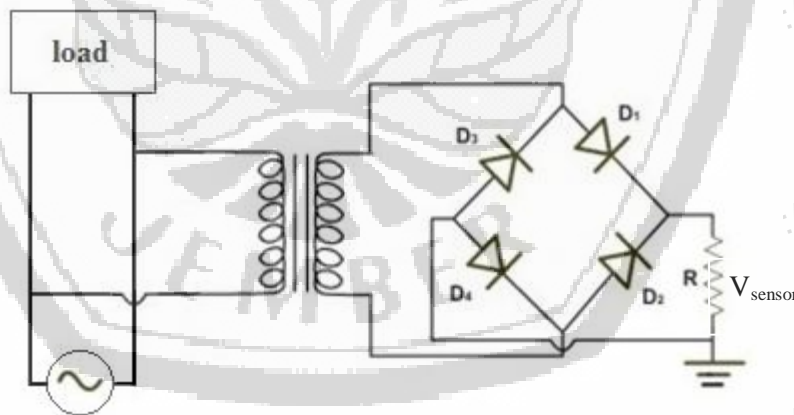
3.3.2 Beban

Beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban yang bersifat linier dan tidak menggunakan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedensi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban non linier kebalikan dari beban linier, bentuk gelombang keluaran tidak sebanding dengan gelombang inputan. Dalam penelitian ini beban linier berupa lampu atau peralatan

listrik pada umumnya dan bukan peralatan listrik yang mengandung prinsip kerja pensaklaran seperti inverter atau bahan semikonduktor lainnya. Pada penelitian ini beban real yang digunakan berupa lampu dengan spesifikasi tertentu yang berbeda yang nantinya akan dianalisis hasil dari kinerja mini DVR tersebut.

3.3.3 Sensor

Sensor yang digunakan adalah sensor tegangan seperti pada gambar 3.3, sumber AC 220 V dari jala-jala listrik yang akan disensor terlebih dulu diturunkan oleh sebuah transformator dan disearahkan menjadi tegangan DC yaitu V_{sensor} agar dapat dibaca oleh mikrokontroler. Mikrokontroler tidak dapat membaca tegangan lebih dari 5 V dan hanya membaca tegangan DC. Tegangan tersebut yang akan menjadi referensi dari kontrol PI untuk melakukan pensaklaran atau swichting pada inverter. Output dari sensor belum langsung dapat digunakan sebagai referensi karena terdapat ripple pada tegangan DC, oleh karena itu diperlukan filter untuk mengurangi ripple tersebut.

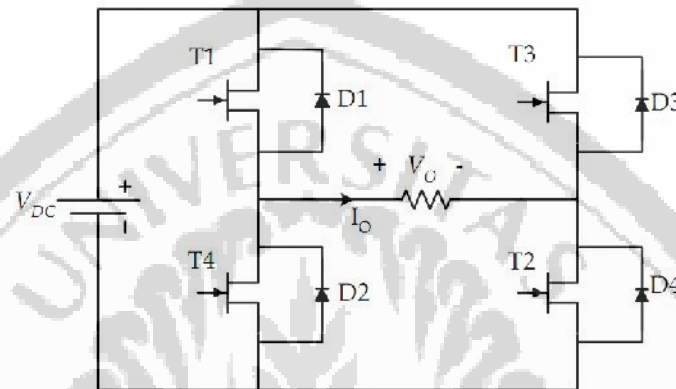


Gambar 3.3 Sensor tegangan

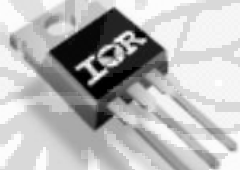
3.3.4 Inverter PWM

Kualitas inverter merupakan penentu dari kualitas tegangan yang dihasilkan. Inverter pada penelitian ini menggunakan 4 buah saklar semikonduktor yang ditunjukkan pada gambar 3.4 (a) Inverter menggunakan saklar semikonduktor berupa

mosfet, untuk memicu mosfet, diperlukan 12 V pulsa untuk membuatnya *turn* “ON” dan 0 V pulsa untuk mengubahnya “OFF” untuk gerbang yang berhubungan dengan gate. 12V tersebut didapat dari *power supply* yang nantinya akan dihubungkan kerangkaian driver mosfet. 12V ini yang nantinya akan diubah *duty cyclenya* oleh mikrokontroler untuk mengaktifkan atau menonaktifkan mosfet. Mosfet yang digunakan adalah tipe IRFZ44N, bentuk fisiknya pada gambar 3.4 (b)



(a)



(b)

Gambar 3.4 (a) inverter *full bridge*, (b) mosfet IRFZ44N (www.irf.com)

3.3.5 PI Controller

Mikrokontroler adalah otak dari sistem dan bertanggung jawab untuk menghasilkan referensi tegangan gelombang untuk melakukan triger ke mosfet, referensi tersebut didapat dari hasil antara *set point* yang telah ditentukan dengan perubahan yang telah terjadi, perubahan tersebut didapat dari sensor tegangan. Mikrokontroler bertugas sebagai memantau kondisi sistem. Apabila terjadi

pembacaan *error*, kontrol ini bertugas untuk menghilangkan *error* tersebut. Pada mikrokontroler ditanamkan sebuah kontrol untuk mengendalikan sistem tersebut.

Kontrol yang digunakan pada tugas akhir ini adalah PI (*Proporsional integral*). Dalam pengontrolan menggunakan PI kita harus terlebih dulu menentukan nilai dari K_p dan K_i . Parameter-parameter tersebut bersifat tidak *independent*, sehingga pada saat salah satu nilai konstantanya diubah, maka mungkin sistem tidak akan bereaksi seperti yang diinginkan karena pengaruh dari keduanya. K_p dan K_i dituning sampai mencapai respon yang dikehendaki. Dengan pengaturan K_p dan K_i yang sesuai maka didapatkan respon yang sesuai. Dalam penentuan besarnya gain K_p dan K_i digunakan metode *trial error*.

Sistem kerja kontrol ini adalah apabila sensor tegangan mendeteksi *error*, maka akan diolah oleh kontrol yang nantinya kontrol ini akan memberi sinyal triger pada mosfet sesuai dengan level *error* terdeteksi yang nantinya untuk menginjek tegangan terkontrol. Tegangan injek terkontrol ini dipengaruhi oleh besarnya *duty cycle* outputan dari kontrol, sedangkan inputan dari kontrol ini adalah *error* dari sensor.

Program PI dan pemicu dari PWM akan diprogram pada chip mikrokontroler ATMEGA 16, mikrokontroler ini dapat diisi oleh program dan dapat diubah-ubah dan memiliki memori sebesar 16Kbyte, memori tersebut terhitung masih cukup untuk mengisi program PI dan PWM yang tidak begitu besar memorinya. Bentuk dari ATMEGA 16 dan konfigurasi pin dapat dilihat pada gambar 3.5



(a)

(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5 (TDI)
(TXD) PD1	15	26	PC4 (TDO)
(INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS)
(INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK)
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP1) PD6	20	21	PD7 (OC2)

(b)

Gambar 3.5 (a) ATMEGA 16 (b) konfigurasi pin ATMEGA 16

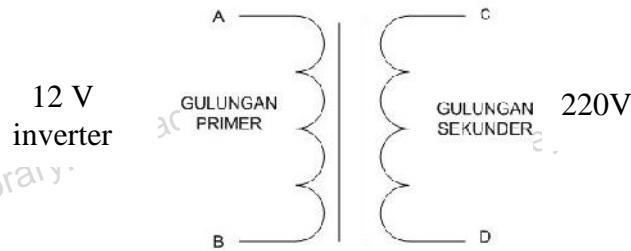
(www.datasheet.com)

3.3.6 Sumber DC

Sumber DC yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 12 V yang nantinya tegangan tersebut akan diubah menjadi tegangan AC melalui inverter. Sumber DC itu sendiri dapat berupa baterai, *accu* dan lain-lain dengan tegangan 12v. Penulis menggunakan *accu* karena nilai tegangan dan arusnya konstan dan dapat *dicharger* kembali. *Accu* yang digunakan memiliki spesifikasi 12V 5Ah yang artinya *accu* tersebut dapat *dicharger* pada saat kondisi kosong selama 1 jam dengan besar 5 ampere dan 12V atau 5 jam dengan arus sebesar 1 ampere.

3.3.7 Transformator seri

Output dari inverter diatas hanya mampu mengeluarkan tegangan sebesar 12 V, masih jauh untuk mencapai tegangan nominal PLN sebesar 220 V. oleh karena itu digunakan sebuah transformator *step up* dengan spesifikasi tegangan primer 12 V dan tegangan sisi sekundernya sebesar 220 V.

Gambar 3.6 Tranformator *step up*

Penulis membuat desain sendiri transformator tersebut dikarenakan dipasaran transformator yang diinginkan spesifikasinya sangatlah sulit. Dalam merancang berapa lilitan yang digunakan untuk transformator *step up* terdapat perhitungan tersendiri yaitu untuk menentukan nilai dari banyaknya lilitan yang akan digunakan dan besarnya kawat tembaga yang akan digunakan. Transformator yang digunakan adalah transformator 5A yang telah dibongkar. Diketahui tegangan input dari transformator adalah 12V dan 5A sedangkan tegangan sekundernya adalah 220V. tinggi tempat gulungan (h) 5,3 cm dan lebarnya (b) 3,5 cm dan frekuensi sebesar 50 Hz

Maka :

$$\text{Luas } A = h \times b = 5,3 \times 3,5 = 18,55 \text{ cm}^2$$

$$\text{Gulungan per volt} = f / A = 50 / 18,55 = 2.69 \sim 3 \text{ gulingan per volt}$$

$$\text{Jadi untuk lilitan primer} = 12 \times 3 = 36 \text{ lilitan}$$

$$\text{lilitan sekunder} = 220 \times 3 = 660 \text{ lilitan}$$

*mengingat selalu ada tegangan yang hilang ditransformator maka lilitan tegangan sekunder ditambah 10% = $660 + 66 = 726$ lilitan

Setelah terhitung jumlah lilitan yang diperlukan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan besar diameter kawat tembaga yang digunakan, terlebih dahulu menentukan arus pada sisi sekundernya.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$I_s = \frac{V_p \times I_p}{V_s} \dots \dots \dots (3.2)$$

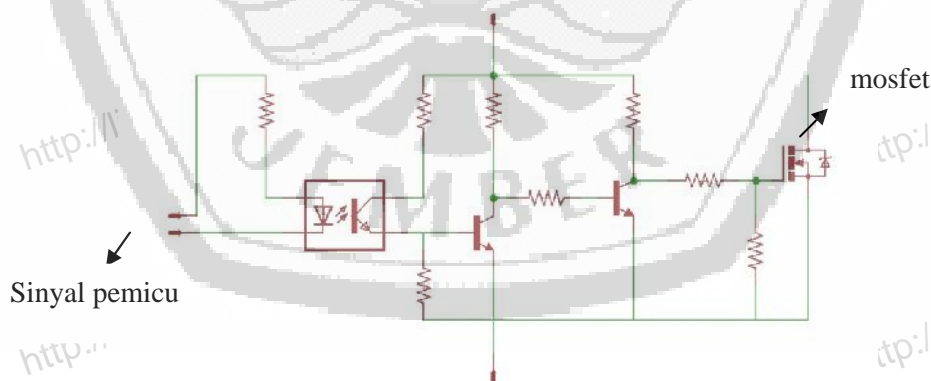
$$I_s = \frac{12 \times 5}{220} = 0.27 \text{ Ampere}$$

Lilitan primer = Ukuran Kawat 1,5 mm kemampuan hantar arus
3,53 A – 5,3 A

Lilitan sekunder = Ukuran Kawat 0,4 mm kemampuan hantar arus
0,251 A – 0,377 A

3.3.8 Rangkaian driver mosfet

Rangkaian *optocoupler* berfungsi untuk mengkomunikasikan 2 sistem elektronika yang bekerja pada level yang berbeda. Pada penelitian ini *optocoupler* berfungsi menghubungkan antara mikrokontroler dan inverter, input dari *optocoupler* adalah referensi tegangan jatuh yang telah diproses oleh mikrokontroler, sedangkan pada sisi outputnya berupa kontrol lagika input pada inverter PWM sehingga akan mengatur tegangan output dari inverter. Perlunya *optocoupler* ini melindungi mikrokontroler apabila terjadi gangguan pada sistem sehingga tidak merusak mikrokontroler tersebut. Rangkaian driver mosfet ditunjukkan pada gambar 3.7. Rangkaian ini mendapat *supply* tegangan dari *power supply* sebesar 12 V.



Gambar 3.7 Rangkaian driver mosfet

3.4 UPS (*Uniterruptible Power System*)

UPS bekerja sebagai baterai cadangan dari peralatan listrik. Jika tiba-tiba sumber listrik utama yang biasanya berasal dari jaringan PLN mendapat gangguan,

maka UPS akan segera aktif untuk memberikan listrik kepada peralatan listrik. UPS hanya akan menyuplai tegangan apabila sumber listrik padam, sedangkan mini DVR tidak hanya berfungsi menyuplai tegangan tetapi menstabilkan tegangan akibat adanya gangguan yang terjadi pada sumber listrik. Prinsip kerja UPS yang nantinya akan dipakai oleh mini DVR tersebut yaitu menyulai tegangan 220V saat terjadi gangguan berupa pemadaman listrik.



BAB 4. HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Pengambilan Data

Langkah pertama pada penelitian ini adalah pengambilan data, antara lain data beban yang akan dipakai sebagai beban mini DVR. Langkah ini dimaksudkan agar dapat menentukan seberapa besar kapasitas daya yang dapat disuplai oleh mini DVR 1 fasa dan pengaruh dari perubahan daya tersebut.

Besar daya beban yang dipakai pada penelitian ini diubah-ubah sampai inverter dapat menyuplainya dengan baik. Daya beban tidak begitu besar dikarenakan sumber DC yang digunakan mempunyai daya kecil dan terbatas, semakin besar daya yang digunakan, maka sumber DC akan semakin habis dan kinerja tidak optimal dan cepat habis. Pada penelitian ini sumber DC yang digunakan berasal dari aki dengan spesifikasi 12V 5Ah yang artinya aki tersebut dapat terisi penuh dengan arus sebesar 5 ampere dalam 1 jam, 2.5 ampere dalam 2 jam dan seterusnya.

Jenis beban yang dipakai berupa lampu yang bersifat linier, lampu yang digunakan berupa bola lampu hemat energi, digunakan lampu hemat energi karena beban tersebut mudah rusak apabila tegangan sumber terjadi *drop* tegangan begitu signifikan. Dalam pengujian alat nantinya lampu tersebut diberi *drop* tegangan sumber yang telah ditentukan dan pengaruh dari bertambahnya nilai daya beban yang digunakan. Lampu yang digunakan sebesar 5W, 13W dan 18W.

4.2 Perangkat dan Pengujian

Langkah selanjutnya pembuatan hardware sesuai dengan desain, selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui kerja dari masing-masing rangkaian. Pengujian dilakukan perblok untuk mengetahui kerja masing-masing unit, kemudian dilakukan pengujian secara keseluruhan yang lengkap sehingga diketahui kinerja dari mini DVR yang telah dibuat.

4.2.1. Pengujian Analog Digital Converter pada Sensor Tegangan

Pengujian ADC (*Analog to Digital Converter*) bertujuan untuk mengetahui kinerja dari ADC dalam mengkonversi tegangan analog ke digital. Tegangan analog yang berasal dari output rangkaian sensor tegangan yang terdiri dari tegangan 220V diturunkan oleh transformator dan disearahkan menggunakan rectifier agar dapat dibaca oleh micro yang nantinya diubah dalam bentuk digital dan diterjemahkan kedalam bilangan desimal agar dapat diolah sebagai masukan dari kontrol PI. Nilai ADC dapat ditampilkan pada *interface* LCD 2x16. Dalam hal ini ADC yang digunakan memiliki resolusi 8bit, dengan rentang 0-255 dan tegangan referensi yang digunakan menggunakan *power supply* yang mencatu sistem minimum. Sedangkan tegangan referensi dari mikrokontroler ATmega16 adalah 4,98 volt.

Data nilai ADC yang dibandingkan antara praktek dan teori adalah sebagai berikut:

Tabe 4.1 Data pengujian ADC

No.	Vin ADC (V)	ADC (praktek)		ADC (teori)		Error persen	
		Desimal	Volt (V)	Desimal	Volt (V)	Desimal (%)	V(%)
1.	1	50	1,01	51	1	1,96%	1%
2.	1,5	76	1,51	76	1,5	0%	0,66%
3.	2	101	1,99	102	2	0,98%	0,5%
4.	2,5	128	2,51	127	2,5	0,79%	0,4%
5.	3	153	2,99	153	3	0%	0,33%
6.	3,5	179	3,5	178	3,5	0,56%	0%
7.	4	205	4	204	4	0,49%	0%
8.	4,5	231	4,51	230	4,5	0,43%	0,22%
9.	5	255	4,98	255	5	0%	0,4%

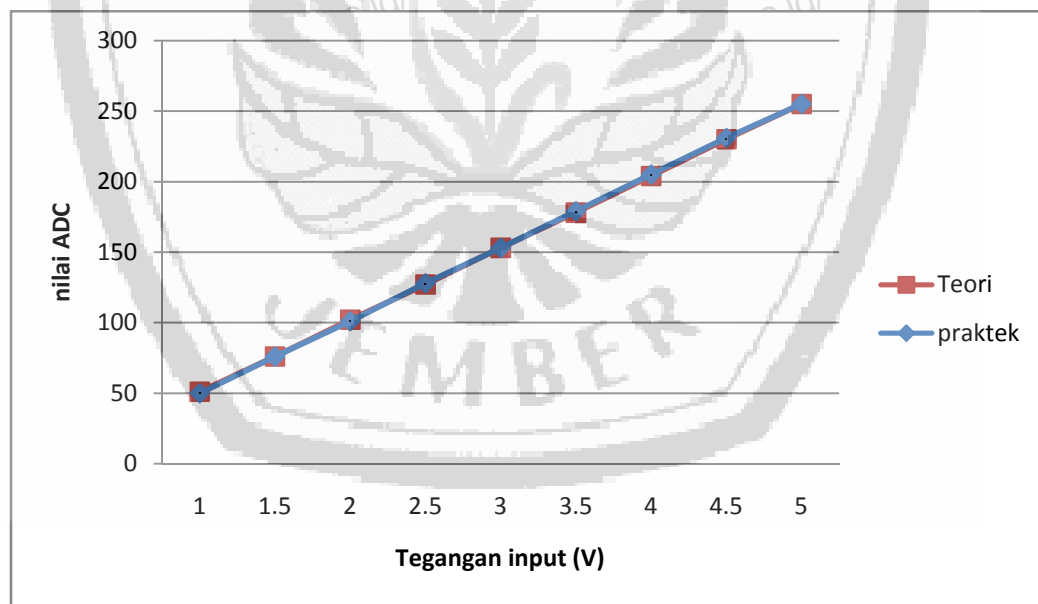
Berdasarkan data ADC diatas, nilai desimal dan tegangan berdasar ADC aktual terbaca yang keluar dari mikrokontroler dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$ADC = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times 255 \dots\dots\dots(4.1)$$

Sedangkan untuk error persen :

$$E\% = \frac{HT-HP}{HT} \times 100\% \dots\dots\dots(4.2)$$

Dari data diatas kita dapat mengetahui berapa *error* persen pembacaan ADC pada mikrokontroler yang nantinya akan menjadi referensi kontrol PI untuk melakukan tuning pada inverter. Semakin kecil nilai *error* yang didapat, maka tuning yang dilakukan pada inverter juga semakin akurat. Nilai ADC ini sangat fatal apabila terjadi kesalahan pembacaan dan menyebabkan kontrol yang tidak akurat. Setelah melakukan pengujian ADC pada mikrokontroler dapat kita tampilkan data-data yang diperoleh pada grafik gambar 4.1, garis perbandingan antara tegangan referensi dan ADC terbaca linier. Hasil teori dengan praktek memiliki error yang kecil sehingga pada grafik tidak terlalu nampak perbedaan antara keduanya



Gambar 4.1 Grafik perbandingan antara ADC praktek dan teori

4.2.2. Pengujian PWM

Pada tahap ini kita menguji output PWM yang bertujuan untuk melihat sinyal keluaran dari PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler ATmega16 menggunakan *timer 0* yang beresolusi FF pada bilangan hexa dan 255 pada bilangan desimal, tetapi pada pwm ini menggunakan counter agar frekuensi outputan sesuai dengan yang diinginkan. *Counter* adalah penghitungan secara berkala sesuai dengan nilai *counter* diinginkan dan akan memulai dari nol lagi sampai dengan waktu *counter* yang telah ditentukan, berbeda dengan timer yang perhitungannya dari besarnya kristal yang dipakai dalam arti lain adalah timer menggunakan inputan internal, sedangkan *counter* berasal dari luar atau dapat kita atur sendiri.

Pada mikrokontroler, *timer 0* terletak pada port B.3, tetapi bisa disetting pada port mana saja, pada program kali ini penulis menggunakan port D.0 dan D.1 karena tidak digunakan sama sekali dan port D merupakan port yang biasanya digunakan sebagai PWM. Penulis menginginkan frekuensi detakan sebesar 50Hz sesuai dengan frekuensi jala-jala listrik yang digunakan oleh PLN sebesar 50-60 Hz. PWM yang digunakan sebanyak dua buah, artinya PWM 1 untuk siklus positif pembangkit sinyal positif pada tegangan AC dan PWM 2 untuk siklus negatifnya.

Counter yang dipakai sebesar 108 untuk 100% duty cycle, yang digunakan untuk sinyal PWM 1 hanya 54 untuk logika high karena digunakan untuk siklus positif dan sisanya berlogika low, dan sebaliknya untuk PWM 2 bernilai 54 untuk logika low dan sisanya berlogika high. Sistem yang diterapkan oleh penulis adalah mosfet akan aktif apabila diberi logika low artinya penulis menggunakan logikan invers. Berikut program PWM pada mikrokontroler dan perhitungan *counter* yang dipakai:

```
counter++;
if(pwm1<=counter){PORTD.1=1;} //logika low
else{PORTD.1=0;}
if(pwm2<=counter){PORTD.0=0;} //logika high
```

```

else{PORTD.0=1;}
if(counter>108){counter=0;}
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 1382.400 kHz
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected

```

Perhitungan banyaknya counter :

$$T = \frac{1}{1382.4 \text{ KHz}} = 0.0072338 \text{ ms}$$

$$T = 0.0072338 \text{ ms} \times 255 = 0.184461806 \text{ ms}$$

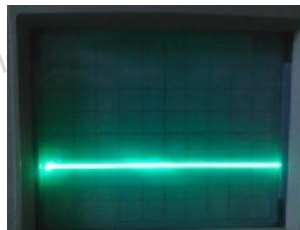
$$T_{\text{counter}} = \frac{20 \text{ ms}}{0.184461806 \text{ ms}} = 108.42 \text{ counter} \approx 108 \text{ counter}$$

Dengan T = Periode dari timer 0

T_{counter} = Counter yang diperlukan untuk 20 ms (50Hz)

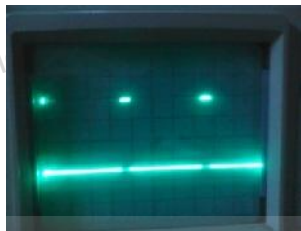
Pengujian PWM dilakukan menggunakan osiloskop untuk mengetahui bentuk dari gelombang yang dihasilkan PWM. panjang dan lebarnya PWM ditentukan berdasarkan *duty cycle* dari PWM itu sendiri. Dalam melakukan pengujian PWM, penulis menyeting *duty cycle* dengan cara memerintahkan langsung pada mikrokontroler untuk melakukan *duty cycle*. Nilai 108 artinya 100% *duty cycle*, nilai 54 artinya 50% *duty cycle*. Penulis melakukan beberapa sampel untuk *duty cycle* yang berbeda-beda yaitu :

a. Pengujian pwm=0%



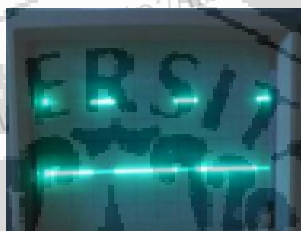
Gambar 4.2 PWM duty cycle 0%

b. Pengujian pwm=10%



Gambar 4.3 PWM duty cycle 10%

c. Pengujian pwm=25%



Gambar 4.4 PWM duty cycle 25%

d. Pengujian pwm=50%



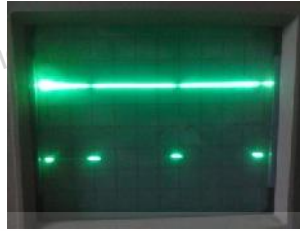
Gambar 4.5 PWM duty cycle 50%

e. Pengujian pwm=75%



Gambar 4.6 PWM duty cycle 75%

f. Pengujian pwm=90%



Gambar 4.7 PWM duty cycle 90%

g. Pengujian pwm=100%

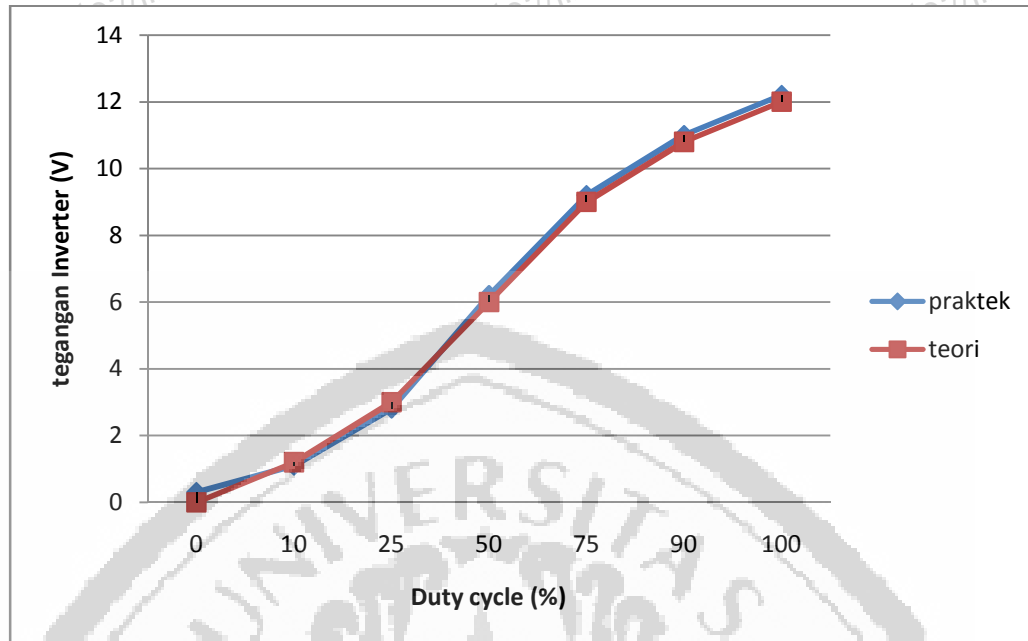


Gambar 4.8 PWM duty cycle 100%

Sinyal PWM diatas dibangkitkan oleh mikrokontroler yang nantinya sinyal PWM tersebut digunakan sebagai masukan ke dalam sinyal referensi inverter untuk membangkitkan tegangan AC. Dari pembangkitan sinyal tersebut inverter diuji tanpa beban dengan masukan PWM secara manual. Hasil dari keluaran PWM akan dapat mengatur tegangan inverter yang nantinya dipakai sebagai pulsa PWM. hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tegangan output inverter akibat perubahan nilai PWM

No.	Pwm1	Pwm2	Duty Cycle	Output AC (praktek)	Output AC (teori)
1	0	108	0%	0,3	0
2	5	106	10%	1,1	1,2
3	13	98	25%	2,8	3
4	27	84	50%	6,2	6
5	41	70	75%	9,2	9
6	50	61	90%	11	10,8
7	54	57	100%	12	12

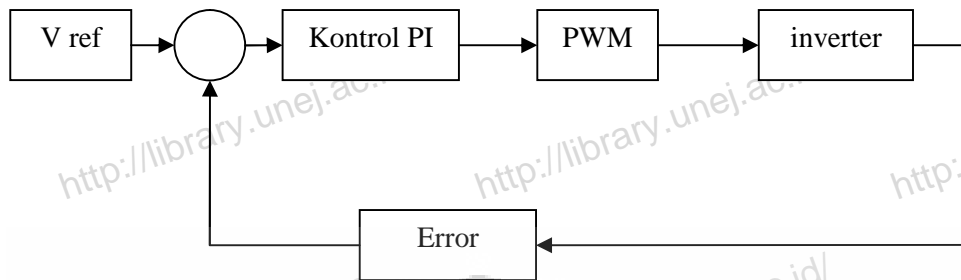


Gambar 4.9 Grafik perbandingan antara duty cycle dengan tegangan output inverter

Dari data tabel diatas dan grafik perbandingan antara hasil dan teori hampir sama tetapi masih terdapat selisih yang kecil. Misalkan pada PWM0=0 dan PWM2=108 seharusnya tegangan output dari inverter sebesar 0V, pada hardware keluaran sebesar 0.3V terdapat selisih 0.3 V. Hal ini terjadi dikarenakan terjadi kurang presisinya nilai dari PWM yang harus diberi. Penulis menganggap nilai tersebut sudah cukup karena nilai selisih kecil.

4.2.3. Pengujian Kontrol PI

Pada inverter 1 fasa ini yang dikontrol adalah tegangan output yang dibebani oleh beban yang berbeda dan diberi gangguan berupa drop tegangan, inverter disini berfungsi untuk mengontrol agar tegangan tetap konstan sebesar 220V pada sisi beban, kontrol yang digunakan adalah PI (*Proporsional Integral controller*). Gambar 4.10 merupakan blok diagram dari kontrol PI inverter :



Gambar 4.10 Desain Kontrol PI Untuk Mengatur Tegangan Inverter

Tabel 4.3 Data pengujian konstanta PI pada inverter

No	Kp	Ki	Keterangan
1	1	1	Tidak ada respon
2	0,1	0.1	Respon kurang
3	0,2	0.01	Tegangan konstan (respon kurang)
4	0,2	0.1	Tegangan konstan (respon kurang)
5	0,25	0.01	Tegangan konstan (respon kurang)
6	0,27	0.01	Tegangan konstan (respon bagus)
7	0,3	0.01	Tegangan konstan (respon kurang)

Nilai Kp dan Ki pada tabel 4.3 ditentukan melalui metode *try and error*, penulis mencoba-coba konstanta Kp dan Ki dengan inverter tanpa dibebani agar output tegangan dari inverter sesuai dengan yang diinginkan. Dari tabel tersebut didapat nilai dari konstanta Kp dan Ki yang memiliki respon yang bagus yang kemudian diterapkan pada program PI pada mikrokontroler atmega 16:

```

//kendali proporsional
error=set_point-nilai_sensor;
outP=Kp*error;
//kendali integral
  
```

```

errorI=error+error_sebelumI;
outI=Ki*errorI*Tc;
error_sebelumI=errorI;
//kontrol PI
pwm1=outP+outI;
    if (pwm1<=0)      {pwm1 = 0;} // nilai pwm1 = 0 < pwm1 < 55
    else if (pwm1>=55) {pwm1 = 55;}
pwm2=111-pwm1;
    if (pwm2<=56)      {pwm2 = 56;} // nilai pwm2 = 56 < pwm2 < 111
    else if (pwm2>=111) {pwm2 = 111;}

```

4.3 Pengujian dan pembahasan

Pengujian dilakukan pada beberapa pengujian yang dimaksudkan untuk menguji kinerja dari mini DVR itu sendiri. Pengujian yang dilakukan sebagai berikut

4.3.1 Tegangan Sumber Konstan

Pada pengujian ini tegangan sumber PLN pada kondisi konstan yaitu tegangan sebesar 220V atau tidak mengalami gangguan sama sekali. Beban yang digunakan sebesar 5W. Dari penelitian ini didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data pengujian tegangan sumber konstan

Tegangan sumber (V)	Tegangan inverter (V)	Tegangan beban (V)	Error %
220	136	217	1.36%

Pada tegangan sumber 220V seharusnya tegangan beban juga harus 220V dan memiliki error 0%. Tetapi pada pengujian yang dilakukan terdapat error sebesar 1,36% dan tegangan beban 217V. Hal ini terjadi dikarenakan terdapat komponen-komponen yang mengakibatkan terjadinya drop tegangan pada sistem mini DVR. Nilai injek tegangan sebesar 136V disini akibat terjadinya drop tegangan pada beban

sehingga mini DVR harus meginjek tegangan sebesar 136V agar tegangan beban stabil. Disini terdapat hal yang menarik, seharusnya apabila tegangan sumber disusun seri seharusnya terjadi penjumlahan tegangan sesuai dengan hukum KVL yaitu penjumlahan antara tegangan sumber dan tegangan inverter terhadap tegangan beban, dapat ditarik hipotesis awal akibat pengaruh dari tranformator seri yang nantinya akan dilakukan pengujian tersendiri.

4.3.2 Tegangan sumber fluktuatif

Pada pengujian ini mini DVR mendapat gangguan berupa tegangan sumber yang fluktuatif. Pengujian pertama dilakukan dengan tegangan sumber yang terus menurun sampai dengan 25 V dan pengujian yang kedua dilakukan pada saat tegangan sumber naik-turun yang tidak beraturan atau selalu berubah-ubah.

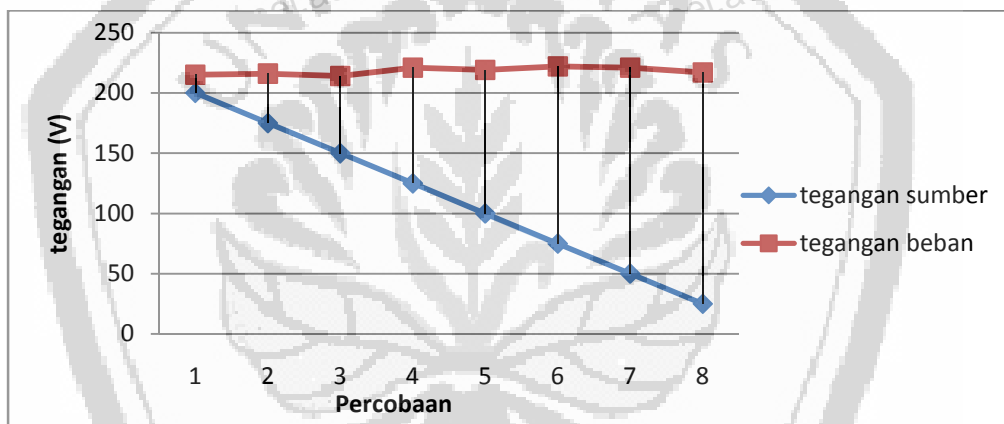
a. Tegangan Sumber 200V-25V

Pada pengujian ini tegangan sumber dibuat terus turun mulai dari 200V sampai 25V dan disimulasikan tegangan turun sebesar 25V untuk tiap kondisinya. Beban yang digunakan sebesar 5W. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.5 Data pengujian tegangan sumber 200V-25V

No	Tegangan sumber (V)	Tegangan inverter (V)	Tegangan beban (V)	Error %
1	200	145	215	2,27%
2	175	167	216	1,81%
3	150	201	214	2,72%
4	125	219	221	0,45%
5	100	218	219	0,45%
6	75	216	222	0,9%
7	50	214	221	0,45%
8	25	215	217	1,36%

Dari data diatas didapat bahwa nilai tegangan beban akan dipertahankan pada kondisi konstan meskipun nilai tegangan sumber terus mengalami penurunan sampai 25V. Pada tegangan sumber 200V besar tegangan beban sebesar 215V dengan tegangan inverter sebesar 145V. Dengan data tersebut didapat error % sebesar 2,27% . Terdapat selisih 5V dari tegangan nominal PLN sebesar 220V. dari tabel diatas, tegangan beban yang memiliki tegangan 220V tidak ada hal ini dikarenakan terdapat rugi-rugi tegangan pada alat mini DVR. Error % terbesar terdapat pada saat terjadi tegangan drop sampai 150V yaitu sebesar 2,72%. untuk melihat kinerja pada mini DVR dapat dilihat pada grafik perbandingan tegangan sumber dengan tegangan beban pada gambar 4.11



Gambar 4.11 Grafik perbandingan tegangan sumber dengan tegangan beban

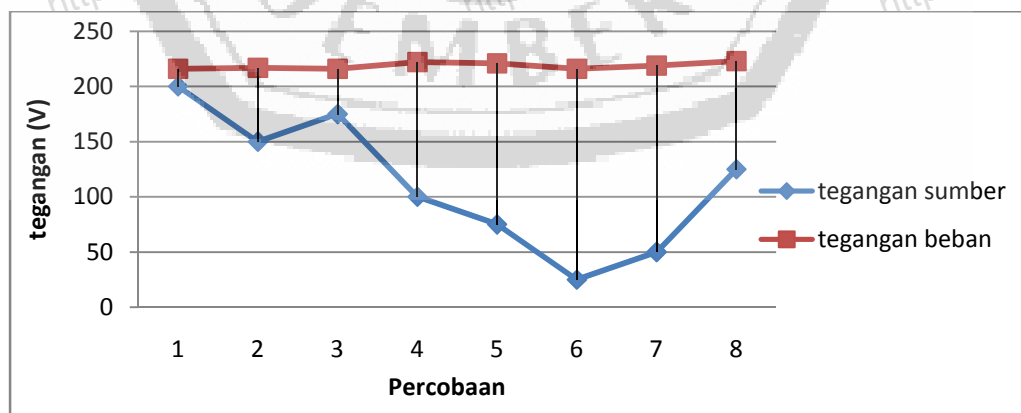
b. Tegangan sumber naik-turun

Pada pengujian ini tegangan sumber dibuat fluktuatif, pengujian sama seperti pengujian sebelumnya yaitu tegangan sumber antara 200V-25V tetapi pada pengujian ini tegangan naik-turun tidak beraturan. Pertama tegangan diturunkan yang kemudian dinaikkan kembali dan diturunkan lagi. Hal tersebut mensimulasikan tagangan sumber yang tidak linier perubahannya. Data dari pengujian dapat sebagai berikut:

Tabel 4.6 Data pengujian tegangan sumber fluktuatif naik turun

No	Tegangan sumber (V)	Tegangan inverter (V)	Tegangan beban (V)	Error %
1	200	149	216	1,81%
2	150	200	217	1,36%
3	175	169	216	1,81%
4	100	218	222	0,9%
5	75	219	221	0,45%
6	25	214	216	1,81%
7	50	215	219	0,45%
8	125	218	223	1,36%

Dengan berubah-ubahnya tegangan sumber secara tidak teratur, mini DVR dapat menstabilkan tegangan, hal ini terbukti dari tabel 4.6. Tegangan disimulasikan berubah-ubah dengan tidak teratur yang dapat dilihat pada kolom tegangan sumber, mula-mula tegangan sumber 200V dan kemudian tegangan sumber turun sampai 150 dan naik lagi menjadi 175V dan seterusnya. Nilai tegangan inverter pun berubah-ubah seiring dengan perubahan tegangan sumber tetapi tegangan beban dapat dipertahankan konstan yaitu sebesar 216V-223V, terdapat error sebesar 1,81%. Pada gambar 4.12 didapat grafik perbandingan pengaruh tegangan yang fluktuatif



Gambar 4.12 Grafik perbandingan tegangan sumber fluktuatif dan tegangan beban

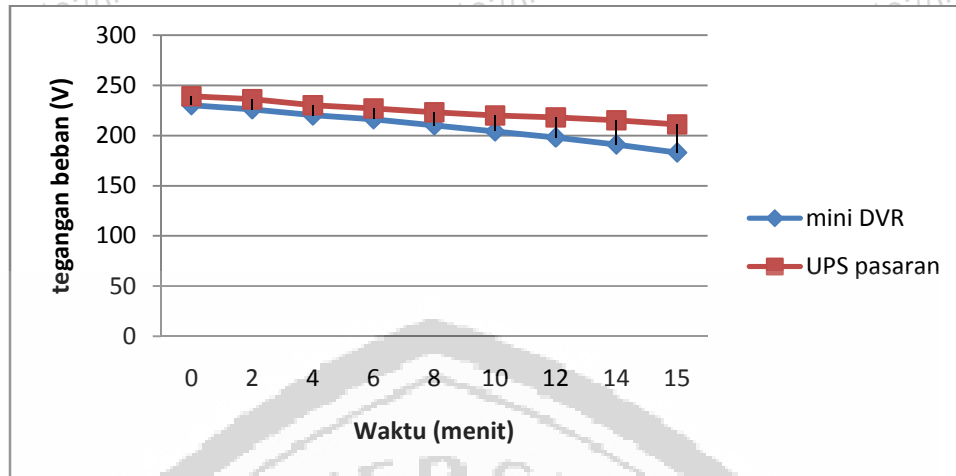
4.3.3 Tegangan Sumber Mati

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa lama mini DVR dapat bertahan menyuplai tegangan pada kondisi sumber PLN mati, beban yang digunakan sebesar 25W. Hasil tersebut dibandingkan dengan UPS pasaran. Hasil penelitian didapat data pada tabel 4.7, dengan perhitungan arus pada aki 5Ah yang artinya aki tersebut akan habis apabila digunakan 5A dalam 1 jam, 2,5A dalam 2jam dan 1A pada waktu 5jam apabila aki tersebut masih dalam kondisi yang baik.

Tabel 4.7 Data pengujian mini DVR sebagai UPS

Waktu (menit)	Mini DVR (V)	UPS (V)
0	230	239
2	226	236
4	220	230
6	216	227
8	210	223
10	204	220
12	198	218
14	191	215
15	183	211

Dari data diatas diketahui bahwa besarnya tegangan beban akan semakin kecil seiring bertambah lamanya waktu pemakaian dimana UPS pasaran lebih kecil penurunannya dibandingkan dengan mini DVR. Pada UPS selama selang waktu 15 menit mengalami penurunan tegangan sebesar 28V sedangkan mini DVR 47V yang artinya UPS pasaran dapat mengcover lebih lama dibandingkan mini DVR. Hal tersebut terjadi dikarenakan beberapa faktor antara lain sumber DC yang digunakan. UPS menggunakan sumber DC yang masih bagus dibandingkan dengan mini DVR yang hanya menggunakan sumber DC aki yang sudah lama terpakai.



Gambar 4.13 Perbandingan lama waktu tegangan dengan mini DVR dan UPS

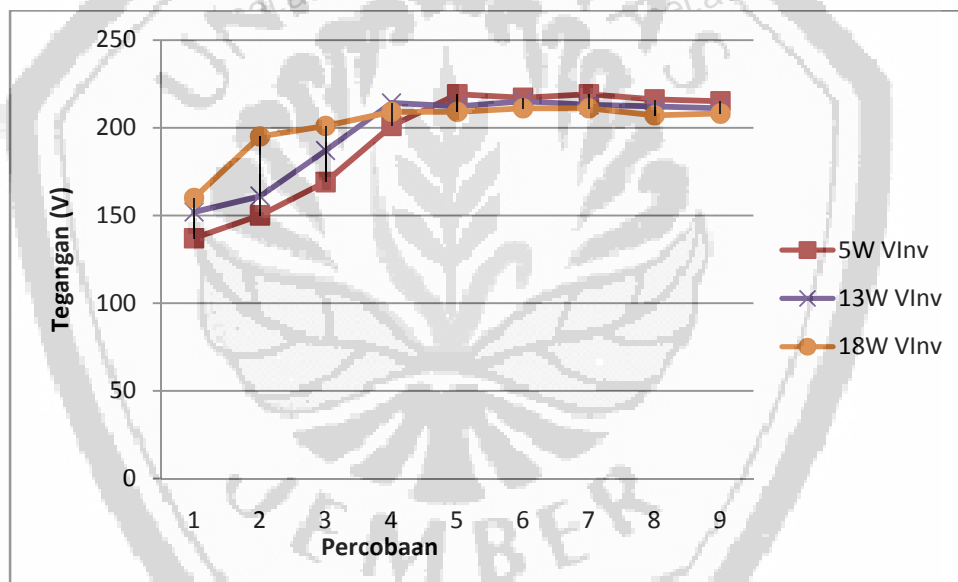
4.3.4 Pengaruh Bertambahnya Daya Beban

Pada pengujian ini membahas pengaruh dari besarnya beban yang dipakai. Beban yang dipakai adalah lampu sebesar 5W dan 13W dan penjumlahan kedua lampu tersebut yaitu 18W, dari pengujian didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.8 Data pengujian pengaruh besar beban yang digunakan

Tegangan sumber (V)	Beban 5W (V)		Beban 13W (V)		Beban 18W (V)	
	V_{Inv}	V_L	V_{Inv}	V_L	V_{Inv}	V_L
220	137	217	152	214	160	217
200	150	216	161	213	195	214
175	169	214	187	212	201	209
150	201	215	214	212	214	209
125	219	223	212	220	209	210
100	217	222	215	221	211	212
75	219	220	213	218	211	215
50	216	221	212	217	212	213
25	215	217	211	214	211	210

Dari data pada tabel 4.8, pada saat daya beban diperbesar, didapat data bahwa tegangan inverter juga akan semakin besar dengan bertambahnya *drop* tegangan akibat tegangan beban. Pada beban 5W tegangan inverter sebesar 137V pada saat tegangan sumber 220V, dengan beban sebesar 13W tegangan inverter akan lebih besar lagi yaitu sebesar 152V sedangkan pada beban sebesar 18W tegangan inverter sebesar 160V. Hal ini terjadi dikarenakan jumlah beban yang semakin besar sehingga menyebabkan drop tegangan yang nantinya akan diimbangi dengan tegangan pada inverter yang semakin besar agar tegangan yang drop dapat dipulihkan kembali. Grafik dari perubahan beban terhadap besar tegangan inverter dapat dilihat pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Grafik perbandingan tegangan inverter terhadap bertambahnya daya beban

4.3.5 Pengaruh Transformator Seri

Pada penelitian ini penulis juga membandingkan transformator seri yang digunakan pada sisi inverter, transformator yang digunakan adalah 3A, 5A dan 500VA. Pada tiap transformator diukur besar impedansinya dengan menggunakan

Ohm meter. Untuk mengetahui nilai induktansi pada tiap transformator digunakan rumus:

$$X_L = \omega L \dots\dots\dots (4.3)$$

$$X_L = 2\pi fL \dots\dots\dots (4.4)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \dots\dots\dots (4.5)$$

Transformator 1 (3A):

$$X_L = 114,2 \Omega$$

$$L = \frac{114,2}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,364H$$

Transformator 2 (5A):

$$X_L = 44,2 \Omega$$

$$L = \frac{44,2}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,14H$$

Transformator 3 (500VA)

$$X_L = 12,4 \Omega$$

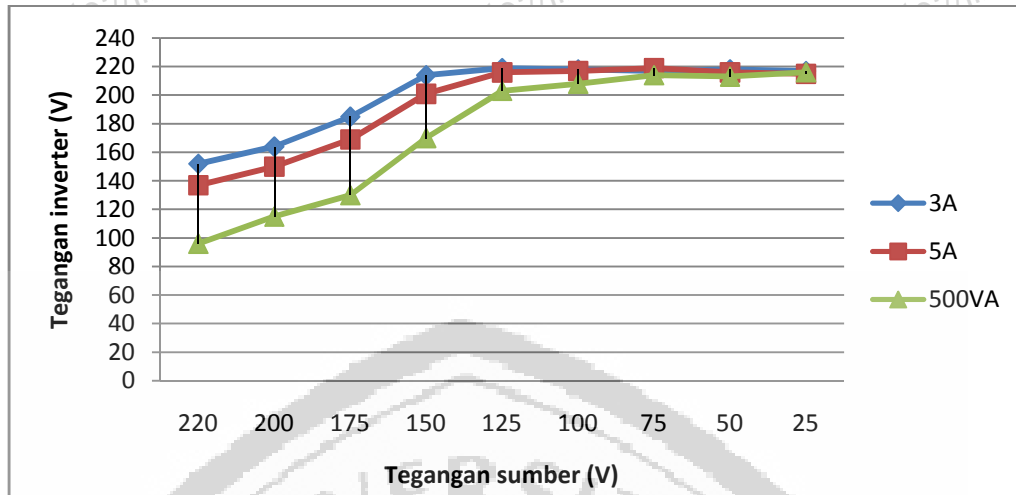
$$L = \frac{12,4}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,039H$$

Dari hasil perhitungan pada transformator didapat data bahwa tranformator 3A memiliki induktansi sebesar 0,364 H, 5A sebesar 0,14 H, lebih besar dibandingkan dengan transformator 500VA yang hanya memiliki induktansi sebesar 0,039 H. Nilai induktansi ini yang akan mempengaruhi besarnya nilai tegangan inverter dalam penelitian karena sifat dari induktor adalah menyimpan arus, dengan sifatnya yang menyimpan arus maka induktor juga akan membutuhkan tagangan yang besar pula. Penulis melakukan penelitian pengaruh besar induktansi terhadap mini DVR yang akan dibuat. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis mendapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.9 Data pengujian terhadap penggunaan transformator seri

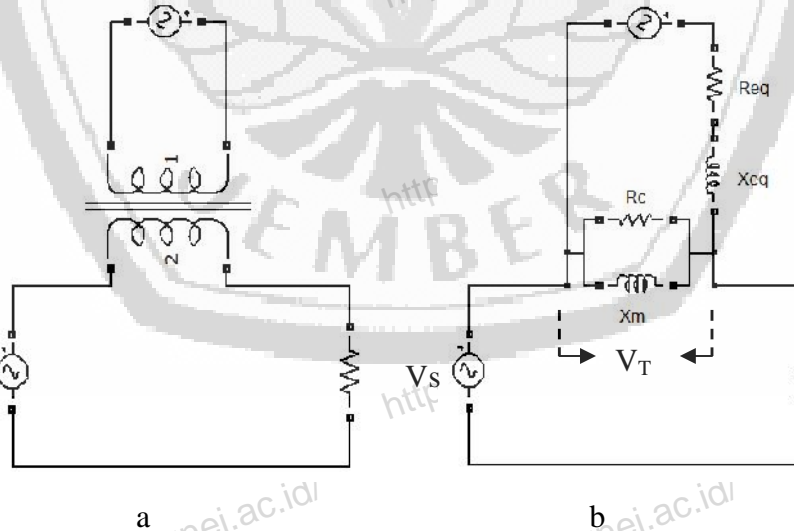
V_s (V)	Trafo 1 (0,364 H)		Trafo 2 (0,14 H)		Trafo 3 (0,039 H)	
	V_{inv}	V_L	V_{inv}	V_L	V_{inv}	V_L
220	152	218	137	217	96	219
200	164	216	150	216	115	218
175	185	215	169	216	130	217
150	214	214	201	212	170	218
125	219	220	216	223	203	220
100	218	221	217	222	208	221
75	217	219	219	220	214	221
50	218	218	216	221	213	217
25	217	218	215	217	216	218

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa semakin kecil nilai induktansi pada transformator maka tegangan inverter juga akan semakin kecil. Perubahan tersebut dapat dilihat pada saat melakukan pengujian dengan tegangan sumber 220V, saat menggunakan transformator sebesar 3A, terukur tegangan inverter sebesar 152V sedangkan pada transformator 5A terukur sebesar 137V, tegangan inverter akan semakin kecil dengan semakin kecilnya induktansi pada transformator, hal ini terbukti pada saat menggunakan transformator 500VA sebesar 96V. Grafik dari pengaruh besarnya induktansi dapat dilihat pada gambar 4.16, dapat dilihat bahwa dengan penggunaan transformator yang memiliki nilai induktansi semakin kecil tegangan inverter juga akan semakin kecil.

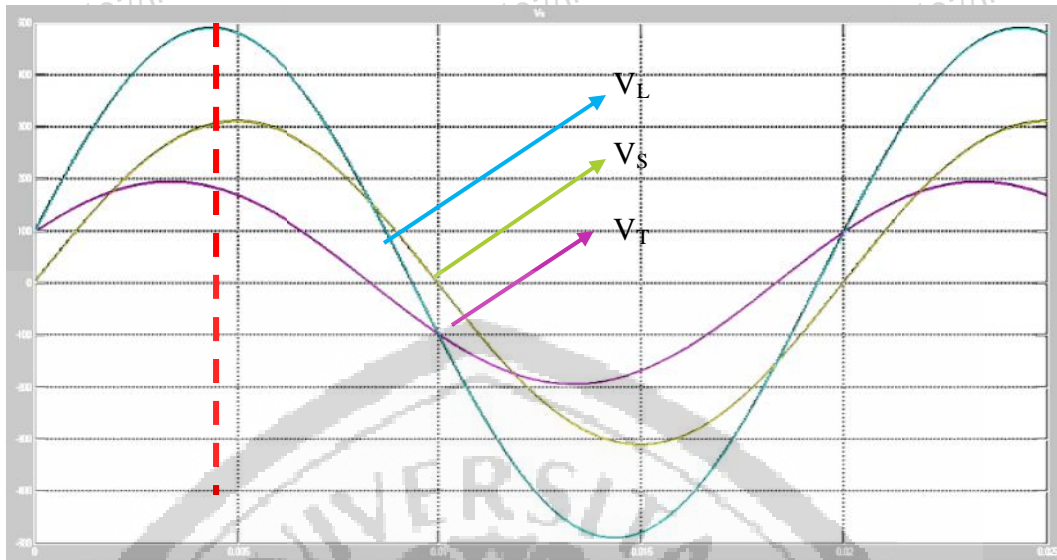


Gambar 4.15 Grafik perbandingan tegangan inverter akibat induktansi pada transformator seri

Karena keterbatasan alat dalam penelitian untuk mengetahui pengaruh dari adanya induktansi pada transformator dilakukan simulasi sumber AC yang disusun secara seri dengan induktor. Didapat bahwa terjadi pergeseran fasa tegangan akibat pengaruh induktansi.



Gambar 4.16 (a) Rangkaian trafo, (b) Rangkaian pengganti trafo



Gambar 4.17 Terjadinya pergeseran tegangan menggunakan simulasi

Pada penelitian ini tegangan yang terukur pada alat adalah tegangan efektif, sedangkan untuk mengetahui adanya pergeseran fasa diperlukan tegangan terhadap perubahan waktu. Dari hasil simulasi didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.10 Data hasil simulasi pengaruh transformator seri

Waktu (s)	V_s (V)	V_T (V)	V_L (V)
0.000	0.00	96.54	96.54
0.001	95.95	143.99	239.95
0.002	182.96	177.54	360.50
0.003	251.65	193.57	445.22
0.004	295.81	190.73	486.54
0.005	311.00	171.88	482.87
0.006	295.81	130.89	426.70
0.007	251.65	80.04	331.69
0.008	182.96	21.38	204.34
0.009	95.95	-39.67	56.29

Waktu (s)	V _s (V)	V _T (V)	V _L (V)
0.010	0.00	-96.54	-96.54
0.011	-95.95	-143.99	-239.95
0.012	-182.96	-177.54	-360.50
0.013	-251.65	-193.57	-445.22
0.014	-295.81	-190.73	-486.54
0.015	-311.00	-166.26	-477.26
0.016	-295.81	-130.89	-426.70
0.017	-251.65	-80.04	-331.69
0.018	-182.96	-21.38	-204.34
0.019	-95.95	39.67	-56.29
0.020	0.00	96.54	96.54

Dari hasil simulasi didapat bahwa nilai tegangan beban merupakan penjumlahan antara tegangan sumber dengan tegangan pada transformator pada tiap waktu. Pada saat $t = 0,005$ s tegangan beban sebesar 482,87 V, tegangan tersebut adalah penjumlahan antara tegangan sumber sebesar 311 V dan tegangan transformator seri sebesar 171,88 V pada saat $t=0,005$ s. Hal ini membuktikan hukum Kirchhoff tegangan (KVL).

Tidak dilakukannya pengujian secara mendalam dikarenakan keterbatasan alat, diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat dijelaskan adanya pengaruh induktor dan agar tidak terjadi pergeseran fasa dapat dipasang sebuah filter. Rugi-rugi pada transformator dapat juga diperhitungkan untuk penelitian lebih lanjut.

BAB 5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada mini DVR menggunakan PI controller, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Mini DVR dapat memulihkan tegangan beban pada saat tegangan sumber mengalami gangguan berupa penurunan tegangan maupun tegangan sumber fluktuatif.
2. Mini DVR dapat berfungsi sebagai UPS pada saat tegangan sumber mati.
3. Semakin besar daya beban, maka tegangan inverter juga akan semakin besar dikarenakan adanya *drop* tegangan akibat bertambahnya daya beban.
4. Nilai konstanta $K_i = 0.27$ dan $K_p = 0.01$ merupakan konstanta yang memiliki respon paling baik pada sistem mini DVR.
5. Besarnya induktansi pada transformator mempengaruhi tegangan inverter, semakin besar nilai induktor maka tegangan inverter semakin besar, hal ini terbukti pada saat trafo yang memiliki induktansi sebesar 0,364 H dengan $V_T = 152V$ dibandingkan dengan trafo yang memiliki induktansi hanya sebesar 0.039 H dengan $V_T = 96V$.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan penulis, terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Untuk menghasilkan kontrol PI yang lebih bagus, maka perlu adanya data mengenai fungsi alih ($f(x)$), sehingga bisa digunakan metode yang lebih baik dalam menentukan besarnya K_i dan K_p .
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pengaruh transformator seri pada mini DVR.



DAFTAR PUSTAKA

Perera, Kasuni, 2006. "*Automated Control Technique for a Single Phase Dynamic Voltage Restorer*", Colombo, Sri Lanka.

id.Wikipedia.org/wiki/IGBT, 2009, *IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)*,: id.Wikipedia.org: Indonesia

Anton A, Dimas, dkk, 2009. "*Kombinasi Feed Back Dan Feed Forward Kontroller Pi Sebagai Kendali Dynamic Voltage Restorer (DVR) Untuk Memulihkan Voltage Sag dan interruption*" TELKOMNIKA Vol.7, No.2

Dr. A. Jaya Laxmi, dkk, 2010 "*Hardware Implementation Of Single Phase Dynamic Voltage Restorer*" 16th National Power Systems Conference, 15th-17th

Ogata, katsuhiko.1996. "*Teknik Kontrol Automatik*", Jakarta: Erlangga

Hartono, Bambang P.,2010 "*Penggunaan Fuzzy Logic Controller Sebagai Kendali Dinamic Voltage Restorer Untuk Pemulih Kedip Tegangan*" Jurnal Elektro Eltek Vol.1,No. 2

Salam, Zainal, 2003, "*Power Elektronik and drives* " UTMJB, Bandung

Yahya, M. Thanthawi, dkk,2007 "*Rancang Bangun Sistem Pedal Power sebagai Energi Alternatif*" ITS, Surabaya.

Ali, Muhammad, 2004 “*Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID Pada Matlab*” Jurnal Edukasi@Elektro Vol. 1, No. 1, Yogyakarta.

Tribuana, Nanang, 1999, ”*Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi*”
<http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener25.html>.

Firmansyah, ifhan, 2010, “*Karakteristik beban pada sistem arus listrik Bolak-balik (AC)*”
<http://saranabelajar.wordpress.com/2010/02/18/karakteristik-beban-pada-sistem-arus-listrik-bolak-balik-ac/>.

Susanto, 2001, “*Catu Daya Tanpa Terputus (Uniteruptible Power System (UPS)*”
Yogyakarta.



LAMPIRAN

```
#include <mega16.h>
#include <stdio.h>
#include <delay.h>

// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>
#define ADC_VREF_TYPE 0x20

// Read the 8 most significant bits
// of the AD conversion result
unsigned char read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
    // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
    delay_us(10);
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCH;
}
```

```
char buf[33];
unsigned char nilai_sensor,counter,set_point=250,error_sebelumI=0,error,errorI;
int outP,outI,pwm1,pwm2;
float Kp=0.27,Ki=0.5,Tc=0.01;
// Timer 0 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM0_OVF] void timer0_ovf_isr(void)
{
    TCNT0=0xC8;
    nilai_sensor=read_adc(1);
    counter++;
    if(pwm1<=counter){PORTD.1=1;} //logika low
    else{PORTD.1=0;}
    if(pwm2<=counter){PORTD.0=0;} //logika high
    else{PORTD.0=1;}
    if(counter>108){counter=0;}
}
void program()
{
    //kendali proporsional
    error=set_point-nilai_sensor;
    outP=Kp*error;

    //kendali integral
    errorI=error+error_sebelumI;
    outI=Ki*errorI*Tc;
    error_sebelumI=errorI;

    //kontrol PI
    pwm1=outP+outI;
```

```

    if (pwm1<=0)      {pwm1 = 0;}
    else if (pwm1>=54)  {pwm1 = 54;}
    pwm2=110-pwm1;
  }
void main(void)
{
  // Declare your local variables here
  // Input/Output Ports initialization
  // Port A initialization
  // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
  // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
  PORTA=0x00;
  DDRA=0x00;
  // Port B initialization
  // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
  // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
  PORTB=0x00;
  DDRB=0x00;
  // Port C initialization
  // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
  // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
  PORTC=0x00;
  DDRC=0x00;
  // Port D initialization
  // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=Out
  Func0=Out
  // State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=0 State0=0
  PORTD=0x00;
  DDRD=0x03;

```

// Timer/Counter 0 initialization

// Clock source: System Clock

// Clock value: 1382.400 kHz

// Mode: Normal top=FFh

// OC0 output: Disconnected

TCCR0=0x02;

TCNT0=0x00;

OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization

// Clock source: System Clock

// Clock value: Timer1 Stopped

// Mode: Normal top=FFFFh

// OC1A output: Discon.

// OC1B output: Discon.

// Noise Canceler: Off

// Input Capture on Falling Edge

// Timer1 Overflow Interrupt: Off

// Input Capture Interrupt: Off

// Compare A Match Interrupt: Off

// Compare B Match Interrupt: Off

TCCR1A=0x00;

TCCR1B=0x00;

TCNT1H=0x00;

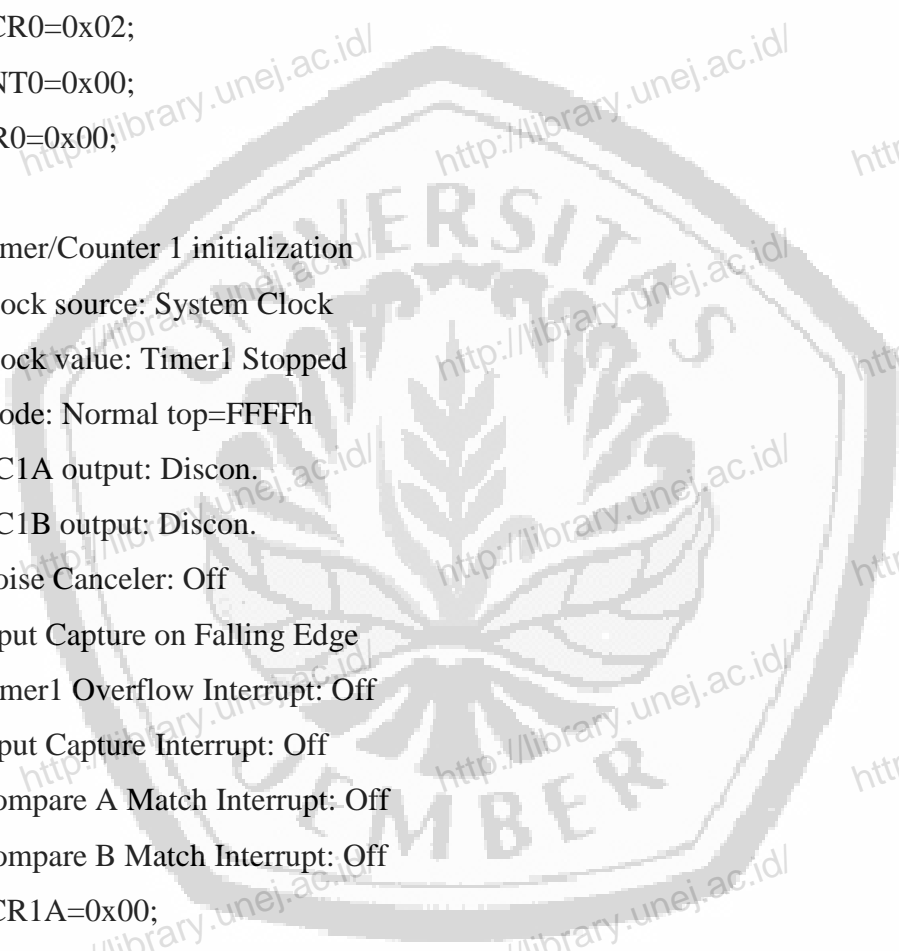
TCNT1L=0x00;

ICR1H=0x00;

ICR1L=0x00;

OCR1AH=0x00;

OCR1AL=0x00;



OCR1BH=0x00;

OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization

// Clock source: System Clock

// Clock value: Timer2 Stopped

// Mode: Normal top=FFh

// OC2 output: Disconnected

ASSR=0x00;

TCCR2=0x00;

TCNT2=0x00;

OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization

// INT0: Off

// INT1: Off

// INT2: Off

MCUCR=0x00;

MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization

TIMSK=0x01;

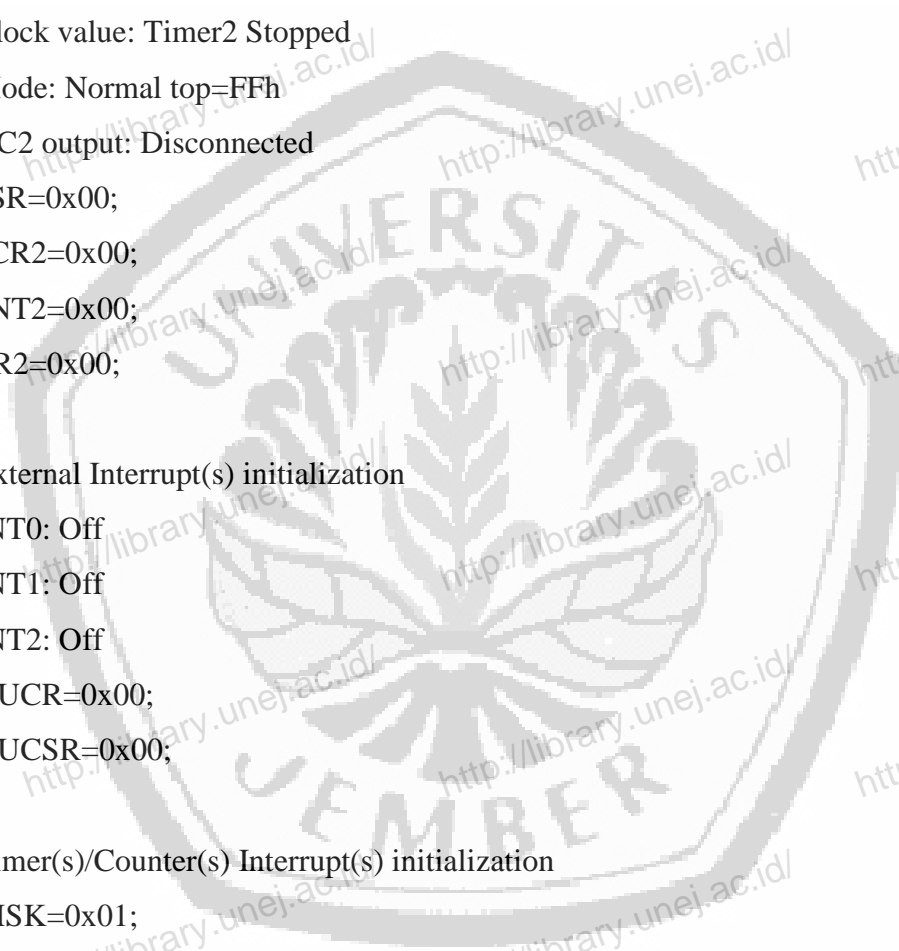
// Analog Comparator initialization

// Analog Comparator: Off

// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off

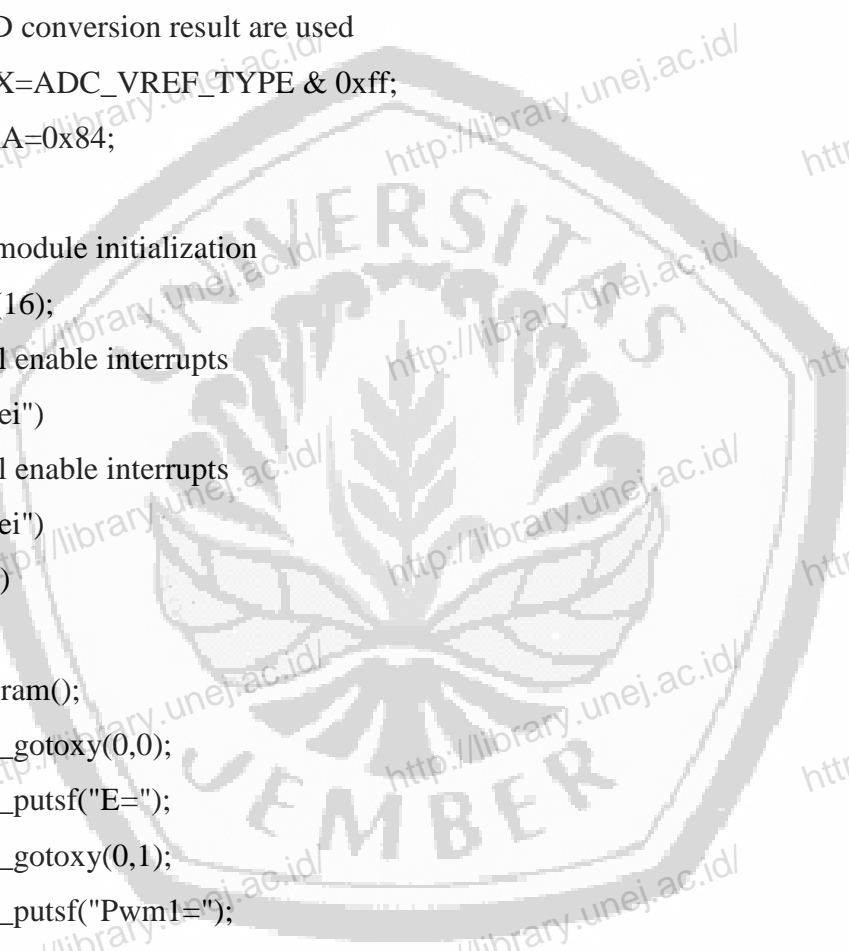
ACSR=0x80;

SFIOR=0x00;



```
// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 691.200 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
// ADC Auto Trigger Source: None
// Only the 8 most significant bits of
// the AD conversion result are used
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;
```

```
// LCD module initialization
lcd_init(16);
// Global enable interrupts
#asm("sei")
// Global enable interrupts
#asm("sei")
while (1)
{
    program();
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_putsf("E=");
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("Pwm1=");
    lcd_gotoxy(8,1);
    lcd_putsf("Pwm2=");
    lcd_gotoxy(2,0);
    sprintf(buf,"%d",nilai_sensor);
    lcd_puts(buf);
    lcd_gotoxy(7,0);
    sprintf(buf,"%d",error);
```



```
lcd_puts(buf);  
lcd_gotoxy(5,1);  
sprintf(buf,"%d",pwm1);  
lcd_puts(buf);  
lcd_gotoxy(13,1);  
sprintf(buf,"%d",pwm2);  
lcd_puts(buf);  
};  
}
```

