

**RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI JARINGAN TEGANGAN RENDAH  
ARUS SEARAH**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**VITO FAUZAN  
NIM. 115060307111028**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG**

**2015**

**LEMBAR PERSETUJUAN**  
**RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI JARINGAN TEGANGAN RENDAH**  
**ARUS SEARAH**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**VITO FAUZAN**  
**NIM. 115060307111028-63**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal .....

Dosen Pembimbing I

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19730520 200801 1 013

Dosen Pembimbing II

Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.  
NIK. 2012 01841130 1 001

**LEMBAR PENGESAHAN**

**RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI JARINGAN TEGANGAN RENDAH  
ARUS SEARAH**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

**VITO FAUZAN**  
**NIM. 115060307111028**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus sidang skripsi  
pada tanggal 25 November

Ir. Wijono, M.T.,Ph.D.  
NIP. 19710601 200003 1 001

Drs. Ir. Moch.Dhofir, M.T.  
NIP. 19710601 200003 1 001

Ir. Soemarwanto, M.T.  
NIP. 19500715 198003 1 002

**Mengetahui**  
**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

M. Azis Muslim, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19741203 200012 1 001



## PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terhadap unsur-unsur penjiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang,.....

Mahasiswa,

**Materai Rp. 6000,-**

Vito Fauzan

115060307111028



## RINGKASAN

**Vito Fauzan**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2015, Rancang Bangun Sistem Proteksi Jaringan Tegangan Rendah Arus Searah, Dosen Pembimbing: Hadi Suyono dan Eka Maulana.

Semakin berkembangnya teknologi elektronika daya dalam bidang energi maka hal tersebut seiring juga dengan semakin berkembangnya teknologi jaringan dc, bahkan di Sumatra telah di terapkan jaringan dc namung untuk *High Voltage Direct Curret* (HVDC). Untuk sekarang sistem dc masih kurang mengtungkan dikarenakan transmisi dc hantar udara akan efektif dan lebih ekonomis jika jaraknya lebih dari 400 km jika jaraknya yang terlalu dekat akan timbul rugi-rugi yang banyak akibat konversi dc ke ac, akan berbeda jika jaringan tegangan rendah juga dc sehingga konversi energi tidak akan menghasilkan rugi-rugi yang terlalu banyak. Sebenarnya penggunaan sistem dc sudah banyak digunakan pada beban rumah tangga seperti charger, tv, laptop, kipas, heater, blender dan masih banyak lagi. Sebuah sistem tentunya perlu sebuah proteksi agar membuat sistem tersebut aman dan mempunyai kontinuitas, hanya saja untuk penetapan standar dan produksi alat proteksi untuk sistem jaringan tegangan rendah dc masih berupa penelitian dan belum masuk ke pasar. Oleh karena itu studi sistem proteksi tentang jaringan tegangan rendah dc terus meningkat dari tiap tahunnya

Tujuan akhir dalam penelitian ini adalah membuat sebuah purwarupa sitem proteksi pada jaringan tegangan rendah dc sehingga dapat menciptakan sebuah sistem yang aman dan juga ekonomis. Untuk mengetahui kehandalan dari sistem purwarupa yang telah di di buat maka perlu dilakukan sebuah pengujian terhadap sistem dengan cara mengimplentasikan beberapa jenis gangguan ke sistem antara lain gangguan beban lebih (*overload*), gangguan hubung singkat , dan gangguan tegangan lebih(*overvotage*), dan gangguan tegangan kurang(*undervoltage*). Selain itu penelitian ini juga dapat dijadikan referensi untuk sistem dc di masa depan.

Berdasarkan hasil pengujian baik per blok sistem dan pengujian sistem secara keseluruhan sistem yang di buat telah memenuhi tujuan awal dari penelitian. Respon rele pada sistem mempunya kecepatan waktu dalam mengisolir gangguan dengan rata-rata 10 ms. Sistem yang dibuat juga dapat mengatasi beberapa jenis gangguan yang dengan sengaja di implemetasikan ke dalam sistem untuk mengetahui tingkat kehandalan dan keamanan sistem dalam mengatasi gangguan. Beberapa jenis gangguan yang dilakukan pengujian terhadap sistem antara lain, gangguan beban lebih (*overload*), gangguan hubung singkat , dan gangguan tegangan lebih.

Kata kunci: Proteksi DC, LVDC, jaringan dc, jenis gangguan pada sistem dc, *direct current*.



## SUMMARY

**Vito Fauzan**, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, October 2015, Design and Build Low Voltage Direct Current protection System , Academic Supervisor: Hadi Suyono and Eka Maulana.

Power electronics recently more sophisticated especially in energy sector, so there is domino effect that make direct current network technology increasingly sophisticated too, even in Indonesia exactly in Sumatra island High Voltage Direct Current (HVDC) has been applied. Present time direct current system is less profitable and efficient because there are many power losses in conversion energy from dc to ac but if the distance of direct current network is more than 400 km it will be efficient and profitable. The distance of direct current network that less than 400 km can be efficient if the low voltage system change to direct current too, it can decrease power losses. Actually direct current system has been applied in many equipment like chargers, televisions, laptops, fan, heater, blender, and many more, so the recsearch in low voltage direct currennt increase year by year.

The final goal of this research is make the prototype of low voltage direct current protection system, so the system will be safe from the abnormal condition. Realibility of system can be figure out by test the system with abnormal condition. The abnormal condition consist of , overvoltage condition, undervoltage conditon, overload condition, and shor circuit condition.

Based on the test result of abnormal condition either per block system or all the system, the system that made by the author has been fulfill the beginning purpose of this research. The time respond of relay to clear out or isolate the abnormal condition is 10 ms. The protection system that made can be isolate overvoltage condition, undervoltage conditon, overload condition, and shor circuit condition very well.

**Keywords:** DC protection, LVDC, DC network, fault condition in dc network, direct current.

## PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan berkat rahmat dan karunia serta ridlo-Nya penyusunan skripsi ini dengan judul “Rancang Bangun Sistem Proteksi Jaringan Tegangan Rendah Arus Searah” dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa kajian ini tak akan mencapai titik akhir penyelesaiannya tanpa bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. M. Azis Muslim, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
3. Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M. Sc. selaku KKDK teknik energi elektrik (A) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
4. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D dan Eka Maulana, ST., MT., M.Eng. selaku dosen pembimbing pada penyusunan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
6. Kedua orang tua tercinta Supriyono dan Susilawati yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, kasih sayang, dan selalu menjadi motivasi utama selama ini.
7. Saudara tercinta Yana dan Dhanes yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan nasihat yang baik.
8. Sahabat-sahabat seperjuangan Hepi Electrical Power (HEP), Dimas, Ghils, Jabs, Kels, Bon, darjo, Mirza, Ajot yang telah membantu penyelesaian skripsi ini.
9. Teman-teman deworengku yang telah membantu, memberi semangat, dan memberi saran.
10. Teman-teman angkatan 2011 Inverter yang selalu memberikan dukungan dalam skripsi ini.
11. Serta semua pihak yang tak dapat disebutkan satu persatu yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Sebuah penantian yang panjang telah berakhir, yang kemudian menjadi sebuah titik perjalanan baru. Tiada yang sempurna di dunia ini, tersadar bahwa skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan. Karenanya, segala kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca

tentang skripsi ini akan diterima dengan senang hati. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, November 2015

Penyusun





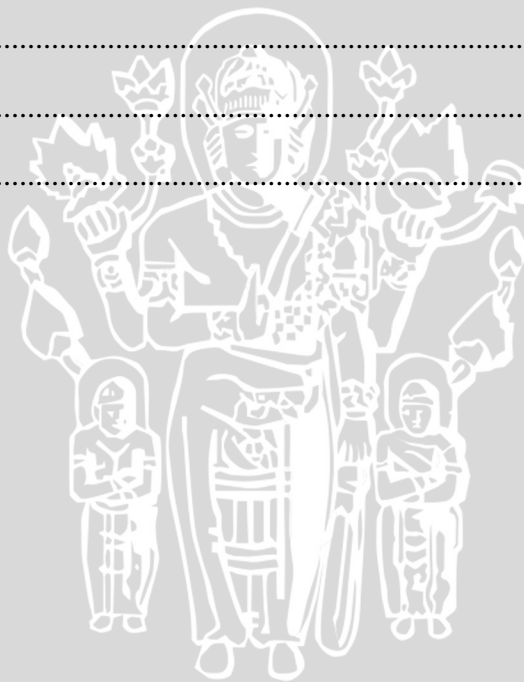
**DAFTAR ISI**

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN ORISINILITAS SKRIPSI</b> .....	iii
<b>RINGKASAN</b> .....	iv
<b>SUMMARY</b> .....	v
<b>PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	2
1.5. Manfaat .....	3
1.6. Sistematika Pembahasan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1. Sistem Jaringan Tegangan Rendah Arus Searah .....	4
2.2. Tujuan Dasar Sistem Proteksi.....	5
2.2.1 Kehandalan.....	6
2.2.2 Selektifitas.....	7
2.2.3 Kecepatan.....	7
2.2.4 Sederhana .....	8
2.2.5 Ekonomis .....	9



2.3.	Jenis Gangguan Pada Sistem DC.....	9
2.3.1	<i>Line to line</i> .....	9
2.3.2	Beban lebih.....	10
2.4.	Sistem Proteksi DC.....	10
2.4.1	Proteksi dc dengan peralatan dc.....	11
2.5.	Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	17
2.6.	Mikrokontroler.....	18
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>22</b>
3.1.	Studi Literatur.....	23
3.2.	Penentuan Spesifikasi Alat .....	23
3.3.	Simulasi .....	23
3.4.	Perancangan dan Pembuatan Alat .....	23
3.5.	Pengujian dan Analisis Alat .....	24
<b>BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....</b>		<b>25</b>
4.1.	Perancangan Sistem.....	25
4.2.	Perancangan Perangkat Keras .....	26
4.2.1	Perancangan sensor arus .....	26
4.2.2	Perancangan sensor tegangan.....	27
4.2.3	Perancangan multiplexer .....	28
4.2.4	Perancangan sistem mikrokontroler.....	29
4.2.5	Perancangan sistem keseluruhan.....	30
4.2.6	Perancangan kabel.....	31
4.2.7	Perancangan <i>time current curve</i> rele.....	32
4.2.8	Perancangan <i>single line diagram</i> .....	34
4.3.	Perancangan Perangkat Lunak.....	35
4.3.1	Perancangan algoritma sistem proteksi.....	35
<b>BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS .....</b>		<b>37</b>

5.1. Pengujian Sensor Arus.....	37
5.2. Pengujian Sensor Tegangan.....	38
5.3. Pengujian Respon Rele.....	39
5.4. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan .....	43
5.4.1 Pengujian gangguan <i>undervoltage</i> .....	43
5.4.2 Pengujian gangguan <i>overvolatge</i> .....	44
5.4.3 Pengujian gangguan beban lebih.....	45
5.4.4 Pengujian gangguan hubung singkat.....	50
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	54
6.1. Kesimpulan.....	54
6.2. Saran.....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	55
<b>LAMPIRAN</b> .....	56





**DAFTAR TABEL**

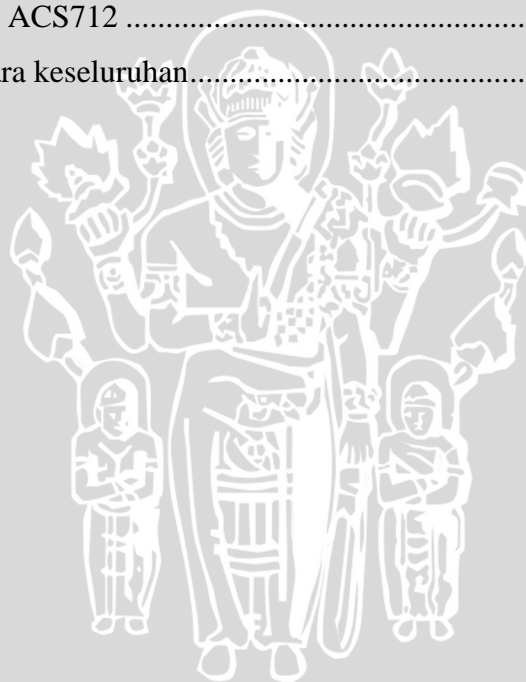
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai konstanta untuk kurva IEC.....	13
Tabel 2.2	Nilai konstanta untuk kurva ANSI.....	14
Tabel 2.3	Nilai konstanta untuk kurva IAC.....	15
Tabel 4.1	Penggunaan pin atmega328.....	30
Tabel 4.2	KHA terus menerus yang diperbolehkan untuk kabel.....	32
Tabel 5.1	Hasil pengujian sensor arus.....	38
Tabel 5.2	Hasil pengujian sensor tegangan.....	38
Tabel 5.3	Hasil pengujian respon rele.....	39
Tabel 5.4	Nilai konstanta untuk kurva IEC.....	39
Tabel 5.5	Hasil perbandingan teori dan praktek waktu <i>trip</i> rel.....	49
Tabel L.1	Daftar Konstruksi Kabel Instalasi.....	63



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Jenis koneksi LVDC. (a) koneksi unipolar;(b) koneksi bipolar .....	5
Gambar 2.2	Sistem koneksi AC dengan proteksi sirkuit DC <i>trip</i> .....	6
Gambar 2.3	Jenis gangguan hubung singkat line to line .....	10
Gambar 2.4	Rangkaian IGBT-CB .....	11
Gambar 2.5	Karakteristik rele arus lebih. (a) <i>Definite current</i> ; (b) <i>Definite time</i> ;(c) <i>Inverse time</i> ; .....	12
Gambar 2.6	<i>Time current curve</i> untuk IEC <i>inverse</i> .....	16
Gambar 2.7	Grafik standard arus hubung singkat( IEC 61660-1:1997) .....	17
Gambar 2.8	(a) Daftar pin yang ada di ATMEGA 32 (b) Bentuk fisik ATMEGA .....	18
Gambar 3.1	Diagram alir metodologi penelitian .....	22
Gambar 4.1	Diagram Blok Sistem Secara Keseluruhan .....	26
Gambar 4.2	(a) Bentuk fisik sensor arus;(b) Port acs712 .....	27
Gambar 4.3	Gambar rangkaian pembagi tegangan .....	28
Gambar 4.4	Konfigurasi pin Shield ic cd4051 .....	29
Gambar 4.5	Konfigurasi pin <i>shield</i> ATMEGA328 .....	29
Gambar 4.6	Rangkaian sistem secara keseluruhan .....	31
Gambar 4.7	<i>Time current curve</i> untuk rele pada sistem .....	33
Gambar 4.8	<i>Single Line Diagram</i> Sistem .....	35
Gambar 4.9	Diagram alir program .....	36
Gambar 5.1	Respon waktu rele zona 1 .....	40
Gambar 5.2	Respon waktu rele zona 2 .....	40
Gambar 5.3	Respon waktu rele zona 3 .....	41
Gambar 5.4	Respon waktu rele zona 4 .....	41
Gambar 5.5	Respon waktu rele zona 5 .....	42
Gambar 5.6	Respon waktu rele zona 6 .....	42
Gambar 5.7	Blok diagram pengujian <i>undervoltage</i> .....	43
Gambar 5.8	Gelombang tegangan pada sumber .....	44
Gambar 5.9	Blok diagram pengujian <i>overvoltage</i> .....	44
Gambar 5.10	Gelombang tegangan pada sistem .....	45
Gambar 5.11	Blok diagram pengujian beban lebih .....	45
Gambar 5.12	Kurva <i>tcc</i> rele yang telah dirancang .....	46

Gambar 5.13 Hasil pengujian beban lebih 5.4 A.....	47
Gambar 5.14 Hasil pengujian beban lebih 6.2 A.....	48
Gambar 5.15 Hasil pengujian beban lebih 7.3 A.....	48
Gambar 5.16 Hasil pengujian beban lebih 8.5 A.....	49
Gambar 5.17 Blok diagram pengujian hubung singkat.....	50
Gambar 5.18 Hasil pengujian hubung singkat zona 1.....	50
Gambar 5.19 Hasil pengujian hubung singkat zona 2.....	51
Gambar 5.20 Hasil pengujian hubung singkat zona 3.....	51
Gambar 5.21 Hasil pengujian hubung singkat zona 4.....	52
Gambar 5.22 Hasil pengujian hubung singkat zona 5.....	52
Gambar 5.23 Hasil pengujian hubung singkat zona 6.....	53
Gambar L.1 Modul arduino uno.....	56
Gambar L.2 Sensor arus ACS712.....	56
Gambar L.3 Sistem secara keseluruhan.....	57

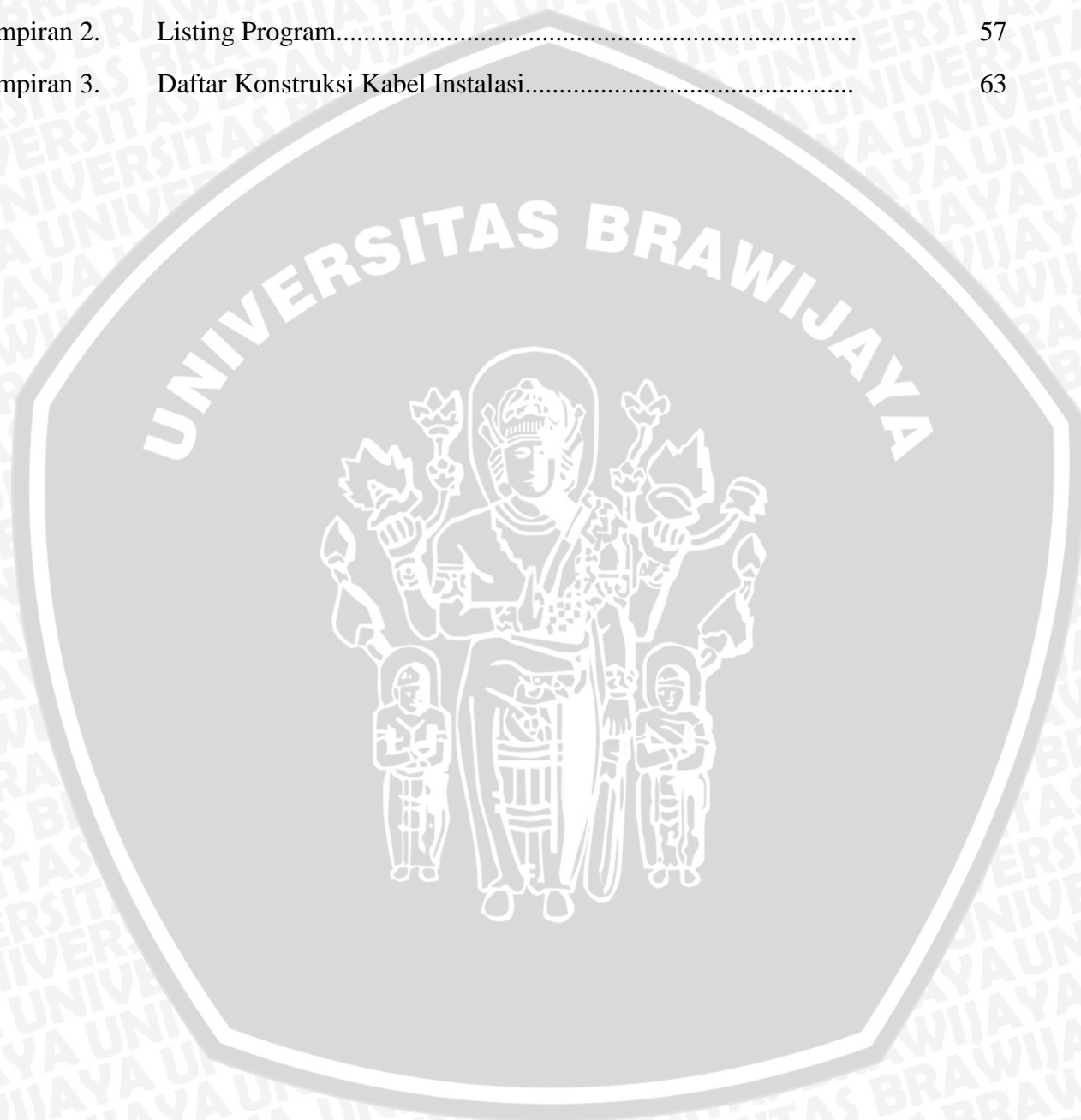




## DAFTAR LAMPIRAN

dvsvb

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Bentuk fisik alat.....	55
Lampiran 2.	Listing Program.....	57
Lampiran 3.	Daftar Konstruksi Kabel Instalasi.....	63





## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Kebutuhan listrik yang selalu meningkat dari tahun ketahun merupakan sebuah masalah yang terus terjadi setiap tahunnya. Selama ini sebagian besar pasokan listrik di indonesia menggunakan bahan bakar yang berasal dari fosil dan cepat atau lambat hal tersebut semakin menipis dan akan habis. Dengan semakin berkembangnya teknologi elektronika daya dalam bidang energi maka hal tersebut seiring juga dengan semakin berkembangnya teknologi jaringan dc, bahkan di Sumatra telah di terapkan jaringan dc namung untuk *High Voltage Direct Curret* (HVDC). Untuk sekarang sistem dc masih kurang menguntungkan dikarenakan transmisi dc hantar udara akan efektif dan lebih ekonomis jika jaraknya lebih dari 400 km jika jaraknya yang terlalu dekat akan timbul rugi-rugi yang banyak akibat konversi dc ke ac, akan berbeda jika jaringan tegangan rendah juga dc sehingga konversi energi tidak akan menghasilkan rugi-rugi yang terlalu banyak. Sebenarnya penggunaan sistem dc sudah banyak digunakan pada beban rumah tangga seperti charger, tv, laptop, kipas, heater, blender dan masih banyak lagi. Oleh karena itu studi tentang jaringan tegangan rendah dc terus meningkat dari tiap tahunnya. Jaringan tegangan rendah dc adalah sistem yang tegangan dasarnya berupa dc dan memiliki rating tegangan dibawah 100 volt. Sistem ini juga bisa menjadi solusi dalam rangka penghematan energi, karena pada sistem jaringan tegangan rendah dc tidak banyak digunakannya alat konversi energi seperti halnya pada sistem ac yang mana pada setiap konversi energi akan menimbulkan rugi-rugi. Meskipun belum memiliki standar yang baku tentang sistem jaringan tegangan rendah dc, belakangan ini semakin dikembangkan karena semakin banyaknya kajian-kajian terhadap energi terbarukan. Energi terbarukan sebagian besar manghasilkan tegangan dan arus berupa DC sehingga metode smart grid ini sangat membantu dalam pengkordinasian antar energi terbarukan dalam suatu wilayah.

Namun dalam setiap sistem diperlukan suatu peralatan pengaman atau proteksi dari sistem tersebut guna mengantisipasi hal-hal yang tidak diinginkan yang bisa mengganggu stabilitas dari sistem tersebut. Selain itu juga diperlukan koordinasi antar sub sistem agar apabila terjadi gangguan yang terjadi pada ssalah satu sub sistem tidak mengganggu keseluruhan sistem. Misalnya suatu sistem terdiri dari 5 sub sistem dan terjadi gangguan pada sub sistem 3, maka agar sub sistem 3 tersebut tidak berdampak ke sub sistem lain maka sub



sistem 3 tersebut harus dimatikan sehingga sub sistem lainnya dapat tetap berjalan dengan semestinya.

Selain itu respon alat proteksi terhadap gangguan juga harus cepat agar gangguan tidak merambat ke sub sistem yang lain, karena bila terlambat beberapa detik saja bisa menyebabkan kerusakan pada sub sistem lain, dimana hal tersebut dapat menyebabkan kerugian baik dari segi energi maupun materi. Dalam proteksi smart grid ini dibutuhkan sensor-sensor sebagai acuan alat proteksi untuk bekerja, sensor-sensor tersebut antara lain sensor arus dan tegangan. Sedangkan komponen-komponen lain yang di butuhkan seperti mikrokontroler, circuit breaker, fuse, kapasitor sebagai filter grounding jika dibutuhkan. Sedangkan untuk jenis-jenis gangguan yang terjadi pada jaringan tegangan rendah dc antara lain, gangguan beban lebih (*overload*), gangguan hubung singkat, dan gangguan tegangan lebih.

Tujuan akhir dari yang diharapkan dari penelitian adalah merancang alat proteksi pada sistem jaringan tegangan rendah dc sehingga dapat terciptanya suatu sistem yang aman.

### 1.2. Rumusan Masalah

Agar dapat diketahui apa yang akan dikaji dalam rancang bangun ini, terdapat beberapa perumusan masalah. Rumusan masalah tersebut antara lain:

1. Bagaimana jenis-jenis gangguan yang ada pada sistem jaringan tegangan rendah dc.
2. Bagaimana rancang sistem proteksi untuk sistem jaringan tegangan rendah dc.
3. Bagaimana respon waktu alat proteksi dalam mengatasi gangguan.

### 1.3. Batasan Masalah

Akibat banyaknya kemungkinan yang akan terjadi dalam rancang bangun ini, dibutuhkan batasan-batasan masalah. Batasan masalah tersebut antara lain:

1. Sensor yang digunakan sensor arus dan sensor tegangan.
2. Tegangan dasar sistem adalah 48 volt.
3. Sistem dapat digunakan pada tegangan 38 V- 58 V
4. Diasumsikan baterai berada pada kondisi terisi penuh.
5. Jenis relay yang digunakan adalah OMRON LY2N
6. Kontroler untuk kordinasi proteksi menggunakan modul arduino

### 1.4. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat sistem proteksi pada jaringan tegangan rendah *direct current* dengan menggunakan rele

### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari penulisan penelitian ini adalah untuk memberikan rujukan perancangan sistem proteksi pada jaringan tegangan rendah *direct current*.

### **1.6. Sistematika Pembahasan**

Sistematika pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian dan untuk mendukung permasalahan yang diteliti.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi tahapan penyelesaian skripsi yang meliputi studi literatur, perancangan alat, pengujian alat, pengambilan data, perhitungan, dan analisis data.

#### **BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBANGUNAN ALAT**

Berisi tentang pembahasan, analisis, dan perancangan alat yang diajukan dalam penelitian.

#### **BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Berisi pengujian dan pengambilan data hasil perancangan alat yang kemudian digunakan untuk analisis

#### **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan dari perancangan dan pembangunan alat serta saran untuk penelitian selanjutnya.



## BAB II

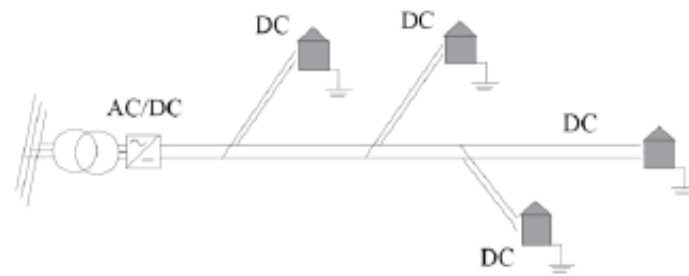
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Sistem Jaringan Tegangan Rendah Arus Searah

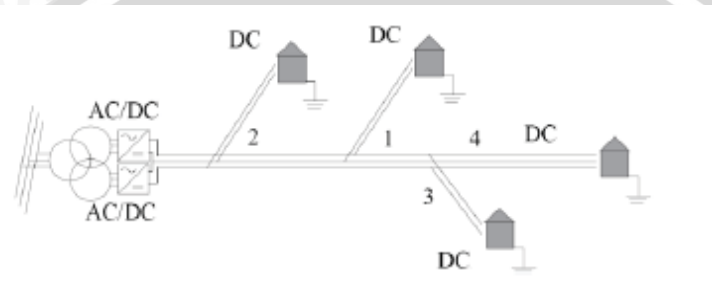
Sistem jaringan tegangan rendah arus searah merupakan salah satu sistem yang dipertimbangkan sebagai solusi yang menjanjikan untuk mendapatkan keandalan dan efisiensi energi yang bagus. Dengan semakin banyaknya energi terbarukan dengan keluaran dc, maka hal ini akan semakin menguntungkan untuk mendukung sistem dc. Meskipun belum ada standar yang jelas mengenai tegangan dasar pada tapi penelitian semakin banyak dilakukan untuk meninjau tentang sistem ini. jaringan tegangan rendah arus searah biasanya memiliki tegangan di bawah 100 Vdc, sistem jaringan tegangan rendah *direct current* mempunyai beberapa keuntungan sebagai berikut:

1. Efisiensi sistem, dikarenakan pengurangan energi yang hilang karena konversi energi menggunakan inverter.
2. Komponen yang lebih sedikit, tidak butuh pertimbangan tentang skin effect, sinkronisasi, dan daya reaktif
3. Energi terbarukan, hampir semua energi terbarukan menghasilkan keluaran dc maka tidak perlu konversi karena sistem bus menggunakan dc, hal ini dapat menghilangkan rugi-rugi daya 2.5% sampai 10%
4. Mengurangi rugi-rugi yang tidak penting, pada sistem dc dengan banyaknya langkah konversi yang dihindari dan pada setiap langkah mengakibatkan rugi-rugi dan mengurangi keandalan sistem. Kerana juga tidak adanya arus yang reaktif maka hampir seluruhnya arus yang dihasilkan sumber sampai ke beban tanpa adanya legging atau leading.





(a)



(b)

Gambar 2.1 Jenis koneksi LVDC. (a) koneksi unipolar;(b) koneksi bipolar

Sumber: P. Salonen (2008:1)

Berdasarkan gambar 2.1 sistem distribusi jaringan tegangan rendah dc dapat dibuat dengan 2 tipe jenis koneksi yaitu sistem unipolar dan sistem bipolar. Perbedaan dari kedua sistem tersebut adalah level tegangannya. Pada sistem unipolar hanya mempunyai satu level tegangan, sehingga beban akan terkoneksi dengan satu level tegangan tersebut. Sedangkan tipe bipolar terdiri dari 2 sistem unipolar yang terhubung seri. Pada sistem bipolar beban dapat terhubung diantara kedua level tegangan tersebut dengan beberapa cara antara lain diantara kutub positif, diantara kutub negatif, diantara kutub positif dan negatif, dan diantara kutub positif dan negatif dengan netral.

## 2.2. Tujuan Dasar Sistem Proteksi

Tujuan mendasar dari sistem proteksi adalah untuk menyediakan isolasi dari masalah yang ada dengan cepat, sehingga gangguan menyeluruh terhadap sistem dapat di minimalisir. Perlu diperhatikan dengan adanya sistem proteksi bukan berarti peralatan tersebut dapat mencegah terjadinya gangguan atau masalah. Alat-alat proteksi akan hanya bekerja saat terjadi keadaan-keadaan abnormal pada sistem dengan indikasi-indikasi tertentu yang telah ditentukan pada sistem. Lima aspek dasar dari sistem proteksi adalah

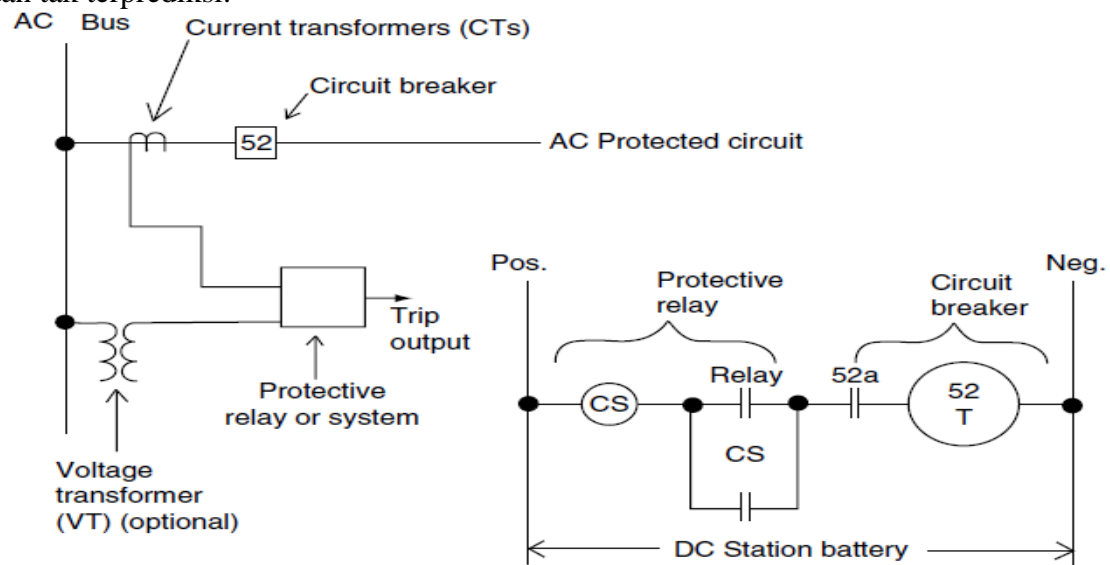
1. Keandalan: keandalan dari alat proteksi dalam mengatasi gangguan.

2. Selektif: kemampuan proteksi dalam memaksimalkan kontinuitas sistem dengan pemutusan sistem yang minimum.
3. Kecepatan: Meminimalkan durasi gangguan, kerusakan alat, dan ketidakstabilan sistem.
4. Sederhana: meminimalkan alat proteksi dan rangkaian sirkuit yang terkait dengan tujuan dari proteksi
5. Ekonomis: memaksimalkan proteksi dengan biaya seminimal mungkin.

### 2.2.1 Kehandalan

Kehandalan mempunyai dua aspek yaitu kehandalan dan security. Kehandalan didefinisikan sebagai “tingkat kepastian bahwa rele atau sistem rele akan beroperasi secara benar”(IEEE C 37.2). Security “berkaitan dengan tingkat kepastian bahwa rele atau sistem rele tidak akan beroperasi secara benar”(IEEE C37.2). Dengan kata lain, kehandalan mengindikasikan kemampuan dari sistem proteksi bekerja secara maksimal saat dibutuhkan, sedangkan security adalah kemampuan untuk menghindari operasi yang tidak perlu saat sistem dalam keadaan normal.

Kehandalan sangat gampang untuk memastikannya, dengan cara melakukan pengujian terhadap sistem proteksi untuk memastikan sistem proteksi tersebut beroperasi sebagaimana mestinya ketika ambang operasi telah terlewati. Untuk keamanan lebih susah untuk memastikannya, akan terdapat hampir berbagai macam variasi dari keadaan transient yang mungkin mengacaukan sistem proteksi dan kesimpulan dari semua kemungkinan akan sulit dan tak terprediksi.



Gambar 2.2 Sistem koneksi AC dengan proteksi sirkuit DC trip

Sumber: Domin(2007:46)



Sebagaimana pada umumnya, meningkatkan security akan cenderung mengurangi kehandalan dan juga sebaliknya. Sebagai ilustrasi, rele tunggal kontak trip yang ada pada Gambar 2.2 merepresentasikan kehandalan yang bagus, tapi mempunyai potensi yang tidak sengaja tertutup dikarenakan keadaan transient yg tidak diantisipasi atau karena kesalahan manusia yang tidak dikehendaki dalam operasi. Untuk menimalisasi potensi tersebut, rele kedua seperti detektor gangguan, dapat digunakan dengan kontaknya di seri deng sirkuit trip DC. Sehingga sekarang kedua kontak harus tertutup untuk membuat circuit breaker trip, dimana harus terjadi untuk kondisi yang tidak bisa ditoleransi. Hal ini meningkatkan tingkat security dari sistem, sehingga agak kurang mungkin jika terjadi gangguan akan menyebabkan kedua rele tersebut beroperasi secara bersamaan. Bagaimanapun, kehandalan telah berkurang, untuk itu sekarang memerlukan kedua rele bekerja secara benar. Pengaturan ini digunakan karena nilai dari kehandalan masih cukup tinggi bersamaan dengan peningkatan security. Security dengan demikian sangat penting(sama pentingnya dengan kehandalan).

### 2.2.2 Selektifitas

Rele telah ditetapkan sebuah area sebagai zona proteksi primer, tapi rele-rele tersebut mungkin juga dapat beroperasi dalam menanggapi kondisi diluar zona primer. Dalam contoh ini, rele-rele menyediakan proteksi cadangan untuk area diluar zona primernya. Ini ditujukan sebagai backup atau diluar batas zonanya.

Selektifitas (dikenal juga sebagai koordinasi rele) adalah sebuah proses dalam menetapkan dan mengatur rele proteksi yang diluar jangkauan rele lain sehingga rele-rele tersebut beroperasi secepat mungkin dalam zona primernya masing-masing, tapi agak terlambat pada zona cadangannya. Hal ini penting untuk memberikan izin kepada rele primer yang di tugaskan beroperasi pada zona cadangannya. Sebaliknya kedua set rele dapat beroperasi terhadap gangguan pada areayang ada diluar jangkauan. Operasi dari proteksi cadangan adalah salah dan tidak diinginkan kecuali kalau proteksi primer dari area tersebut gagal untuk menghilangkan gangguan. Karena itu, selektifitas atau koordinasi rele sangat penting untuk memaksimalkan keberlangsungan sistem dengan minimum sistem yang terputus.

### 2.2.3 Kecepatan

Sangat jelas yang diinginkan sebuah sistem proteksi yang dapat menghilangkan gangguan secepat mungkin. Dalam beberapa hal ini adalah hal yang sangat memungkinkan tapi disisi lain dengan termasuknya selectivity pada alat proteksi, semakin cepat operasi alat proteksi dapat tercapai dengan sistem proteksi yang kompleks dan harga yang lebih mahal.



Zero time atau kecepatan yang sangat tinggi oleh alat proteksi, mungkin dapat menyebabkan penambahan angka dari operasi yang tidak diinginkan. Seperti pada umumnya, semakin cepat kerja proteksi maka kemungkinan yang semakin besar pula terhadap hasil operasi atau kerja alat proteksi yang tidak secara benar, karena perbedaan keadaan transient yang bisa ditoleransi dan tidak bisa ditoleransi merupakan selisih waktu yang sangat kecil, hal ini bisa menyebabkan kemungkinan alat proteksi bekerja tidak benar.

Sebuah rele yang bekerja dengan kecepatan yang sangat tinggi, bekerja dengan waktu kurang dari 50 mili detik (tiga siklus pada 60 Hz) (IEEE 100). Istilah “*instantaneous*” didefinisikan untuk indikasi tidak ada waktu delay yang sengaja dikenalkan terhadap peralatan (IEEE 100). Pada prakteknya, istilah “*instantaneous*” “*high dan kecepatan*” yang digunakan secara bergantian untuk mendeskripsikan rele proteksi yang bekerja dibawah 50 mili detik.

Circuit breaker modern dengan kecepatan tinggi bekerja pada waktu antara 17-50 mili detik (1-3 siklus pada 60 Hz); ada juga yang bekerja pada 83 milidetik (5 siklus pada 60 Hz). Dengan demikian, total waktu untuk menghilangkan gangguan (rele dan breaker) berkisar antara 35-130 mili detik (2-8 siklus pada 60 Hz).

Pada sistem dengan tegangan yang lebih rendah, dimana koordinasi waktu yang dibutuhkan antara rele proteksi, waktu operasi rele pada umumnya akan melambat; biasanya 0.2-1.5 detik untuk zona primer. Waktu rele zona primer jika lebih dari 0.2-1.5 tidak biasa untuk gangguan pada zona primer, tapi hal itu mungkin dan bisa terjadi. Dengan demikian kecepatan merupakan hal yang penting, tapi tidak harus selalu dibutuhkan kecepatan, maupun kecepatan akan selalu diusahakan untuk mendapatkan kecepatan yang tinggi tanpa biaya tambahan dan kompleksitas.

Kecepatan rele akan sangat penting saat fasilitas proteksi berada dalam area stabilitas sensitif jaringan sistem listrik. Semakin cepat gangguan yang dihilangkan mengurangi umlah generator yang dapat berfungsi selama gangguan.

#### **2.2.4 Sederhana**

Sistem proteksi rele harus terjaga tetap simpel atau sederhana dan semudah mungkin selama masih bisa mencapai tujuan dari sistem proteksi. Setiap penambahan unit atau komponen yang mungkin bisa meningkatkan sistem dari proteksi, tapi belum tentu bersig=fat persyaratan dasar dari proteksi harus dipertimbangkan secara hati-hati. Seperti yang telah ditekankan, kesalahan operasi atau tidak tersedianya proteksi dapat menyebabkan bencana dalam sistem daya. Masalah dalam sistem proteksi bisa menimpa sistem secara keseluruhan.

Peningkatan terhadap penggunaan solid state dan teknologi digital dalam rele proteksi memberikan banyak kemungkinan untuk peningkatan peralatan yang semakin canggih. Mungkin akan ada beberapa penambahan baik pada proteksi maupun komponennya, namun dalam setiap penambahan harus di evaluasi secara hati-hati untuk memastikan penambahan tersebut akan berkontribusi dalam meningkatkan sistem proteksi.

### **2.2.5 Ekonomis**

Ekonomis adalah hal yang sangat mendasar, sebisa mungkin membuat sistem proteksi dengan maximum tapi juga dengan biaya yang minimum, dan biaya selalu menjadi salah satu faktor yang harus diperhatikan. Pertimbangan harga proteksi akan sangat diperhatikan berkaitan dengan kualitas sistem yang akan dibuat. Harga proteksi akan terlihat mahal jika hanya dilihat dari satu sisi, namun jika dilihat dari sisi lain yaitu kerusakan alat bahkan sistem yang mungkin terjadi jika tidak ada proteksi mungkin proteksi akan mempunyai harga yang sepadan dengan tanggung jawab proteksi tersebut terhadap keberlangsungan sistem.

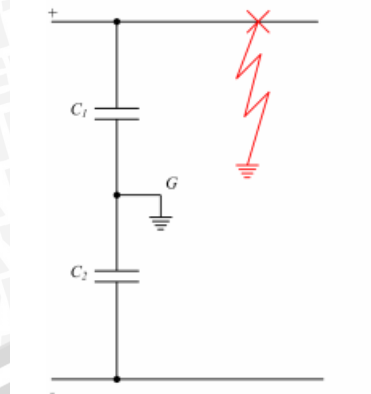
### **2.3. Jenis Gangguan Pada Sistem DC**

Untuk sistem dc terdapat beberapa jenis gangguan yang dapat menyebabkan keadaan abnormal pada sistem, jenis gangguannya antara lain, line to line/hubung singkat, beban lebih, tegangan lebih, dan tegangan kurang. Gangguan line to line terjadi saat bagian negatif dan positif saling berkenaan atau short, line to ground terjadi saat bagian dari negatif atau positif short terhadap ground, beban lebih sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut, pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang. Tegangan kurang dalam sistem ini biasanya terjadi saat cuaca yang berawan atau hujan sumber berupa baterai lama kelamaan akan habis sehingga tegangan pada baterai akan berkurang sehingga beban tidak bisa mendapatkan level tegangan yang seharusnya jika hal ini terus menerus dibiarkan maka baterai akan bocor.

#### **2.3.1 Line to line**

Gangguan line to line sistem koneksi kabel mungkin akan jarang terjadi pada kabel tersebut, tapi jika di udara gangguan line-to line dapat terjadi karena gangguan dari objek lain seperti tumbangnya pohon atau karena angin yang cukup kencang. Gangguan ini juga dapat terjadi jika ada kesalahan switching pada peralatan sehingga dapat menyebabkan hubungsingkat.





Gambar 2.3 Jenis gangguan hubung singkat line to line

Sumber: Candelaria (2012:12)

Pada gambar 2.3 merupakan salah satu jenis gangguan hubung singkat *line to line* yang dapat terjadi pada sistem dc, pada sistem dc hubung singkat terjadi pada kutub positif dan negatif yang saling bersentuhan.

### 2.3.2 Beban lebih

Gangguan lebih ini pada prinsip nya hampir sama dengan gangguan di atas yaitu sama-sama menyebabkan arus lebih. Sama halnya dengan gangguan yang lain gangguan beban lebih ini juga dapat menyebabkan kelainan pada sistem yang dapat menyebabkan sistem rusak. Salah satu kasus yang terjadi semisal terjadi gangguan sehingga memaksa salah satu baterai harus mati sedangkan beban yang dipikul sama sehingga hal ini akan menyebabkan arus meningkat tinggi sehingga dapat menyebabkan peralatan-peralatan rusak. Sehingga dalam kasus ini diperlukan proteksi.

### 2.4. Sistem Proteksi DC

Pada sistem AC keamanan dari sistem baik terhadap manusia maupun terhadap peralatan-peralatan merupakan hal yang penting. Pada sistem dc yang mulai dikembangkan secara pesat selama 1 dekade terakhir keamanan atau proteksi juga akan menjadi sangat penting dimana sistem dc sangat memungkinkan untuk menggantikan sistem ac yang selama ini kita gunakan. Tidak jauh berbeda dengan jenis-jenis gangguan yang ada pada sistem ac, pada penelitian ini akan ada beberapa jenis gangguan yang mungkin terjadi pada sistem dc antara lain short circuit yaitu konduktor antar kabel fasa dengan netral saling bersentuhan yang menyebabkan gangguan short circuit dan ada juga gangguan ground(konduktor-ground).

Meskipun penetapan standar tentang bagaimana sistem proteksi pada sistem dc belum di tetapkan, banyak metode yang telah dikemukakan, tapi kebanyakan metode yang dikemukakan di peruntukan HVDC. Hal ini dikarenakan HVDC telah ada yang di buat pada



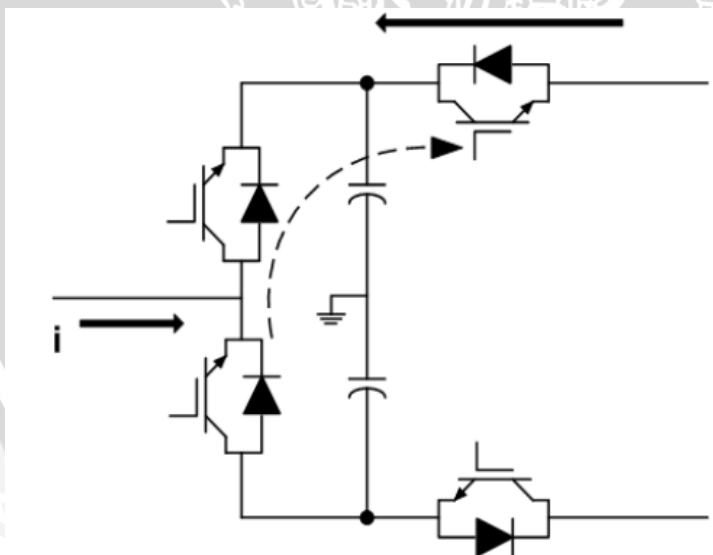
beberapa wilayah selain itu topik tentang HVDC telah mengemuka terlebih dahulu. Bagaimanapun secara konsep dan ide tidak terlalu jauh dari sistem LVDC. Berikut beberapa metode yang telah dikemukakan.

#### 2.4.1 Proteksi dc dengan peralatan dc

Proteksi dc dengan menggunakan peralatan dc merupakan suatu pilihan yang lebih bagus dibanding dengan proteksi dc dengan menggunakan peralatan ac. Peralatan proteksi dc dapat bertindak lebih cepat dibanding menggunakan peralatan ac. Beberapa proteksi dengan menggunakan peralatan dc akan dijelaskan di bawah ini.

##### 2.4.1.1 IGBT circuit breaker

Sebuah IGBT (IGBT-CB)circuit breaker memanfaatkan kemampuan blocking dari solid state drives. Sama seperti IGBT lainnya dalam konverter, IGBT-CB di konfigurasi dengan dioda anti paralel. Satu-satunya kekurangan dari IGBT-CB adalah sebuah alat uni-directional. Ilustrasi nya ada pada gambar 2.4 dibawah. Ketika gangguan terjadi pada saluran dc IGBT dapat menahan arus gangguan(direpresentasikan pada gambar 2.4 dengan garis putus-putus). Jika terjadi pada sisi konverter, maka dioda anti paralel akan mengalirkan arus(direpresentasikan dengan garis solid pada gambar 2.4. pada skenario ini IGBT-CB harus mengandalkan blocking yang dilakukan oleh IGBT dalam konverter.



Gambar 2.4 Rangkaian IGBT-CB

Sumber: Candelaria (2012:19)

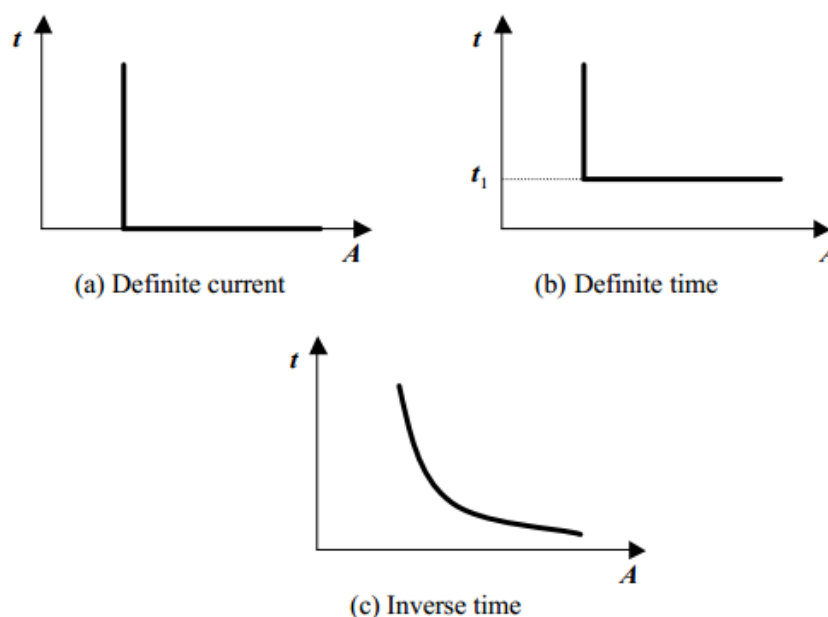
Untuk sistem dua terminal, IGBT-CB dapat ditempatkan pada masing-masing konverter, satu pada sisi positif dan satunya lagi pada sisi negatif seperti yang terlihat pada gambar 2.4. saklar dc yang cepat digunakan pada IGBT-CB, dimana itu digunakan untuk mengisolasi saluran setelah arus gangguan telah dihilangkan. Harus diperhatikan bahwa

saklar tidak bisa memutuskan arus dan hanya bisa terbuka setelah gangguan telah dihilangkan. Ketika sistem kontrol mendeteksi gangguan pada saluran, IGBT-CB akan menerima sinyal gate untuk membatasi arus. Ketika arus gangguan telah dihilangkan saklar dc akan terbuka dan mengisolasi saluran. Untuk menentukan jika gangguan sementara atau permanen, saklar dc dan IGBT-CB akan tertutup. Jika gangguan telah dihilangkan dari sistem maka sistem akan bekerja seperti normal. Ketika gangguan masih ada, saluran akan terisolasi lagi dan gangguan permanen akan diketahui.

Keuntungan menggunakan IGBT-CB adalah seluruh konverter tidak mati pada kasus gangguan ground. IGBT-CB juga dapat terbuka lebih cepat dibanding dengan peralatan ac. Tapi setiap alat memiliki kelemahan begitu juga dengan IGBT-CB, kelemahannya adalah tidak dapat memproteksi rel dc pada rectifier.

#### 2.4.1.2 Rele arus lebih

Berdasarkan karakteristik rele arus lebih dibagi menjadi tiga yaitu, rele definite current, rele definite time, rele inverse time.



Gambar 2.5 Karakteristik rele arus lebih. (a) *Definite current*; (b) *Definite time*; (c) *Inverse time*;

Sumber: [electrical-engineering-portal.com](http://electrical-engineering-portal.com)

Pada gambar 2.5 menunjukkan beberapa karakteristik kinerja rele sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Rele definite pada gambar 2.5(a) current bekerja dengan cepat ketika arus mencapai batas nilai yang telah ditentukan, sehingga jika arus telah mencapai batas yang ditentukan maka circuit breaker akan langsung membuka rangkaian. Rele jenis ini memiliki tingkat selektivitas yang rendah, jika pengaturan rele berdasarkan kondisi gangguan

maksimum pengaturan ini mungkin tidak sesuai untuk kondisi gangguan tingkat yang rendah.

Pada gambar 2.5 (b) rele definite time beroperasi pada waktu tertentu. Pengaturan bisa disesuaikan untuk mengatasi berbagai level arus yang menggunakan perbedaan waktu operasi. Kerugian dari rele ini adalah rele ini berada pada dekat sumber utama sehingga memungkinkan waktu yang lebih lama dalam menghilangkan gangguan.

Pada gambar 2.5 (c) rele invers time beroperasi sesuai dengan waktu yang ditentukan, dimana rele berbanding terbalik dengan arus gangguan. Rele ini biasanya untuk mengantisipasi arus starting motor yang cukup besar namun hanya butuh waktu singkat. Dengan menggunakan rele ini cicuit breaker tidak akan langsung trip saat starter motor karena rele ini akan menyesuaikan dengan karakteristik motor itu sendiri. Kelebihan rele ini adalah rele ini mempunyai tingkat selectivity yang bagus. Pengaman arus sangat umum digunakan dalam jaringan tegangan tinggi maupun jaringan tegangan rendah. Rele arus lebih dapat diatur pada arus berapa dan kapan dia akan *trip*. Pengaturan tersebut biasanya dinyatakan dalam TCC (*Time Current Curve*). Dengan merk rele yang berbeda-beda, maka banyak sekali karakteristik TCC yang berbeda sesuai kehendak pihak pabrik pembuatnya. Namun semua rele pasti memiliki tiga standar TCC yang sudah diakui dunia yaitu kurva IEC, kurva ANSI, dan kurva IAC.

Kurva IEC (BS142) adalah karakteristik TCC yang sangat umum digunakan pada industri. Masing-masing standar mempunyai rumus yang berbeda untuk mendapatkan TCC. Setiap standar masing-masing memiliki beberapa kurva seperti *standart inverse*, *very inverse*, *extremely inverse* dll.

- **Kurva IEC**

Rumus untuk mendapatkan kurva IEC adalah

$$T = \frac{A * D}{V^P - Q} + B * D + K \quad (2-1)$$

Dimana:

Tabel 2.1 Nilai konstanta untuk kurva IEC

Nama Kurva	A	P	Q	B	K
<i>Mod Inverse</i>	0.14	0.02	1	0	0
<i>Very Inverse</i>	13.5	1	1	0	0
<i>Extremely Inverse</i>	80	2	1	0	0



$D = \text{Time Dial}$  (diatur pada rele oleh pengguna)

$$V = I/I_{\text{pick up}}$$

Persamaan 2-1 dapat diselesaikan dengan memasukkan nilai konstanta yang telah ditetapkan sebagai standar IEC seperti yang tertera pada tabel 2.1. Penggunaan nilai konstanta pada tabel 2.1 juga tergantung dari kebutuhan untuk *time current curve* karena setiap beban mempunyai karakteristiknya masing-masing.

- **Kurva ANSI**

Rumus untuk mendapatkan kurva ANSI adalah

$$T = M * \left[ A + \frac{B}{(V-C)} + \frac{D}{(V-C)^2} + \frac{E}{(V-C)^3} \right] \quad (2-2)$$

Dimana:

Tabel 2.2 Nilai konstanta untuk kurva ANSI

Nama Kurva	A	B	C	D	E
<i>Inverse</i>	0.0274	2.2614	0.3	-4.1899	9.1272
<i>Very Inverse</i>	0.0615	0.7989	0.34	-0.284	4.0505
<i>Extremely Inverse</i>	0.0399	0.2294	0.5	3.0094	0.7222

$M = \text{Time Dial}$  (diatur pada rele oleh pengguna)

$$V = I/I_{\text{pick up}}$$

Persamaan 2-2 dapat diselesaikan dengan memasukkan nilai konstanta yang telah ditetapkan sebagai standar ANSI seperti yang tertera pada tabel 2.2. Penggunaan nilai konstanta pada tabel 2.1 juga tergantung dari kebutuhan untuk *time current curve* karena setiap beban mempunyai karakteristiknya masing-masing.

- **Kurva IAC**

Rumus untuk mendapatkan kurva IAC adalah

$$T = TDM * \left[ A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_{pkp}}\right) - C} + \frac{D}{\left(\left(\frac{I}{I_{pkp}}\right) - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\left(\frac{I}{I_{pkp}}\right) - C\right)^3} \right] \quad (2-3)$$

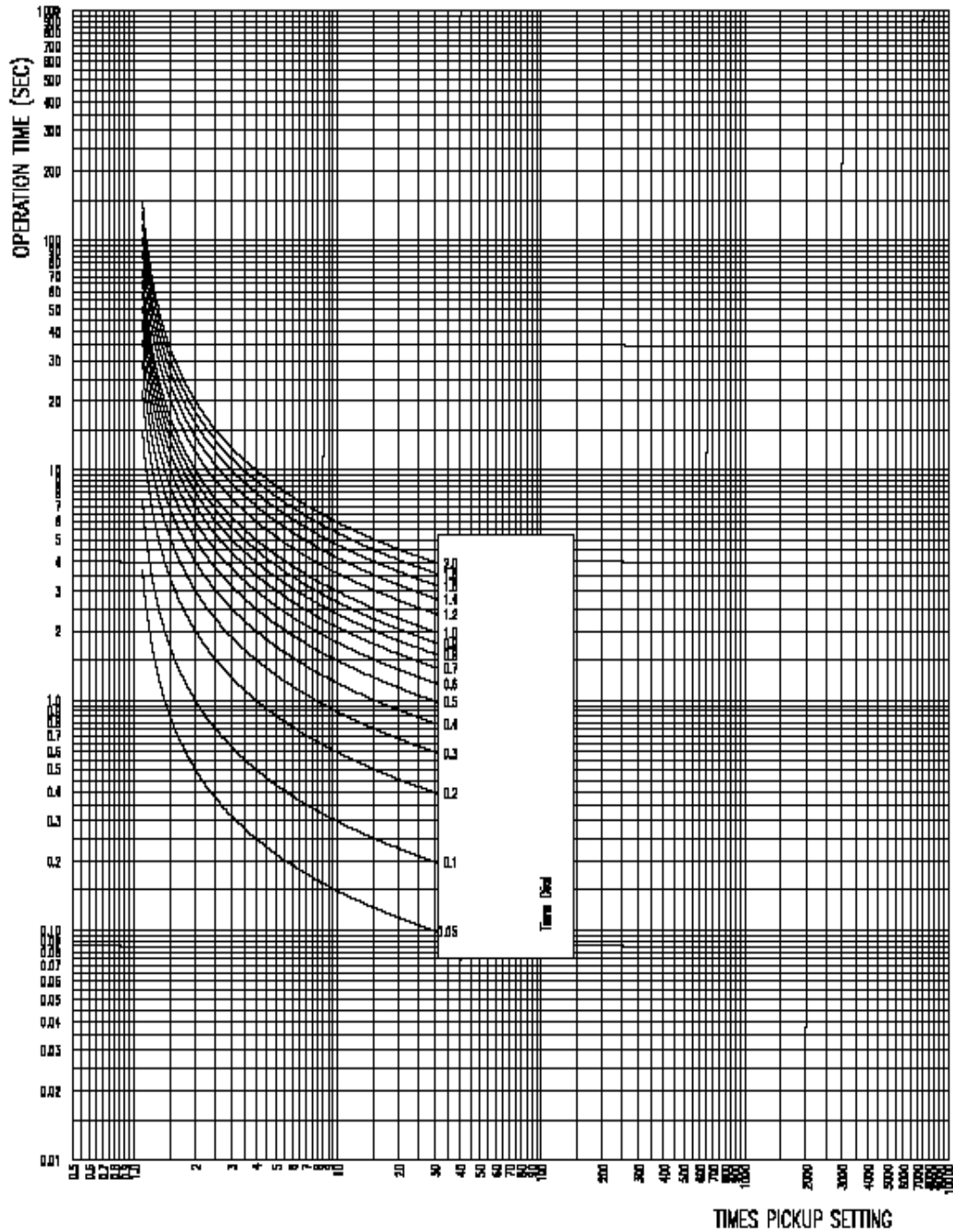
Dimana:

Tabel 2.3 Nilai konstanta untuk kurva IAC

Nama Kurva	A	B	C	D	E
<i>Inverse</i>	0.2078	0.863	0.8	-0.418	0.1947
<i>Long Inverse</i>	0.3754	17.8307	0.32	-23.7187	23.8978
<i>Short Inverse</i>	0.0442	0.0482	0.34	0.0223	0.0697
<i>Very Inverse</i>	0.09	0.7955	0.1	-1.2885	7.9586
<i>Extremely Inverse</i>	0.004	0.6379	0.62	1.7872	0.2461

TDM = *Time Dial*

Persamaan 2-3 dapat diselesaikan dengan memasukkan nilai konstanta yang telah ditetapkan sebagai standar IEC seperti yang tertera pada tabel 2.3. Penggunaan nilai konstanta pada tabel 2.3 juga tergantung dari kebutuhan untuk *time current curve* karena setiap beban mempunyai karakteristiknya masing-masing. Setiap standar memiliki kriteria masing-masing sehingga dengan tersedianya 3 standar internasional akan memudahkan untuk pengaturan *time current curve* pada rele. Oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui karakteristik dari beban karena bisa saja suatu beban hanya cocok terhadap satu standar sehingga akan tercipta proteksi dari rele yang diinginkan.



Gambar 2.6 *Time current curve* untuk IEC *inverse*

Sumber: IECBS12 datasheet (1999:B-3)

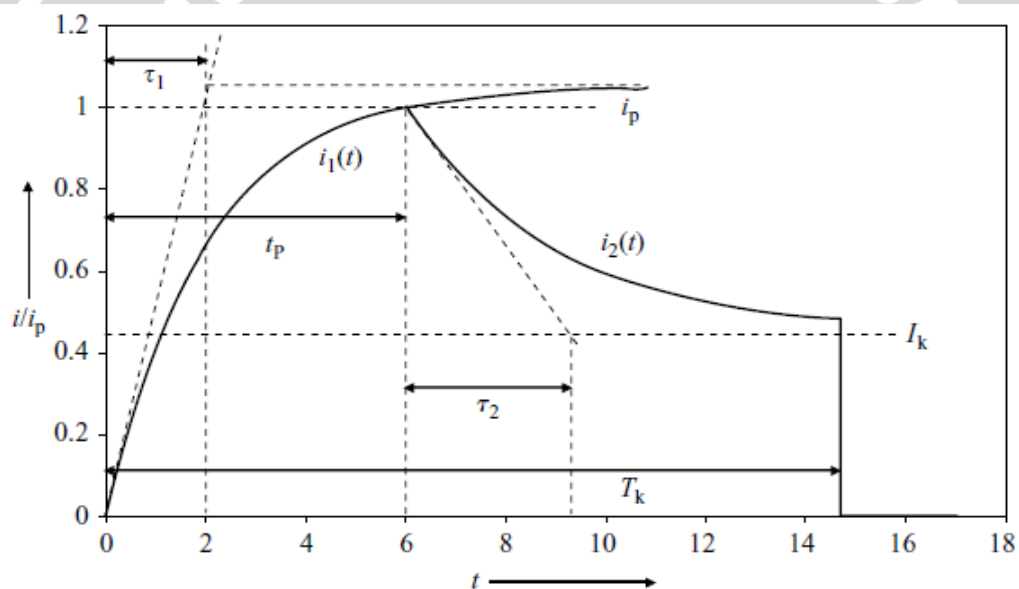
Gambar 2.6 menunjukkan grafik *inverse time current curve* untuk standar IEC. Grafik *inverse* digunakan agar rele mempunyai nilai toleransi terhadap arus dan waktu, penggunaan rele *inverse* akan sangat berguna karena hampir semua beban secara keseluruhan terdapat motor, seperti diketahui arus starting motor yang besar namun hanya sementara dengan menggunakan metode *inverse* ini rele tidak akan trip karena arus starting.



## 2.5. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan arus hubung singkat pada dc telah ditetapkan sesuai dengan IEC 61660-1. Pada prinsipnya arus hubung singkat dapat didefinisikan dalam fungsi waktu,  $i_1(t)$  menggambarkan rentang waktu  $t_p$  dari awal mula hubung singkat sampai arus maksimal hubung singkat  $i_p$  (arus puncak hubung singkat) dan fungsi waktu  $i_2(t)$ , menggambarkan waktu penurunan arus hubung singkat sampai keadaan hampir steady state. Peralatan yang berpengaruh terhadap arus hubung singkat pada dc antara lain:

- Kapasitor
- Baterai (umumnya tipe lead acid)
- Rectifier (IEC 61660-1 untuk sistem 50 Hz, pada sistem 60 Hz masih dalam pertimbangan lebih lanjut)
- Motor dc penguat terpisah



Gambar 2.7 Grafik standard arus hubung singkat (IEC 61660-1:1997)

Sumber: Schlabbach (2008;167)

Pada gambar 2.7 fungsi waktu grafik dapat di hitung dengan persamaan:

$$i_1(t) = i_p * \frac{1 - e^{-t/\tau_1}}{1 - e^{-t_p/\tau_1}} \quad \text{untuk } 0 \leq t \leq t_p \quad (2-4a)$$

$$i_2(t) = i_p \left( \left( 1 - \frac{i_k}{i_p} \right) * e^{-(t-t_p)/\tau_2} + \frac{i_k}{i_p} \right) \quad \text{untuk } t_p \leq t \leq T_k \quad (2-4b)$$

Fungsi waktu tersebut dijelaskan oleh fungsi standar berdasarkan gambar 2.7. Jika tidak ada beda maksimum dari arus hubung singkat, maka  $i_p = i_k$ .

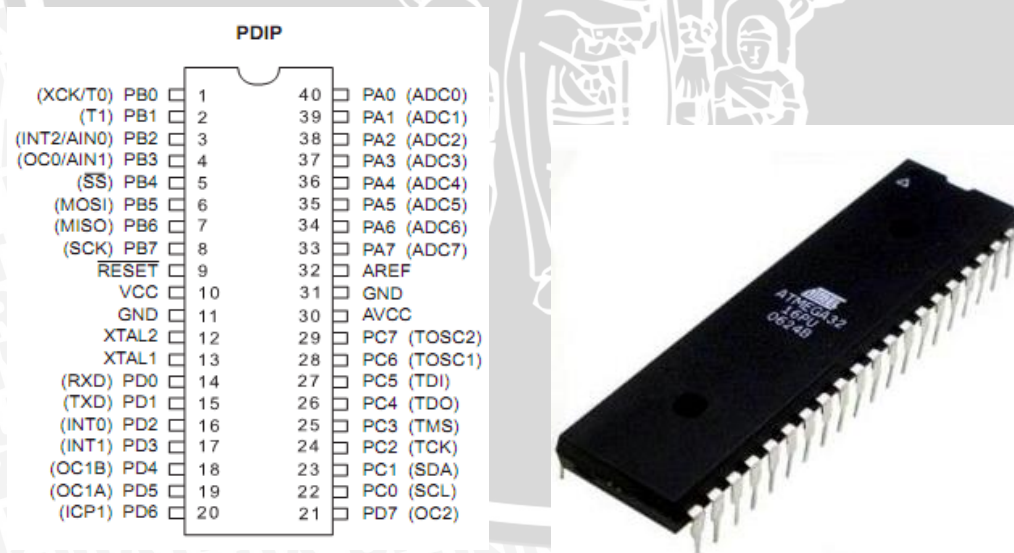
## 2.6. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah piranti elektronik berupa IC (*integrated circuit*) yang memiliki kemampuan manipulasi data (informasi) berdasarkan suatu urutan instruksi (program). Dalam sebuah struktur mikrokontroler akan kita temukan juga komponen-komponen seperti *processor, memory, clock*, dll.

Salah satu arsitektur mikrokontroler yang terdapat di pasaran adalah jenis AVR (*Advanced Virtual RISC*). Arsitektur mikrokontroler jenis AVR ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1996 oleh dua orang mahasiswa Norwegian Institute of Technology yaitu Alf-Egil Bogen dan Vegard Wollan. Dalam perkembangannya, AVR dibagi menjadi beberapa varian yaitu AT90Sxx, ATmega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing varian adalah kapasitas memori dan beberapa fitur tambahan saja.

Pemrograman mikrokontroler AVR dapat menggunakan low level language (assembly) dan high level language (C, Basic, Pascal, JAVA, dll) tergantung compiler yang digunakan. Salah satu yang banyak dijumpai di pasaran adalah AVR tipe ATmega, yang terdiri dari beberapa versi, yaitu :ATmega8535, ATmega16, ATmega162, ATmega32, ATmega324P, ATmega644, ATmega644P, dan ATmega128.

Pada pembahasan ini mikrokontroler yang digunakan adalah AVR ATmega32. Berikut ini adalah tampilan ATmega32:



Gambar 2.8 (a) Daftar pin yang ada di ATMEGA 32 (b) Bentuk fisik ATMEGA

Sumber: ATMEGA 32 datasheet (2011:2)

Gambar 2.8 menunjukkan bentuk fisik dari mikrokontroler dan juga fungsi dari masing-masing pin dari mikrokontroler yang terdapat 40 buah pin. Untuk meningkatkan kemampuan, mikrokontroler AVR ATmega32 menggunakan teknologi RISC (*reduced instruction set*



*computer*) di mana set instruksi dikurangi lebarnya sehingga semua instruksi mempunyai panjang 16 bit dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam single clock,serta pengurangan kompleksitas pengalamatan. Mikrokontroler AVR menggunakan arsitektur harvard dengan memisahkan memori dan jalur bus untuk program dan data agar meningkatkan kemampuan karena dapat mengakses program memori dan data memori secara bersamaan.Mikrokontroler AVR memiliki *fast access register* file dengan 32 register x 8 bit. Dengan 32 register AVR dapat mengeksekusi beberapa instruksi sekali jalan (*single cycle*). 6 dari 32 register yang ada dapat di gunakan sebagai *indirect address register pointer* 16 bit untuk pengalamatan data space, yang memungkinkan penghitungan alamat yang efisien.

Mikrokontroler merupakan suatu alat yang di dalamnya sudah terintegrasi dengan I/O port, RAM, ROM sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan kontroler. Mikrokontroler AVR ATmega32 merupakan low power CMOS mikrokontroler 8 bit yang di kembangkan oleh atmel dengan arsitektur RISC(*reduced instruction SET computer*) sehingga dapat mencapai throughput eksekusi instruksi 1 MIPS (*million instruction per second*). Mikrokontroler AVR dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas yaitu kelas ATtiny, kelas AT90xx, keluarga ATmega, dan kelas AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah *memori, peripheral, kecepatan, operasi tegangan, dan fungsinya*. Sedangkan dari segi arsitektur dan instruksi yang di gunakan bisa di katakan hampir sama.

Penjelasan konfigurasi pin pada mikrokontroler AVR ATmega32 secara umum:

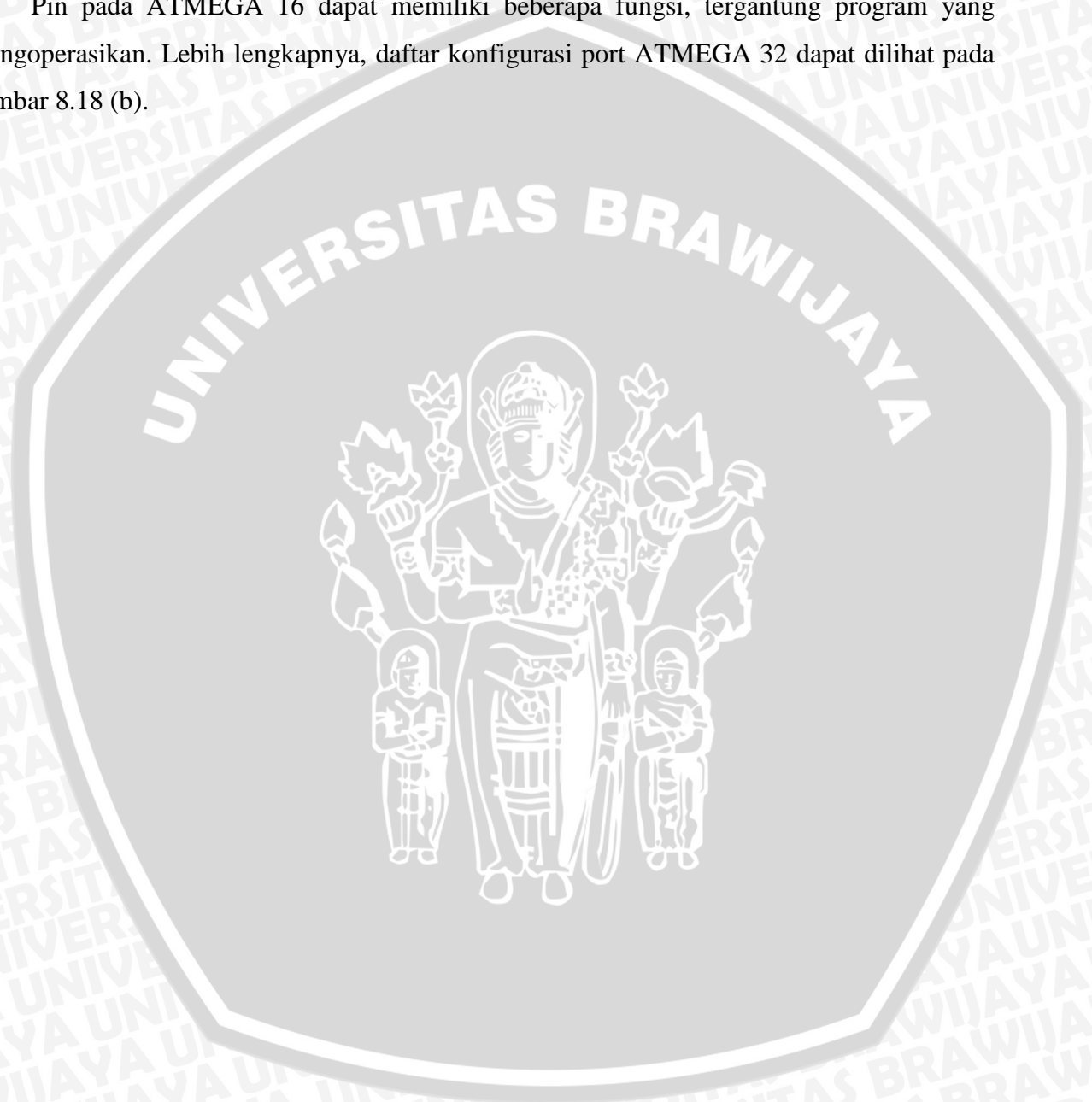
1. Pin 1 sampai 8 (port B) merupakan port paralel 8 bit dua arah (*bidirectional*) yang dapat di gunakan untuk *general purpose* dan *special feature*.
2. Pin 9 (reset) jika terdapat minimum pulse pada saat active low.
3. Pin 10 (VCC) di hubungkan ke VCC (2,7-5,5 Volt).
4. Pin 11 dan 31 (GND) di hubungkan ke ground.
5. Pin 12 (XTAL 2) adalah pin masukan ke rangkaian osilator internal, sebuah osilator kristal, atau sumber osilator luar dapat di gunakan.
6. Pin 13 (XTAL 1) adalah pin keluaran ke rangkaian osilator internal, pin ini di pakai bila menggunakan osilator kristal.
7. Pin 14 sampai 21 (port D) adalah port 8 bit dua arah (bi-directional I/O) port dengan internal pull-up resistors digunakan untuk *general purpose* dan *special feature*.
8. Pin 22 sampai 29 (port C) adalah port 8 bit dua arah (bi-directional I/O) port dengan internal pull-up resistors digunakan untuk *general purpose* dan *special feature*.
9. Pin 30 adalah AVCC, pin penyuplai daya untuk port ADC jika menggunakan ADC



dengan referensi VCC.

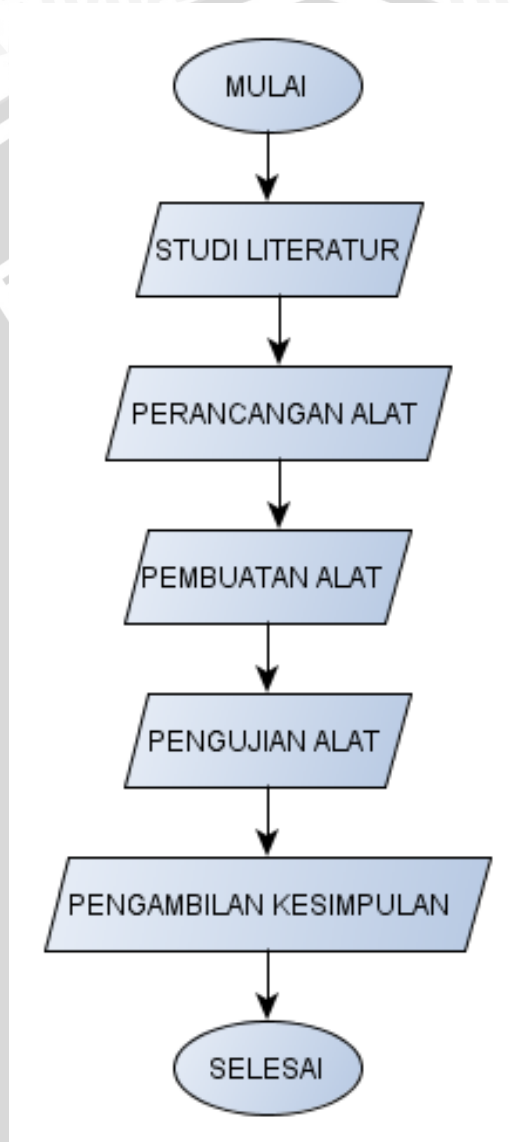
10. Pin 32 adalah A REF pin yang berfungsi sebagai referensi untuk pin analog jika ADC digunakan.
11. Pin 33 sampai 40 (port A) adalah port 8 bit dua arah (bi-directional I/O) port dengan internal pull-up resistors digunakan untuk *general purpose*.

Pin pada ATMEGA 16 dapat memiliki beberapa fungsi, tergantung program yang mengoperasikannya. Lebih lengkapnya, daftar konfigurasi port ATMEGA 32 dapat dilihat pada gambar 8.18 (b).



### BAB III METODE PENELITIAN

Kajian yang dilakukan dalam skripsi adalah perancangan sistem proteksi untuk pada sistem jaringan tegangan rendah *direct current*. Metode yang digunakan untuk mewujudkan perancangan alat proteksi tersebut seperti pada diagram alir di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

Pada gambar 3.1 menjelaskan tentang diagram alir penulis dalam penelitian, dimana sebelum mencapai tahap akhir penulis harus melalui beberapa langkah seperti studi literatur, perncangan alat, sampai pengambilan kesimpulan. Diagram alir akan memudahkan penulis dalam melakukan langkah demi langkah sehingga penelitian dapat berjalan efektif dan tepat waktu

### 3.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan dasar tentang segala sesuatu yang mendukung perancangan serta pembuatan alat ini. Pembuatan alat ini menggunakan referensi dari buku-buku maupun artikel/jurnal dari internet agar mengetahui prinsip kerja, karakteristik komponen, serta teori yang menunjang.

### 3.2. Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut :

1. Sumber dc yang digunakan yaitu 4 buah lead acid 12 V dipasang seri untuk menghasilkan tegangan 48 V.
2. Resistor  $0.1 \Omega$  digunakan sebagai sensor arus pada cabang
3. Acs digunakan sebagai sensor arus pada sumber
4. Resistor  $180 \text{ k}\Omega$  dan  $10 \text{ k}\Omega$  digunakan sebagai pembagi tegangan yang berfungsi sebagai sensor tegangan
5. Relay SONGLE SRD sebagai saklar pemutus rangkaian pada beban
6. Relay OMRON sebagai saklar pemutus rangkaian pada sumber
7. Transistor BD139
8. Opto4n32
9. Transistor BD139
10. Modul arduino

### 3.3. Simulasi

Sebelum melakukan pembuatan alat, kita membutuhkan simulasi guna memperkecil kemungkinan kegagalan. *Software* yang digunakan dalam simulasi perancangan ini adalah Proteus 7 untuk menganalisis rangkaian rele.

### 3.4. Perancangan dan Pembuatan Alat

Pembuatan alat dalam penelitian ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.

- 1) Pembuatan perangkat keras sistem menggunakan komponen-komponen mekanik dan elektronika daya yang sesuai sehingga dapat memenuhi spesifikasi alat yang berkaitan proteksi, relay DPDT, relay SPDT, sensor arus, sensor tegangan, multiplexer, diameter kabel, mikrokontroler, dan catu daya. Sistem mekanik dirancang dengan



menggunakan program corel draw sedangkan Sistem elektronik dirancang dengan menggunakan program Eagle, Proteus,

2) Pembuatan perangkat lunak mikrokontroler ATmega328 menggunakan program arduino yang memakai bahasa C.

### 3.5. Pengujian dan Analisis Alat

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian alat. Pengujian dilakukan pada masing-masing bagian dan kemudian secara keseluruhan sistem. Secara garis besar pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian sensor arus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai aktual dari arus yang akan di baca oleh mikrokontroler. Nilai dari arus akan dijadikan parameter untuk rele bekerja.

2. Pengujian sensor tegangan

Pengujian ini bertujuan mengetahui nilai aktual dari arus yang akan di baca oleh mikrokontroler. Nilai dari arus akan dijadikan parameter untuk rele bekerja.

3. Pengujian *relay*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui dari kinerja relay yaitu kemampuan releay memutus rangkaian untuk mengisolasi gangguan yang terjadi.

4. Pengujian dioda half bridge

Pengujian ini bertujuan untuk menghindari terjadinya kesalahan pemasangan polaritas pada sumber dc

5. Pengujian sistem secara keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk menguji sistem proteksi pada jaringan tegangan rendah dc. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan berbagai jenis gangguan pada rangkaian. Jenis gangguan yang akan di berikan antara lain gangguan hubung singkat, gangguan beban lebih, gangguan *undervoltage*, gangguan *overvoltage*, dan gangguan polaritas terbalik.

## BAB IV

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan sistem koordinasi proteksi pada jaringan tegangan rendah *direct current* ini dilakukan secara bertahap dalam bentuk blok sehingga akan memudahkan dalam analisis pada setiap bloknnya maupun secara keseluruhan.

Perancangan ini terdiri dari:

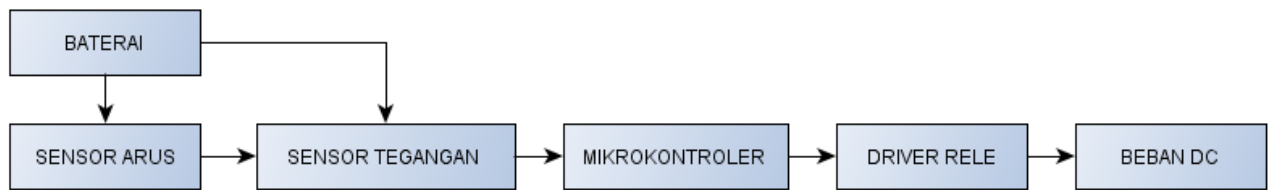
- Perancangan sistem
- Perancangan perangkat keras meliputi jenis kabel, perancangan sensor arus, perancangan sensor tegangan, perancangan rele.
- Perancangan perangkat lunak

#### 4.1. Perancangan Sistem

Secara garis besar, diagram blok perancangan sistem proteksi jaringan tegangan rendah *direct current* dapat dilihat pada gambar 4.1. Pada gambar menunjukkan bagaimana sistem proteksi akan bekerja. Pada sistem nantinya terdapat beban dc yang akan digunakan objek yang akan di proteksi, dimana sumber utamanya menggunakan lead acid 48 V.

Paramater yang akan digunakan sebagai acuan rele untuk bekerja adalah nilai aktual dari arus dan tegangan, dimana akan ditentukan *set point* nilai arus dan tegangan. Nilai aktual dari arus dan tegangan yang ada pada sitem akan dideteksi oleh sensor sensor arus dan sensor tegangan dimana nilai arus dan tegangan yang dideteksi oleh sensor akan dilanjutkan ke mikrokontroler untuk diolah. Mikrokontroler sebagai pusat untuk mengolah data akan menentukan berapa nilai *set point* arus dan tegangan yang akan ditentukanr, jika nilai *set point* dari arus dan tegangan telah tercapai maka mikrokontroler akan memberikan sinyal perintah ke rele untuk memutus rangkaian.





Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem Secara Keseluruhan

Diagram blok pada gambar 4.1 menampilkan secara keseluruhan pengerjaan penelitian tahap demi tahap, dimana setiap blok mempunyai fungsinya masing-masing.

Berikut adalah fungsi dari masing-masing blok diagram:

1. Baterai = menyimpan energi yang dihasilkan PV
2. Sensor tegangan = membaca setiap tegangan untuk di proses di mikrokontroler
3. Sensor arus = membaca nilai arus untuk di proses di mikrokontroler
4. Mikrokontroler = memberi perintah ke rele apabila terjadi kondisi abnormal
5. Rele = membuka rangkaian jika telah mendapat perintah dari mikrokontroler
6. Driver = komponen yang mengontrol kinerja rele
7. Beban dc = beban yang menggunakan sumber dc

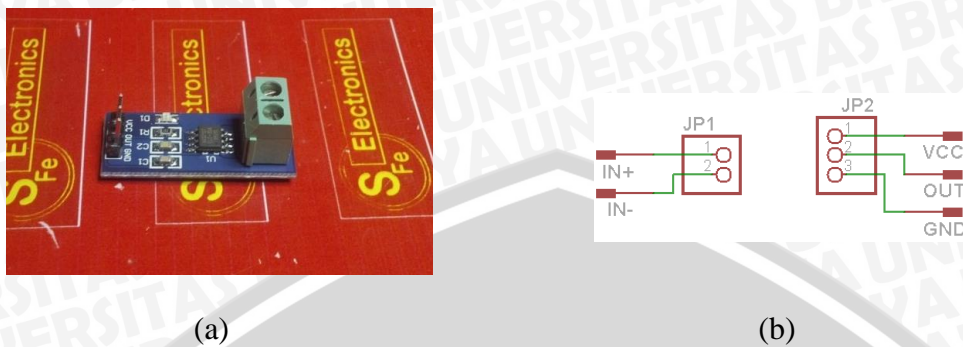
## 4.2. Perancangan Perangkat Keras

Untuk membuat suatu sistem maka akan di perlukan perangkat keras/komponen-komponen atau peralatan yang dapat menunjang dan mewujudkan terciptanya suatu sistem yang terpadu dan juga terkoordinasi dengan baik. Pada sistem proteksi jaringan tegangan rendah *direct current* alat yang digunakan salah satunya adalah rele yang akan di tempatkan pada tiap-tiap titik yang telah di tentukan. Seperti yang telah dijelaskan pada blok diagram diatas tentang bagaimana sistem bekerja secara keseluruhan. Berikut perangkat keras/komponen-komponen yang akan digunakan pada sistem beserta dengan fungsinya masing-masing:

### 4.2.1 Perancangan sensor arus

Sensor arus yang akan digunakan pada alat proteksi ini terdiri yaitu sensor arus acs712 30A dan acs712 20A yaitu sensor arus yang merupakan sebuah modul dimana sensor arus acs mempunyai kemampuan untuk membaca arus sesuai dengan kapasitasnya. Sensor arus acs ini di pasang pada setiap zona pada sistem, pemilihan sensor acs712 ini dikarenakan sistem membutuhkan sensor arus yang sangat sensitif dan presisi terhadap perubahan arus. Jika sensor arus yang digunakan sensitif dan presisi maka rele juga dapat bekerja tepat pada waktunya kapan rele harus bekerja memutus rangkaian.





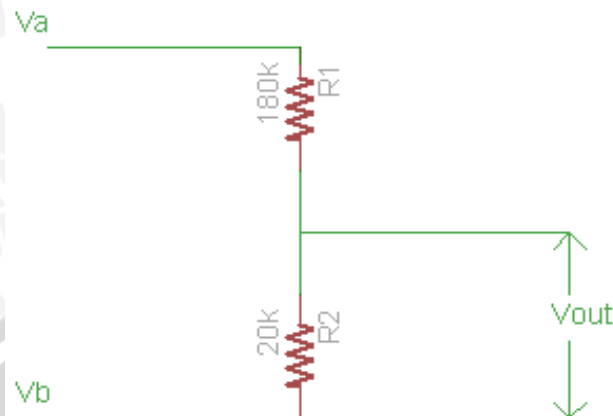
Gambar 4.2 (a) Bentuk fisik sensor arus;(b) Port acs712

Sumber : (a).(sfeelektronik.com)

Gambar 4.2 merupakan penampakan secara rangkaian dan fisik dari sensor arus yang digunakan pada sistem. Pemilihan sensor arus akan sangat penting karena arus merupakan salah satu parameter penting yang terus di amati untuk mengetahui ada tidaknya gangguan.

#### 4.2.2 Perancangan sensor tegangan

Perancangan sensor untuk tegangan akan menggunakan rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari 2 resistor  $180\text{ k}\Omega$  dan  $20\text{ k}\Omega$  . Nilai tersebut di pilih berdasarkan perhitungan rangkaian pembagi tegangan dan juga agar arus yang lewat pada rangkaian pembagi tegangan bernilai kecil sehingga daya yang terbuang oleh resistor juga akan bernilai sangat kecil. Sensor tegangan akan dibaca oleh mikrokontroler, tegangan masukan pada mikrokontroler maksimal adalah  $5\text{ V}$ , oleh karena itu dibutuhkan besaran resistor  $180\text{ k}\Omega$  dan  $20\text{ k}\Omega$  agar tegangan pada sistem dapat dibaca dengan menggunakan sistem perbandingan. Pemilihan sensor tegangan dengan menggunakan metode pembagi tegangan karena hasil pembacaan sensor tegangan sudah memuaskan selain itu cukup ekonomis dari segi harga. Besaran nilai resistor yang dibutuhkan untuk rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tegangan dapat di hitung dengan menggunakan rumus berikut



Gambar 4.3 Gambar rangkaian pembagi tegangan

$$V_0 = (V_a - V_b) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) + V_b$$

$$V_0 = (48 - 0) \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) + 0$$

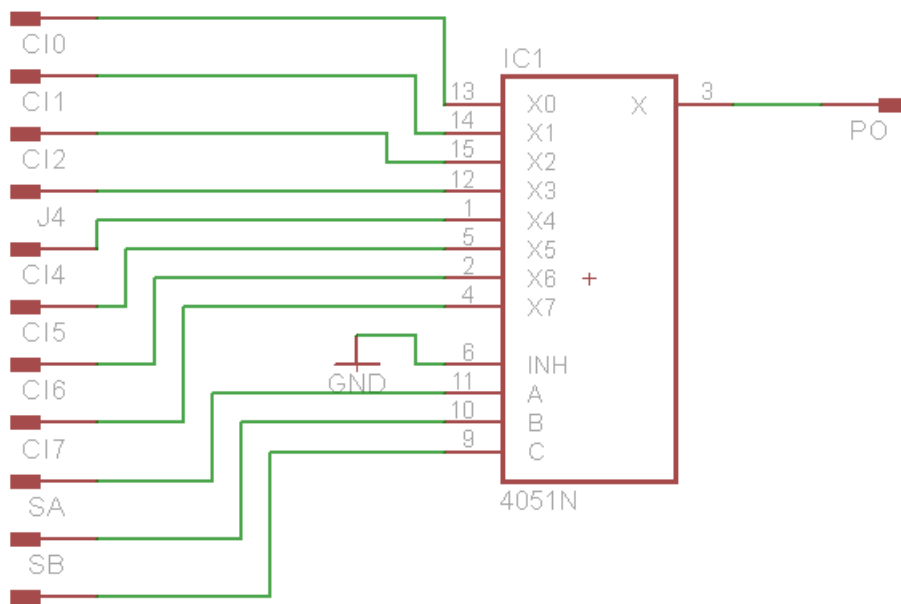
$$V_0 = 48 \left( \frac{20 \text{ k}\Omega}{180 \text{ k}\Omega + 20 \text{ k}\Omega} \right)$$

$$V_0 = 4.8 \text{ V}$$

Gambar 4.3 merupakan penampakan rangkaian dari sensor tegangan yang berupa pembagi tegangan. Dari perhitungan diatas dapat di simpulkan  $V_0$  yang merepresentasikan tegangan masukan pada mikrokontroler bernilai 4.8 V dimana tegangan tersebut di bawah batas tegangan masukan maksimal mikrokontroler yaitu 5 V.

### 4.2.3 Perancangan multiplexer

Perancangan multiplexer digunakan karena terbatasnya port input pada Atmega328 yang hanya mempunya 6 port input, sedangkan pada pembuatan alat ini diperlukan 12 input sehingga multiplexer yang berfungsi sebagai alat elektronika yang dapat memperkecil jumlah output sehingga dapat menyesuaikan dengan jumlah port input pada. Multiplexer yang akan digunakan ic cd4051. Perancangan multiplexer dapat dilihat pada gambar 4.4.

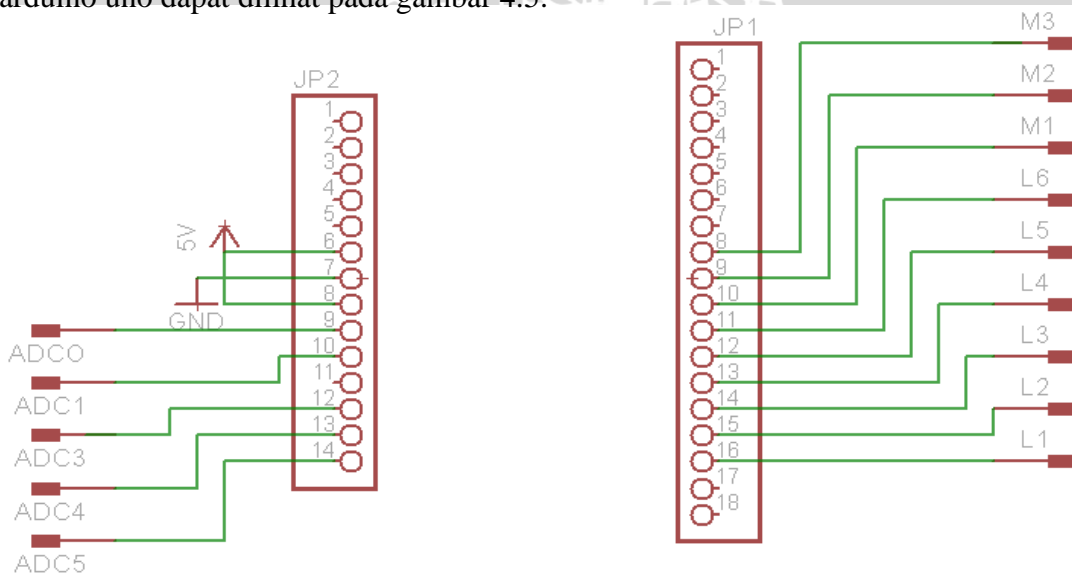


Gambar 4.4 Konfigurasi pin Shield ic cd4051

Pada gambar 4.4 menampilkan kegunaan dari masing-masing pin. pemilihan ic cd4051 karena hanya memiliki satu output yang akan dihubungkan dengan port ADC pada mikrokontroler. Pada ic cd4051 dapat merubah jumlah output yang seharusnya bisa mencapai 7 port output

**4.2.4 Perancangan sistem mikrokontroler**

Pada perancangan mikrokontroler menggunakan modul arduinouno sebagai pengolah utama untuk pemrosesan algoritma pada sistem koordinasi proteksi. Konfigurasi kaki I/O dari modul arduino uno dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Konfigurasi pin shield ATMEGA328





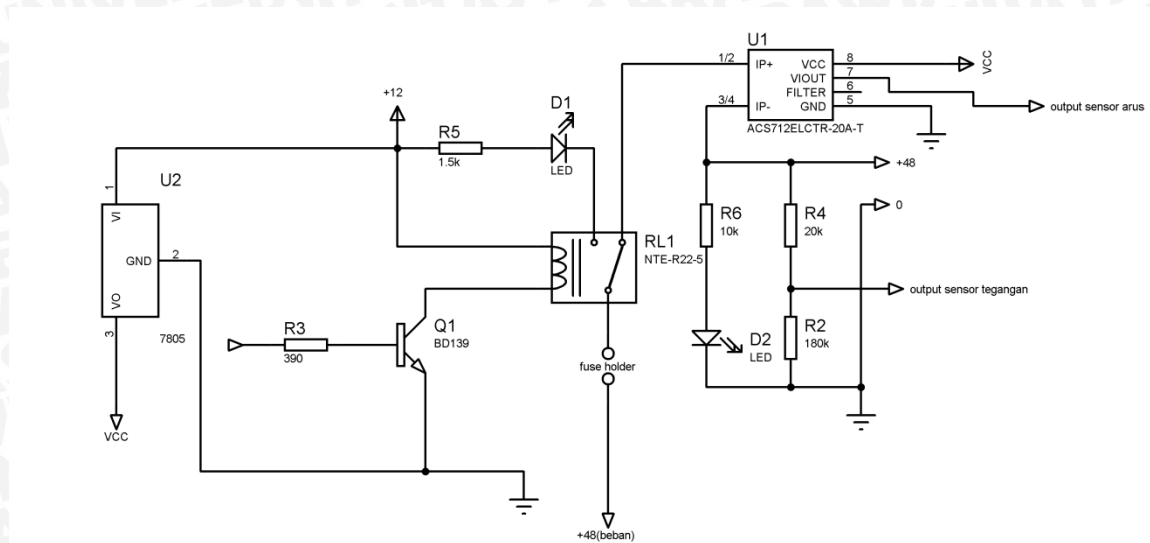
Tabel 4.1 Penggunaan pin atmega328

Keterangan	Fungsi
ADC0	Sensor tegangan zona 1
ADC1	Sensor tegangan zona 2
ADC3	Sensor arus zona 1
ADC4	Sensor arus zona 2
ADC5	<i>Output</i> multiplekser
L1	Kontrol rele zona 1
L2	Kontrol rele zona 2
L3	Kontrol rele zona 3
L4	Kontrol rele zona 4
L5	Kontrol rele zona 5
L6	Kontrol rele zona 6
M1	Selektor C
M2	Selektor B
M3	Selektor A

Pada gambar 4.5 menampilkan konfigurasi pin dari ATMEGA328 dimana terdapat 32 kaki pin. Sedangkan tabel 4.1 merupakan tabel dari kegunaan masing-masing kaki pin yang digunakan. Setiap pin memiliki fungsi masing-masing seperti yang tertera pada datasheet dari ATMEGA328.

#### 4.2.5 Perancangan sistem keseluruhan

Perancangan sistem keseluruhan merupakan gabungan dari perancangan dari perblok diagram sistem menjadi suatu kesatuan yang dapat berfungsi sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Perancangan rangkaian sistem secara keseluruhan ini digambar menggunakan software Proteus 7. Perancangan sistem secara keseluruhan terdapat dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Rangkaian sistem secara keseluruhan

Gambar 4.6 merupakan gambar rangkaian dari per blok diagram sistem yang digabungkan menjadi satu sistem. Pada rangkaian sistem terdapat rangkaian driver rele, sensor arus, sensor tegangan, dan regulator tegangan. Terdapat 2 LED pada rangkaian, LED 1 sebagai penanda rele bekerja atau tidak sedangkan led 2 untuk mengetahui apakah mikrokontroler sudah tercatu 5 V atau belum.

#### 4.2.6 Perancangan kabel

Jenis kabel yang digunakan pada pembuatan alat ini adalah jenis kabel NYA. Pemilihan ini dikarenakan kabel jenis NYA memiliki daya hantar yang bagus dan juga ekonomis, kekurangan dari jenis kabel NYA yaitu isolasi kabelnya yang hanya 1 lapis. Dengan kapasitas beban penuh pada sistem yang mencapai 1200 W dengan arus yang mencapai 25 A. Kemampuan hantar arus kabel (KHA) dapat dicari dengan 125% dari arus beban penuh, maka nilai KHA dapat di cari sebagai berikut

$$KHA = 125\% I_{bp}$$

$$KHA = 125\% \times 25 \text{ A}$$

$$KHA = 31.25 \text{ A}$$

Setelah mendapatkan nilai KHA dari kabel yang dibutuhkan langkah selanjutnya adalah mencari kabel dengan nilai KHA yang telah didapatkan yang ada di pasaran. Sebagai acuan untuk nilai KHA menggunakan acuan PUIL 2000. Tabel kabel dengan KHA yang diperbolehkan dapat di lihat pada gambar dibawah. Berdasarkan tabel acuan dari PUIL 2000 luas penampang kabel yang sesuai dengan KHA yang diperlukan adalah 6mm<sup>2</sup>.

Tabel 4.2 KHA terus menerus yang diperbolehkan untuk kabel instalasi berinti tunggal berisolasi PVC pada suhu keliling 30 °C dan suhu penghantar maksimum 70 °C

Jenis Penghantar	Luas penampang nominal mm <sup>2</sup>	KHA terus menerus	
		Pemasangan dalam pipa <sup>(x)</sup> sesuai 7.13	Pemasangan di udara <sup>(xx)</sup> sesuai 7.12.1
1	2	3	4
NYFA NYFAF NYFAZ NYFAD NYA NYAF NYFAw NYFAFw NYFAZw NYFADw dan NYL	0,5	2,5	-
	0,75	7	15
	1	11	19
	1,5	15	24
	2,5	20	32
	4	25	42
	6	33	54
	10	45	73
	16	61	98
	25	83	129
	35	103	158
	50	132	198
	70	165	245
	95	197	292
	120	235	344
	150	-	391
	185	-	448
240	-	5285	
300	-	608	
400	-	726	
500	-	830	

Sumber: Badan Standar Nasional(2000:300)

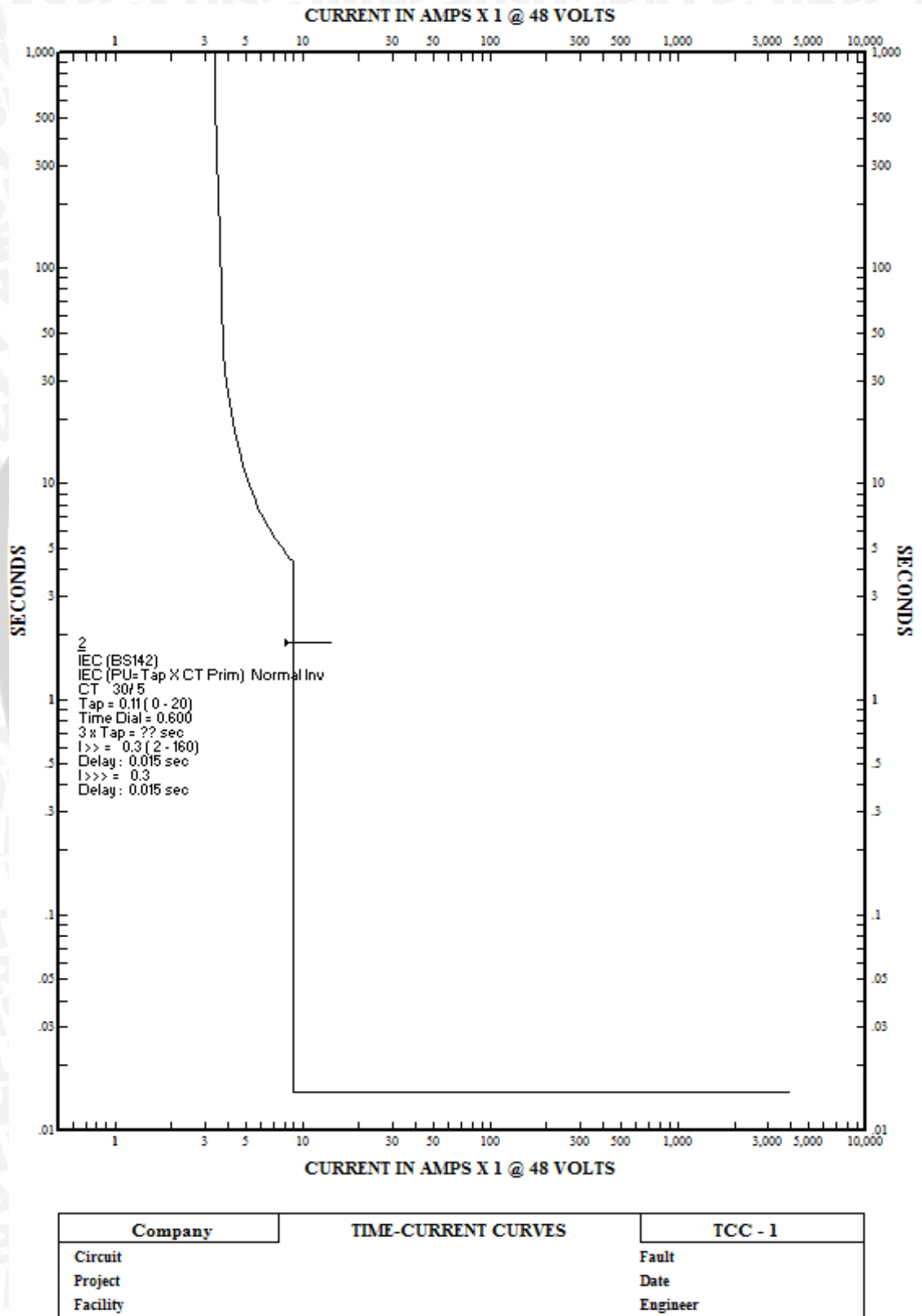
Tabel 4.3 merupakan nilai standar yang ditetapkan oleh PLN, dimana setiap luas penampang dari kabel yang diinginkan akan tergantung dari KHA yang akan ada pada jaringan.

#### 4.2.7 Perancangan *time current curve* rele

Perancangan *time current curve* berfungsi untuk rele arus lebih dimana rele akan dapat diatur sitem kerjanya berdasarkan arus dan waktu. Perancangan ini diperlukan agar rele tidak langsung memutus rangkaian jika ada arus lebih yang hanya bersifat sementara Untuk membuat *time current curve* aplikasi yang digunakan adalah PowerPlot v2.5, sedangkan acuan yang digunakan adalah kurva IEC(BS142) pemilihan standar ini dikarenakan IEC



merupakan standar yang paling umum digunakan. Hasil perancangan *time current curve* untuk rele yang akan digunakan dengan menggunakan PowerPlot v2.5 dapat dilihat pada gambar 4.7.

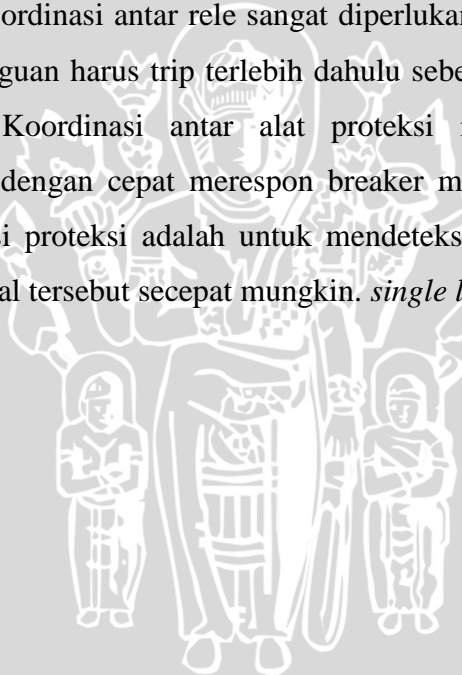


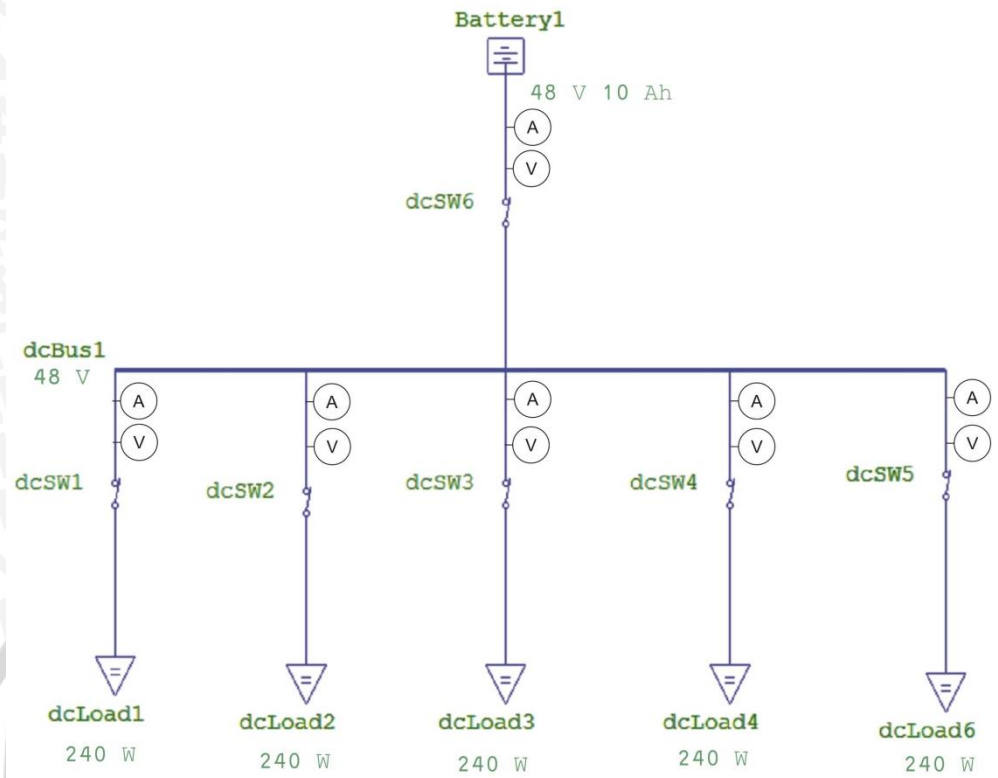
Gambar 4.7 *Time current curve* untuk rele pada sistem

Rele disesuaikan dengan karakteristik beban rumah tangga, *time current curve* inilah yang akan dijadikan oleh rele sebagai acuan untuk bekerja. Rele akan bekerja berdasarkan nilai arus dan juga waktu, jika salah satu dari nilai arus atau waktu telah berada di luar zona aman rele maka rele akan langsung bekerja untuk memutus rangkaian. Sebagai contoh, arus yang lewat ke beban bernilai 8 ampere maka rele tidak akan memutus rangkaian kecuali jika arus tetap 8 ampere sampai sekitar 4.5 detik maka rele akan langsung memutus rangkaian seperti yang terlihat pada gambar 4.7.

#### 4.2.8 Perancangan *single line diagram*

Dengan perancangan perangkat keras yang telah di jelaskan di atas, maka setelah perancangan perangkat keras selesai akan dibuat perancangan *single line diagram* sistem. Sistem diatas sebagian besar memikul beban dc, dimana pada setiap jalur akan di beri breaker agar menghindari jika terjadi gangguan pada salah satu beban tidak mengganggu keberlangsungan beban lain. Koordinasi antar rele sangat diperlukan pada sistem ini, karena breaker yang terdekat dari gangguan harus trip terlebih dahulu sebelum terlambat yang bisa mengakibatkan sistem mati. Koordinasi antar alat proteksi ini akan menggunakan mikrokontroler sehingga dapat dengan cepat merespon breaker mana yang harus terbuka. Secara umum kسلuruhan fungsi proteksi adalah untuk mendeteksi keadaan abnormal dan menghilangkan keadaan abnormal tersebut secepat mungkin. *single line diagram* pada sistem dapat dilihat pada gambar 4.8.





Gambar 4.8 *Single Line Diagram* Sistem

Gambar 4.8 merupakan perancangan dari *single line diagram* dari sistem yang akan di buat. Jenis jaringan yang dibuat adalah jenis jaringan radial. Pemilihan jenis jaringan radial karena bentuk yang simpel dan alat yang digunakan hanya purwarupa sehingga jaringan yang digunakan tidak serumit jaringan ring.

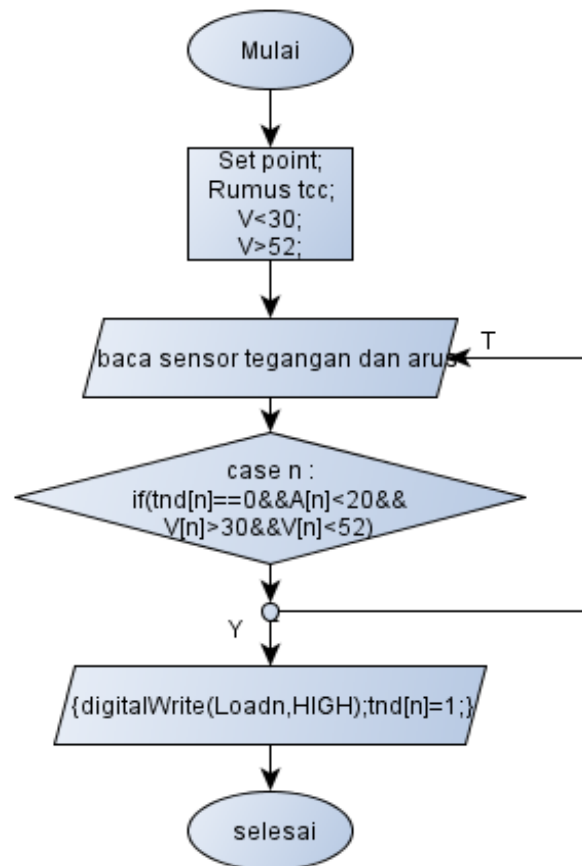
#### 4.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak ini adalah perancangan algoritma sistem baik yang berhubungan dengan sensor arus, sensor tegangan, dan juga kinerja rele. Berikut adalah beberapa perancangan perangkat lunak yang diperlukan pada sistem.

##### 4.3.1 Perancangan algoritma sistem proteksi

Mikrokontroler yang akan digunakan pada penelitian ini adalah mikrokontroler Amega328 yang akan di program menggunakan bahasa C. Pemilihan mikrokontroler328 di karenakan fleksibilitas komponen untuk di program dan juga pertimbangan dari segi harga yang cukup ekonomis. Berikut adalah diagram alir atau flow chart dari algoritma mikrokontroler untuk sistem yang akan digunakan.





Gambar 4.9 Diagram alir program

Gambar 4.9 merupakan diagram alir dari listing program yang digunakan, dimana diagram alir cukup sederhana karena parameter yang diamati dalam penelitian ini hanya tegangan dan arus. Tahap pertama yang dilakukan yaitu menentukan setpoint dari arus dan tegangan setelah itu sensor tegangan dan arus membaca nilai aktual arus dan tegangan pada sistem, jika nilai aktual melebihi dari setpoint maka rele akan bekerja memutus rangkaian namu jika tidak program akan kembali looping ke pembacaan nilai aktual dari arus dan tegangan.

## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisi dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja sesuai perancangan yang telah dilakukan. Pengujian secara bertahap yaitu pengujian per blok sistem lalu pengujian sistem secara keseluruhan. Adapaun pengujian yang dilakukan sebagai berikut.

1. Pengujian sensor arus
2. Pengujian sensor tegangan
3. Pengujian respon rele
4. Pengujian sistem secara keseluruhan
  - a. Pengujian *undervoltage*
  - b. Pengujian *overvoltage*
  - c. Pengujian beban lebih
  - d. Pengujian hubung singkat

#### 5.1. Pengujian Sensor Arus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah nilai arus yang di baca oleh sensor arus sesuai dengan pembacaan manual melalui amperemeter. Pada sistem ini terdapat 6 buah sensor arus masing-masing 1 pada setiap zonanya. Peralatan yang akan digunakan pada pengujian ini antara lain amperemeter, sumber DC, Atmega328, dan perangkat PC.

Pada saat pengujian, sebelum beban di pasang letakkan amperemeter seri dengan rangkain untuk membaca arus yang lewat. Masing-masing zona akan diberikan beban sebesar 150 watt, setelah masing-masing zona telah dibebani aktifkan sumber sehingga masing-masing beban akan teraliri oleh arus. Mikrokontroler akan mengolah data hasil dari pembacaan sensor arus dan perangkat PC digunakan untuk menampilkan data yang telah diolah oleh mikrokontroler. Hasil pembacaan sensor arus dapat ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengujian sensor arus

Sensor Arus				
No.	Tegangan (V)	Pembacaan arus dengan amperemeter (A)	Pembacaan sensor arus dari mikrokontroler (A)	Error (%)
Zona 1	48	4.27	4.32	1.17096
Zona 2	48	4.23	4.3	1.654846
Zona 3	48	4.24	4.18	1.415094
Zona 4	48	4.22	4.26	0.947867
Zona 5	48	4.25	4.34	2.117647
Zona 6	48	4.27	4.33	1.405152

Tabel 5.1 menampilkan data hasil pengujian sensor arus, dapat dianalisis hasil pengujian sensor arus sudah cukup bagus dikarenakan eror yang terjadi hanya sekitar 1%-2% dari nilai aktualnya.

## 5.2. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai aktual tegangan dari sistem, pengujian ini sama halnya diperlukan karena nilai tegangan dapat dijadikan parameter gangguan sehingga nilai tegangan yang presisi sangat dibutuhkan. Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini antara lain voltmeter, sumber DC, Atmega328, dan perangkat PC.

Pada pelaksanaannya akan ada 2 sumber pembacaan tegangan yang pertama yaitu voltmeter dan sensor tegangan yang akan dibaca oleh mikrokontroler dan akan ditampikan oleh PC. Hasil pembacaan dapat ditunjukkan pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian sensor tegangan

Sensor tegangan			
No.	Pembacaan tegangan dengan voltmeter	Pembacaan sensor tegangan dari mikrokontroler	Error(%)
Zona 1	50.0	49.90	0.2
Zona 2	49.8	49.51	0.58
Zona 3	49.9	49.46	0.88
Zona 4	50.00	49.66	0.68
Zona 5	49.8	49.51	0.5
Zona 6	50.00	49.66	0.68



Tabel 5.2 menunjukkan hasil pengujian sensor tegangan dan dapat dianalisis dari data hasil pengujian sensor tegangan yang digunakan sudah sangat memuaskan dikarenakan eror yang terjadi rata-rata berada dibawah 1% dari nilai aktual.

### 5.3. Pengujian Respon Rele

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat waktu rele memutuskan rangkaian pada saat terjadi gangguan. Pengujian respon rele ini juga dapat dijadikan acuan apakah sistem proteksi yang digunakan sudah sesuai standar atau belum. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 2 beban yaitu beban A dan B, beban A nominal arusnya berada di bawah setpoint rele dan beban B nominal arusnya berada diatas nilai *setpoint*. Beban pertama yang digunakan beban A setelah berjalan beberapa detik dengan menggunakan *switching* beban dipindah secara langsung ke beban B Pada pengujian ini penulis menentukan *setpoint* arus adalah 5 ampere. Alat yang digunakan untuk melihat respon waktu dari rele yaitu osiloskop. Hasil pengujian respon rele dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.

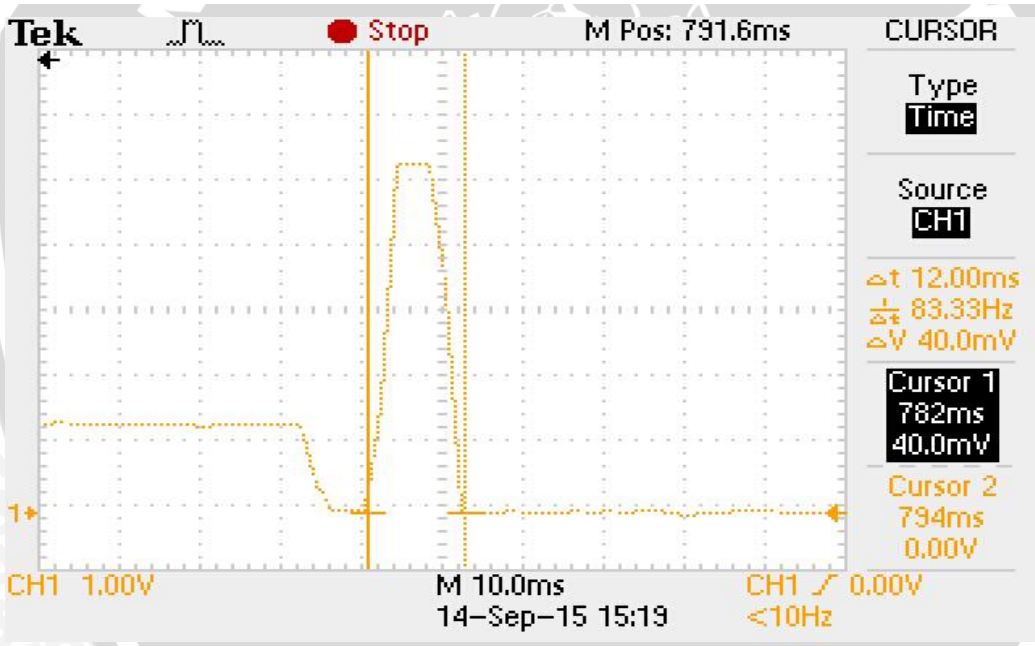
Tabel 5.3 Hasil pengujian respon rele

Zona Rele	Uji respon ke-1	Uji respon ke-2	Uji respon ke-3	Rata-rata uji respon rele
Zona 1	10.8	11.2	9.8	10.6
Zona 2	12	10.4	11.8	11.4
Zona 3	12	11.9	11	11.633
Zona 4	11.7	10.8	11.5	11.333
Zona 5	11.2	11.5	11	11.23
Zona 6	11	11	10.7	10.9

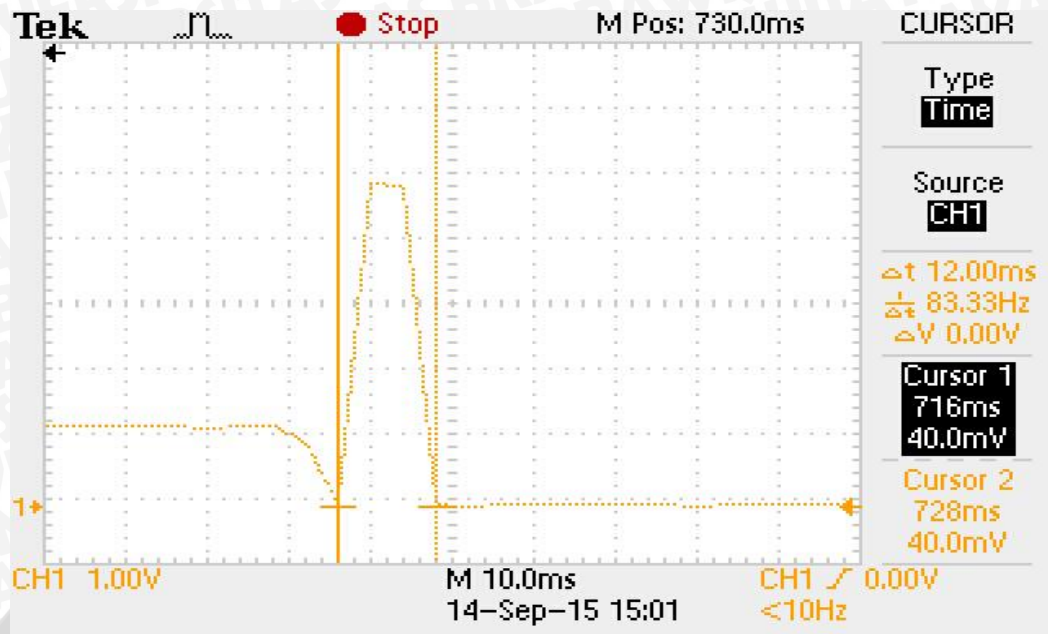
Tabel 5.3 menampilkan hasil data pengujian respon rele pada masing-masing zona dari data hasil pengujian dari respon rele dapat dianalisis walaupun respon dari masing-masing rele berbeda namun respon dari setiap rele sudah cukup bagus dan sesuai standar untuk waktu *trip* rele saat ada gangguan



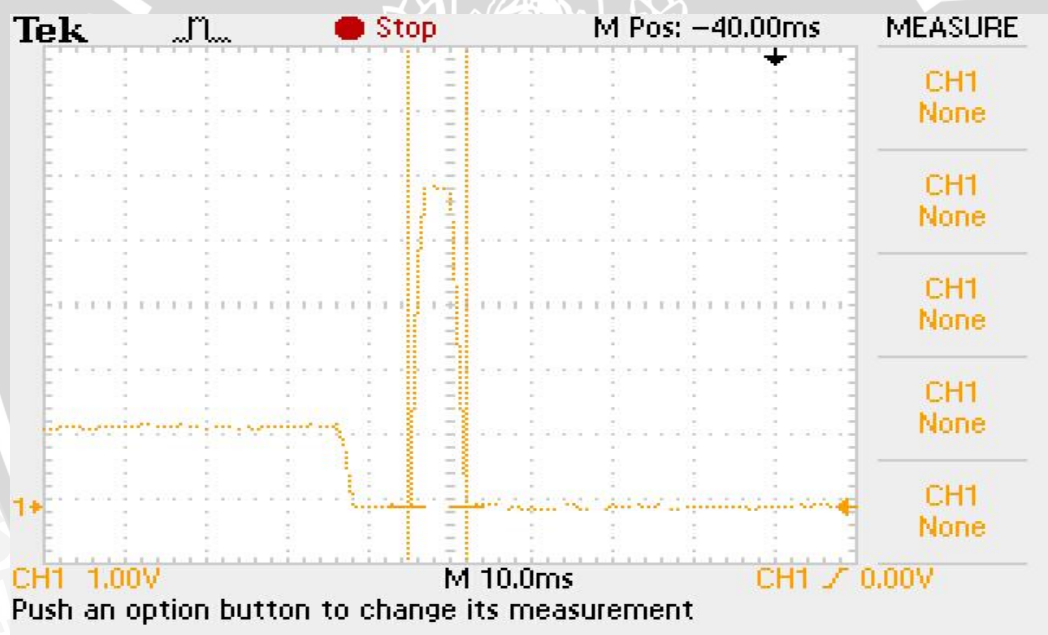
Gambar 5.1 Respon waktu rele zona 1



Gambar 5.2 Respon waktu rele zona 2

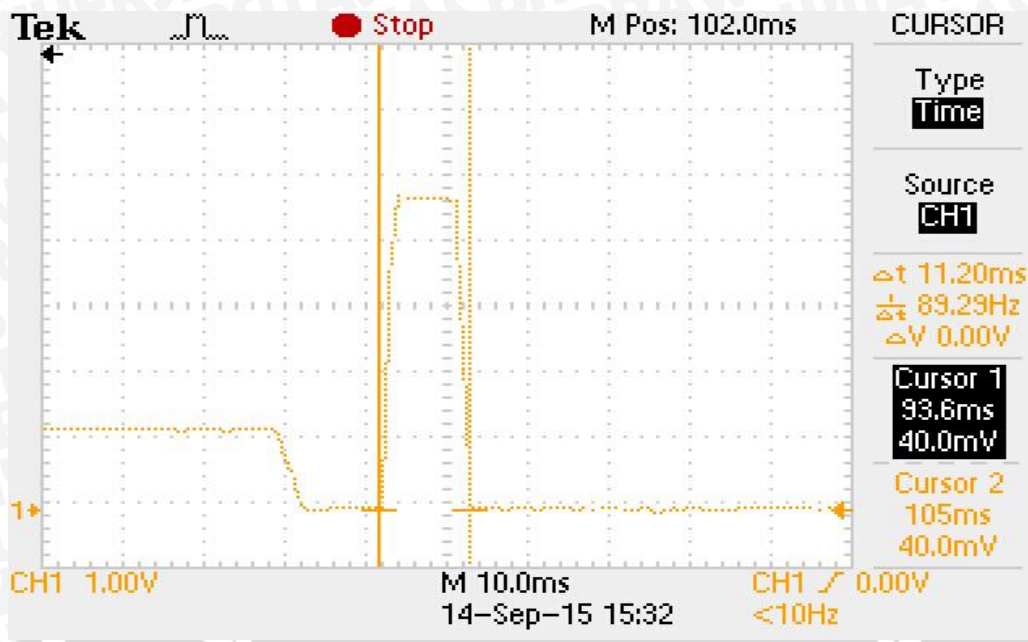


Gambar 5.3 Respon waktu rele zona 3

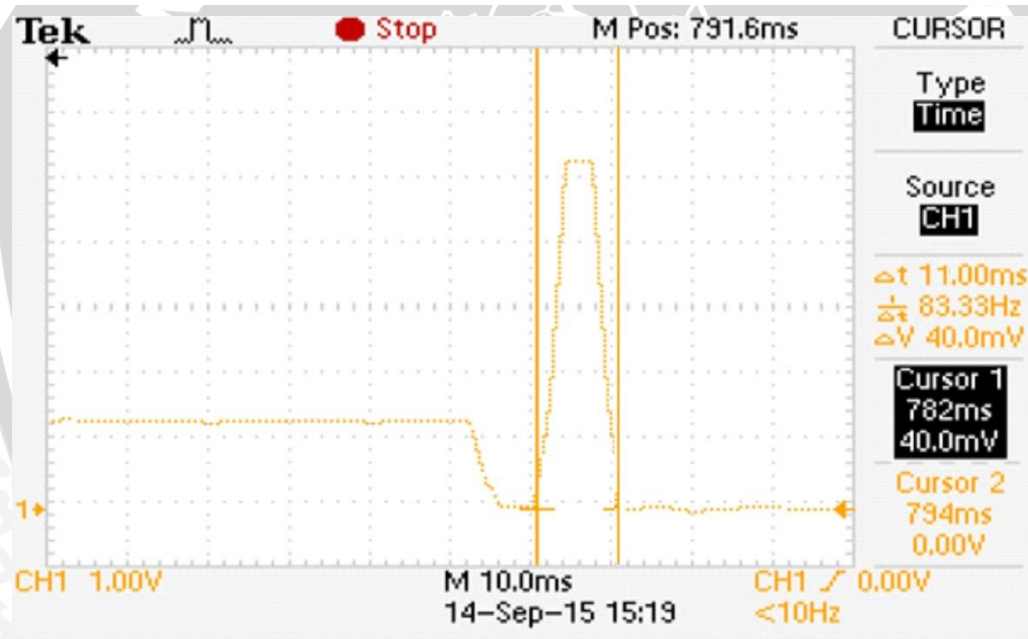


Gambar 5.4 Respon waktu rele zona 4





Gambar 5.5 Respon waktu rele zona 5



Gambar 5.6 Respon waktu rele zona 6

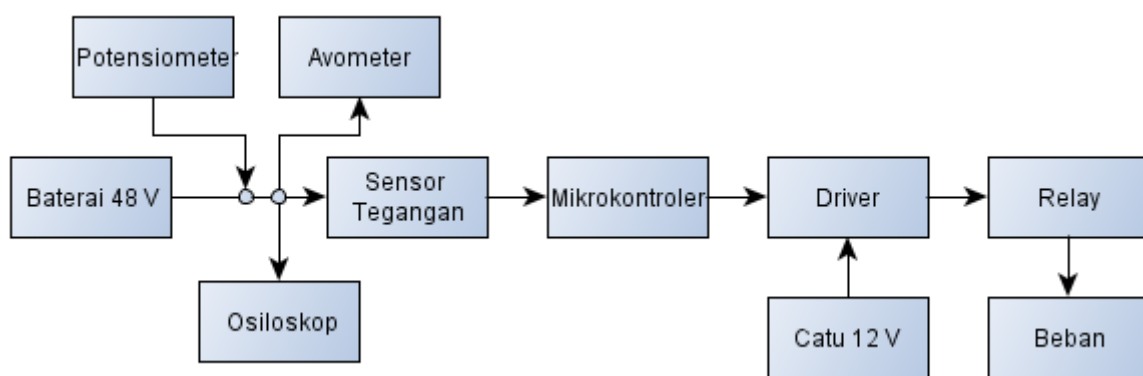
Data dan gambar hasil pengujian yang di ambil menggunakan osiloskop menampilkan bentuk gelombang arus pada masing-masing zona dan diproteksi oleh rele pada setiap zona. Dapat dianalisis pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.6 gelombang yang ditampilkan osiloskop adalah arus yang mengalir pada setiap zonanya, arus mula yang dihasilkan beban terdeteksi oleh sensor yaitu 1.2 ampere setelah beberapa saat *switching* di dipindah ke beban B agar menghasilkan arus lebih dari 5 ampere. Setelah arus melebihi 5 ampere rele akan langsung memutus rangkaian sehingga dapat dilihat arus bernilai 0 yang berarti tidak ada arus yang masuk ke beban karena rangkaian telah terbuka.

#### 5.4. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian dalam sub bab ini bertujuan untuk mengetahui sistem proteksi untuk tegangan dc yang telah di rancang. Pengujian ini di lakukan dengan memberikan beberapa jenis gangguan terhadap sistem. Jenis gangguan yang akan diberikan terhadap sistem antara lain gangguan *undervoltag*, gangguan *overvoltage*, gangguan beban lebih, gangguan hubung singkat, gangguan polaritas terbalik. Memberikan gangguan pada sistem akan menguji apakah sistem yang telah dirancang penulis sesuai harapan atau tidak.

##### 5.4.1 Pengujian gangguan *undervoltage*

Pengujian ini bertujuan memberikan gangguan *undervoltage*. *Undervoltage* merupakan salah satu gangguan yang harus di proteksi, *undervoltage* dapat terjadi karena beberapa hal antara lain beban berlebih saat beban puncak, gangguan dari pembangkit, pengkabelan kawat yang kurang baik, dan tegangan baterai yang sudah habis. Blok diagram pengujian *undervoltage* terdapat dalam Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Blok diagram pengujian *undervoltage*

Pengujian ini hanya dilakukan gangguan pada sumber dari sistem yaitu lead acid. Pengujian ini menggunakan potensiometer sehingga dapat menurunkan tegangan dengan lebih mudah dan lebih halus dibandingkan dengan menggunakan saklar. Sensor tegangan akan membaca nilai tegangan aktual pada sistem lalu nilai setpoint yang ditetapkan adalah 36 volt, sehingga jika pada sistem terjadi tegangan berada di bawah 32 volt rele akan langsung bekerja memutus rangkaian. Gambar hasil pengujian *undervoltage* dapat dilihat pada gambar 5.8.

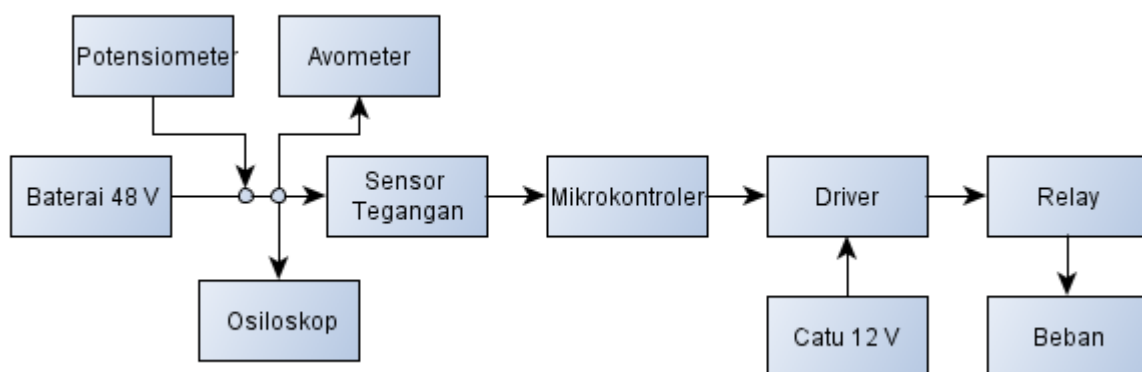


Gambar 5.8 Gelombang tegangan pada sumber

Pada gambar 5.8 dapat dianalisis gelombang tegangan turun dari nilai 48 volt sampai dengan 32 volt, setelah nilai tegangan mencapai nilai setpoint yang ditetapkan rele dengan segera memutus rangkaian sehingga terlihat nilai tegangan menjadi 0 volt dikarenakan rangkaian yang telah terputus.

#### 5.4.2 Pengujian gangguan *overvoltage*

Pengujian ini bertujuan untuk memproteksi sistem dari gangguan *overvoltage*. Peralatan yang dibutuhkan untuk melihat gelombang tegangan adalah osiloskop. Blok diagram pengujian terdapat dalam Gambar 5.9.

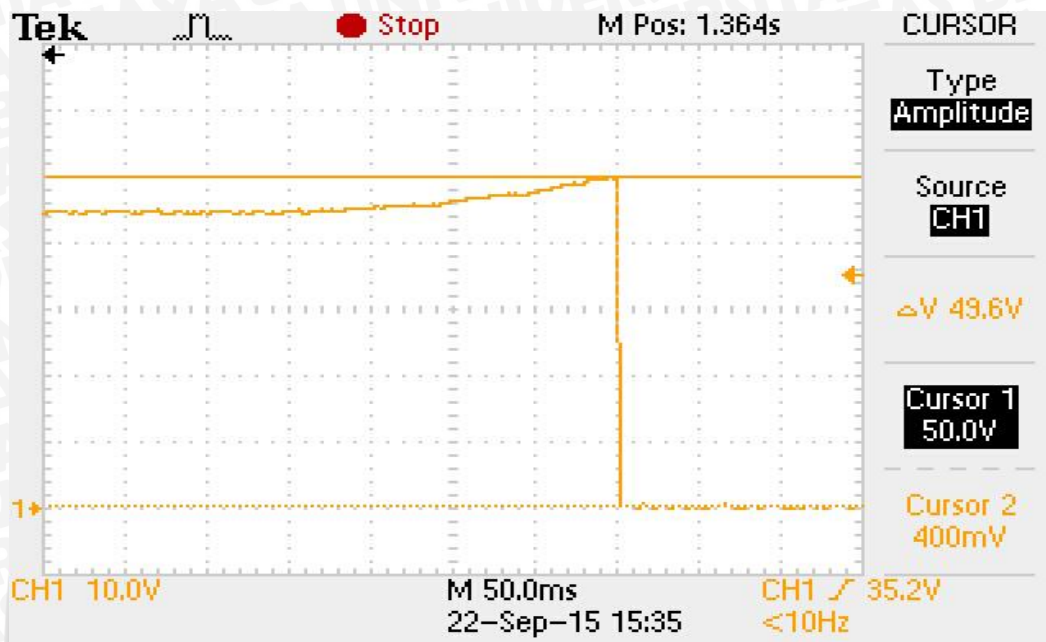


Gambar 5.9 Blok diagram pengujian *overvoltage*

Langkah-langkah untuk melakukan pengujian ini hampir menyerupai gangguan *undervoltage*, alat yang digunakan untuk menaikkan tegangan juga menggunakan potensiometer. Pada pengujian ini nilai setpoint sebagai indikator *overvoltage* adalah 50 volt,



sehingga jika sensor tegangan membaca tegangan pada sistem mencapai lebih dari 50 volt maka rele akan menerima perintah dari mikrokontroler untuk memutus rangkaian. Gambar hasil pengujian *uvertoltage* dapat dilihat pada gambar 5.10.

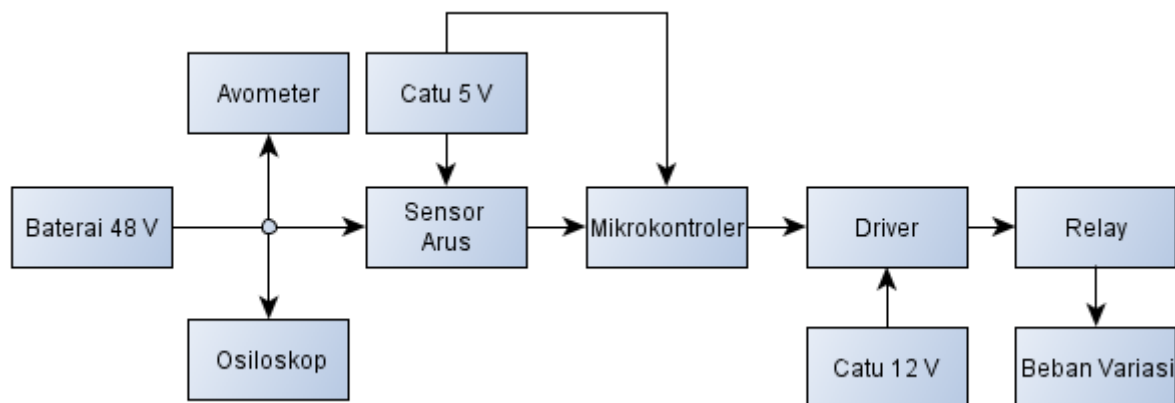


Gambar 5.10 Gelombang tegangan pada sistem

Gambar 5.10 dapat dianalisis bahwa nilai tegangan semula sistem berada pada nilai 48 volt, lalu secara perlahan nilai tegangan dinaikkan agar terjadi gangguan overvoltage setelah tegangan mencapai batas nilai setpoint maka rele akan seketika memutus rangkaian sehingga terlihat tegangan langsung turun drastis sampai 0 volt.

### 5.4.3 Pengujian gangguan beban lebih

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari sistem yang telah dibuat terhadap jenis gangguan beban lebih. Blok diagram dari pengujian beban lebih terdapat dalam Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Blok diagram pengujian beban lebih

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan variasi beban sehingga akan menimbulkan variasi arus, karena rele yang di gunakan menggunakan mode *inverse* sehingga jika arus melebihi arus beban nominal yang di tanggung sistem yaitu 3.36 A tidak akan langsung mati. Hal ini di sebabkan kurva *inverse* yang telah dirancang untuk rele. Selain itu pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui apakah kurva yang telah dirancang telah memenuhi hasil yang diinginkan, sehingga nanti akan dibandingkan hasil perhitungan teori mode *inverse* dan hasil praktek pengujian. Untuk perhitungan waktu mode *inverse* sesuai standar IEC dapat menggunakan rumus dari persamaan berikut

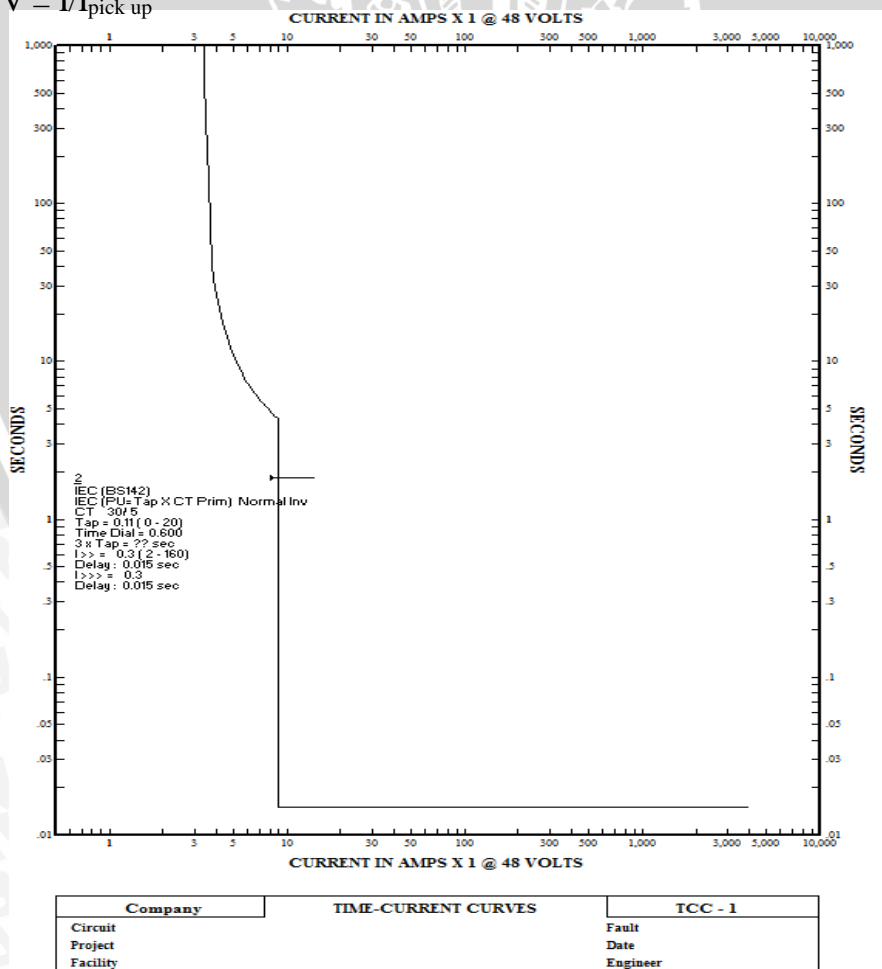
$$T = \frac{A * D}{V^{P-Q}} + B * D + K \tag{5-1}$$

Tabel 5.4 Nilai konstanta untuk kurva IEC

Nama Kurva	A	P	Q	B	K
<i>Mod Inverse</i>	0.14	0.02	1	0	0

D = Time Dial (diatur pada rele oleh pengguna)

V = I/I<sub>pick up</sub>



Gambar 5.12 9 Kurva *tcc* rele yang telah dirancang

Kurva pada gambar 5.12 adalah acuan untuk rele bekerja, sehingga diperlukan pengujian untuk mengetahui kinerja rele apakah sudah sesuai harapan. Beberapa alat yang diperlukan pada pengujian ini antara lain osiloskop, beban yang bervariasi, dan amperemeter. Hasil perhitungan dan pengujian dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

➤ Arus 5.4 A

○ Perhitungan IEC

$$T = \frac{A \cdot D}{V^P - Q} + B \cdot D + K$$

$$T = \frac{0.14 \cdot 0.6}{\left(\frac{5.4}{3.36}\right)^{0.02} - 1} + 0 \cdot 0.6 + 0$$

$$T = 8.81$$

○ Hasil Pengujian



Gambar 5.13 Hasil pengujian beban lebih 5.4 A

➤ Arus 6.2 A

○ Perhitungan IEC

$$T = \frac{A \cdot D}{V^P - Q} + B \cdot D + K$$

$$T = \frac{0.14 \cdot 0.6}{\left(\frac{6.2}{3.36}\right)^{0.02} - 1} + 0 \cdot 0.6 + 0$$

$$T = 6.8$$



○ Hasil Pengujian



Gambar 5.14 Hasil pengujian beban lebih 6.2 A

➤ Arus 7.3

○ Perhitungan IEC

$$T = \frac{A \cdot D}{V^P - Q} + B \cdot D + K$$

$$T = \frac{0.14 \cdot 0.6}{\left(\frac{7.3}{3.36}\right)^{0.02} - 1} + 0 \cdot 0.6 + 0$$

$$T = 5.37$$

○ Hasil pengujian



Gambar 5.15 Hasil pengujian beban lebih 7.3 A

➤ Arus 8.5

- Perhitungan IEC

$$T = \frac{A \cdot D}{V^{P-Q}} + B \cdot D + K$$

$$T = \frac{0.14 \cdot 0.6}{\left(\frac{8.4}{3.36}\right)^{0.02-1}} + 0 \cdot 0.6 + 0$$

$$T = 4.4$$

- Hasil Pengujian



Gambar 5.16 Hasil pengujian beban lebih 8.5 A

Berdasarkan dari hasil pengujian beban lebih maka didapatkan rincian dalam tabel 5.5

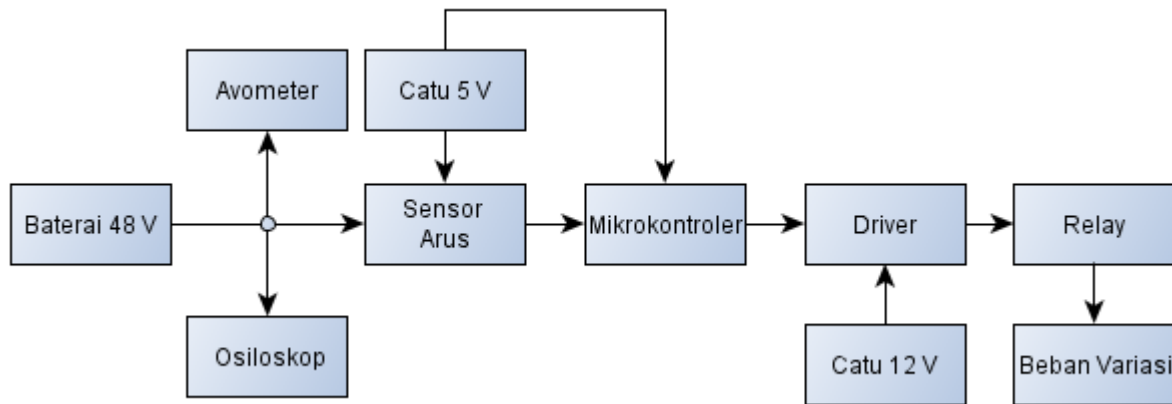
Tabel 5.5 Hasil perbandingan teori dan praktek waktu *trip* rel

No.	Arus (A)	T teori (s)	T praktek (s)	Error (%)
1.	5.4	8.81	8.7	1.24
2.	6.2	6.8	6.7	1.47
3.	7.3	5.37	5.3	1.30
4.	8.4	4.4	4.36	0.91

Berdasarkan gambar 5.13 sampai gambar 5.16 dan data dari tabel 5.5 hasil pengujian yang telah dilakukan dapat di analisis 0 bahwa setiap arus yang berbeda maka waktu rele untuk bekerja akan berbeda beda juga, semakin besar nilai arus yang lewat sebelum waktu steady state yang telah di tentukan maka waktu bekerja rele untuk memutus rangkaian akan semakin cepat. Perbandingan teori dan praktek untuk waktu rele bekerja sudah cukup memuaskan karena eror yang terjadi relatif kecil.

#### 5.4.4 Pengujian gangguan hubung singkat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem proteksi yang telah dibangun terhadap jenis gangguan hubung singkat. Blok diagram dari pengujian beban lebih



Gambar 5.17 Blok diagram pengujian hubung singkat

Pengujian ini dilakukan dengan cara menyambungkan polaritas positif dan negatif pada sisi beban sehingga terjadi gangguan hubung singkat seperti yang diinginkan. Pada pengujian ini peralatan yang digunakan adalah osiloskop yang berfungsi untuk melihat gelombang arus dan juga isolation amplifier yang berguna sebagai pengaman osiloskop jika terjadi kegagalan pada sistem agar tidak merambat ke osiloskop dikarenakan pada pengujian ini arus yang dihasilkan akan sangat besar dalam waktu. Pengujian ini dilakukan pada masing-masing rele tiap zonanya. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.17 sampai Gambar 5.22.



Gambar 5.17 Hasil pengujian hubung singkat zona 1





Gambar 5.18 Hasil pengujian hubung singkat zona 2



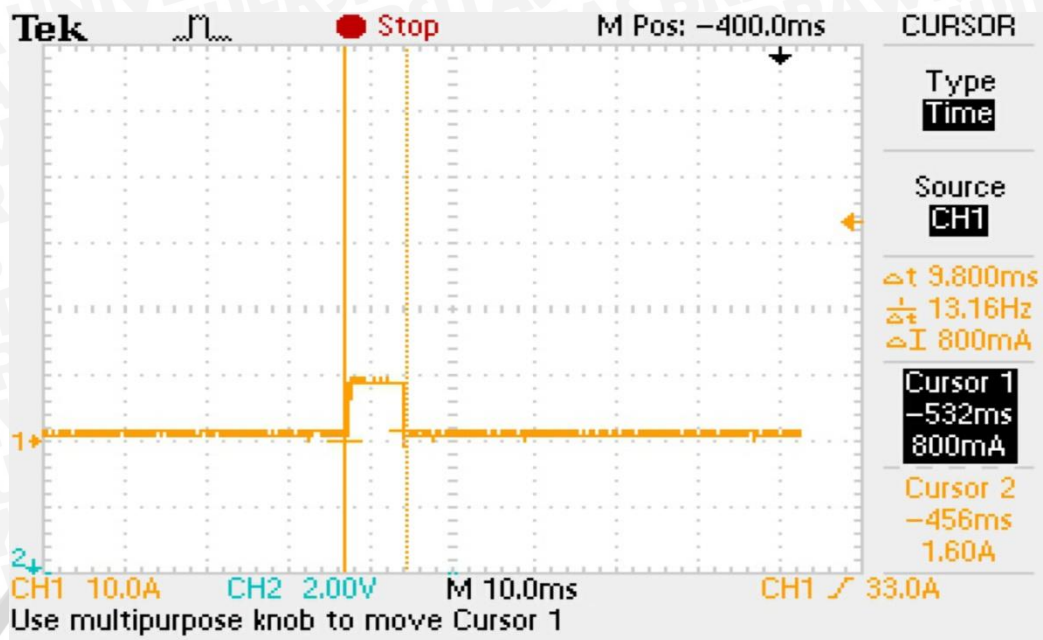
Gambar 5.19 Hasil pengujian hubung singkat zona 3



Gambar 5.20 Hasil pengujian hubung singkat zona 4



Gambar 5.21 Hasil pengujian hubung singkat zona 5



Gambar 5.22 Hasil pengujian hubung singkat zona 6

Berdasarkan gambar 5.17 sampai gambar 5.22 dapat di analisis bahwa rele dapat memutus gangguan hubung singkat dengan kecepatan waktu respon rata-rata 10 ms. Pengujian ini membuktikan bahwa sistem proteksi yang di buat dapat mengisolasi gangguan hubung singkat dengan baik.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Jenis gangguan yang ada pada sistem jaringan tegangan rendah *direct current* adalah gangguan *undervoltage*, gangguan *overvoltage*, gangguan beban lebih, dan gangguan hubung singkat. Pada setiap gangguan memiliki pengaruh dan efek yang berbeda-beda dan juga penanganan yang juga berbeda.
2. Perancangan sistem proteksi pada penelitian ini di bagi menjadi 6 zona, dimana zona 1 merupakan daerah sumber yang langsung di catu oleh aki 48 volt sedangkan zona 2 sampai zona 6 merupakan daerah beban, dimana pada masing-masing zona terdapat rele yang berfungsi untuk memutus rangkaian. Pusat kontroler dalam sistem ini menggunakan modul arduino, setiap data pada sistem akan diolah di mikrokontroler yang ada pada arduino. Rele akan bekerja memutus rangkaian setelah mendapat perintah dari mikrokontroler dimana perintah mikrokontroler akan berdasarkan nilai setpoint yang ditentukan dengan nilai aktual dari arus dan tegangan.
3. Kecepatan dalam mengisolasi berbagai jenis gangguan agar sistem terus berada dalam kondisi kontinyuitas merupakan hal yang penting dalam sistem proteksi, karena jika respon rele kurang cepat akan dikhawatirkan akan merusak beban dan komponen yang lainnya. Respon waktu dari jenis rele yang digunakan pada sistem ini mempunyai respon waktu dengan rata-rata 10 ms.

#### 6.2. Saran

Sensor tegangan untuk penggunaan jaringan yang lebih besar bisa menggunakan modul tegangan sehingga bisa menggunakan range tegangan yang lebih besar dan tingkat presisi yang lebih bagus. Untuk penelitian berikutnya alat proteksi bisa di kembangkan lebih lanjut untuk kemampuan alat proteksi dalam mengisolir gangguan tegangan lebih akibat surja petir, selain itu alat proteksi bisa dibandingkan dengan alat proteksi lainnya seperti mcb/mccb yang sudah ada di pasaran.

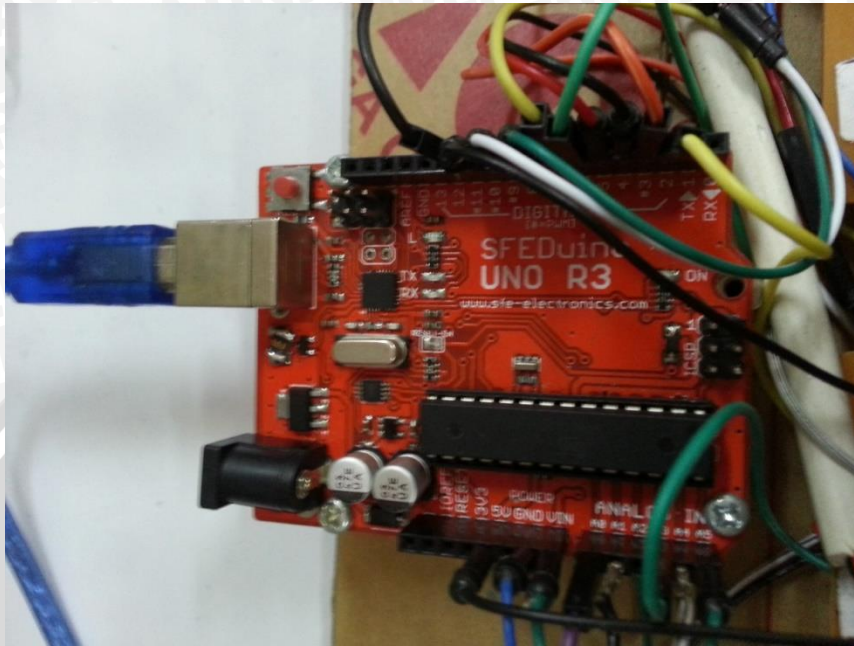
## DAFTAR PUSTAKA

- Blackburn, J.L. & Domin T.J. (2006). *Protective Relaying Principles and Applications Third Edition*, Florida: CRC Press
- Candelaria, Jared M.(2012). *FAULT DETECTION AND ISOLATION IN LOW-VOLTAGE DC-BUS MICROGRID SYSTEM*. A thesis submitted to the University of Colorado Denver. Colorado:tidak diterbitkan
- Cuzner M, Venkataramanan G. *The Status of DC Microgrid Protection, IEEE Transactions on Power Delivery*, July 2008
- Corzine K. *DC Micro Grid Protection with the Z Source Breake*. Department of electrical engineering, Clemson University
- Eka Maulana. 2014. *RELAY dan SSR*. Malang; Universitas Brawijaya.
- Emhemed A, Burt G. *The Effectiveness of Using IEC For Characterising Short-Circuit Currents of Future Low Voltage DC Distribution Networks*. 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 June 2013
- Fakultas Teknik. 2015. *Paduan Penulisan Skripsi*. Malang: Universitas Brawijaya
- Han J, Oh Y, Gwon G, Kim D, Kim C, Park K. *A Study on the Fault Characteristics of Line Fault in LVDC Distribution System, IEEE Developments in Power System Protection 12th IET International Conf*. Copenhagen, Denmark, march 31 2014- April 3 2014.
- Karlsson, P. (2002) *DC Distributed Power System*. Doctoral desertation submitted to LUND University. Lund: tidak diterbitkan
- Nilsson D.(2005). *DC Distributin Systems*. A thesis submitted to the University of Technology. Gotenborg:tidak diterbitkan
- Schlabbach, Jurgen. 2008. *Short-Circuit Currents*, London: The Institution an Technology.
- Salomonsson dkk. *Protection of Low Voltage DC microgrids, IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 24*, July 2009
- Salonen dkk.*An LVDC Distribution System Concept*. <http://lib.tkk.fi/Conf/2008/urn011603> ( diakses 15 Mei 2015)



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Penampakan Fisik Alat



Gambar L.1 Modul arduino uno

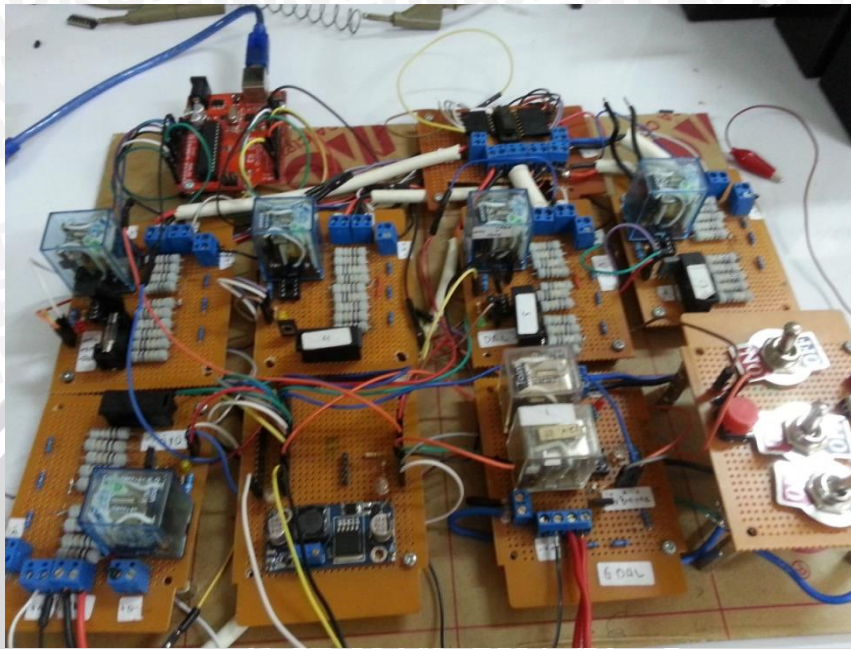
Gambar L.1 merupakan penampakan fisik dari modul arduino uno yang merupakan pusat pengolahan data pada sistem. Terdapat 32 pin yang memiliki fungsi masing-masing, untuk konfigurasi dari tiap pin yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat dalam gambar 4.5.



Gambar L.2 Sensor arus ACS712

Gambar L.2 merupakan penampakan fisik dari sensor arus yang digunakan pada sistem dimana sensor arus mempunyai kemampuan membaca arus hingga 30A.





Gambar L.3 Sistem secara keseluruhan

Gambar L.3 merupakan penampakan fisik dari alat yang dibuat, sistem terdiri dari beberapa sub sistem seperti sensor arus, sensor tegangan, driver rele, mikrokontroler, multiplexer, dan catu daya. Sub sistem tersebut digabungkan sedemikian rupa sehingga menjadi suatu kesatuan sistem. Perancangan dan pembuatan dilakukan per blok diagram sistem lalu dilakukan pengujian juga perblok diagram sistem, setelah semuanya sesuai dengan tujuan maka tiap perblok diagram sistem digabungkan menjadi satu blok diagram sistem secara keseluruhan dan juga dilakukan oengujian blok diagram sistem secara keseluruhan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat telah memenuhi tujuan awal. Perancangan dan pembuatan alata secara detail terdapat dalam BAB IV.

## Lampiran 2. Listing Program

```
#include <math.h>

#define Load1 2
#define Load2 3
#define Load3 4
#define Load4 5
#define Load5 6
#define Load6 7

#define SA 10
#define SB 9
#define SC 8

#define push 11

#define in0 analogRead(0)
#define in1 analogRead(1)
#define in3 analogRead(3)
#define in4 analogRead(4)
#define in_MUX analogRead(5)

float V[7],A[7];
unsigned char cnt=0 , tnd[7];
unsigned int a, count, time=1000, reclo,reclo_cnt=0;
float m;

void setup() {
    pinMode(Load1, OUTPUT);
    pinMode(Load2, OUTPUT);
    pinMode(Load3, OUTPUT);
    pinMode(Load4, OUTPUT);
    pinMode(Load5, OUTPUT);
```



```
pinMode(Load6, OUTPUT);
pinMode(SA, OUTPUT);
pinMode(SB, OUTPUT);
pinMode(SC, OUTPUT);

pinMode(push, INPUT);
digitalWrite(push, HIGH);

Serial.begin(9600);

//inisialisasi timer
// noInterrupts();           // disable interrupts
TCCR0A = 0b00000010;
TCCR0B = 0b00000011; //prescaler 8
TIMSK0 = 0b00000010;
OCR0A = 250;

TCCR1A = 0x00;
TCCR1B = 0x0A; //prescaler 8
TIMSK1 = 0x02;
OCR1AH = 0x07;
OCR1AL = 0xD0;

interrupts(); // enable all interrupts
}

ISR(TIMER0_COMPA_vect) // timer compare interrupt
service routine
{
// time=0.084/((pow(A[1],0.02)*0.9782673857)-1);
//V[2]=45;

if(A[1]>10)time=0;
```



```
else if(A[1]>=4) count++;
else {count=0; time=50000;}
if(count>=time) tnd[3]=1;

if(reclo_cnt>=5000) tnd[1]=1;
/*

if(tnd[1]==0&&A[1]<20&&V[1]>30&&V[1]<52) {digitalWrite(Load1,LOW); reclo_cnt=0;}
else {digitalWrite(Load1,HIGH);tnd[1]=1; reclo_cnt++;}
*/
/*
digitalWrite(Load1,HIGH);
digitalWrite(Load2,HIGH);
digitalWrite(Load3,HIGH);
digitalWrite(Load4,HIGH);
digitalWrite(Load5,HIGH);
digitalWrite(Load6,HIGH);
*/

if(tnd[2]==0&&A[2]<5) digitalWrite(Load2,LOW);
else
{digitalWrite(Load2,HIGH);tnd[2]=1;digitalWrite(Load1,HIGH);}

if(tnd[3]==0&&A[3]<5) digitalWrite(Load3,LOW);
else
{digitalWrite(Load3,HIGH);tnd[3]=1;digitalWrite(Load1,HIGH);}

if(tnd[4]==0&&A[4]<5) digitalWrite(Load4,LOW);
else
{digitalWrite(Load4,HIGH);tnd[4]=1;digitalWrite(Load1,HIGH);}

if(tnd[5]==0&&A[5]<5) digitalWrite(Load5,LOW);
```

```

else
{digitalWrite(Load5,HIGH);tnd[5]=1;digitalWrite(Load1,HIGH);}

if(tnd[6]==0&&A[6]<5)digitalWrite(Load6,LOW);
else
{digitalWrite(Load6,HIGH);tnd[6]=1;digitalWrite(Load1,HIGH);}

/*
if(tnd[1]==0&&A[1]<20&&V[1]>40&&V[1]<50)
digitalWrite(Load1,LOW);
else {digitalWrite(Load1,HIGH);tnd[1]=1;}

if(tnd[2]==0&&A[2]<5&&V[2]>40&&V[2]<50)
digitalWrite(Load2,LOW);
else {digitalWrite(Load2,HIGH);tnd[2]=1;}

if(tnd[3]==0&&A[3]<5&&V[3]>40&&V[3]<50)
digitalWrite(Load3,LOW);
else {digitalWrite(Load3,HIGH);tnd[3]=1;}

if(tnd[4]==0&&A[4]<5&&V[4]>40&&V[4]<50)
digitalWrite(Load4,LOW);
else {digitalWrite(Load4,HIGH);tnd[4]=1;}

if(tnd[5]==0&&A[5]<5&&V[5]>40&&V[5]<50)
digitalWrite(Load5,LOW);
else {digitalWrite(Load5,HIGH);tnd[5]=1;}

if(tnd[6]==0&&A[6]<5&&V[6]>40&&V[6]<50)
digitalWrite(Load6,LOW);
else {digitalWrite(Load6,HIGH);tnd[6]=1;}
*/

if(digitalRead(push)==0){

```

```
tnd[1]=0;tnd[2]=0;tnd[3]=0;tnd[4]=0;tnd[5]=0;tnd[6]=0;
}
}
ISR(TIMER1_COMPA_vect) // timer compare interrupt
service routine
{
V[1] = in0*0.048828125;
V[2] = in1*0.048828125;
A[1] = in3*0.072982-37.278;
A[2] = in4*0.031698;

if(cnt==8)cnt=1;
else cnt++;

switch (cnt) {
case 1: digitalWrite(SA,LOW); digitalWrite(SB,LOW);
digitalWrite(SC,LOW);
V[3]=in_MUX*0.048828125; break;
case 2: digitalWrite(SA,HIGH); digitalWrite(SB,LOW);
digitalWrite(SC,LOW);
V[4]=in_MUX*0.048828125; break;
case 3: digitalWrite(SA,LOW); digitalWrite(SB,HIGH);
digitalWrite(SC,LOW);
V[5]=in_MUX*0.048828125; break;
case 4: digitalWrite(SA,HIGH); digitalWrite(SB,HIGH);
digitalWrite(SC,LOW);
V[6]=in_MUX*0.048828125; break;
case 5: digitalWrite(SA,LOW); digitalWrite(SB,LOW);
digitalWrite(SC,HIGH);
A[3]=in_MUX*0.035828125; break;
case 6: digitalWrite(SA,HIGH); digitalWrite(SB,HIGH);
digitalWrite(SC,HIGH);
A[6]=in_MUX*0.037828125; break;
```



```

    case 7:    digitalWrite(SA,LOW);    digitalWrite(SB,HIGH);
digitalWrite(SC,HIGH);
            A[5]=in_MUX*0.028828125; break;
    case 8:    digitalWrite(SA,HIGH);    digitalWrite(SB,LOW);
digitalWrite(SC,HIGH);
            A[4]=in_MUX*0.041828125; break;
}

```

```

//A[1]=6;

```

```

}

```

```

void loop(){

```

```

time=1000*(0.084/((pow(A[1],0.02)*0.97605258155174589832236253
468216)-1));

```

```

t=(0.14*0.6)./(((i./3.36).^0.02)-1);

```

```

Serial.print("TEGANGAN = ");

```

```

Serial.print(V[1]);

```

```

Serial.print("\t");

```

```

Serial.print(V[2]);

```

```

Serial.print("\t");

```

```

Serial.print(V[3]);

```

```

Serial.print("\t");

```

```

Serial.print(V[4]);

```

```

Serial.print("\t");

```

```

Serial.print(V[5]);

```

```

Serial.print("\t");

```

```

Serial.print(V[6]);

```

```

Serial.print("\t---\tARUS = ");

```

```

Serial.print(A[1]);

```

```

Serial.print("\t");

```

```

Serial.print(A[2]);

```

```
Serial.print("\t");  
Serial.print(A[3]);  
Serial.print("\t");  
Serial.print(A[4]);  
Serial.print("\t");  
Serial.print(A[5]);  
Serial.print("\t");  
Serial.print(A[6]);  
Serial.println();  
  
/*  
time=0.14*0.6/(((i/3)^0.2)-1);  
time=0.084/(((i^0.02)*0.9782673857)-1);  
*/  
/*Serial.print(A[5]);  
Serial.print("\t");  
Serial.print(V[5]);  
Serial.print("\t");  
Serial.print(time);  
Serial.print("\t");  
Serial.println(tnd[3]);  
*/}
```



### Lampiran 3. Data kabel instalasi

Tabel L.1 Daftar Konstruksi Kabel Instalasi

No	Nama Kabel	Nomenklatur	Tegangan nominal (antara penghantar)	Jumlah inti	Luas penampang nominal inti mm <sup>2</sup>	Daerah penggunaan			
						Dalam ruang kering	Dalam ruang lembab, basah dan yang sejenis, juga di alam terbuka	Dalam tempat kerja dan gudang dengan bahaya kebakaran	Dalam tempat kerja dan gudang dengan bahaya ledakan
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Kabel lampu termoplastik	NYFA NYFAF NYFAZ NYFAD	230/400 (300) 230/400 (300) 230/400 (300) 230/400 (300)	1,3 & 4 1,3 & 4 2 3	0,5 & 0,75 sda sda sda	Untuk pemasangan tetap di dalam dan pada lampu			
2	Kabel lampu termoplastik tahan panas sampai 105 °C	NYFAw NYFAFw NYFAZw NYFADw	230/400 (300) 230/400 (300) 230/400 (300) 230/400 (300)	1,3 & 4 1,3 & 4 2 3	0,5 ..... 1 0,5 ..... 1 0,5 & 0,75 0,5 & 0,75	Untuk pemasangan tetap di dalam dan pada lampu			
3	Kabel rumah termoplastik	NYA NYAF	400/690 (600) 400/690 (600)	1 1	0,5 ..... 400 0,5 ..... 400	Dalam pipa yang dipasang di atas atau di dalam plesteran (pada kamar mandi di rumah dan di hotel, hanya pipa plastik), pemasangan terbuka pada isolator di atas plesteran di luar jangkauan tangan, dalam alat listrik, lemari hubung bagi	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan



Tabel L.1 (lanjutan)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Kabel termoplastik khusus	NSYA NSYAF NSYAW	400/690 (600) 400/690 (600) 400/690 (600)	1 1 1	1,5 .. 400 1,5 .. 400 1,5 .. 400	sda	Dipasang secara terbuka pada isolator di luar jangkauan tetapi tidak di alam terbuka. Terutama sebagai penghantar masuk di luar jangkauan tangan.	Dipasang di pipa plastik di atas dan dalam plesteran	Dalam lemari hubung-bagi diperbolehkan
5	Kabel lampu tabung termoplastik	NYL	4000 atau 8000 terhadap tanah	1	1,5	Hanya di dalam pipa baja dalam udara, atau dalam pipa seperti itu di atas dan di bawah plesteran, selanjutnya untuk dipasang dalam kotak lampu reklame dan benda relief juga dalam kanal hantaran dari logam (juga pada kendaraan)	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan	
6	Kabel termoplastik pipih a. berselubung karet b. berselubung termoplastik	NYIF NYIFY	230/400 (300) 230/400 (300)	2 ... 5 2 ... 5	1,5 & 2,5 1,5 & 2,5 Pada kabel bentuk 2 dan 3, juga sampai 4 mm <sup>2</sup>	Di dalam dan di bawah plesteran juga pada kamar mandi di rumah dan di hotel di dalam celah-celah dari langit-langit dan dinding tanpa plesteran, yang terbuat dari bahan yang tidak dapat terbakar selanjutnya dalam langit-langit balok kayu dari bangunan masif antara langit-langit paku dan langit-langit yang diplester. Tidak diperbolehkan pada rumah kayu dan bangunan yang dipakai untuk pertanian.	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan

Tabel L.1 (lanjutan)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Kabel termoplastik gantung tahan panas sampai 105°C	NYPLY	230/400 (300)	2 ... 4	0,75	Untuk lampu gantung ringan			
8	a. Kabel rumah termoplastik berselubung b. Kabel rumah termoplastik berselubung oval	NYM NYM-O	230/400 (300) 230/400 (300)	1 ... 5 2 dan 3	1,5 ... 35 Bila berinti tunggal hanya sampai 16 mm <sup>2</sup>	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran. Juga di atas kayu	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran juga di atas kayu	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran. Juga di atas kayu	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran dengan memperhatikan pengaruh kimia dan termis. Juga di atas kayu
9	Kabel termoplastik berselsai logam	NYRAMZ	230/400 (300)	2 ... 5	1 ... 5	sda	Tidak diperbolehkan	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran. Juga di atas kayu	Sda
10	Kabel termoplastik berselsai logam berselubung termoplastik	NYRUZY NYRUYr	300/500 (400) 300/500 (400)	2 ... 5 2 ... 5	1,5 ... 25 1,5 ... 25 Berinti lima hanya sampai 16 mm <sup>2</sup>	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran, tetapi tidak pada kamar mandi dalam rumah dan hotel. Juga di atas kayu.	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran. Juga di atas kayu	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran. Juga di atas kayu	Tidak diperbolehkan
11	Kabel termoplastik berselsai logam berselubung termoplastik.	NHYRUZY NHYZRZYr	300/500 (400) 300/500 (400)	2 ... 5 2 ... 5	1,5 ... 25 1,5 ... 25 Berinti lima hanya sampai 6 mm <sup>2</sup>	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran, tetapi tidak pada kamar mandi dalam rumah dan hotel, dalam ruangan dengan instalasi frekuensi tinggi. Juga di atas kayu.	Di atas di dalam dan di bawah plesteran, dalam ruang dengan instalasi frekuensi tinggi. Juga di atas kayu	Di atas di dalam dan di bawah plesteran, dalam ruang dengan instalasi frekuensi tinggi. Juga di atas kayu	Tidak diperbolehkan

Tabel L.1 (lanjutan)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	Kabel termoplastik berselubung timah hitam dan termoplastik.	NYBUY	300/500 (400)	2 ... 5	1,5 ... 35 Berinti lima hanya sampai 6 mm <sup>2</sup>	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran, tetapi tidak pada kamar mandi dalam rumah dan hotel. Juga di atas kayu.	Di atas, di bawah plesteran. Juga di atas kayu	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran. Juga di atas kayu	Di atas, di dalam dan di bawah plesteran. Dengan memperhatikan pengaruh kimia dan termis. Juga di atas kayu
13	Kabel termoplastik lampu tabung dengan selubung termoplastik	NYLRZY	4000 dan 8000 terhadap tanah.	1	1,5	Di atas, dan di bawah plesteran. Juga di atas kayu.	Di atas, dan di bawah plesteran. Juga di atas kayu.	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan
14	Kabel rumah karet	NGA	300/500 (400)	1	1 ... 95	Dalam pipa yang di pasang di atas atau di dalam plesteran (pada kamar mandi di rumah dan hotel hanya pipa plastik). Pemasangan terbuka pada isolator di atas plesteran di luar jangkauan tangan, dalam alat listrik, lemari hubung bagi.	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan
15	Kabel karet tahan panas	NZGAU NZGAU	300/500 (400) 300/500 (400)	1 1	1 ... 95 0,5 ... 95	Pemasangan dalam pipa di atas dan di bawah plesteran juga di dalam dan pada lampu	Tidak diperbolehkan	Pemasangan di dalam pipa plastik di atas dan di bawah plesteran.	Di dalam lemari hubung bagi
16	Kabel karet	NPL	230/400 (300)	2 dan 3	0,75	Untuk lampu gantung ringan.	Tidak diperbolehkan	Tidak diperbolehkan	



Tabel L.1 (lanjutan)

Nama Kabel tanah	Nomenklatur <sup>1)</sup>	Tegangan nominal <sup>2)</sup>	Jumlah Inti	Luas penampang nominal <sup>3),4)</sup> mm <sup>2</sup>	Pelindungan/penghantar konsentris <sup>7)</sup>	Penggunaan utama <sup>8)</sup>	Penggunaan dengan pembatasan <sup>9)</sup>
Kabel tanah bersolasi dan berselubung termoplastik	NYY <sup>3)</sup> NAVY <sup>3)</sup>	0,6/1 (1,2) 3,6/6 (7,2) 0,6/1(1,2) 3,6/6(7,2)	1 ... 4 3 1 ... 4 3	1,5 ... 400 2,5 ... 400 25 ... 400 35 ... 400	Tanpa	Kabel tenaga : Di dalam ruang, saluran kabel, dan di alam terbuka, untuk mesin tenaga, lemari penghubung, instalasi industri bila diharap kan tidak terjadi kerusakan mekanis.	Dalam tanah dengan pelindung bila diperhitungkan kemungkinan terjadi kerusakan mekanis. Dengan NAYY disyaratkan tindakan pengamanan khusus.
Kabel tanah bersolasi dan berselubung termoplastik dengan persai pita baja	NYBY NAVBY	Sda	2 ... 4 3 dan 4 3 dan 4 2 ... 4 3 dan 4 n 4	4 ... 400 <sup>4)</sup> 25 ... 400 25 ... 400 25 ... 400 35 ... 400 35 ... 400	Dobel persai pita baja yang digalvaniskan Dobel persai pita aluminium	Di dalam ruang, saluran kabel, dan di dalam tanah untuk instalasi industri dan lemari penghubung, serta untuk mesin tenaga bila mungkin terdapat gangguan mekanis ringan.	Dalam pengelutannya harus diperhatikan agar kabel tanah ini tidak mengalami tarikan-tarikan yang berlebihan atas pengaruhnya.
Kabel tanah bersolasi dan berselubung termoplastik dengan persai kawat baja	NYFGbY NYRGbY NAVFGbY NAVRGbY	Sda	2 ... 4 3 dan 4 3 dan 4 2 ... 4 3 dan 4 3 dan 4	1,5 ... 400 25 ... 400 25 ... 400 25 ... 400 35 ... 400 35 ... 400	Persai kawat baja bundar atau pipih yang digalvaniskan	NYFGbY dan NAVFGbY : di dalam ruang, saluran kabel dan dalam terbuka, dan di dalam tanah untuk mesin tenaga, untuk instalasi industri dan lemari penghubung, bila diharap kan terjadi gangguan mekanis sedang. NYRGbY dan NAVRGbY : untuk pemasangan dalam tanah, didalam ruang saluran kabel dan alam terbuka, bila disyaratkan perlindungan mekanis yang lebih tinggi atau tekanan tarik yang lebih besar pada waktu montase dan pada waktu pembebanan.	NYFGbY dan NAVFGbY : di dalam air dan sungai, bila tidak akan terjadi gangguan gaya tarik mekanis NYRGbY dan NAVRGbY : di dalam air dan sungai, bila tidak akan terjadi gangguan gaya tarik mekanis

Sumber: Persyaratan Umum Instalasi Listrik, 2000