

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI IGBT (*INSULATES GATE
BIPOLAR TRANSISTOR*) DAN SENSOR POTENSIAL LISTRIK
SEBAGAI PENUNJANG SURVEY GEOFIKA
METODE TDEM (*TIME DOMAIN ELECTROMAGNETIC*)**

Skripsi

Disusun untuk melengkapi syarat-syarat
guna memperoleh gelar sarjana sains



Danang Tri Hatmoko

3225061779

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2011**

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI IGBT (*INSULATES GATE BIPOLAR TRANSISTOR*) DAN SENSOR POTENSIAL LISTRIK SEBAGAI PENUNJANG SURVEY GEOFISIKA METODE TDEM (*TIME DOMAIN ELECTROMAGNETIC*)

Nama : Danang Tri Hatmoko

No. Reg : 3225061779

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab Dekan	: Dra Marheni, M.Sc NIP. 19500606 197412 2001	.....	.....
Wakil Penanggung Jawab Pembantu Dekan I	: Dr.rer.nat. Apriliana Laily F, M.S,M.Ed NIP. 19600408 199003 2002	.....	.....
Ketua	: Drs. Anggoro Budi Susilo, M.Si NIP. 19601001 199203 1001	.....	.....
Sekretaris	: Iwan Sugihartono, M.Si NIP. 19791010 200801 1018	.....	.....
Anggota: Pembimbing I	: Dr.rer.nat Bambang Heru Iswanto NIP. 19680401 199403 1002	.....	.....
Pembimbing II	: Prof. Dr.-Ing. Mitra Djamal NIP. 19600522 198503 1002	.....	.....
Penguji Ahli	: Drs. Handjoko Permana, M.Si NIP. 19621124 199403 1001	.....	.....

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 27 Juli 2011

ABSTRAK

Danang Tri Hatmoko, Perancangan Sistem Pengendali IGBT (*Insulates Gate Bipolar Transistor*) dan Sensor Potensial Listrik Sebagai Penunjang Survey Geofisika Metode TDEM (*Time Domain Electromagnetic*). Skripsi, Jakarta: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta, 2011.

Metode TDEM (*Time Domain Electromagnetic*) adalah sebuah metode elektromagnetik yang mengukur peluruhan tegangan transien sebagai fungsi dari waktu. Konfigurasi metode TDEM yang khusus terdiri dari *transmitter* dan *receiver*. *Transmitter* berupa penginjeksi arus yang digunakan untuk membangkitkan medan elektromagnetik bumi. Dalam penelitian ini tegangan *transmitter* periodik (gelombang periodik simetrik) dihasilkan dari sistem kontrol IGBT (*Insulates Gate Bipolar Transistor*). Sistem kontrol IGBT menggunakan saklar digital (optoelektronik) untuk mengatur waktu penyakelaran pada gerbang IGBT.

Hasil penginjeksian arus menyebabkan adanya respon berupa medan magnet dan medan listrik sekunder. Sebaran medan listrik diperoleh melalui pengukuran beda tegangan yang ditangkap oleh sensor potensial listrik dua dimensi. Hasil kalibrasi sensor potensial listrik menunjukkan kesalahan absolut sensor mencapai 0,011 V – 0,034 V dengan kesalahan relatif sensor mencapai 0,015% - 0,046%. Sensor potensial listrik mengalami penguatan $\sim 100\times$ dari tegangan sebenarnya dan disesuaikan pada rentang kerja penerima.

Kata kunci : *Time Domain Electromagnetic, Insulates Gate Bipolar Transistor, Survey Geofisika.*

ABSTRACT

Danang Tri Hatmoko, Control System Design of IGBT (*Insulates Gate Bipolar Transistor*) and Electrical Potential Sensor as a Method of Supporting Geophysical Survey TDEM (*Time Domain Electromagnetic*). Thesis, Jakarta: Faculty of Mathematics and Natural Sciences, State University of Jakarta, 2011.

Methods TDEM (Time Domain Electromagnetic) is an electromagnetic method that measures the decay of voltage transients as a functions of time. TDEM method is a special configuration consists of a transmitter and receiver. Transmitter current injection is used to generate the electromagnetic field of the earth.

In this study the voltage transmitter periodically (symmetric periodic wave) generated from the IGBT control system (Insulates Gate Bipolar Transistor). IGBT control system uses a digital switch (optoelectronic) to set the time switching on the IGBT gate.

The results of current injection caused a response in the form of the magnetic field and the secondary electric field. Distribution of electric field is obtained by measuring the voltage difference is captured by two dimensional electric potential sensors. Electric potential sensor calibration results showed an absolute error sensor reaches 0.011 V - 0.034 V with a relative error of the sensor reaches 0.015% - 0.046%. Electric potential sensor $\sim 100 \times$ experiencing reinforcement of the actual voltage and adjustable over a range of recipients work.

Keywords: *Time Domain Electromagnetic, Insulates Gate Bipolar Transistor, Geophysical Survey.*

KATA PENGANTAR

Pertama penulis hanturkan segala puji serta rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan banyak nikmat selama melakukan penelitian, kemudian shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang membawa risalah Islam serta ilmu pengetahuan kepada ummat manusia. Atas nikmat yang diberikan oleh-Nya penulis mempersembahkan skripsi dengan judul “Perancangan Sistem Pengendali IGBT (*Insulates Gate Bipolar Transistor*) dan Sensor Potensial Listrik Sebagai Penunjang Survey Geofisika Metode TDEM (*Time Domain Electromagnetic*)”.

Tentunya penulis tidak dapat melakukannya sendiri tanpa bantuan dan dukungannya dari orang-orang sekitar. Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada seluruh pihak yang berperan selama proses pendidikan dan selama penelitian, yaitu kepada.

1. Dr. rer. nat. Bambang Heru Iswanto, selaku dosen pembimbing I dan ketua jurusan Fisika FMIPA UNJ, telah memberi kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian di Institut Teknologi Bandung (ITB).
2. Prof. Dr.-Ing. Mitra Djamal, selaku dosen pembimbing II dan guru besar jurusan Fisika ITB, yang telah membimbing serta memberikan arahan kepada penulis dalam melakukan penelitian.
3. Widyaningrum, M.Si dan Fatahah Dwi Ridhani, M.Si, yang telah banyak memberikan motivasi serta arahan kepada penulis pada saat penelitian.
4. Bapak dan Ibu tercinta yang tidak ternilai pengobanannya kepada penulis, do'a sepanjang malam untuk kedua orang tua-ku.
5. Dwi Jayanti dan Eka Suryani selaku kakak saya terimakasih telah banyak memotivasi kepada penulis.

6. Dosen fisika UNJ yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis selama proses pendidikan, serta staf dan karyawan FMIPA UNJ dalam proses birokrasi.
7. Teman-teman fisika UNJ 2006 yang selalu memotivasi dan menghibur penulis, Supardi, Karina Anjarani, Amalia, Dian Setyawan, Imas Fatoni, Yusuf Giri Wijaya, Muhammad Erwin, Aminudin, Lazuardi Finanda, Yuda Setiawan, Tiounggur Rosana, Gita Suryani, Naomi, Mas Jaya, Ruben Kharisma, Rini Astria, Devi Tri Jayanti, Adinda Shita, Azis, Muhammad Hanif, Priyo Hartono, Ika, Marjuki. Persahabatan ini sangat berarti dalam kehidupan penulis.
8. Teman-teman di lab elektronika ITB yang bersedia untuk berdiskusi dengan penulis, IC's *Community* terus berinovasi dalam karyakaryanya, fisika UNJ angkatan 2003, 2004, 2005, 2007, 2009 serta pendidikan fisika 2006 terimakasih atas motivasi serta dukungannya.

Penulis memohon maaf jika terdapat kekurangan selama menempuh pendidikan serta dalam penelitian kepada semua pihak yang turut serta memberikan bantuan dan dukungannya.

Bandung, 19 April 2011

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR GRAFIK	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Pembatasan Masalah.....	3
1.4. Perumusan Masalah	3
1.5. Tujuan Penelitian.....	3
1.6. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Survey Geofisika	5
2.2. Teori Perambatan Gelombang Elektromagnetik	6
2.3. Metode Eksplorasi TDEM (<i>Time Domain Elektromagnetic</i>)	11
2.4. Perangkat Pemancar TDEM.....	16
2.4.1. Catu Daya (<i>Power Supply</i>).....	19
2.4.2. Inverter	19
2.4.3. Elektronika Daya	23
2.4.4. Sensor Potensial Listrik	28
2.5. Perangkat Pencuplikan Data.....	30

BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1. Tujuan Operasional.....	31
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.3. Alat dan Bahan	32
3.4. Metode Penelitian	32
3.5. Alur Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Sistem Kontrol IGBT	36
4.2. Sensor Potensial Listrik 2D.....	37
4.2.1. Kalibrasi Sensor Potensial Listrik X.....	38
4.2.2. Kalibrasi Sensor Potensial Listrik Y.....	43
4.3. Karakterisasi Penyakelaran IGBT (<i>Insulates Gate Bipolar Transistor</i>). 48	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Aliran arus pemancar (Tx) menimbulkan medan magnetik primer statik (H_p).....	12
Gambar 2.2. Interaksi perangkat TDEM dengan konduktor bumi.....	13
Gambar 2.3. Susunan perangkat survey TDEM.	13
Gambar 2.4. Bentuk gelombang pada ujung dipol.....	14
Gambar 2.5. Momen dipol pada saat diaplikasikan beda potensial pada dipol.....	14
Gambar 2.6. Arus yang timbul akibat difusi kepermukaan bumi yang lebih dalam.	15
Gambar 2.7. Profil waktu pencuplikan data pengukuran.	15
Gambar 2.8. Skema global rancangan alat penunjang survey geofisika dengan metode TDEM.	16
Gambar 2.9. Skema rancangan perangkat penginjeksi arus.	17
Gambar 2.10. Rangkaian daya injektor arus.	18
Gambar 2.11. Skematik rangkaian inverter sederhana.....	20
Gambar 2.12. Skematik rangkaian sederhana rangkaian inverter setengah gelombang.	21
Gambar 2.13. Bentuk muka gelombang pada tegangan keluaran inverter setengah gelombang.....	21
Gambar 2.14. Skematik sederhana inverter gelombang penuh.	22
Gambar 2.15. Bentuk muka gelombang inverter gelombang penuh.....	23
Gambar 2.16. Domain kerja devais semikonduktor sebagai fungsi frekuensi, tegangan kerja dan arus. [<i>Power electronic</i> , chap 3].	24
Gambar 2.17. (a) MOSFET daya, (b) IGBT, (c) reduksi rangkaian, (d) simbol IGBT.	25
Gambar 2.18. Karakteristik jatuh tegangan devais MOSFET dan IGBT.....	26
Gambar 2.19. Model rangkaian internal devais MOSFET daya.....	27

Gambar 2.20. Skema rancangan sensor potensial listrik pada perangkat penerima.	28
Gambar 2.21. Skematik rangkaian tapis noktah T-kembar.	29
Gambar 2.22. Skematik rangkaian tapis lolos rendah orde empat.	29
Gambar 2.23. (a) Arduino S3V.3 R2 (AT-Mega 8), (b) Konektor RS-232.	30
Gambar 3.1. Bentuk muka gelombang arus keluar pada dipol-dipol.	33
Gambar 3.2. Skematik pengendalian IGBT.	34
Gambar 3.3. Skematik kalibrasi sensor potensial listrik dengan masukkan kalibrator.	35
Gambar 3.4. Alur Penelitian.	35
Gambar 4.1. Sistem kontrol IGBT.	36
Gambar 4.2. Profil potensial listrik pada ujung dipol.	37
Gambar 4.3. Sensor potensial listrik.	38
Gambar 4.4. Perbedaan bentuk muka gelombang IGBT pada kondisi on dan off.	49
Gambar 4.5. Skematik karakterisasi IGBT.	50
Gambar 4.6. Antar muka pencuplikan data.	52

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.	Kalibrasi sensor potensial listrik X dengan kenaikan tegangan input kalibrator.....	39
Grafik 4.2.	Kalibrasi sensor potensial listrik X dengan penurunan tegangan input kalibrator.....	39
Grafik 4.3.	Kesalahan absolut sensor potensial listrik X dengan kenaikan tegangan input kalibrator.....	40
Grafik 4.4.	Kesalahan absolut sensor potensial listrik X dengan penurunan tegangan input kalibrator.....	41
Grafik 4.5.	Kesalahan relatif sensor potensial X dengan kenaikan tegangan input kalibrator.....	41
Grafik 4.6.	Kesalahan relatif sensor potensial listrik X dengan penurunan tegangan input kalibrator.....	42
Grafik 4.7.	Daerah linieritas penguatan sensor potensial listrik X dengan kenaikan tegangan input kalibrator.....	42
Grafik 4.8.	Daerah linieritas penguatan sensor potensial listrik X dengan penurunan tegangan input kalibrator.....	43
Grafik 4.9.	Kalibrasi sensor potensial listrik Y dengan kenaikan tegangan input kalibrator.....	43
Grafik 4.10.	Kalibrasi sensor potensial listrik Y dengan penurunan tegangan input kalibrator.....	44
Grafik 4.11.	Kesalahan absolut sensor potensial listrik Y dengan kenaikan tegangan input kalibrator.....	45
Grafik 4.12.	Kesalahan absolut sensor potensial listrik Y dengan penurunan tegangan input kalibrator.....	46
Grafik 4.13.	Kesalahan relatif sensor potensial listrik Y dengan kenaikan tengangan input kalibrator.....	46
Grafik 4.14.	Kesalahan relatif sensor potensial listrik Y dengan penurunan tegangan input kalibrator.....	47

Grafik 4.15.	Daerah linieritas penguatan sensor potensial listrik Y dengan kenaikan tegangan input kalibrator.	47
Grafik 4.16.	Daerah linieritas penguatan sensor potensial Y dengan penurunan tegangan input kalibrator.	48
Grafik 4.17.	Tegangan keluaran <i>collector emitter</i> (V_{CE}) IGBT pada saat <i>switching on</i>	50
Grafik 4.18.	Tegangan keluaran <i>collector emitter</i> (V_{CE}) IGBT pada saat <i>switching off</i>	51
Grafik 4.19.	Hasil pencuplikan data menggunakan ADC.	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Variasi <i>skin depth</i> terhadap frekuensi dan resistivitas. [Telford, Chap 6].....	11
Tabel 3.2.	Logika penyakelaran (<i>switching</i>) gerbang IGBT.....	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Skematik rangkaian penginjeksi arus.....	57
Lampiran 2.	Skematik rangkaian sensor potensial listrik	60
Lampiran 3.	Kode-kode pemrograman	62
Lampiran 4.	Foto kegiatan penelitian	67
Lampiran 5.	Data Pengamatan.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Bumi terdiri dari beberapa lapisan yang menyusunnya, di dalam lapisan tersebut terdapat mineral-mineral atau material yang bermanfaat bagi manusia. Untuk mengetahui informasi tentang kandungan apa saja yang terdapat di bawah permukaan bumi dapat dilakukan dengan survey geofisika. Survey geofisika merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui keadaan geologi bumi dengan menggunakan prinsip-prinsip fisika, terdapat berbagai macam metode survey geofisika yaitu metode destruktif dan non- destruktif.

Metode TDEM merupakan metode non-destruktif karena menggunakan sumber EM (elektromagnetik) buatan. Proses pengukuran dapat dilakukan tanpa atau menggunakan elektroda yang kontak dengan tanah sehingga survey dapat dilakukan di daerah geologi apapun termasuk daerah dengan resistivitas permukaan yang tinggi seperti pasir, aspal, dan kerikil. Metode ini menggunakan prinsip perambatan gelombang elektromagnetik (EM) melalui proses induksi kedalam lapisan permukaan bumi untuk membangkitkan medan EM di dalam permukaan bumi untuk memperoleh informasi nilai resistivitas. Informasi yang diperoleh berupa nilai resistivitas yang digunakan untuk mengetahui aspek fisis mineral atau batuan yang memiliki nilai resistivitas tertentu. Selanjutnya dengan berbekal hambatan jenis dari mineral lapisan permukaan bumi maka akan diperoleh perkiraan sebaran resistivitasnya.

Sebagai suatu hal yang sangat penting dalam eksplorasi geofisika, perangkat survey metode EM cukup kompleks dan dilengkapi dengan instrumentasi digital modern. Secara garis besar perangkat metode EM terdiri dari dua bagian yaitu *transmitter* (pemancar) dan *receiver* (penerima). Pemancar akan membangkitkan medan EM yang bersentuhan dengan tanah, saat mengenai material maka terjadi induksi berupa medan magnetik sekunder yang akan di tangkap oleh sensor berbasis medan magnet dan medan listrik yang terdapat pada

penerima. Peta distribusi nilai resistivitas yang diperoleh melalui kegiatan survey geofisika dapat memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan bumi baik secara 1D, 2D, maupun 3D [Pagano, G, *et al.*, 2003], pemetaan sumber air tanah [French, B, 2002], survey viskositas batuan [Barrocu, G, 2001], survey vulkanologi dan geotermal [Srigutomo, W, *et al.*, 2008].

Secara geografis Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam, untuk itu metode EM salah satu metode yang di tawarkan sebagai suatu cara untuk melakukan pemetaan geografis, seperti di bidang mineralisasi, energi, sumber air tanah, pertanian dan konstruksi. Instrumen yang digunakan dalam metode EM ini merupakan instrumen yang *portable* dengan jangkauan pemetaan yang cukup luas, namun membutuhkan daya yang cukup besar. Metode TDEM biasa digunakan untuk mendeteksi mineral atau batuan bumi yang terdapat pada permukaan dengan kedalaman mencapai sekitar (1-2 km) [Strack, *et al.*, 1990], sehingga kurang tepat jika digunakan untuk eksplorasi minyak bumi.

Daya yang dibutuhkan oleh perangkat metode EM cukup besar, untuk menginjeksikan arus kedalam permukaan tanah yang dihubungkan dengan pemancar. Dalam beberapa percobaan EM, tegangan *transmitter* periodik (dapat berupa gelombang periodik simetrik) yang dihasilkan dari sebuah baterai atau motor generator sekitar (1-20 A) [Ebitra, S, 2009]. Untuk mendapatkan muka gelombang periodik pada dipol diperlukan sebuah sistem untuk mengendalikan devais elektronik. Maka dalam penelitian ini akan dirancang perangkat instrumen sebagai penunjang survey geofisika, yaitu merancang sistem pengendali tegangan untuk memperoleh bentuk muka gelombang yang periodik, kemudian merancang sensor potensial untuk menangkap respon beda tegangan dari permukaan bumi pada sumbu X dan Y.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Berapakah besar kesalahan absolut maksimum dan kesalahan relatif maksimum dari hasil kalibrasi sensor potensial listrik ?

2. Berapakah besar penguatan pada sensor potensial listrik untuk menerima respon beda tegangan dari permukaan bumi?
3. Berapakah daerah kerja IGBT saat penyakelaran (*switching*) pada karakterisasi IGBT ?
4. Bagaimanakah bentuk muka gelombang yang terbentuk dari sistem pengendalian IGBT ?

1.3. Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini masalah dibatasi pada perancangan sistem pengendali IGBT dalam pembentukan muka gelombang periodik pada ujung dipol, kemudian merancang sensor potensial listrik sebagai penerima respon beda tegangan dari permukaan bumi pada sumbu X dan Y.

1.4. Perumusan Masalah

Masalah yang akan diteliti pada penelitian ini adalah tentang mengendalikan devais IGBT untuk memperoleh karakteristik bentuk muka gelombang periodik pada ujung dipol, kemudian merancang sensor potensial listrik untuk menerima respon beda tegangan dari permukaan bumi pada sumbu X dan Y.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah.

1. Merancang dan membuat sistem pengendali IGBT untuk mengendalikan beda tegangan pada ujung dipol.
2. Merancang dan membuat sensor potensial listrik untuk menerima respon potensial listrik permukaan bumi pada sumbu X dan Y.
3. Mempelajari perambatan gelombang EM di dalam permukaan bumi, untuk membangkitkan medan EM sekunder di dalam permukaan bumi.
4. Mempelajari pembentukan muka gelombang tegangan keluaran pada ujung dipol hasil dari pengendalian IGBT.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu.

1. Mengetahui proses perambatan gelombang EM dalam membangkitkan medan EM sekunder di dalam permukaan bumi.
2. Memperoleh informasi bentuk muka gelombang tegangan keluaran pada perangkat injeksi arus.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Survey Geofisika

Geofisika adalah bagian dari ilmu bumi yang mempelajari sifat dan karakter bumi menggunakan kaidah atau prinsip-prinsip fisika [Wikipedia]. Penelitian di bidang geofisika mayoritas bertujuan untuk mengetahui kondisi di bawah permukaan bumi, namun untuk mengetahui hal tersebut melibatkan pengukuran di atas permukaan bumi. Pengukuran tersebut diperoleh melalui parameter sifat fisis yang dimiliki oleh material di dalam bumi. Dari pengukuran tersebut dapat ditafsirkan tentang sifat dan kondisi di bawah permukaan bumi, baik itu pengukuran secara vertikal atau secara horizontal.

Berdasarkan sumber medan yang digunakan, secara garis besar survey geofisika dibedakan dalam pengukuran aktif dan pengukuran pasif. Pengukuran pasif dilakukan dengan memanfaatkan sumber medan yang merupakan bagian dari sifat-sifat bumi secara alamiah. Sedangkan pengukuran aktif dilakukan dengan membuat sumber gangguan untuk mendapatkan respon bumi sebagai gambaran sifat-sifat yang ingin diketahui.

Pada survey geofisika pengukuran aktif dilakukan dengan cara yaitu dengan melakukan penginjeksian sinyal kedalam bumi dan mengukur responnya. Sinyal yang digunakan dapat berupa arus listrik, sumber radioaktif, gelombang periodik, gelombang elektromagnetik. Respon bumi terhadap sinyal yang di injeksikan akan berkorelasi dengan sifat material bumi yang dilewatinya.

Metode elektromagnetik TDEM termasuk kedalam metode aktif, karena menggunakan sumber terkontrol. Dengan sumber yang terkontrol keuntungan yang diperoleh yaitu dapat memberikan informasi secara rinci sesuai objek yang akan diteliti. Dalam prosesnya metode ini menggunakan prinsip fisika mengenai perambatan gelombang EM melalui medium.

2.2. Teori Perambatan Gelombang Elektromagnetik

Teori elektromagnetik yaitu teori yang menghubungkan dua hukum dasar mengenai gejala kelistrikan dan kemagnetan. Pertama arus listrik dapat menghasilkan (menginduksi) medan magnet, ini dikenal sebagai gejala induksi magnet. Gejala induksi magnet diuraikan dalam Hukum Ampere.

Kedua, medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu dapat menghasilkan (menginduksi) medan listrik dalam bentuk arus listrik. Gejala ini merupakan induksi elektromagnetik yang diuraikan oleh Faraday dan Henry.

Dari prinsip di atas terdapat korelasi, yaitu medan magnet yang berubah terhadap waktu dapat membangkitkan medan listrik yang bergantung terhadap waktu, dan sebaliknya. Jika proses ini berlangsung secara kontinu maka akan terbentuk medan magnet (\mathbf{B}) dan medan listrik (\mathbf{E}) secara kontinu. Apabila medan magnet merambat di dalam ruang dan ke segala arah, termasuk kedalam gejala gelombang elektromagnetik. Gejala gelombang elektromagnetik di uraikan kedalam suatu persamaan Maxwell.

Persamaan Maxwell merupakan himpunan empat besaran diferensial parsial yang mendeskripsikan medan listrik dan medan magnet serta hubungannya dengan sumber-sumbernya, muatan listrik dan arus listrik menurut teori elektrodinamika klasik.

Medan elektromagnetik dinyatakan dengan empat besaran vektor medan yaitu medan pergeseran \vec{D} (C/m^2), intensitas medan magnetik \vec{H} (A/m), medan listrik \vec{E} (V/m), dan induksi magnetik \vec{B} (Wb/m^2) yang dinyatakan dalam persamaan Maxwell.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = q_e \quad (2.3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) diperoleh dengan menerapkan vektor identitas $\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \times \mathbf{A} = 0$ pada persamaan (2.1).

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\vec{\nabla} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) = 0$$

Dengan :

\vec{j} : Vektor rapat arus (A/m²).

q_e : Rapat muatan listrik (C/m³).

Ke-empat persamaan diatas menjelaskan sifat gelombang elektromagnetik di dalam medium sembarang yang di diferensial dari hukum Faraday, Ampere dan Coulomb.

Gelombang elektromagnetik dalam medium homogen, linier dan isotropik bersifat linier dan nondispersif. Vektor magnetik \vec{H} , vektor medan listrik \vec{E} serta vektor bilangan gelombang \mathbf{k} dalam arah perambatan yang saling tegak lurus satu sama lain. Besaran-besaran tersebut saling berkaitan melalui persamaan.

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.5)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.6)$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} = \frac{1}{\rho} \vec{E} \quad (2.7)$$

Dengan :

ϵ : Permittivitas dielektrik (F/m).

μ : Permeabilitas magnetic (H/m).

σ : Konduktivitas listrik (S/m).

ρ : Resistivitas (Ωm).

Berdasarkan hubungan tersebut maka persamaan Maxwell (2.1-2.4) dapat dituliskan sebagai.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.8)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu \sigma \vec{E} + \mu \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.9)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{q_e}{\epsilon} \quad (2.10)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.11)$$

Jika dioperasikan *curl* pada persamaan (2.8).

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} &= \vec{\nabla} \times \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \mu \vec{H}) \\ &= -\mu \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{H})\end{aligned}\quad (2.12)$$

Dengan memanfaatkan sifat operasi

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{A} &= \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \cdot \vec{A} - \vec{\nabla}^2 \vec{A} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \cdot \vec{E} - \vec{\nabla}^2 \vec{E} &= -\mu \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{H}) = -\mu \frac{\partial}{\partial t} \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \\ &= -\mu \frac{\partial}{\partial t} \left(\sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)\end{aligned}$$

Untuk kasus tanpa sumber $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$ diperoleh.

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} = \mu \frac{\partial}{\partial t} \left(\sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$

atau

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} - \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (2.13)$$

Sedangkan jika dioperasikan *curl* pada persamaan (2.9) diperoleh.

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{B} &= \vec{\nabla} \times \left(\mu \sigma \vec{E} + \mu \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla} \cdot \vec{B} - \vec{\nabla}^2 \vec{B} &= \mu \sigma (\vec{\nabla} \times \vec{E}) + \mu \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{E})\end{aligned}$$

Karena $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ maka.

$$\begin{aligned}-\vec{\nabla}^2 \vec{B} &= \mu \sigma (\vec{\nabla} \times \vec{E}) + \mu \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{E}) \text{ atau} \\ \vec{\nabla}^2 \vec{H} &= \mu \sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \\ \vec{\nabla}^2 \vec{H} - \mu \sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} &= 0\end{aligned}\quad (2.14)$$

Jika dipilih variasi waktu dalam sinusoida.

$$\begin{aligned}\vec{E}(t) &= E_0 e^{j\omega t} \\ \vec{H}(t) &= H_0 e^{j\omega t}\end{aligned}$$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = j\omega \vec{E} \quad ; \quad \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = -\omega^2 \vec{E}$$

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = j\omega \vec{H} \quad ; \quad \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = -\omega^2 \vec{H}$$

Dengan $\omega = 2\pi f$ merupakan frekuensi sudut medan, sehingga persamaan (2.13) dan (2.14) dapat dituliskan sebagai.

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} - j\omega\mu\sigma \vec{E} + \omega^2 \mu\epsilon \vec{E} = 0 \quad (2.15)$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{H} - j\omega\mu\sigma \vec{H} + \omega^2 \mu\epsilon \vec{H} = 0 \quad (2.16)$$

Yang dapat disederhanakan menjadi.

$$\vec{\nabla}^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \quad (2.17)$$

$$\vec{\nabla}^2 \vec{H} + k^2 \vec{H} = 0 \quad (2.18)$$

Bilangan gelombang k merupakan bilangan kompleks yang didefinisikan sebagai.

$$k^2 = \mu\epsilon\omega^2 - j\mu\sigma\omega \quad (2.19)$$

Berdasarkan konversi Ward dan Hohmann [1988, Bab 4 volume 1] konstanta perambatan dapat dituliskan dalam bentuk.

$$k = \alpha - j\beta$$

α merupakan konstanta fase, dinyatakan dengan.

$$\alpha = \omega \left[\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\epsilon\omega} \right)^2} + 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.20)$$

Sedangkan β merupakan konstanta atenuasi, dinyatakan sebagai.

$$\beta = \omega \left[\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\epsilon\omega} \right)^2} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (2.21)$$

Sehingga solusi untuk gelombang bidang yang merambat pada arah z adalah.

$$\vec{E}(t) = E_0 e^{-jkz} e^{j\omega t} = E_0 e^{-j\alpha z} e^{-\beta z} e^{j\omega t}$$

$$\vec{H}(t) = H_0 e^{-jkz} e^{j\omega t} = H_0 e^{-j\alpha z} e^{-\beta z} e^{j\omega t} \quad (2.22)$$

E_0 dan H_0 merupakan nilai maksimum dari kuat medan listrik dan kuat medan magnet. Tampak bahwa pada medium konduktif amplitudo meluruh

terhadap kedalaman, semakin dalam amplitudo medan semakin kecil dan akan bernilai $1/e$ dari kuat medan mula-mula.

$$\delta = 1/\beta \quad (2.23)$$

δ disebut sebagai kedalaman kulit (*skin depth*). Untuk medium yang sangat konduktif $\sigma \gg \omega\epsilon$ maka.

$$\alpha \approx \beta \approx \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\sigma}{2\epsilon\omega}}$$

Dengan mengansumsikan $\mu = \mu_0 = 1,256 \times 10^{-6} \text{ H/m}$ dan $\omega = 2\pi f$ maka kedalaman kulitnya dinyatakan.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\sigma\omega}} = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ m} \quad (2.24)$$

Sedangkan kedalaman lokasi yang akan diteliti ($D = \text{penetrasi}$) diperoleh dari hubungan *asymptotic* berdasarkan lapisan homogen [Bostick, 1997].

$$D = \frac{\delta}{\sqrt{2}} = 356 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ m} \quad (2.25)$$

Tampak bahwa kedalaman penetrasi bergantung pada dua parameter, yaitu resistivitas bumi dan frekuensi sinyal yang digunakan. Semakin dalam penetrasi nilai resistivitas semakin tinggi, frekuensi sinyal semakin rendah.

Impedansi gelombang didefinisikan sebagai perbandingan komponen orthogonal medan listrik dan medan magnet.

$$Z = \left| \frac{E}{H} \right| \quad (2.26)$$

Pengaruh perubahan atau variasi terhadap frekuensi dan resistivitas dalam permukaan bumi.

f (Hz)	$\rho = 10^{-4} \Omega\text{m}$ Z_s (m)	$\rho = 10^{-2} \Omega\text{m}$ Z_s (m)	$\rho = 10^0 \Omega\text{m}$ Z_s (m)	$\rho = 10^2 \Omega\text{m}$ Z_s (m)	$\rho = 10^4 \Omega\text{m}$ Z_s (m)
10^{-3}	160	1,600	$1,6 \times 10^4$	$1,6 \times 10^5$	$1,6 \times 10^6$
10^{-2}	50	500	5,000	5×10^4	5×10^5
10^{-1}	16	160	1,600	$1,6 \times 10^4$	$1,6 \times 10^5$
1	5	50	500	5,000	5×10^4

10	1,6	16	160	1,600	$1,6 \times 10^4$
10^2	0,5	5	50	500	5,000
10^3	0,16	1,6	16	160	1,600
10^4	0,05	0,5	5	50	500
10^6	0.005	0,05	0,5	5	50
10^8	-	0.005	0,05	0,5	5

Tabel 2.1. Variasi *skin depth* terhadap frekuensi dan resistivitas. [Telford, Chap 6]

2.3. Metode Eksplorasi TDEM (*Time Domain Elektromagnetic*)

Metode TDEM telah dipergunakan dalam eksplorasi pertambangan dalam beberapa dasawarsa. Metode TDEM kian mengalami suatu kebangkitan diakhir 1970 dan 1980 pada pembangunan di bidang efisiensi dan efektivitas alat perlengkapan, dengan interpretasi di bidang komputer. Perkembangannya mengalami peningkatan pada sistem elektronika yang ditujukan untuk akuisisi data dengan kualitas tinggi dari kedalaman dangkal 30 kaki hingga kedalaman beberapa ribu kaki.

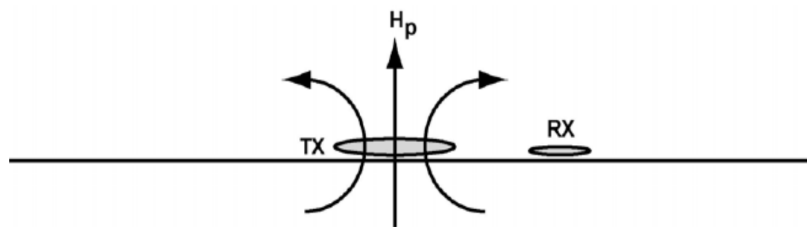
TDEM (*Time Domain Electromagnetic*) atau kadang disebut TEM (*Transient Electromagnetic*) sebuah metode elektromagnetik yang mengukur peluruhan tegangan transien sebagai fungsi dari waktu. Konfigurasi TDEM yang menggunakan sumber buatan berupa koil (kumparan) berdiameter tertentu, misalnya ukuran (1×1 m) sampai (200×200 m) yang ujungnya ditanahkan. TDEM dengan loop arus biasanya untuk aplikasi daerah dangkal (300-500 m) dan juga digunakan untuk proses koreksi statik MT (*magnetotelluric*), sedangkan penggunaan TDEM dengan dipol arus disebut LOTEM (*long-offset transient electromagnetic*) biasanya untuk aplikasi dengan kedalaman hingga (4-5 Km) bukan untuk koreksi statik.

Penggunaan teknik TDEM memiliki beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan teknik klasik yang menggunakan resistivitas DC. TDEM tidak memerlukan yang begitu besar, sehingga kurang sensitif terhadap perubahan lateral di dalam tanah. Pada resistivitas DC membutuhkan panjang elektroda yang menyebar, dengan panjang yang biasanya mencapai tiga sampai lima kali

kedalaman eksplorasi. Dengan demikian untuk mencapai kedalaman 200 m membutuhkan luasan tanah horizontal yaitu cakupan lateral lebih dari 600 kaki. Sedangkan TDEM dapat memperoleh kedalaman eksplorasi beberapa ratus meter dengan lingkaran pemancar 50 kaki.

Teknik eksplorasi dengan metode EM melibatkan pengaliran arus listrik ke dalam tanah menggunakan induksi EM. Metode aktif ini membangkitkan arus eddy di konduktor dalam permukaan menggunakan pulsa elektromagnetik. Peluruhan arus yang di timbulkan oleh medan magnetik sekunder di ukur sampai dengan 30 kali segera setelah pulsa dimatikan.

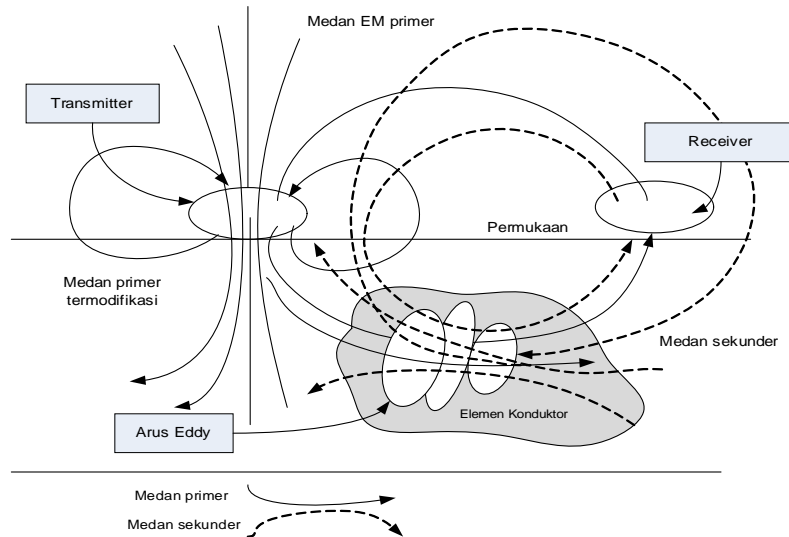
Variasi medan magnet yang timbul akibat pengaliran arus injeksi akan menghasilkan medan listrik sesuai formulasi hukum Faraday. Medan listrik ini akan menimbulkan arus listrik, arus listrik yang mengalir dalam loop *transmitter* secara umum adalah medan magnetik primer statik (H_p), terlihat pada gambar 2.1. Medan magnetik primer dari *transmitter* akan membangkitkan medan listrik sekunder di dalam lapisan bumi. Lapisan dalam bumi dilihat sebagai elemen konduktor-konduktor kecil yang mengalir didalamnya *arus eddy* atau arus pusar akibat dari medan magnet primer. Medan magnetik sekunder yang dihasilkan oleh arus listrik sekunder di dalam bumi ini yang kemudian diukur.



Gambar 2.1. Aliran arus pemancar (Tx) menimbulkan medan magnetik primer statik (H_p).

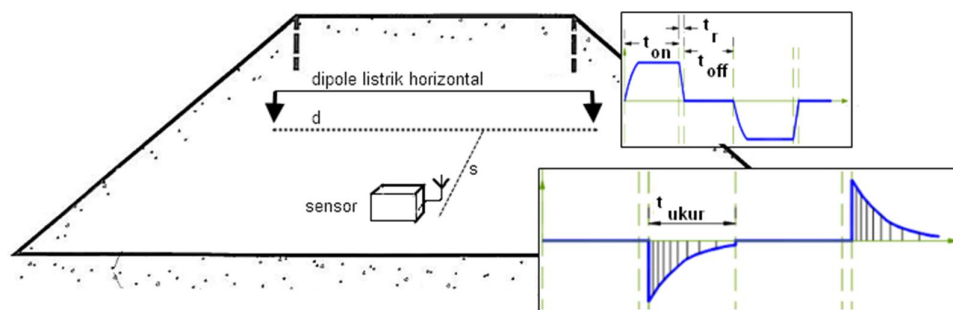
Perangkat survey disusun sebagaimana pada gambar 2.3. Dimana pemancar terdapat dipol-dipol listrik yang direntangkan secara horizontal dengan jarak d , dan akan membangkitkan pulsa potensial dengan frekuensi yang tetap ($t_{on}=t_{off}$) dengan polaritas bolak balik. Sensor diletakkan pada posisi s terhadap

pemancar yang akan membaca medan listrik dan medan magnet yang timbul dan mencatatnya untuk rentang waktu tertentu (t_{ukur}).



Gambar 2.2. Interaksi perangkat TDEM dengan konduktor bumi.

Momen dipol listrik dibangkitkan oleh beda potensial pada ujung-ujung probe dengan membentuk pulsa pada gambar 2.4 menghasilkan arus primer pada permukaan (h_o) yang diilustrasikan oleh gambar 2.5.

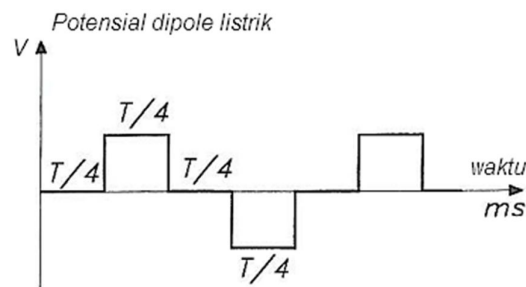


Gambar 2.3. Susunan perangkat survey TDEM.

Ketika pulsa potensial dimatikan atau ujung-ujung probe di netralkan sehingga terjadi peluruhan arus, akan timbul aliran-aliran arus eddy pada lapisan-lapisan di bawah permukaan bumi dengan arah yang sama seperti arus primer. Arus sekunder pada lapisan permukaan bumi timbul akibat resistivitas pada elemen-elemen lapisan yang mengakibatkan aliran-aliran arus baik kearah samping

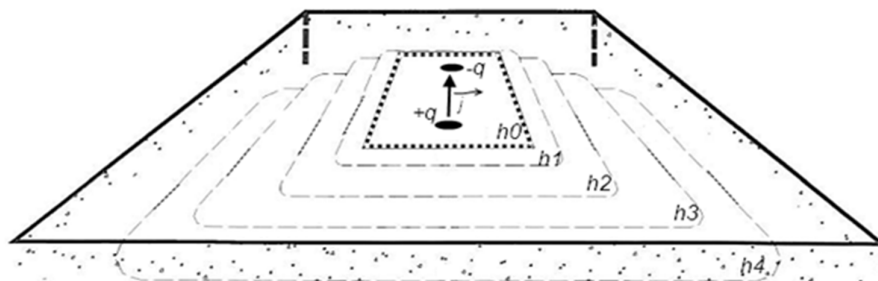
maupun pada lapisan-lapisan yang lebih dalam. Ilustrasi kemunculan arus pada setiap lapisan dapat dilihat pada gambar 2.6. seiring dengan tingkat kedalaman (h), maka waktu kemunculan akan bertambah (t).

Pengukuran dilakukan sesaat setelah dipol listrik dinetralkan. Karakteristik peluruhan tegangan dibaca dengan cara membagi waktu pengukuran dalam cuplikan-cuplikan waktu pengukuran. Untuk meminimalkan distorsi pengukuran, waktu pencuplikan awal di buat rapat. Kemudian seiring amplitudo transien semakin mengecil, waktu antar pencuplikan akan semakin lebar untuk meningkatkan rasio sinyal derau. Profil pengukuran ditunjukkan pada gambar 2.7.

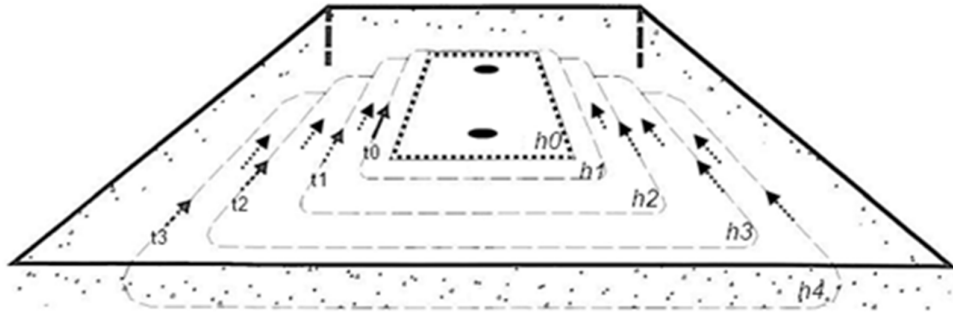


Gambar 2.4. Bentuk gelombang pada ujung dipol.

Di medan pengukuran, sebenarnya semua sistem TDEM merekam tegangan transien di sebuah nilai sampel waktu. Karakteristik dari peluruhan tegangan di *receiver* ditentukan untuk sejumlah *times gates*, setiap pengukuran dan rekaman amplitudo dari peluruhan meredup dibuat lebih luas untuk meningkatkan perbandingan *signal-to-noise*.



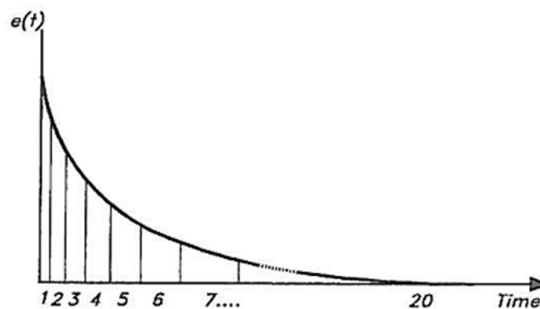
Gambar 2.5. Momen dipol pada saat diaplikasikan beda potensial pada dipol.



Gambar 2.6. Arus yang timbul akibat difusi kepermukaan bumi yang lebih dalam.

Sumber-sumber *noise* (distorsi) untuk sounding TDEM.

1. *Noise* sirkuit (bergantung kebaikan alat).
2. *Noise* yang diradiasi dan diinduksi oleh radio *transmitter-transmitter* radar.
3. Kehadiran dari medan magnet yang berasal dari lintasan arus dalam penginjeksian arus, dengan kisaran frekuensi catudaya yaitu 50/60 Hz.
4. Kehadiran dari struktur metalik (logam) yang terdekat.



Gambar 2.7. Profil waktu pencuplikan data pengukuran.

Diruang pemrosesan data dilakukan pemeriksaan untuk akurasi (keberulangan) dan dinormalisasi dengan memperhatikan arus *transmitter* atau medan primer yang dihitung dalam momen koil *receiver*.

Dalam kebanyakan sistem TDEM, medan-medan yang diukur kemudian di plot pada skala liner tanpa normalisasi tambahan. Ini akan menjaga (melindungi) bentuk dari anomali tetapi amplitudonya akan menurun secara proporsional terhadap jarak stasiun medan dan *loop transmitter*. Seringkali beberapa data

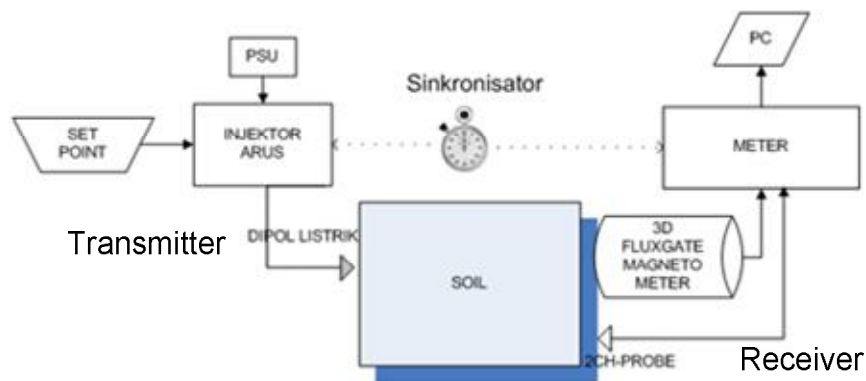
dinormalisasi dengan memperhatikan anomali nilai medan- H_z diukur di stasiun yang diberikan, *point normalization* (titik normalisasi) ini menjaga bentuk dari anomali sedangkan skalanya dengan memperhatikan nilai referensi.

Distribusi arus yang berdifusi ke dalam bumi homogen setelah dimatikan bergantung pada.

1. Seberapa cepat *transmitter* bisa dimatikan.
2. Ukuran loop dan jumlah lilitan dari koil *transmitter*.
3. Struktur konduktivitas bawah permukaan, dan
4. Medan listrik maksimum yang berdifusi kebawah permukaan sudut (30° pada bidang horizontal).

2.4. Perangkat Pemancar TDEM

Serangkaian perangkat TDEM secara umum terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu *transmitter* (pemancar) dan *receiver* (penerima). Perangkat *transmitter* berupa alat ukur yang dikembangkan terdiri dari dua bagian yaitu bagian penginjeksi arus dan bagian sensor. Kedua bagian berkerja secara simultan dan perangkat sinkron dengan bantuan detak internal yang disinkronisasi pada awal penggunaan alat. Skema global perangkat adalah sebagaimana yang digambarkan pada gambar 2.8.

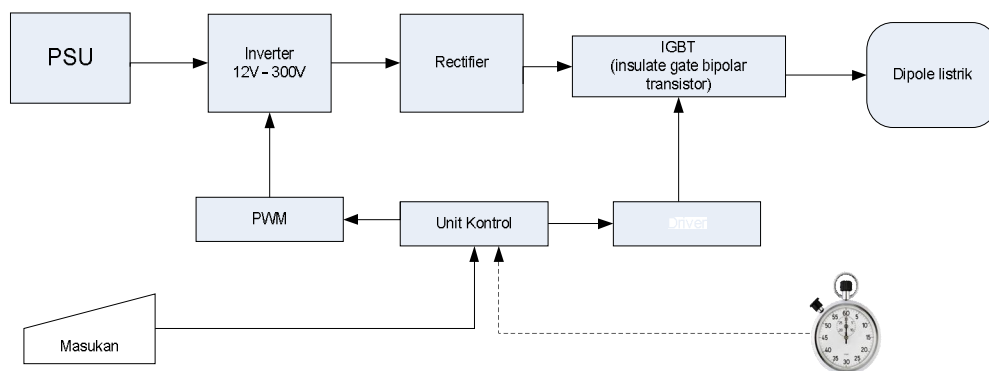


Gambar 2.8. Skema global rancangan alat penunjang survey geofisika dengan metode TDEM.

Pada bagian *transmitter* terdapat injektor arus yang digunakan untuk membangkitkan medan elektromagnetik di dalam permukaan bumi, arus diinjeksikan melalui dipol listrik yang dikontrol melalui sistem penyakelaran gerbang IGBT. Sensor potensial listrik sebagai monitoring medan listrik dalam permukaan tanah. Alat ukur untuk sistem EM mencakup sumber daya DC pada baterai yang dirubah ke bentuk AC untuk mengoperasikannya pada beberapa pengulangan frekuensi pemancar dan koil penerima (yang berada dalam satu set rangkaian TD/ *time domain*).

Penguatan pada penerima diatur sedemikian rupa untuk menangkap frekuensi pemancar (unit FD/ *frekuensi domain*) dengan lebar pita frekuensi (~40 kHz pada penerima TD). Beberapa medan FD memerlukan beberapa penambahan sebagai koefisien peubah dengan potensiometer AC (seperti fasa dan amplitudo) untuk perbandingan sinyal medan primer dan medan sekunder.

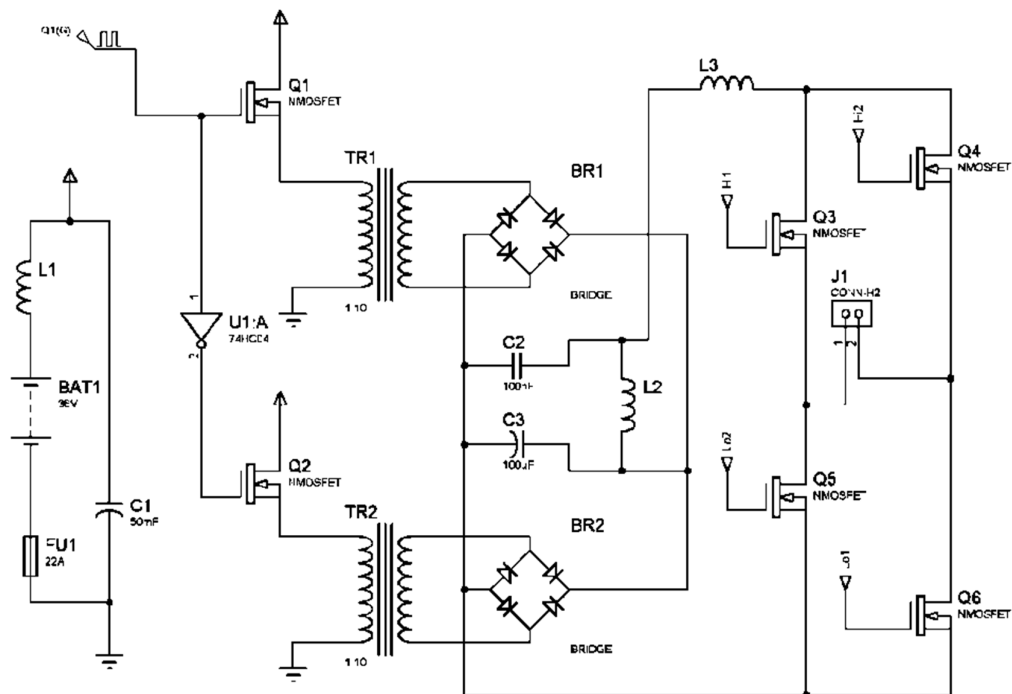
Perancangan perangkat pemancar diperlihatkan pada gambar 2.9, rangkaian ini terdiri dari inverter yang akan menghasilkan tegangan tinggi. Tegangan ini akan diaplikasikan melalui rangkaian IGBT yang dikendalikan oleh unit kontrol yang disinkronisasikan oleh kristal presisi.



Gambar 2.9. Skema rancangan perangkat penginjeksi arus.

Rangkaian *transmitter* arus untuk aplikasi diatas menggunakan sumber DC sebesar 12 V atau kurang. Kemudian tegangannya dinaikkan menjadi 300 V – 400 V dengan bantuan trafo toroid. Tegangan maksimum diatas dibatasi oleh tegangan maksimum transistor FET. Rangkaian trafo yang digunakan berjumlah dua buah dimaksudkan untuk membagi beban daya yang lewat pada setiap trafo.

Penggunaan trafo ini akan menghasilkan arus AC dua fasa dengan beda fasa sekitar 180 derajat atau setengah gelombang. Keluaran setiap trafo disearahkan dengan menggunakan dioda *bridge* (jembatan dioda) pada tiap trafo agar mengurangi interferensi arus pada lilitan sekunder trafo. Selanjutnya digunakan rangkaian tapis lolos rendah yang terdiri dari induktor L2 dan L3 serta kapasitor C2 dan C3. Beda potensial pada ujung-ujung terminal diatur dengan rangkaian IGBT yang akan dikendalikan oleh mikrokontroler. Skema lengkap rangkaian dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.10. Rangkaian daya injektor arus

Pada bagian-bagian tertentu yang kritis, ditempatkan sensor-sensor untuk menunjang kerja rangkaian penginjeksi arus dan dikendalikan dalam suatu siklus kendali tertutup. Sensor-sensor yang digunakan antara lain adalah sensor temperatur pada Q1 dan Q2, pada TR1, TR2 dan pada baterai. Sensor tegangan pada baterai, pada kapasitor C2 dan pada keluaran dipol.

2.4.1. Catu Daya (*Power Supply*)

Catu daya pemancar EM biasanya bertindak sebagai baterai bertenaga rendah yang beresilasi dengan output dengan impedansi yang rendah. Hal ini bergantung pada kebutuhan dilapangan, salah satu contohnya perangkat semiportabel yang mengalami perpindahan tempat ketika diaplikasikan pada survey geofisika. Untuk penggunaan pada *loop* yang panjang maka dibutuhkan catu daya dengan tenaga yang cukup besar untuk mensuplai daya pada perangkat pemancar. Sedangkan untuk perangkat yang *mobile* dibutuhkan catu daya yang portabel.

Dalam perkembangannya catu daya pada perangkat EM telah mengalami banyak perkembangan dengan pasukan daya yang cukup besar serta berat dan ukurannya yang lebih ringan dan kecil. Untuk perangkat portabel dilakukan modifikasi, seperti pada bagian kumparan pemancar yang merupakan bagian integral dari osilator dilakukan eliminasi pada efisiensi rendah pada penguat (*power amplifier*). Pada perangkat FD (*frequency domain*) keluaran dari pemancar berupa gelombang sinusoidal dengan kisaran frekuensi 100-500 Hz. Sedangkan kisaran frekuensi TDEM 3-300 Hz dengan setengah gelombang sinus (*half sine*), gelombang square (*square wave*) dan polaritas bolak-balik.

2.4.2. Inverter

Kualitas inverter merupakan penentu dari kualitas daya yang dihasilkan oleh suatu sistem. Inverter berfungsi merubah tegangan DC baterai atau rangkaian *rectifier-charger* menjadi tegangan AC, sinyal atau gelombang output berbentuk kotak (*square*) melalui pembentukan gelombang dan rangkaian filter. Tegangan yang dihasilkan harus stabil baik amplitudo tegangan maupun frekuensinya. Perangkat semikonduktor yang dapat dipergunakan seperti BJT (*bipolar junction-transistor*), *thyristor*, MOSFET, IGBT dan lain-lain. Tegangan output yang biasa dihasilkan adalah 120V 60Hz, 220V 50Hz.

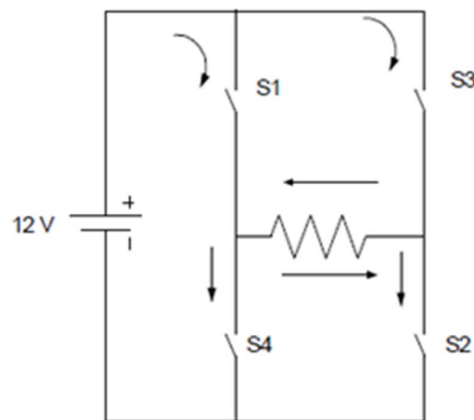
Inverter yang digunakan secara umum ada dua macam, yaitu.

1. Inverter dengan frekuensi tegangan konstan atau CVCF (*constant voltage constant frequency*). Pada umumnya ini digunakan untuk

peralatan-peralatan elektronika atau peralatan listrik dengan gelombang satu fasa.

2. Inverter dengan frekuensi dan tegangan berubah-ubah. Pada umumnya inverter ini digunakan pada pemakaian khusus seperti pada motor listrik tiga fasa dengan sumber tegangan DC.

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 saklar seperti ditunjukkan pada gambar 2.11. Bila saklar S_1 dan S_2 dalam keadaan terhubung maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang terhubung adalah saklar S_3 dan S_4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri.



Gambar 2.11. Skematik rangkaian inverter sederhana.

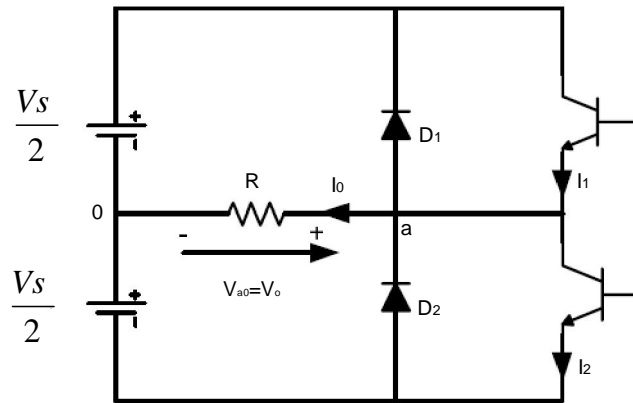
Inverter juga dapat dibedakan dengan cara pengaturan tegangannya yaitu, jika yang diatur tegangan input konstan disebut *voltage fed inverter* (VFI), jika yang diatur arus input konstan disebut *current fed inverter* (CFI), dan jika tegangan input yang diatur disebut *variable dc linked*.

Inverter satu fasa dengan keluaran gelombang kotak dibedakan menjadi dua jenis, yaitu inverter setengah gelombang dan inverter gelombang penuh.

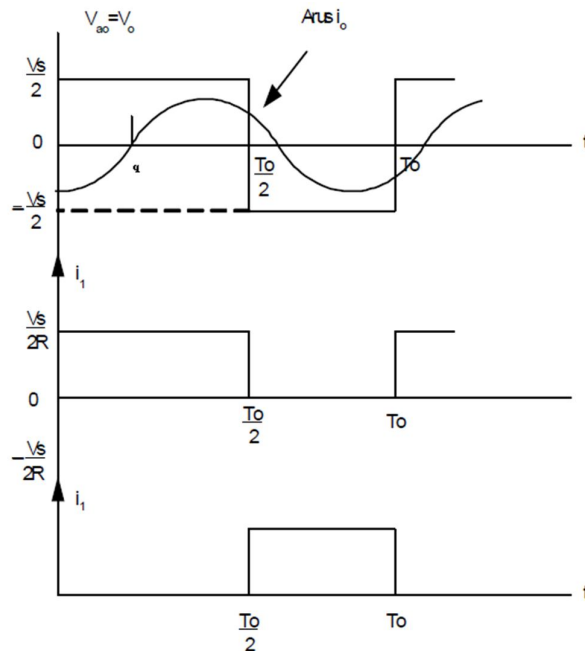
1. Inverter setengah gelombang

Prinsip kerja inverter satu fasa dapat dijelaskan pada gambar 2.12, ketika transistor Q_1 yang hidup pada waktu $T_0/2$, tegangan pada beban V_0 sebesar

$V_s/2$. Jika transistor Q_2 hanya hidup untuk $T_o/2$, $V_s/2$ akan melewati beban Q_1 dan Q_2 dirancang untuk berkerja saling bergantian. Pada gambar 2.13 menunjukkan bentuk gelombang untuk tegangan keluaran dan arus transistor dengan beban resistif.



Gambar 2.12. Skematik rangkaian sederhana rangkaian inverter setengah gelombang.



Gambar 2.13. Bentuk muka gelombang pada tegangan keluaran inverter setengah gelombang.

Inverter jenis ini membutuhkan dua sumber DC, dan ketika transistor dalam keadaan *off* tegangan balik V_s menjadi $V_s/2$. Besarnya tegangan beban adalah.

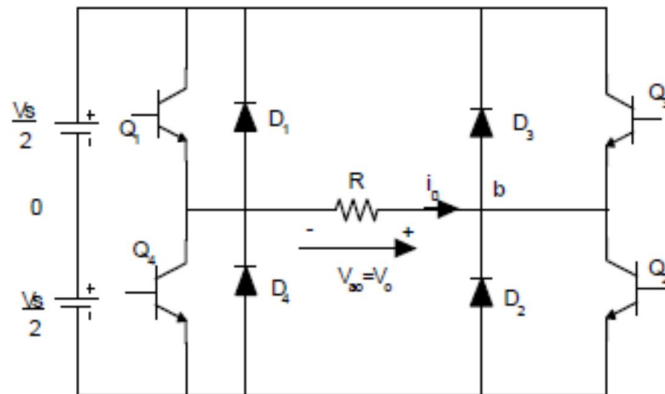
$$\begin{aligned}
 V_{eff}^2 &= \frac{1}{T} \int V^2 dt \\
 &= \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} (E/2)^2 dt \\
 V_{eff}^2 &= \frac{1}{2\pi} (E/2)^2 (2\pi) \\
 V_{eff}^2 &= (E/2)^2
 \end{aligned}$$

Maka

$$V_{eff} = \frac{E}{2} \quad (2.27)$$

2. Inverter gelombang penuh

Inverter gelombang penuh ditunjukkan pada gambar 2.14, ketika transistor Q_1 dan Q_2 berkerja (on), tegangan V_s akan mengalir ke beban tetapi Q_3 dan Q_4 tidak berkerja (off). Selanjutnya, transistor Q_3 dan Q_4 berkerja (on) sedangkan Q_1 dan Q_2 tidak berkerja (off), maka pada beban timbul $-V_s$. Bentuk muka gelombang ditunjukkan oleh gambar 2.15.



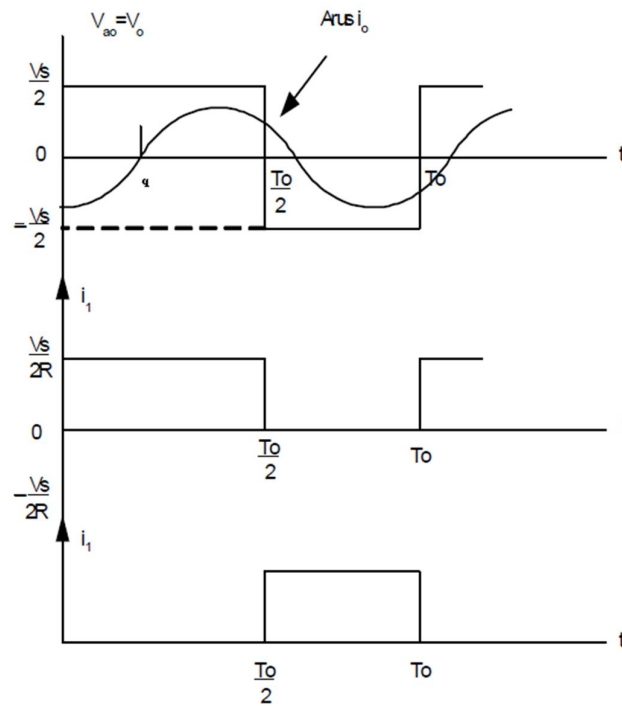
Gambar 2.14. Skematik sederhana inverter gelombang penuh.

Persamaan yang mewakili dari tegangan keluaran pada beban yaitu.

$$\begin{aligned}
 V_{eff}^2 &= \frac{1}{T} \int_0^{2\pi} V(t)^2 dt \\
 &= \frac{1}{T} \int_0^{\pi} E^2 dt + \int_0^{2\pi} -E^2 dt \\
 V_{eff}^2 &= E^2
 \end{aligned}$$

Maka

$$V_{eff} = E \quad (2.28)$$



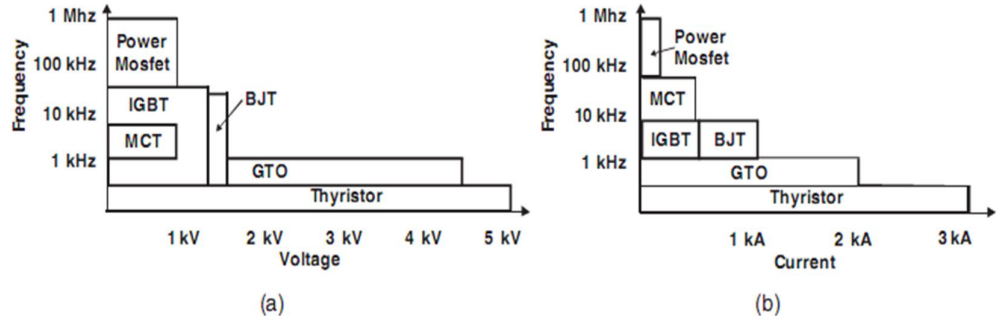
Gambar 2.15. Bentuk muka gelombang inverter gelombang penuh.

2.4.3. Elektronika Daya

Perkembangan devais semikonduktor saat ini memungkinkan pengendalian arus listrik bertegangan menengah dengan frekuensi tinggi yang dikenal sebagai rangkaian daya. Hal ini sangat penting kegunaannya di dalam berbagai aplikasi konversi daya. Beberapa devais yang umum digunakan adalah GTO (*Gate Turn-off Thyristor*), transistor daya berkonfigurasi Darlington, MOSFET dan IGBT

(*Insulated Gate Bipolar Transistor*). Devais-devais daya ini berfungsi sebagai saklar daya dari satu bentuk ke bentuk lain.

Pemilihan devais bergantung dari aplikasi daya yang digunakan. Karakteristik rangkaian yaitu frekuensi, tegangan kerja dan besar arus yang terlibat menjadi penentu devais yang akan digunakan. Rentang pemakaian devais pada domain frekuensi, tegangan kerja dan besar arus dapat dilihat pada gambar 2.16.



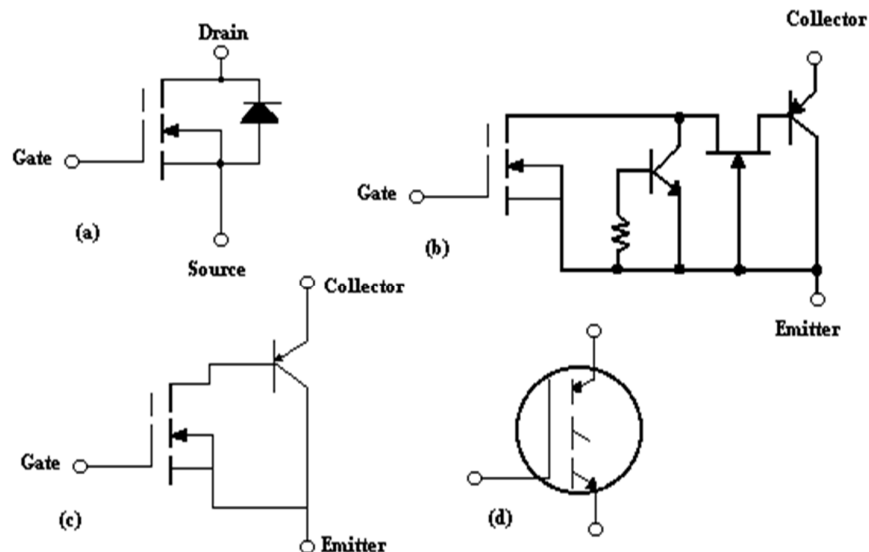
Gambar 2.16. Domain kerja devais semikonduktor sebagai fungsi frekuensi, tegangan kerja dan arus. [*Power electronic*, chap 3].

Setiap devais memiliki karakteristik penggunaan yang berbeda-beda. *Thyristor* hanya dapat mengalirkan arus dengan mengaktifkan gerbang. Setelah arus mengalir, tidak ada cara untuk menutup *thyristor* kecuali terjadi pembalikan aliran arus pada kaki anoda-katoda. MOSFET daya memiliki gerbang yang cukup diaktifkan dengan memberikan tegangan yang sesuai. Untuk aplikasi yang membutuhkan frekuensi tinggi, devais ini sangat cocok digunakan. Kekurangannya adalah tegangan kerja yang paling rendah diantara devais-devais lainnya. Selain itu, hambatan devais yang cukup signifikan menyebabkan disipasi daya yang cukup besar. Transistor daya tipe *junction* dapat digunakan untuk tegangan kerja yang lebih tinggi, tetapi memiliki keterbatasan pada frekuensi kerja yang digunakan, dan juga diperlukan rangkaian pengendali yang dapat mensuplai arus cukup besar. Devais IGBT memiliki sebagian karakteristik pengendalian arus sebagaimana BJT dengan kelebihan pengendalian, cukup dengan pengaplikasian tegangan seperti pada transistor MOSFET daya. IGBT merupakan devais pesaing

bagi MOSFET daya konvensional yang beroperasi pada tegangan tinggi dengan rugi konduksi yang rendah. Pemilihan devais yang akan digunakan tergantung pada karakteristik yang diperlukan.

MOSFET dan IGBT menempuh langkah-langkah pemrosesan yang identik dalam pembuatannya, namun masing-masing menempuh langkah yang berbeda dalam polaritas substratnya. Perbedaan langkah ini menghasilkan struktur MOSFET dan IGBT seperti dinyatakan pada gambar 2.17. (a) dan gambar 2.17. (b). Untuk IGBT, strukturnya lebih kompleks, karena terdiri dari sebuah MOSFET kanal $-n$, sebuah transistor NPN, dan sebuah FET *junction* yang mengemudikan transistor keluaran PNP.

Transistor bipolar PNP dan NPN dalam gambar 2.17. (b) membentuk sebuah SCR. Jika penguatan dari keduanya tersebut cukup tinggi, maka SCR akan dapat terkunci. Resistansi R pada basis berfungsi mencegah perubahan keadaan saat menyambung (on). Secara prinsip, rangkaiannya dapat disetarakan dan direduksi sehingga menjadi seperti terlihat pada gambar 2.17. (c). Struktur ini memiliki kelebihan yaitu impedansi masukan yang tinggi dan tegangan saturasi yang rendah.



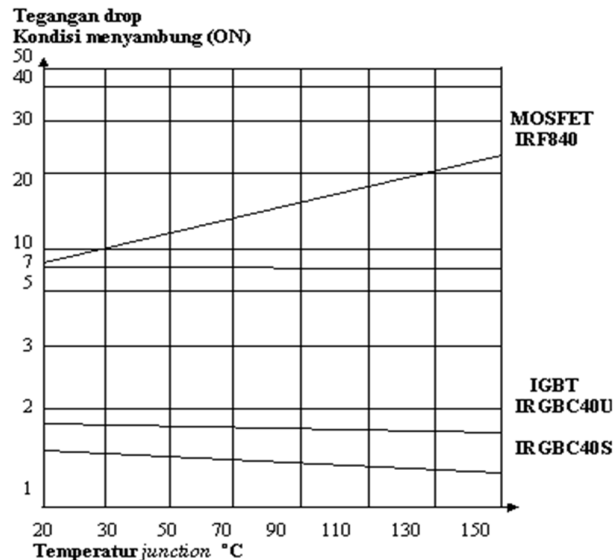
Gambar 2.17. (a) MOSFET daya, (b) IGBT, (c) reduksi rangkaian, (d) simbol IGBT.

1. Pengendalian IGBT

Pengendalian elektronika daya IGBT berfungsi untuk mengontrol tegangan pada dipol listrik injektor arus. Tegangan dikontrol melalui sistem saklar digital pada gerbang IGBT untuk mendapatkan gelombang karakteristik dari metode TDEM.

Karakteristik jatuh tegangan devais MOSFET dan IGBT ditunjukkan oleh gambar 2.18. Tampak bahwa harga jatuh tegangan merupakan fungsi dengan koefisien positif dari temperatur devais MOSFET. Hal ini memungkinkan penggunaan MOSFET daya digunakan secara paralel dengan aman, dikarenakan ada mekanisme pembatasan arus yang otomatis meningkat seiring peningkatan temperatur pada devais IGBT. Kenaikan temperatur pada devais IGBT dapat menyebabkan dadal arus apabila tidak diperhitungkan dengan cermat.

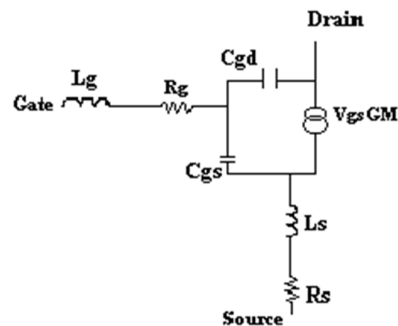
Sifat power MOSFET yang secara keseluruhan memiliki sedikit pembawa muatan minoritas (*hole*), membuatnya memiliki kemampuan untuk beroperasi pada frekuensi orde GHz (giga Hertz) dan waktu penyakelaran dalam orde nano detik. Namun demikian, interaksi impedansi *source* dan *gate* dengan kapasitansi masukannya secara praktis membatasi kecepatan kerjanya.



Gambar 2.18. Karakteristik jatuh tegangan devais MOSFET dan IGBT.

Analisa model rangkaian dari sebuah power FET menunjukkan bahwa meminimumkan impedansi *gate* (R_g+L_g) dan impedansi *source* (R_s+L_s) mengurangi waktu waktu penyakelaran terlihat pada gambar 2.19. Dengan demikian konstanta waktu waktu yang dihasilkan oleh impedansi *gate* dikaitkan dengan kapasitansi masukan (C_{gs} dan C_{gd}) menentukan tundaan waktu menyambung t_d (*on*) dan waktu tunda memutus t_d (*off*). Disamping itu, impedansi *gate* yang dikaitkan dengan kapasitansi Miller C_{gd} menciptakan konstanta waktu yang mengeset waktu menyambung (t_r) dan waktu memutus (t_f). Sementara itu, impedansi *source* bertindak sebagai umpan balik negatif pada sinyal *gate* yang berdampak mengurangi penguatan efektif FET, dan membuat kerjanya lambat karena menaikkan t_r dan t_f -nya.

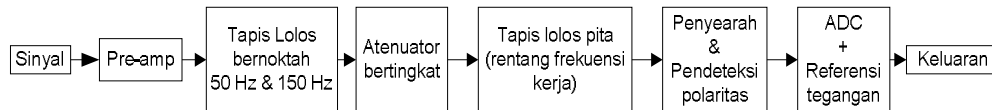
Persyaratan pengemudian IGBT adalah serupa dengan yang untuk MOSFET, karena dua piranti tersebut memiliki kapasitansi masukan lebih tinggi. Namun demikian perbedaan IGBT dan MOSFET ditandai dalam hal tegangan ambangnya saat bergulir menyambung. Sekarang ini aras logika MOSFET memiliki variasi yang luas. Resistansi dalam kondisi menyambung telah dibuat dibuat sesuai dengan aras tegangan *gate-source* yang sama dengan dengan aras logika 1 (tinggi) pada IC digital pada umumnya. IGBT membutuhkan tegangan *gate-emitter* sampai dengan 10 volt untuk dapat menyambung secara penuh dan 0 volt untuk membuatnya benar-benar terputus (*off*). IGBT tegangan tinggi dan arus tinggi, juga modul-modul IGBT akan berkerja lebih baik pada aras-aras masukan yang lebih tinggi.



Gambar 2.19. Model rangkaian internal devais MOSFET daya.

2.4.4. Sensor Potensial Listrik

Sebaran medan listrik E diperoleh dengan mengukur beda potensial di beberapa titik survey. Beda potensial antara masing-masing pasangan titik yang berbeda diukur menggunakan ADC (*Analog to Digital Converter*). Berikut skematik perancangan sensor potensial listrik.

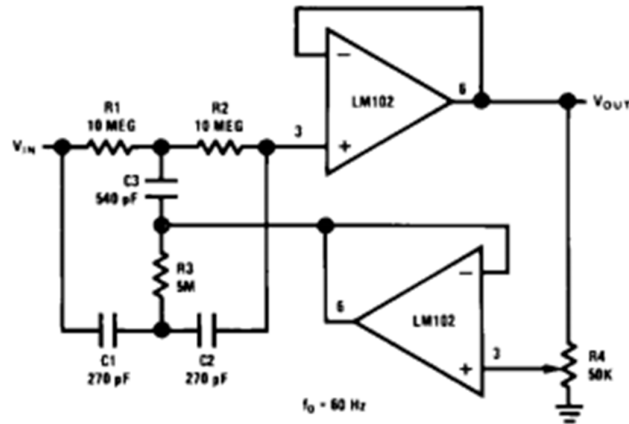


Gambar 2.20. Skema rancangan sensor potensial listrik pada perangkat penerima.

Bagian penguat awal (*pre-amplifier*) menggunakan penguat terintegrasi AD620, sinyal dari pasangan probe diperkuat 100 kali. Kinerja penolakan sinyal serupa dari penguat instrumentasi ini berada pada -100dB.

Tapis lolos bernoktah untuk menghalangi derau frekuensi 50 Hz yang merupakan frekuensi jala-jala PLN. Pada umumnya frekuensi harmonik ke-tiga juga berpengaruh besar pada proses pengukuran. Oleh karena itu, ditambahkan juga penapisan pada frekuensi 150 Hz yang merupakan frekuensi harmonik kelipatan tiga dari frekuensi dasar jala-jala PLN. Penapisan lolos bernoktah pada frekuensi 50 Hz dilakukan dengan rangkaian T-kembar (*twin-T*) yang memiliki harga Q yang tinggi.

Sinyal hasil penapisan terkadang perlu dilemahkan agar sesuai dengan rentang kerja ADC. Untuk itu digunakan rangkaian penguat *inverting* dengan beberapa konfigurasi penguatan. Pemilihan tingkat pelemahan dikendalikan oleh mikrokontroler dengan pilihan tanpa pelemahan, pelemahan 1/10 kali dan 1/100 kali.



Gambar 2.21. skematik rangkaian tapis noktah T-kembar.

Pemilihan harga komponen merujuk pada persamaan:

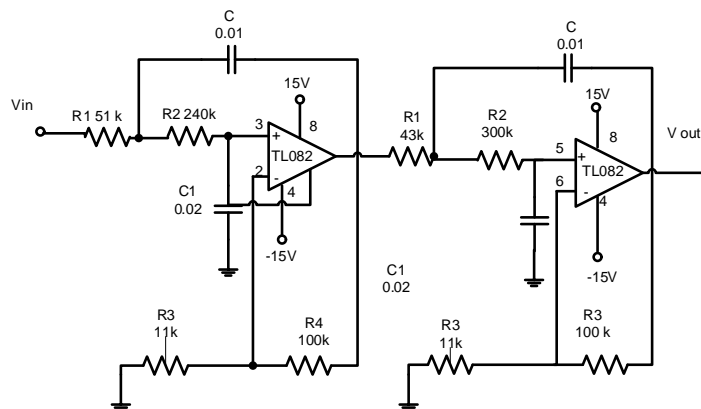
$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (2.29)$$

$$R_1 = R_2 = 2R_3$$

$$C_1 = C_2 = C_3/2$$

$$Q = \frac{R_Q}{2R_0}$$

Tahap selanjutnya adalah penapisan pada frekuensi kerja yang digunakan. Berdasarkan kebutuhan aplikasi, maka frekuensi kerja berada dibawah 10 kHz. Untuk itu digunakan rangkaian tapis lolos rendah orde empat tipe Butterworth seperti gambar 2.22.



Gambar 2.22. Skematik rangkaian tapis lolos rendah orde empat.

2.5. Perangkat Pencuplikan Data

Pencuplikan data dilakukan dengan menggunakan perangkat arduino *single side* seperti terlihat pada gambar 2.23 (a), dimana terdapat IC ATmega 8 yang di lengkapi dengan 6 pin ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk komunikasi serial dengan komputer. Arduino merupakan suatu perangkat berbasis mikrokontroler yang dilengkapi dengan rangkaian minimum, memiliki fasilitas komunikasi serial dengan menggunakan konektor RS-232 (gambar 2.23 (b)) serta memerlukan sumber eksternal untuk membangkitkan perangkat tersebut, besar tegangan sumber 9 V- 12 V.



Gambar 2.23. (a) Arduino S3V.3 R2 (AT-Mega 8), (b) Konektor RS-232.

Arduino jenis ini menggunakan resolusi ADC 10 bit, dengan ketelitian 1 bit mencapai $\pm 4,9$ mV (hasil pembulatan) dengan rentangan resolusi ADC yaitu 0-1023 mengacu pada persamaan (2.30).

$$\text{Output} = \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{ref}}} \times (2^n - 1) \quad (2.30)$$

Keterangan.

- V ref : Tegangan referensi mikrokontroler 5 V.
- V in : Tegangan input V.
- n : besar bit yang dipakai .

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tujuan Operasional

Penelitian ini untuk merancang sistem pengendali gerbang IGBT yang bertujuan untuk mengontrol tegangan pada dipol listrik injeksi arus, kemudian respon beda tegangan akibat gangguan medan elektromagnetik primer akan ditangkap oleh sensor potensial listrik untuk mengetahui distribusi sebaran medan listrik sekunder di permukaan bumi.

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Januari 2011 sampai dengan bulan Juni 2011 sebagaimana terlihat pada tabel di bawah ini.

No	Kegiatan	Bulan																						
		Jan				Feb			Mar				Apr				Mei				Jun			
		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2		
1	Perancangan & pembuatan alat	■	■	■	■	■	■	■																
2	Kalibrasi								■	■	■													
3	Pengambilan data											■	■	■										
4	Pengolahan data														■	■	■	■						
5	Hasil																						■	■

Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian.

2. Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Fisika, Institut Teknologi Bandung.

3.3. Alat dan Bahan

Alat

1. Oscilloscope.
2. Sinyal generator.
3. Kalibrator (Fluke 5100B).
4. Downloader K-125.
5. Laptop (PC).
6. Arduino ATmega 8.

Bahan

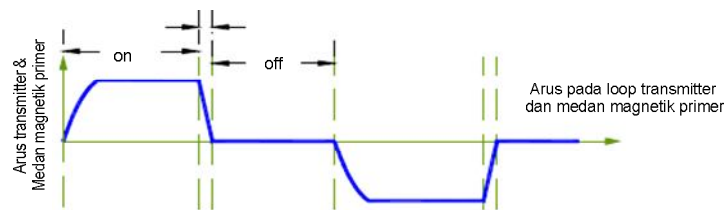
1. IGBT (*Insulates Gate Bipolar Transistor*).
2. Optoelektronik (4N33).
3. IC AT-Mega 16.
4. IC AD620 (*opamp*).
5. IC OP07 (*opamp*).
6. LCD 16×2.
7. Keypad 4×4.
8. Inverter.
9. Baterai 12V.
10. Resistor.
11. Kapasitor.
12. Komponen elektronika lainnya.

3.4. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen dalam perancangan dan kalibrasi perangkat. Perangkat yang dirancang pada penelitian ini yaitu sistem pengendali devais IGBT pada perangkat injektor arus.

Prinsip kerjanya menggunakan konsep TDEM (*Time Domain electromagnetic*), arus yang di injeksi berfungsi untuk membangkitkan medan elektromagnetik di dalam permukaan bumi. Dalam proses penginjeksian arus di kontrol oleh sistem mikrokontroler, hal ini bertujuan untuk mengatur waktu dalam proses penyakelaran (*switching*) sesuai dengan kebutuhan penelitian. Lamanya waktu penyakelaran menentukan frekuensi yang akan digunakan, dan rentang frekuensi bergantung pada spesifikasi perangkat yang dibuat.

Perangkat tersebut akan membentuk gelombang karakteristik seperti gambar 3.1, yaitu dimana gelombang terbentuk dengan rentang waktu yang dikontrol dalam proses penyakelaran (*on / off*). Gelombang tersebut merupakan bentuk tegangan keluaran dari dipol-dipol penginjeksi arus. Untuk mengetahui bentuk gelombang hasil penyakelaran dilakukan perbandingan yaitu pengukuran secara digital menggunakan ADC dan pengukuran analog menggunakan *Oscilloscope*.

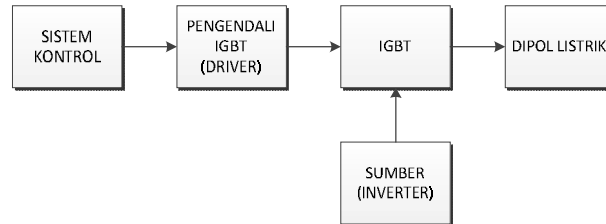


Gambar 3.1. Bentuk muka gelombang arus keluaran pada dipol-dipol.

Dalam perangkat *power electronic* menggunakan transistor bertegangan menengah yaitu IGBT (*insulated gate bipolar transistor*), memiliki tiga kaki yaitu *gate*, *collector* dan *emitter*. Yang dikendalikan yaitu pada kaki *gate* sedangkan *collector* dan *emitter* terhubung oleh sumber. Dalam proses pengendalian *gate* memerlukan suatu sistem pengendali (*driver*) dengan arus logika pengendalian seperti tabel berikut. Sistem pengendali menggunakan optoelektronik (*optocoupler*) sebagai saklar dengan kecepatan orde milli detik (ms).

Untuk mengetahui daerah kerja dari perangkat yang digunakan (IGBT) maka dilakukan karakterisasi pada penyakelaran pada saat *On* dan *Off*, sumber

yang digunakan menggunakan baterai 12 V kemudian dikuatkan mencapai tegangan maksimal 269V melalui inverter.



Gambar 3.2. Skematik pengendalian IGBT.

$$\Delta V = Out_1 - Out_2 \quad (3.1)$$

Frek =

PA.3 (G4)	PA.2 (G3)	PA.1 (G2)	PA.0 (G1)	Out 1 (G4 & G3)	Out 2 (G2 & G1)	ΔV
1	0	0	1	V max	GND	V max
1	0	1	0	Vmax	Vmax	0
0	1	1	0	GND	Vmax	-Vmax
0	1	0	1	GND	GND	0

Tabel 3.2. Logika penyakelaran (*switching*) gerbang IGBT.

Kemudian perancangan selanjutnya yaitu merancang sensor potensial listrik sebagai perangkat penunjang sistem penerima, hal ini berfungsi untuk menangkap potensial listrik dalam permukaan bumi sebagai sebaran medan listrik. Untuk mendapatkan rentang potensial listrik dari perangkat yang dibuat, maka perlu dilakukan kalibrasi.

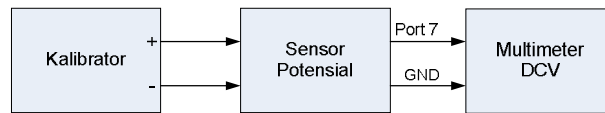
Langkah-langkah kalibrasi sensor potensial.

1. Pertama, yaitu menghubungkan *port* 2 dan *port* 4 ke ground dengan rentangan output 0-5 V kemudian dibagi dalam 50 titik. Lakukan dengan kenaikan input tegangan kemudian dengan penurunan input tegangan.
2. Ke-dua, yaitu menghubungkan *port* 2 dengan tegangan 5 V dan *port* 4 dengan *ground* pada rentangan output 0 V-5 V kemudian dibagi dalam 50 titik.

Lakukan dengan kenaikan input tegangan kemudian dengan penurunan input tegangan.

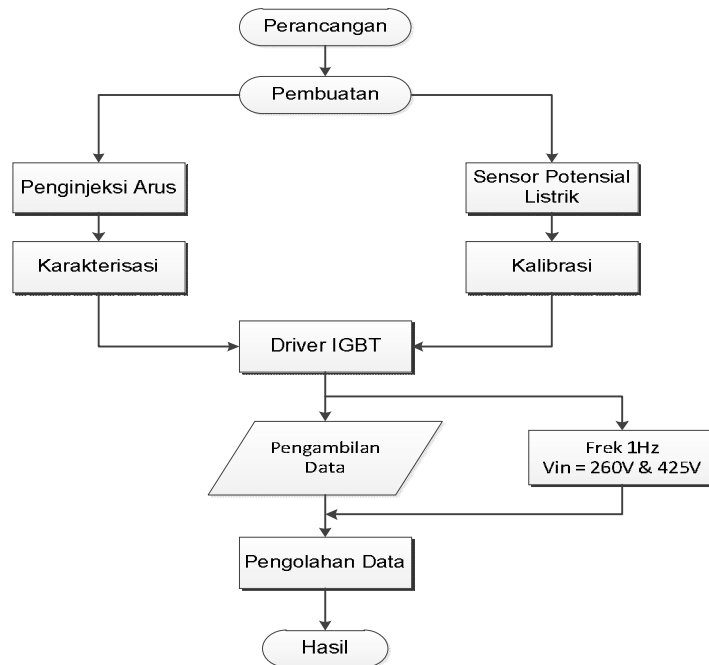
3. Ke-tiga, yaitu menghubungkan *port 2* dengan tegangan 5 V dan *port 4* dengan tegangan 5 V pada rentangan output 0 V-5 V kemudian dibagi dalam 50 titik. Lakukan dengan kenaikan input tegangan kemudian dengan penurunan input tegangan.
4. Ke-empat, yaitu menghubungkan *port 2* dengan *ground* dan *port 4* dengan tegangan 5 V pada rentangan output 0-5 V kemudian dibagi dalam 50 titik. Lakukan dengan kenaikan input tegangan kemudian dengan penurunan input tegangan.

Kalibrasi dengan input kalibrator.



Gambar 3.3. Skematik kalibrasi sensor potensial listrik dengan masukkan kalibrator.

3.5. Alur Penelitian



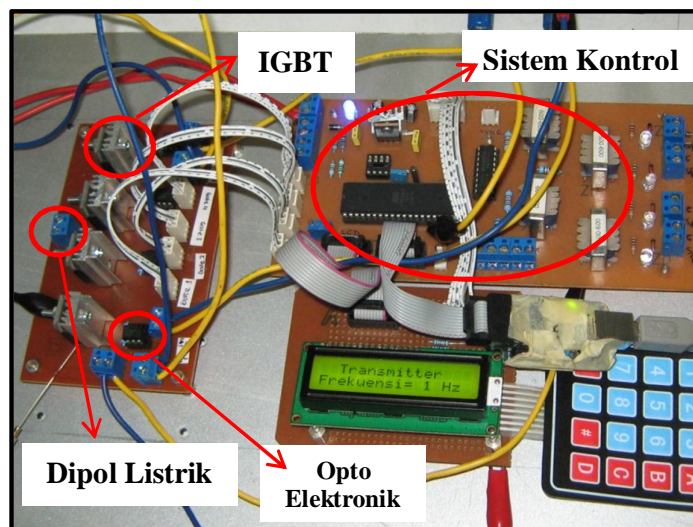
Gambar 3.4. Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

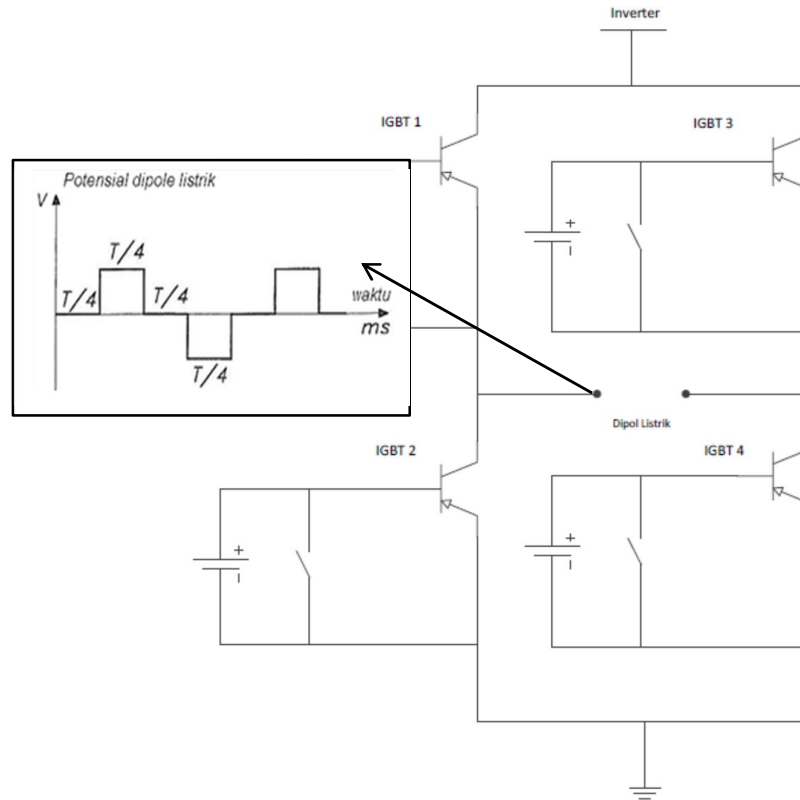
4.1. Sistem Kontrol IGBT

Dalam penelitian ini telah menghasilkan sebuah sistem kontrol IGBT dan sensor potensial listrik 2D. Sistem kontrol IGBT terdapat pada bagian perangkat penginjeksi arus seperti terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Sistem kontrol IGBT.

Gambar diatas merupakan perangkat prototipe yang akan digunakan untuk penunjang survey geofisika dengan menggunakan metode TDEM. Sistem kontrol digunakan sebagai pengatur waktu dalam proses penyakelaran IGBT, besarnya waktu penyakelaran bergantung pada frekuensi yang akan digunakan. Devais penyakelaran menggunakan opto elektronik (*optocoupler 4N33*), dengan kemampuan waktu penyakelaran berada pada rentang kerja orde milli detik. Optoelektronik sebagai saklar pada gerbang IGBT, terdapat empat buah IGBT sebagai pembentuk tegangan *transmitter* periodik (gelombang simetrik periodik) yang terukur pada dipol listrik.



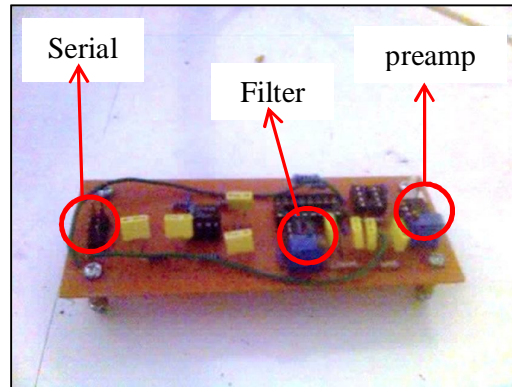
Gambar 4.2. Profil potensial listrik pada ujung dipol.

Gambar diatas menunjukkan bentuk muka gelombang yang dihasilkan dari penyakelaran IGBT, untuk IGBT 1 dan IGBT 3 berfungsi membentuk gelombang bagian atas yang terhubung oleh bagian positif input dari inverter. Kemudian IGBT 2 dan IGBT 4 berfungsi membentuk gelombang bagian bawah yang terhubung dengan *ground* inverter. Masing-masing di kontrol oleh devais optoelektronik dalam penyakelaran. Potensial listrik pada dipol akan di injeksikan kedalam permukaan bumi untuk mengetahui respon material bumi berupa sebaran resistivitas, dengan demikian dapat diketahui aktivitas yang terjadi di dalam permukaan bumi dengan kedalaman tertentu.

4.2. Sensor Potensial Listrik 2D

Telah dikembangkan dalam penelitian ini sensor potensial listrik 2D sebagai penunjang survey geofisika dengan metode TDEM. Fungsi sensor potensial listrik yaitu untuk menangkap respon beda tegangan yang ditimbulkan

dari permukaan bumi akibat gangguan dari penginjeksi arus. Pengukuran beda tegangan dilakukan pada sumbu X dan sumbu Y.



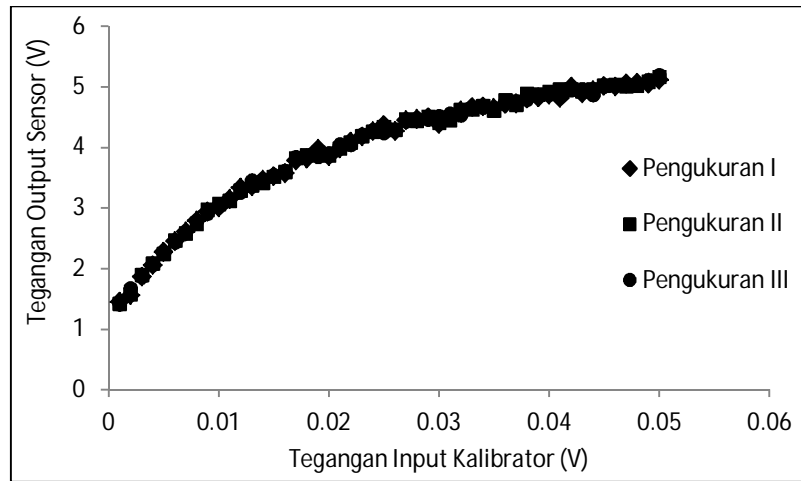
Gambar 4.3. Sensor potensial listrik.

Gambar 4.3 menunjukkan sensor potensial listrik yang telah dirancang dalam penelitian ini, sensor dilengkapi konektor serial untuk menghubungkan sensor dengan perangkat penerima, resistor variable digunakan untuk mengatur besarnya penguatan dan filterisasi sesuai dengan kebutuhan dalam penelitian. Dalam penelitian ini sensor mengalami penguatan sebesar $100\times$ dari pengukuran yang sebenarnya dengan tujuan agar beda tegangan yang diterima dapat terbaca pada rentang ADC perangkat penerima, untuk mengetahui rentang kerja pada pengukuran maka dilakukan kalibrasi sensor. 24

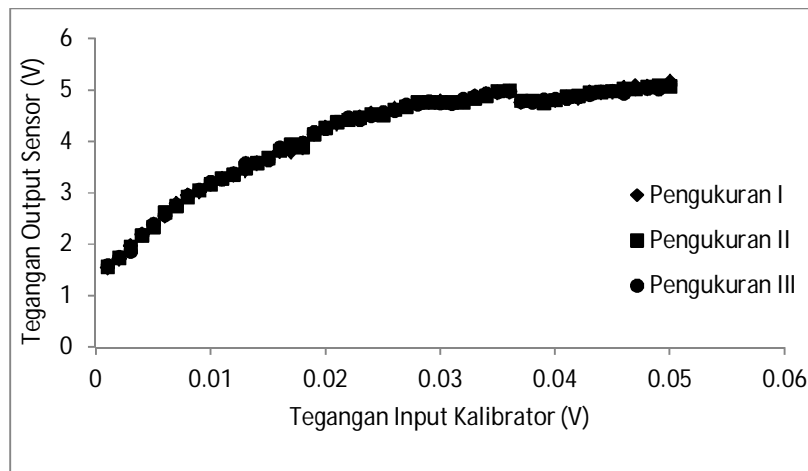
4.2.1. Kalibrasi Sensor Potensial Listrik X

Kalibrasi terhadap kalibrator dilakukan dengan memberikan tegangan input $0\text{ V} - 0,05\text{ V}$. Pengukuran dilakukan dengan metode menaikkan dan menurunkan tegangan input kalibrator secara bertahap, hasil kalibrasi sensor X terlihat pada grafik 4.1 dan grafik 4.2.

Untuk mendapat nilai koreksi pengukuran pada sensor potensial X maka data pengukuran dimodelkan dengan persamaan matematika orde empat seperti ditunjukkan pada persamaan (4.1) untuk kenaikan tegangan dan persamaan (4.2) untuk penurunan tegangan. Persamaan tersebut diperoleh dari invers data pengukuran.



Grafik 4.1. Kalibrasi sensor potensial listrik X dengan kenaikan tegangan input kalibrator.



Grafik 4.2. Kalibrasi sensor potensial listrik X dengan penurunan tegangan input kalibrator.

Kalibrasi sensor potensial listrik X dengan kenaikan tegangan input.

Pengukuran 1

$$y = 0,0005 x^4 - 0,0049 x^3 + 0,0202 x^2 - 0,0318 x + 0,018$$

Pengukuran 2

$$y = 0,0004 x^4 - 0,0046 x^3 + 0,0191 x^2 - 0,0301 x + 0,0171$$

Pengukuran 3

$$y = 0,0003 x^4 - 0,0025 x^3 + 0,0091 x^2 - 0,0102 x + 0,0032 \quad (4.1)$$

Kalibrasi sensor potensial listrik X dengan penurunan tegangan input.

Pengukuran 1

$$y = 0,0015 x^4 - 0,018 x^3 + 0,0784 x^2 - 0,1414 x + 0,0908$$

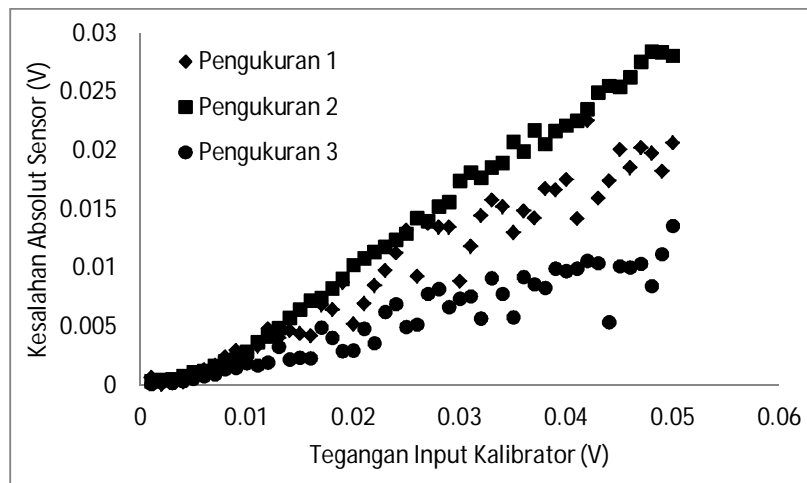
Pengukuran 2

$$y = 0,0018 x^4 - 0,021 x^3 + 0,092 x^2 - 0,1677 x + 0,1091$$

Pengukuran 3

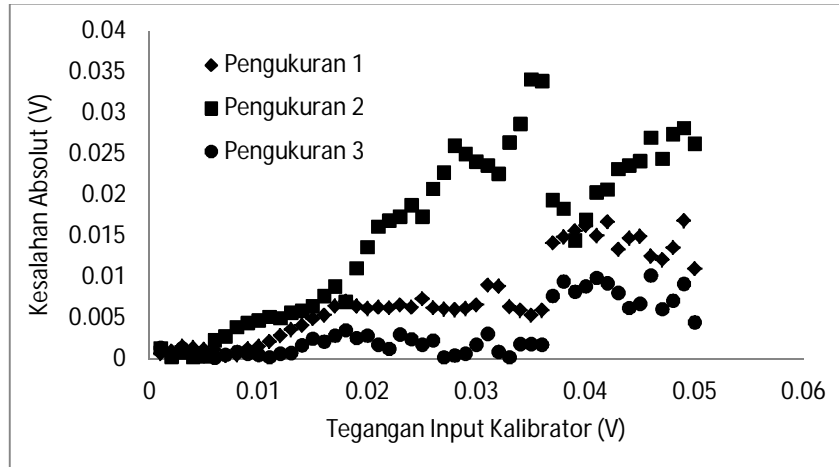
$$y = 0,0018 x^4 - 0,0217 x^3 + 0,0954 x^2 - 0,1745 x + 0,1143 \quad (4.2)$$

Untuk mengetahui kesesuaian pendekatan matematika yang digunakan dilakukan analisis kesalahan absolut dan kesalahan relatif. Hasil analisis kesalahan ini ditunjukkan oleh grafik 4.3 dan 4.4 (kesalahan sabsolut), kemudian grafik 4.5 dan 4.6 (kesalahan relatif). Kesalahan absolut maksimum untuk kenaikan tegangan input kalibrator pada pengukuran 1 sebesar 0,022 V dengan kesalahan relatif 0,34% terjadi di daerah kerja 0,041 V. Pada pengukuran 2 kesalahan absolut 0,028 V dengan kesalahan relatif 0,41% terjadi di daerah kerja 0,047 V. Pada pengukuran 3 kesalahan absolut 0,013 V dengan kesalahan relatif 0,21% terjadi di daerah kerja 0,05V.

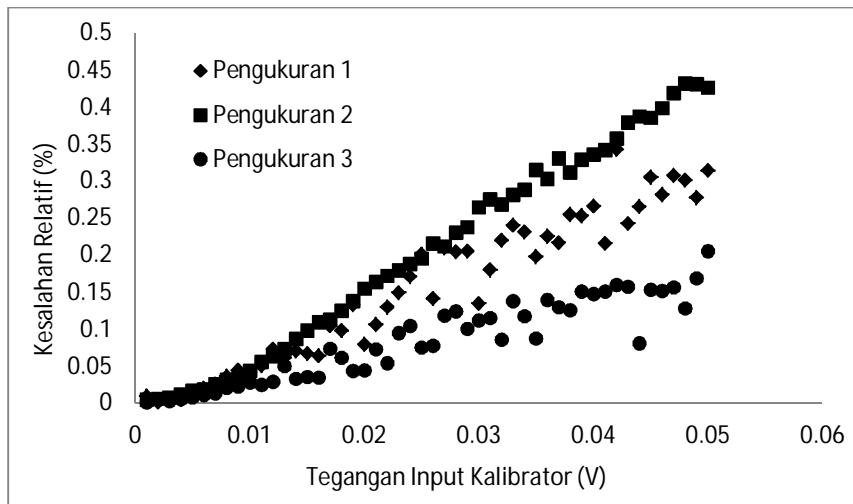


Grafik 4.3. Kesalahan absolut sensor potensial listrik X dengan kenaikan tegangan input kalibrator.

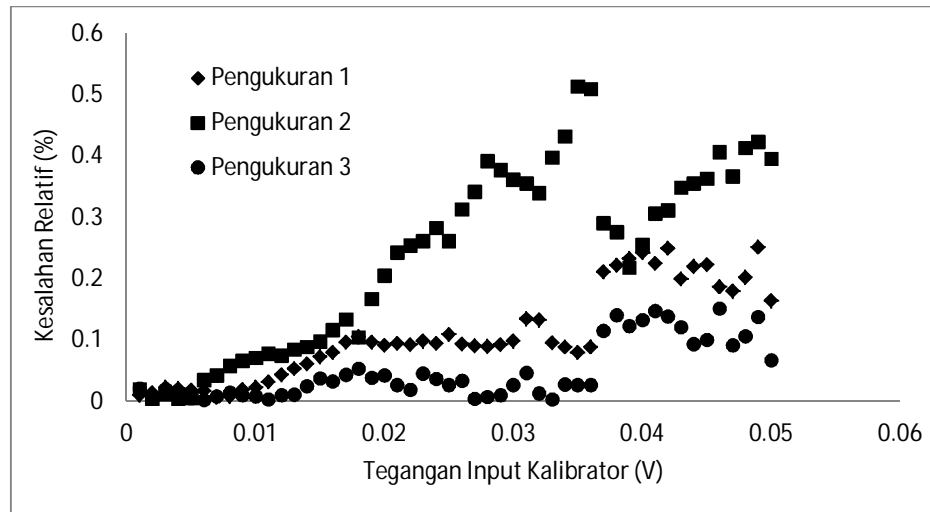
Pada penurunan tegangan input, pengukuran 1 kesalahan absolut sebesar 0,016 V dengan kesalahan relatif 0,25% berada di daerah kerja 0,049 V. Pengukuran 2 kesalahan absolut sebesar 0,034 V dengan kesalahan relatif 0,51% berada di daerah kerja 0,035 V. Pengukuran 3 kesalahan absolut sebesar 0,01 V dengan kesalahan relatif 0,15% berada di daerah kerja 0,046 V.



Grafik 4.4. Kesalahan absolut sensor potensial listrik X dengan penurunan tegangan input kalibrator.

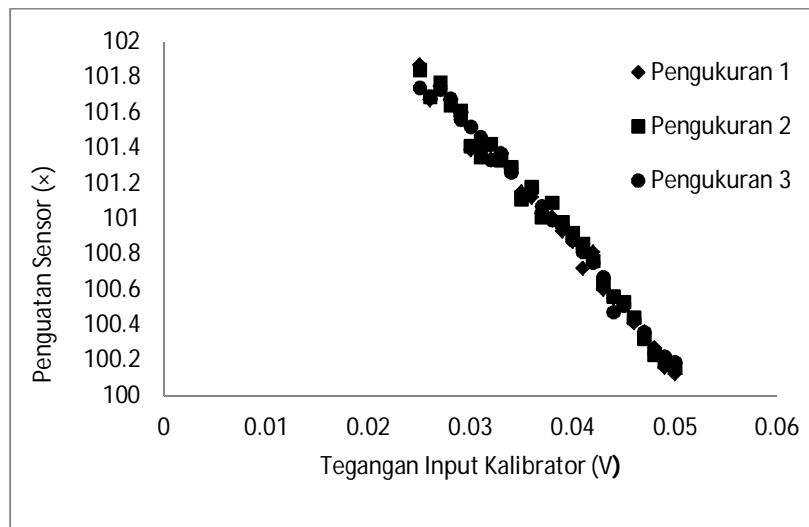


Grafik 4.5. Kesalahan relatif sensor potensial X dengan kenaikan tegangan input kalibrator.

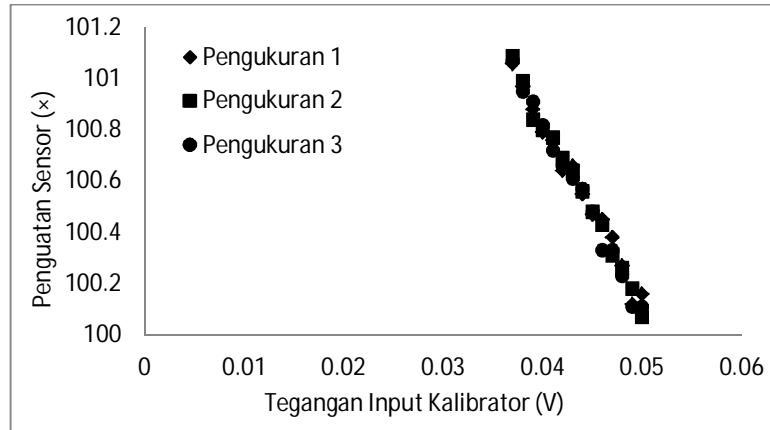


Grafik 4.6. Kesalahan relatif sensor potensial listrik X dengan penurunan tegangan input kalibrator.

Sensor potensial listrik mengalami penguatan dari tegangan input, hal ini dimaksudkan agar tegangan input terbaca pada skala kerja mikrokontroler. Untuk mengetahui berapa besar penguatan yang diterapkan, maka dilakukan pendekatan pada daerah linier penguatan sensor potensial listrik.



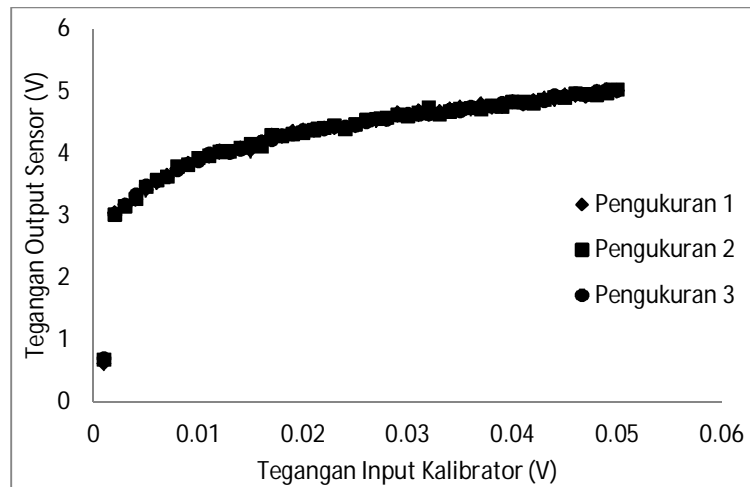
Grafik 4.7. Daerah linieritas penguatan sensor potensial listrik X dengan kenaikan tegangan input kalibrator.



Grafik 4.8. Daerah linieritas penguatan sensor potensial listrik X dengan penurunan tegangan input kalibrator.

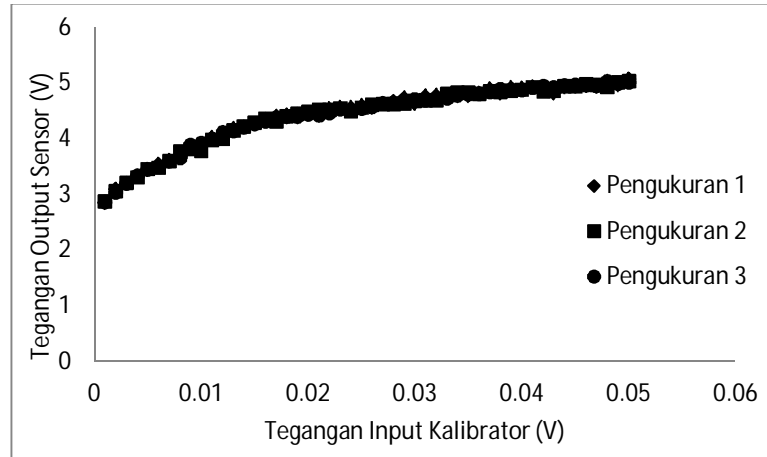
Berdasarkan grafik 4.7, terlihat daerah linieritas penguatan rata-rata berada pada tagangan input kalibrator $0,022 \text{ V} < V < 0,05 \text{ V}$ (kenaikkan tegangan input kalibrator) . Sedangkan pada grafik 4.8 daerah linieritas penguatan rata-rata berada pada daerah tegangan input kalibrator $0,037 \text{ V} < V < 0,05 \text{ V}$ (penurunan tegangan input).

4.2.2. Kalibrasi Sensor Potensial Listrik Y



Grafik 4.9. Kalibrasi sensor potensial listrik Y dengan kenaikan tegangan input kalibrator.

Daerah pengukuran sensor potensial listrik Y sama seperti daerah pengukuran sensor potensial listrik X seperti di tunjukkan pada grafik 4.9 untuk kenaikan tegangan input kalibrator, sedangkan grafik 4.10 untuk penurunan tegangan input kalibrator.



Grafik 4.10. Kalibrasi sensor potensial listrik Y dengan penurunan tegangan input kalibrator.

Untuk mengetahui nilai koreksi pengukuran pada sensor potensial listrik Y maka di dekatkan dengan persamaan matematika orde 4 seperti di tunjukkan pada persamaan di bawah ini. Persamaan (4.3) merupakan pendekatan matematika orde 4 untuk kenaikan tegangan input kalibrator, persamaan (4.4) merupakan pendekatan matematika orde 4 untuk penurunan tegangan input. Persamaan tersebut merupakan hasil invers dari data pengukuran.

Pengukuran 1

$$y = 0,0005 x^4 - 0,0034 x^3 + 0,0088 x^2 - 0,0088 x + 0,0038$$

Pengukuran 2

$$y = 0,0004 x^4 - 0,0018 x^3 + 0,0011 x^2 - 0,0048 x + 0,0023$$

Pengukuran 3

$$y = -0,00005 x^4 - 0,0029 x^3 + 0,0188 x^2 - 0,0379 x + 0,0171 \quad (4.3)$$

Pengukuran 1

$$y = 0,0028 x^4 - 0,0343 x^3 + 0,1581 x^2 - 0,3125 x + 0,2183$$

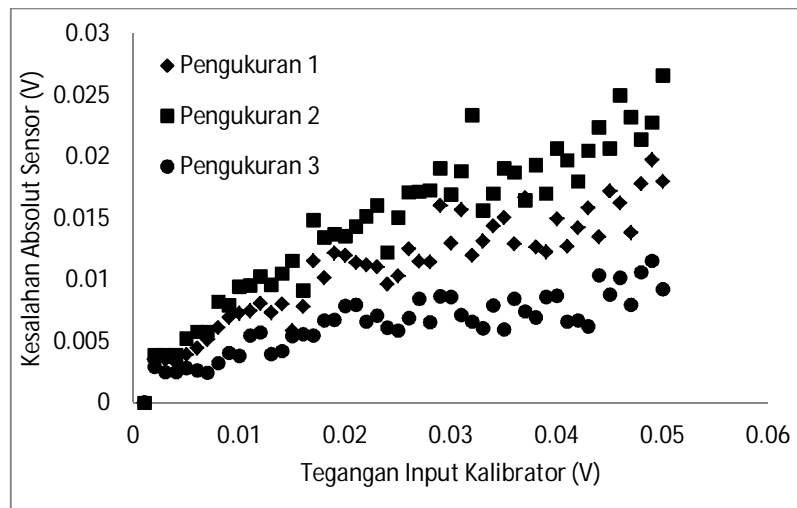
Pengukuran 2

$$y = 0,0022 x^4 - 0,0259 x^3 + 0,1084 x^2 - 0,1825 x + 0,0922$$

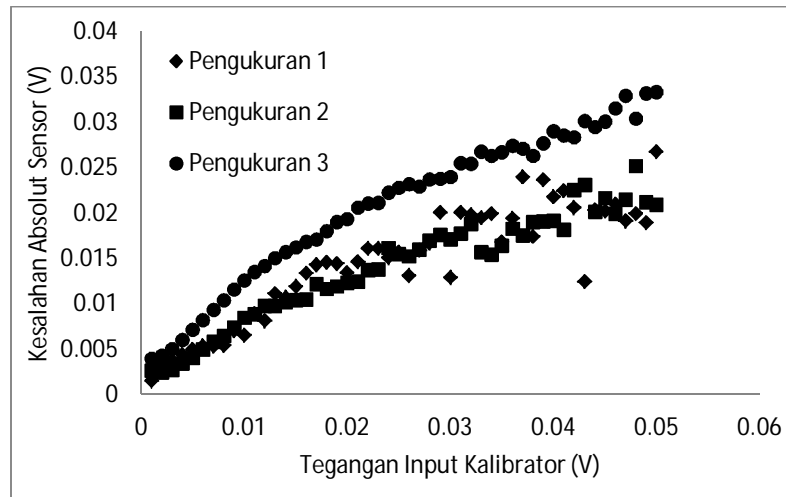
Pengukuran 3

$$y = 0,0011 x^4 - 0,0102 x^3 + 0,0251 x^2 - 0,0091 x + 0,0693 \quad (4.4)$$

Untuk mengetahui kesesuaian pendekatan matematika yang digunakan dilakukan analisis kesalahan absolut dan kesalahan relatif. Hasil analisis kesalahan ini ditunjukkan oleh grafik 4.11 dan 4.12 (kesalahan absolut), kemudian grafik 4.13 dan 4.14 (kesalahan relatif). Kesalahan absolut maksimum untuk kenaikan tegangan input kalibrator pada pengukuran 1 sebesar 0,019 V dengan kesalahan relatif 0,35% terjadi pada daerah kerja 0,05 V. Pada pengukuran 2 kesalahan absolut maksimum sebesar 0,026 V dengan kesalahan relatif sebesar 0,46% terjadi pada daerah kerja 0,05 V. Pada pengukuran 3 kesalahan absolut maksimum sebesar 0,011 V dengan kesalahan relatif 0,18% terjadi pada daerah kerja 0,049 V.

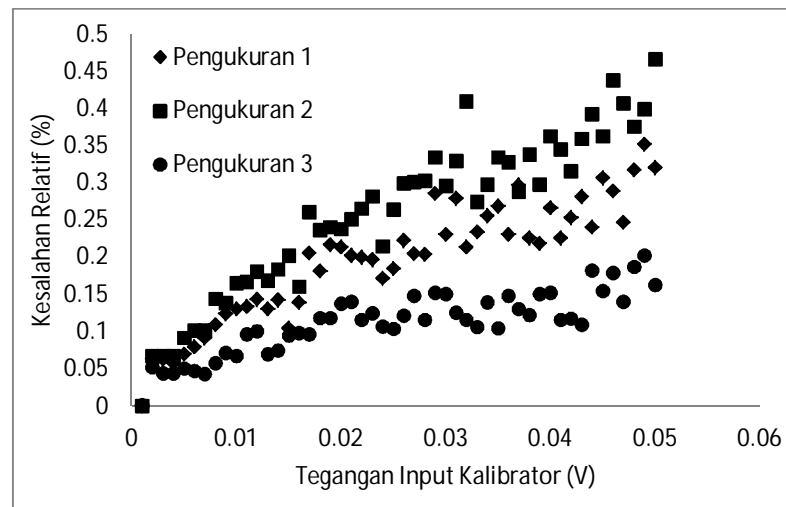


Grafik 4.11. Kesalahan absolut sensor potensial listrik Y dengan kenaikan tegangan input kalibrator.

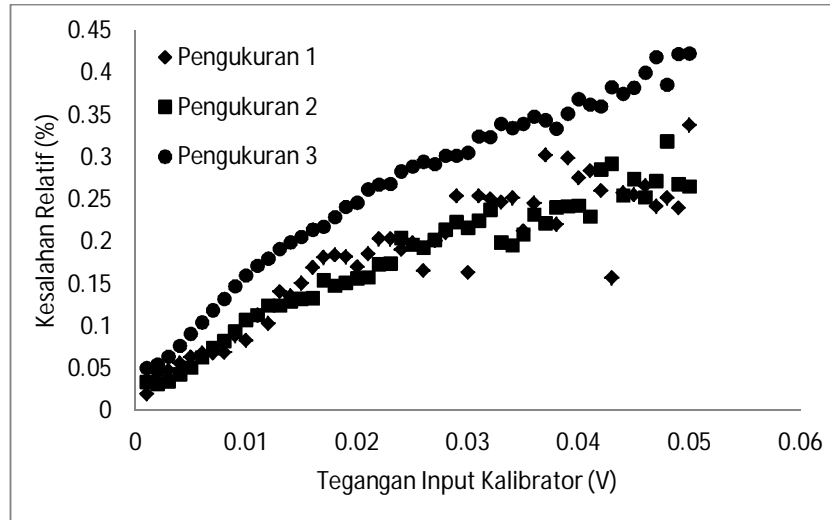


Grafik 4.12. Kesalahan absolut sensor potensial listrik Y dengan penurunan tegangan input kalibrator.

Pada penurunan tegangan input kalibrator kesalahan absolut untuk pengukuran 1 sebesar 0,026 V dengan kesalahan relatif 0,33% pada daerah kerja 0,05 V. Pada pengukuran 2 kesalahan absolut maksimum sebesar 0,025 V dengan kesalahan relatif sebesar 0,32% pada daerah kerja 0,048 V. Pada pengukuran 3 kesalahan absolut maksimum sebesar 0,033 V dengan kesalahan relatif sebesar 0,42% pada daerah kerja 0,05 V.

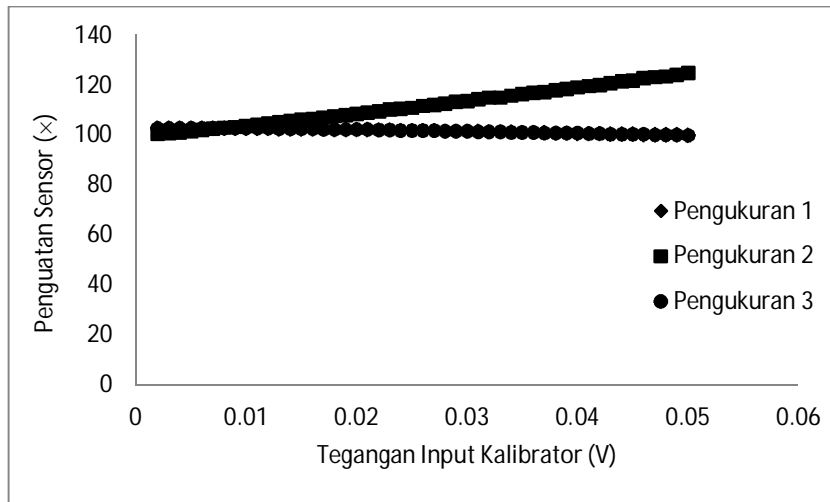


Grafik 4.13. Kesalahan relatif sensor potensial listrik Y dengan kenaikan tegangan input kalibrator.

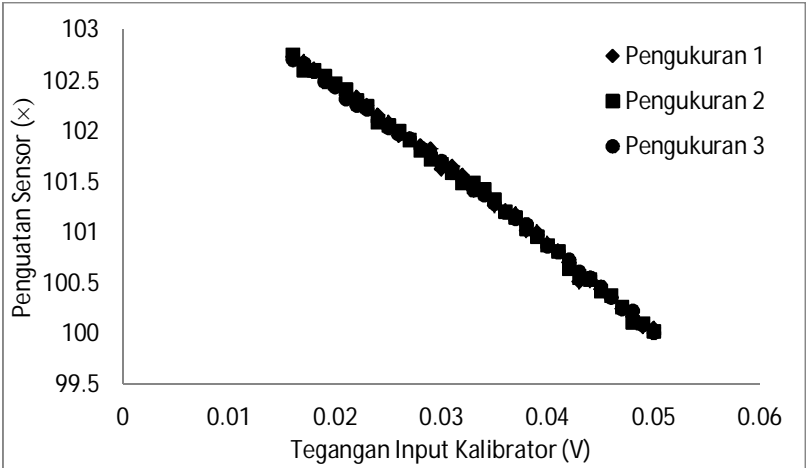


Grafik 4.14. Kesalahan relatif sensor potensial listrik Y dengan penurunan tegangan input kalibrator.

Sensor potensial listrik mengalami penguatan dari tegangan input, hal ini dimaksudkan agar tegangan input terbaca pada skala kerja mikrokontroler. Untuk mengetahui berapa besar penguatan yang diterapkan, maka dilakukan pendekatan pada daerah linier penguatan sensor potensial listrik.



Grafik 4.15. Daerah linieritas penguatan sensor potensial listrik Y dengan kenaikan tegangan input kalibrator.



Grafik 4.16. Daerah linieritas penguatan sensor potensial Y dengan penurunan tegangan input kalibrator.

Berdasarkan grafik 4.11 terlihat daerah penguatan sensor potensial listrik II dengan kenaikan tegangan input kalibrator berada pada daerah $0,005 \text{ V} < V < 0,05 \text{ V}$. Grafik 4.12 menunjukkan daerah penguatan sensor potensial listrik II dengan penurunan tegangan input kalibrator yaitu berada pada daerah $0,016 \text{ V} < V < 0,05 \text{ V}$.

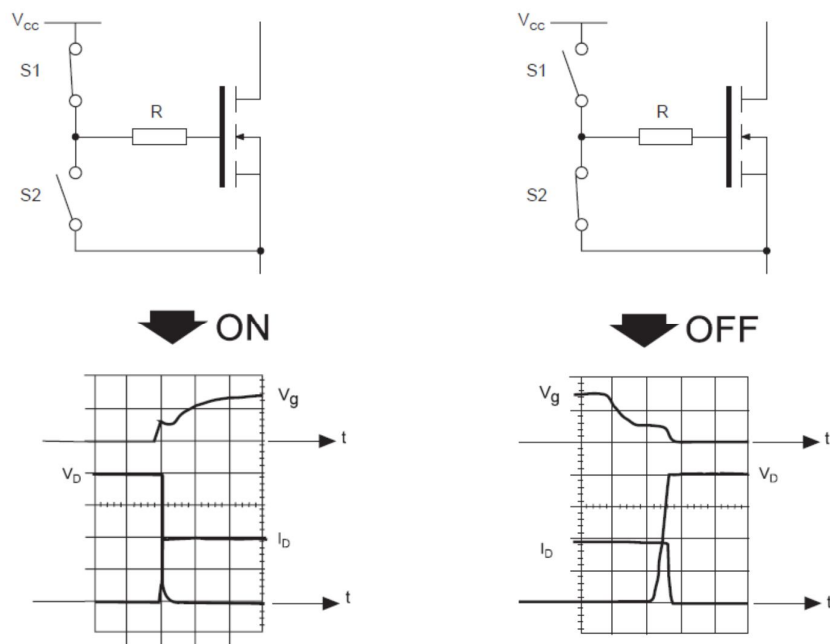
4.3. Karakterisasi Penyakelaran IGBT (*Insulates Gate Bipolar Transistor*)

Berbeda dengan transistor bipolar, yang mengendalikan arus pada saat berkerja. Power MOSFET dengan gerbangnya yang terisolasi, berkerja dengan mengendalikan gerbangnya (*gate*). Pada pengendalian gerbang IGBT, waktu pengendalian dapat dipercepat atau diperlambat pada proses penyakelaran (*switching*) sesuai dengan kebutuhan aplikasinya.

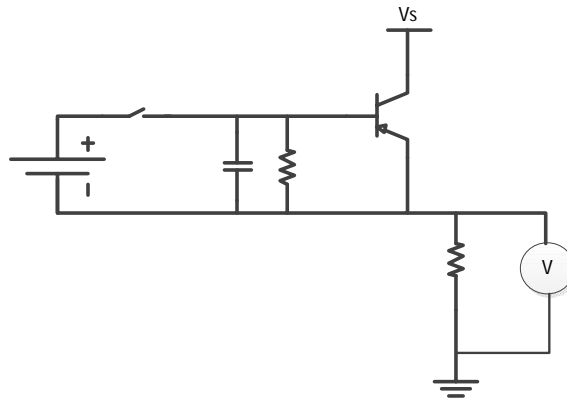
Pada penelitian ini waktu pengendalian bergantung pada penentuan frekuensi, dalam pengujian frekuensi diatur pada nilai 1 Hz. Pada gambar 4.4 menunjukkan pengendalian *gate* pada IGBT ketika diberikan beda tegangan sebesar 15 V pada saat saklar S1 tertutup dan S2 tertutup (kondisi *on*), 0 V pada saat saklar S1 terbuka dan S2 tertutup (kondisi *off*). Terlihat bahwa terjadi perubahan, yaitu perbedaan bentuk muka gelombang ketika penyakelaran pada saat kondisi *on* dan pada saat kondisi *off*. Pada tegangan *gate* V_g terjadi kenaikan

dan penurunan secara bertahap ketika kondisi *on* dan *off*. Terdapat tegangan sisa yang mengalir pada saat proses penyakelaran V_d (*drain voltage*) mengalami kenaikan pada daerah V_g konstan.

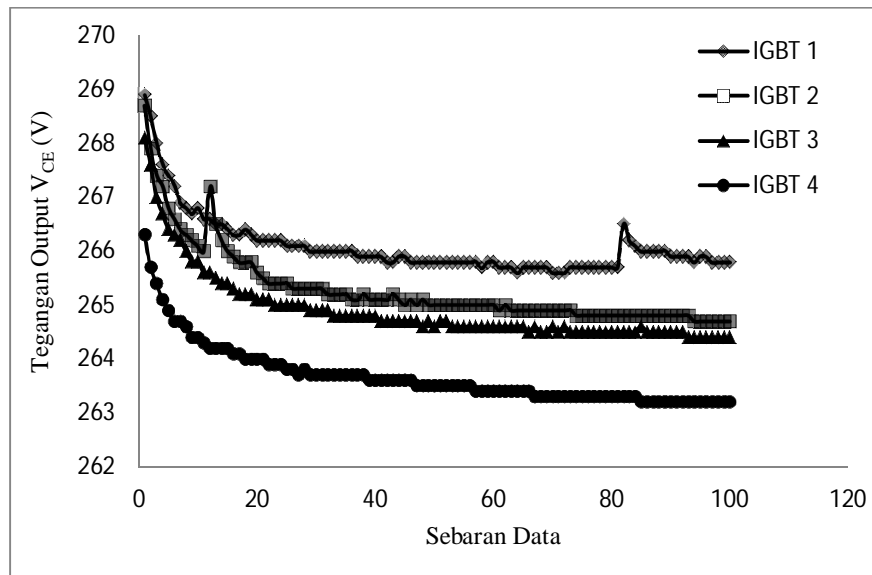
Pada saat karakterisasi menggunakan rangkaian acuan pada gambar 4.5, karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui tegangan kerja dari IGBT pada saat kondisi *on*. Terlihat pada grafik bahwa pada saat keadaan *on* terjadi peluruhan bertahap secara eksponensial, hal ini disebabkan oleh sumber yang digunakan adalah menggunakan baterai, sehingga tegangan pada baterai perlahan meluruh. Kemudian pada kondisi *off* tegangan pada output (V_{CE}) IGBT tidaklah menunjukkan nilai 0 V hal ini kemungkinan disebabkan pada *gate* memiliki waktu pengosongan arus yang berbeda, sehingga terlihat distribusi data dengan rentangan 0 V – 1,2 V.



Gambar 4.4. Perbedaan bentuk muka gelombang IGBT pada kondisi on dan off.

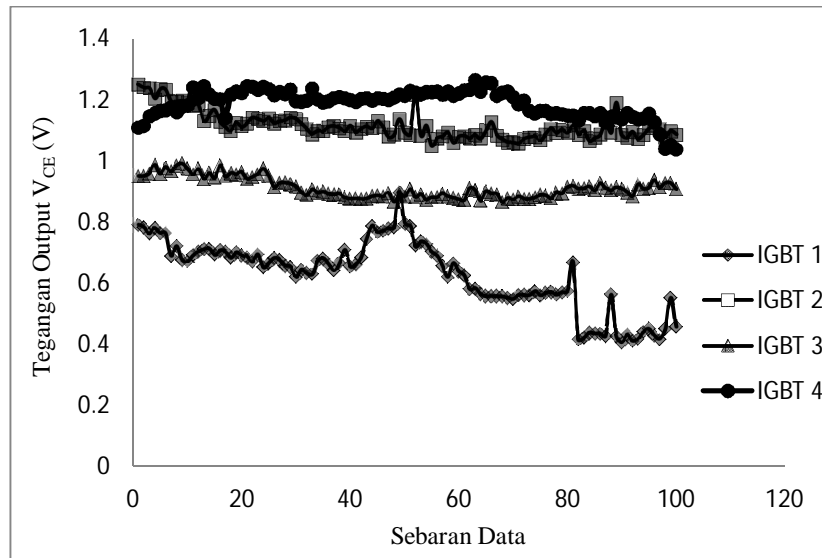


Gambar 4.5. Skematik karakterisasi IGBT.



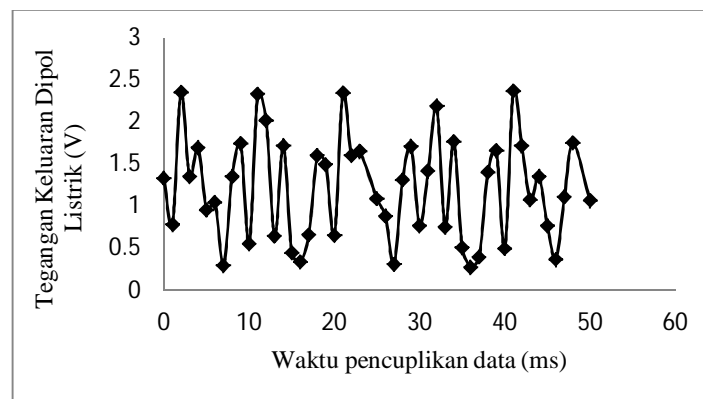
Grafik 4.17. Tegangan keluaran *collector emitter* (V_{CE}) IGBT pada saat *switching on*.

Grafik diatas menunjukkan karakterisasi pada saat saklar dalam keadaan *on* dengan tegangan input dari inverter maksimum mencapai 269 V, terlihat perbedaan antara antara pengukuran 1 hingga pengukuran 4. Tegangan V_{CE} mengalami penurunan besar tegangan. Grafik 4.17 tidak menyerupai bentukan seperti pada gambar 4.4 karena sumber utama menggunakan baterai 12 V.



Grafik 4.18. Tegangan keluaran *collector emitter* (V_{CE}) IGBT pada saat *switching off*.

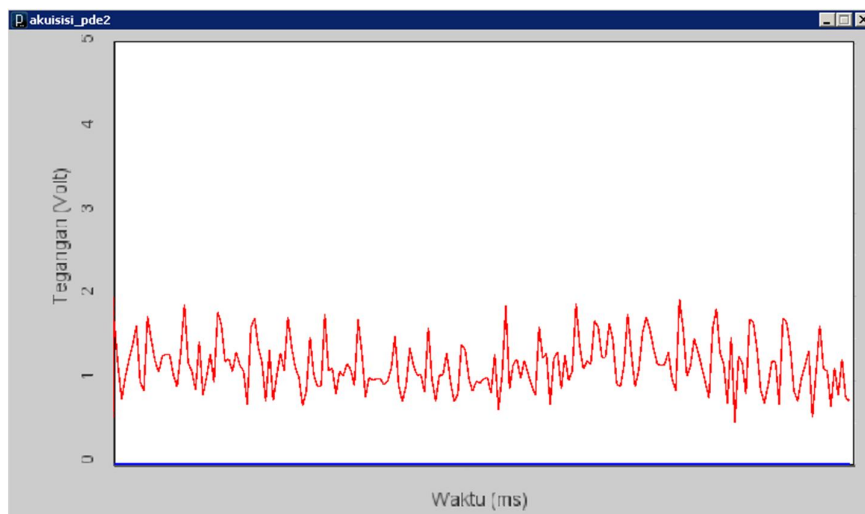
Pengendalian IGBT pada penelitian ini menggunakan optoelektronik, yaitu sebuah devais gabungan antara LED inframerah dan fototransistor. Optoelektronik berperan sebagai saklar ketika adanya input tegangan yang diterimanya, saklar tersebut sebagai kontrol gerbang IGBT. Hasil dari penyakelaran tersebut berupa tegangan output IGBT yang berbentuk muka gelombang *duty cycle* 25%. Bentuk gelombang tersebut merupakan profil dari dipol-dipol listrik yang akan di injeksikan kedalam permukaan bumi untuk membangkitkan medan EM dalam permukaan bumi, dengan harapan akan mendapatkan respon dari permukaan bumi berupa medan magnet dan potensial listrik.



Grafik 4.19. Hasil pencuplikan data menggunakan ADC.

Dalam pengujian sistem pengendali IGBT dilakukan perbandingan hasil pengukuran menggunakan ADC dan menggunakan *oscilloscope*. Hasil pencuplikan data menggunakan ADC 10 bit belum menunjukkan hasil yang sesungguhnya terlihat pada grafik 4.19. Sumber yang digunakan dalam pengujian sistem kontrol sebesar 82 V hasil pengutan menggunakan inverter. Melalui rangkaian pembagi tegangan maka yang terukur sebesar 1,2 V untuk menyesuaikan rentang tegangan pada perangkat ADC (0 – 5V). Pengaturan waktu pada saat pencuplikan data yaitu 10 ms untuk satu gelombang. Pada grafik terlihat tidak terdapat besar tegangan dipol yang bernilai negatif, hal ini disebabkan pada saat pencuplikan data menggunakan rangkaian pemutlak sehingga tagangan dipol yang bernilai negatif (-V) bernilai positif.

Pada pengukuran *oscilloscope* terlihat muka gelombang menyerupai *duty cycle* 25% seperti pada gambar 2.4. Namun hasil pencuplikan tidak dapat direkam melalui pengukuran analog karena waktu pencuplikan data cepat, sehingga diperlukan sebuah perangkat untuk merekam data sesuai dengan keluaran pada *oscilloscope*.



Gambar 4.5. Antar muka pencuplikan data.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian pada bab sebelumnya, dapat dikemukakan beberapa kesimpulan pokok dari hasil penelitian ini, sebagai berikut.

1. Perancangan dan pembuatan prototipe perangkat penginjektor arus penunjang survey geofisika dengan metode TDEM. Perancangan dan pembuatan sensor potensial listrik.
2. Berdasarkan kalibrasi sensor potensial listrik X terhadap kalibrator kesalahan absolut maksimum dan kesalahan relatif maksimum pada kenaikan tegangan input kalibrator masing-masing yaitu mencapai 0,013 V - 0,0288V dan 0,21% - 0,41% pada daerah kerja 0,041V-0,05V. Kesalahan absolut maksimum dan kesalahan relatif maksimum dengan penurunan tegangan input kalibrator masing-masing yaitu mencapai 0,011V-0,034V dan 0,025% - 0,034% pada daerah kerja 0,035V - 0,049V.
3. Berdasarkan kalibrasi sensor potensial listrik Y terhadap kalibrator kesalahan absolut maksimum dan kesalahan relatif maksimum pada kenaikan tegangan input kalibrator masing-masing yaitu mencapai 0,011 V - 0,026 V dan 0,18% - 0,46% pada daerah kerja 0,049 V -0,05 V. Kesalahan absolut maksimum dan kesalahan relatif maksimum dengan penurunan tegangan input kalibrator masing-masing yaitu mencapai 0,025 V - 0,033 V dan 0,32% - 0,33% pada daerah kerja 0,042 V – 0,05 V.
4. Berdasarkan kalibrasi sensor potensial listrik dengan penguatan di dapatkan rata-rata daerah linieritas penguatan. Pada sensor potensial listrik I yaitu $0,022 \text{ V} < V < 0,05 \text{ V}$ (kenaikkan tegangan input kalibrator) dan $0,037 \text{ V} < V < 0,05 \text{ V}$ (penurunan tegangan input kalibrator). Pada sensor potensial listrik II yaitu $0,005 \text{ V} < V < 0,05 \text{ V}$

(kenaikkan tegangan input kalibrator) dan $0,016 \text{ V} < V < 0,05 \text{ V}$ (penurunan tegangan input kalibrator).

5. Berdasarkan karakterisasi IGBT bahwa pada saat *switching off* masih terdapat tegangan sebesar 0 V- 1,2 V. Penyakelaran IGBT menggunakan devais optoelektronik sebagai saklar gerbang IGBT terkontrol, bentuk muka gelombang dari hasil pencuplikan data menggunakan ADC belum terbentuk gelombang *duty cycle* 25%. Namun jika pengukuran dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope* bentuk gelombang keluaran dipol menyerupai gelombang *duty cycle* 25%.
6. Hasil perancangan sistem kendali IGBT diterapkan pada perangkat *transmitter* untuk menginjeksikan arus kedalam permukaan bumi dengan bentuk gelombang *transmitter* berupa gelombang *duty cycle* 25%

5.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu di perhatikan beberapa hal berikut.

1. Dalam pengendalian IGBT saklar yang digunakan harus sesuai dengan rentang kerja IGBT, perlu dibuat filterisasi berlapis untuk mendapatkan bentuk muka gelombang yang baik.
2. Pembuatan ADC untuk pencuplikan data, diperlukan sinkronisasi antara pencuplikan data dengan sistem kontrol IGBT.
3. Dalam perancangan dan pembuatan sensor potensial listrik, pengaturan penguatan sensor perlu di stabilkan pada rentang kerja yang ditetapkan agar hasil penguatan sesuai dengan yang di harapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baroocu, Geovanni & Ranieri, Geotani. "TDEM: Useful Tool For Identifying and Monitoring the Fresh-Saltwater Interface". Faculty Engineering-University of Cagliari. Italy.
- Bose, Bimal K. "Power Electronic and Variable Frequency Drives". IEE Press. New York
- Calmels, Alain. 2006. "Advanced IGBT Driver Application Manual". Microsemi. France.
- Fewsen, Denis. 1998. "Introduction to Power Electronics". Arnold. London.
- French, Rowlan B. 2002. "Time-Domain Electromagnetic Exploration". Northwest Geophysical Associated.
- Griffiths, David J. 1999. "Introduction to Electrodynamics-3rd ed". Prentice Hall. New Jersey.
- Milsom, John. 2003. "Field Geophysics Third Edition". Wiley. England.
- Paggano, Giuseppe. Menghini, Antonio dan Floris, Stefano. 2003. "Electrical Tomography and TDEM Prospection in the Chianciano Thermal Basin (Siena, Italy)". vol 46 June. Annals of Geophysics.
- Rashid H, Muhammad. 2007. "Power Electronics Handbook Second Edition". Academic Press. California.
- Sitanggang, Ebitra. 2009. "Pemodelan ke Depan Loop Tengah, Loop Horizontal Coplanar dan Wire-Loop Dalam Metode Elektromagnetik Transien". Tugas Akhir Kelompok Keahlian Fisika Sistem Kompleks. ITB.
- Srigutomo, Wahyu dkk. 2008. "Resistivity Structure of Unzen Volcano Derived From Time Domain Electromagnetic (TDEM) Survey". Journal of Volcanology and Geothermal Research 175 (2008) 231-240.
- Strack, K.-M., E. Luschen, and A. W. Kotz. "Long-offset transient electromagnetic (LOTEM) depth soundings applied to crustal studies in the Black Forest and Swabian Alb". Federal Republic of Germany, *Geophysics*, **55**, 834-842, 1990.
- Sutrisno. 1986. "Elektronika Teori dan Penerapannya". ITB. Bandung.

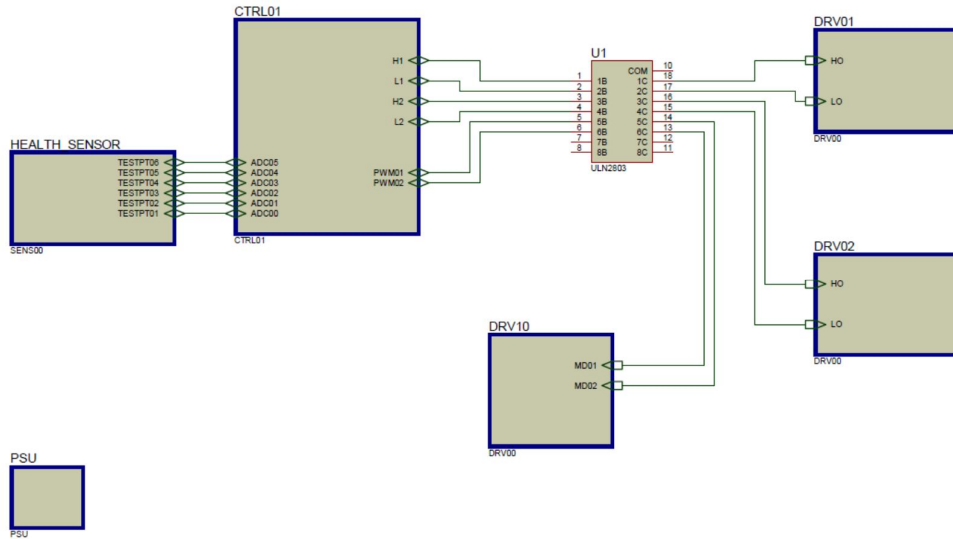
W. M. Telford, L. P. Geldard, R.E Sheriff. 1990. "Applied Geophysics Second Edition". Cambridge University Press. New York.

Publikasi.

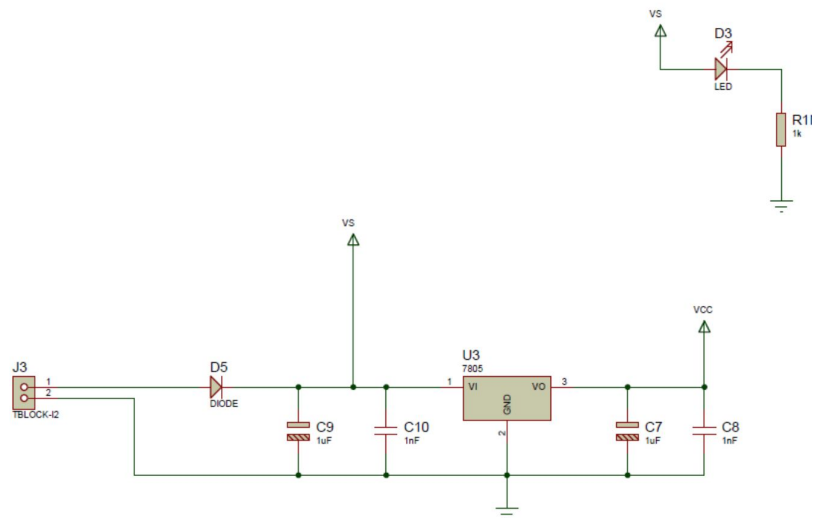
Widyaningrum. Tri Hatmoko, Danang. Supardi. Umiatin. 2011. "Desain Pembuatan Sensor Fluxgate 1D dan Sensor Potensial Listrik Sebagai Penunjang Survey Geofisika Metode TDEM". Dies UNJ. Jakarta.

LAMPIRAN

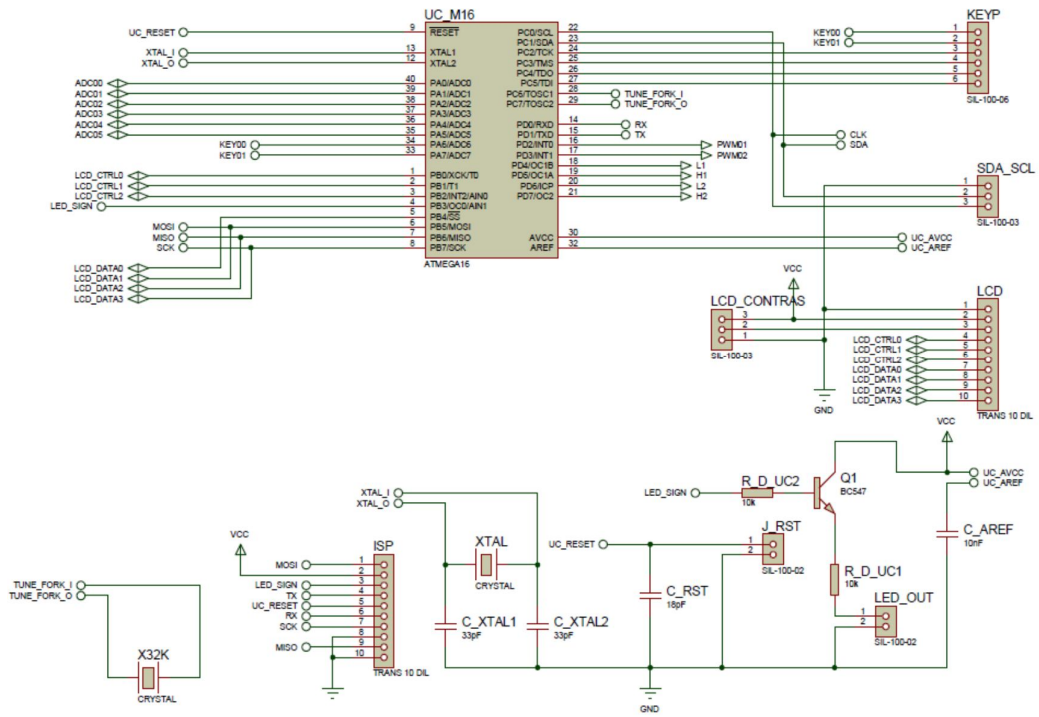
Lampiran 1. Skematik rangkaian penginjeksi arus



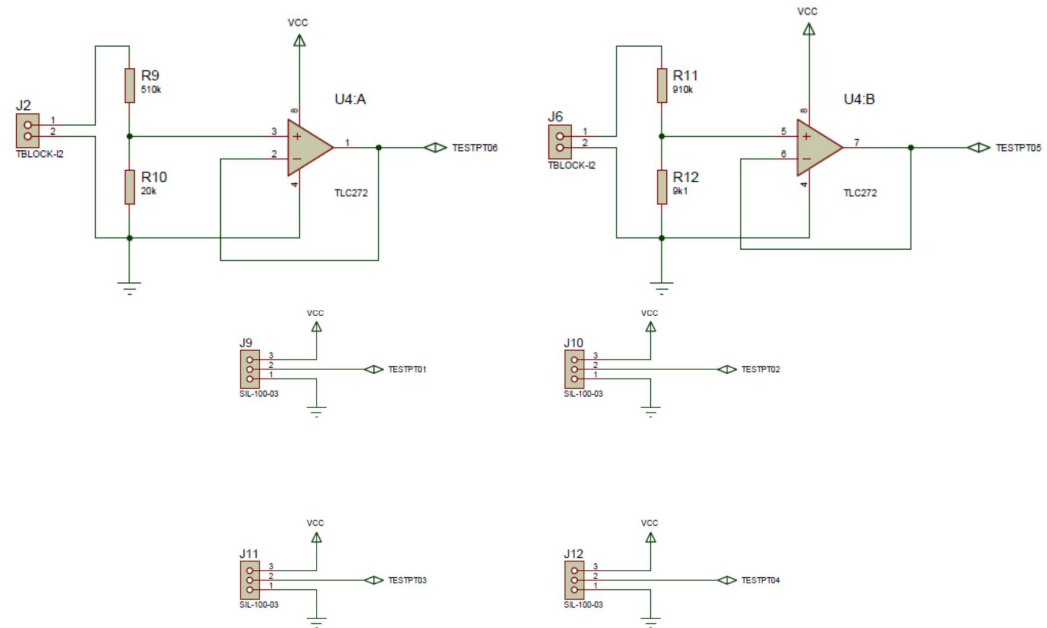
Rangkaian global penginjeksi arus



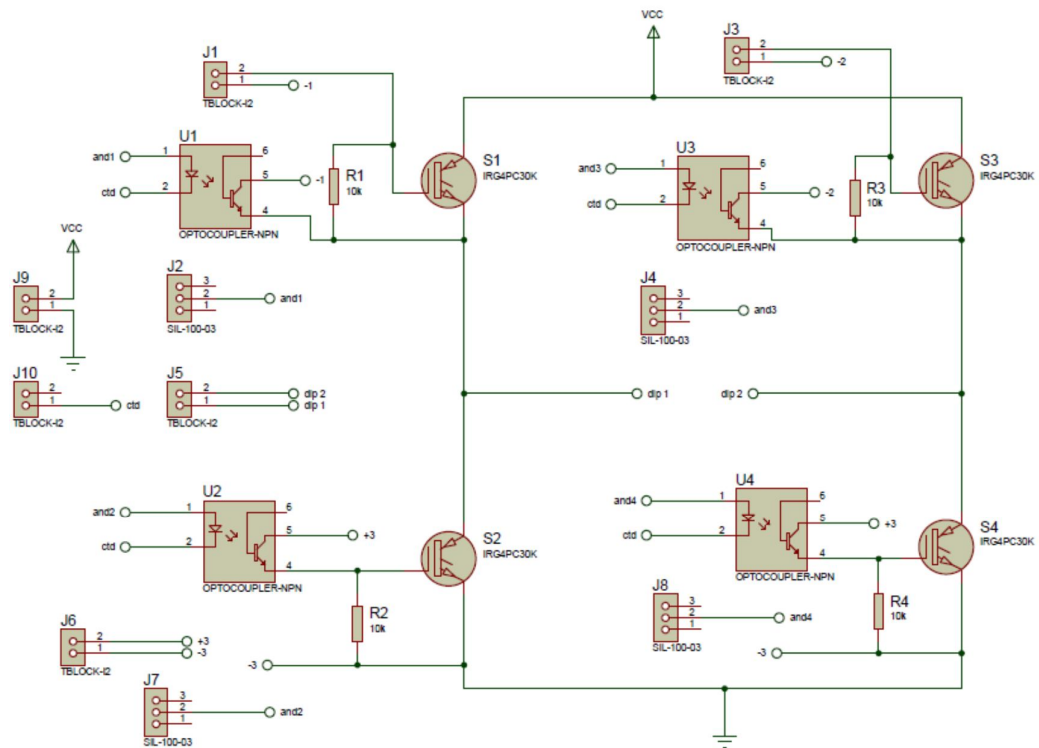
Rangkaian power supply



Rangkaian kontrol

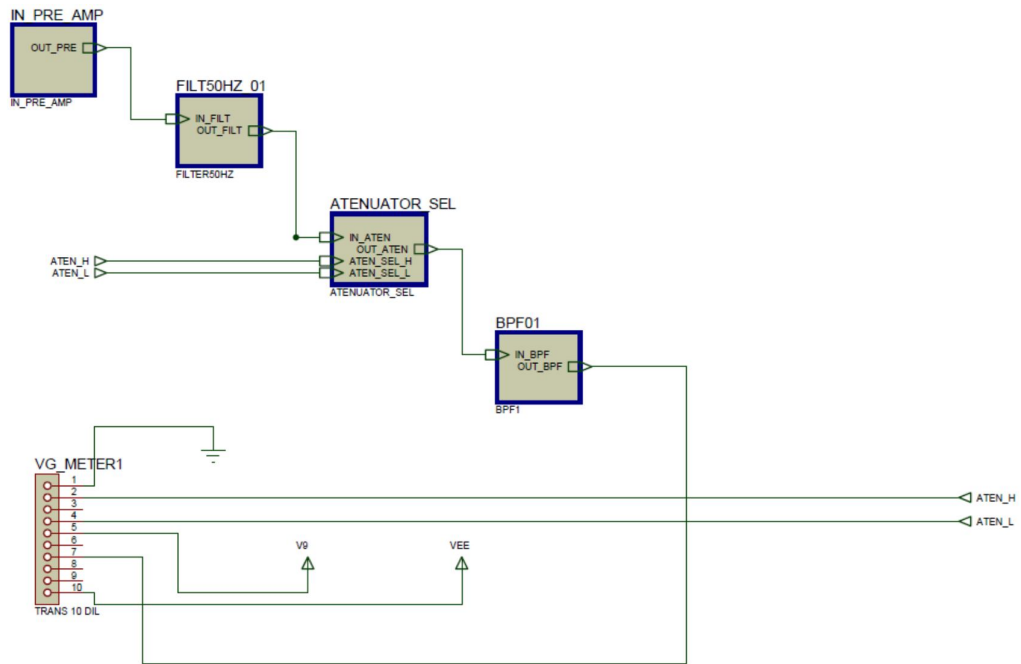


Rangkaian Sensor

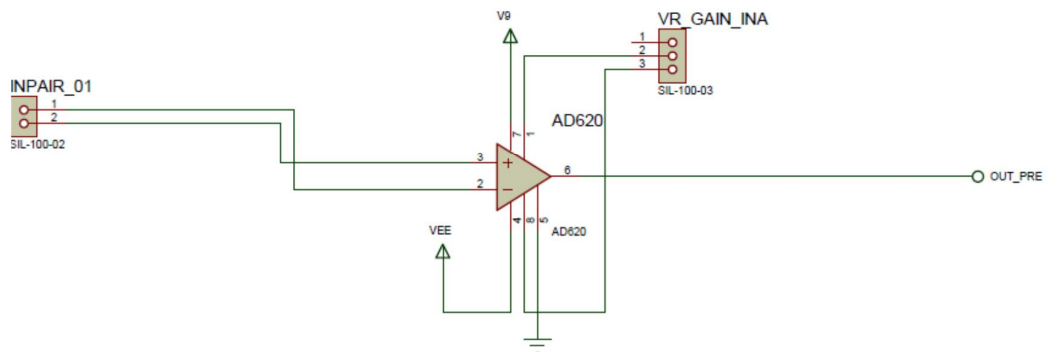


Rangkaian pengendali IGBT

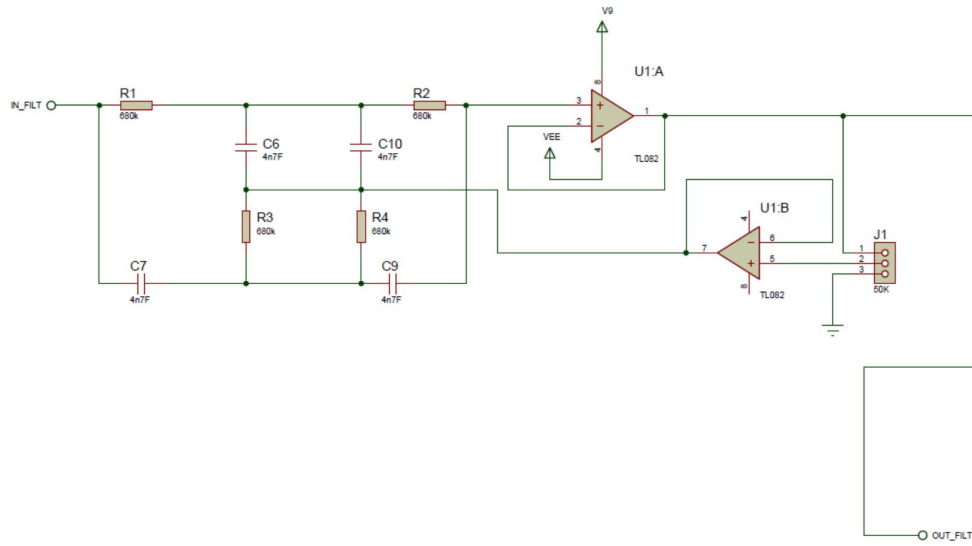
Lampiran 2. Skematik rangkaian sensor potensial listrik



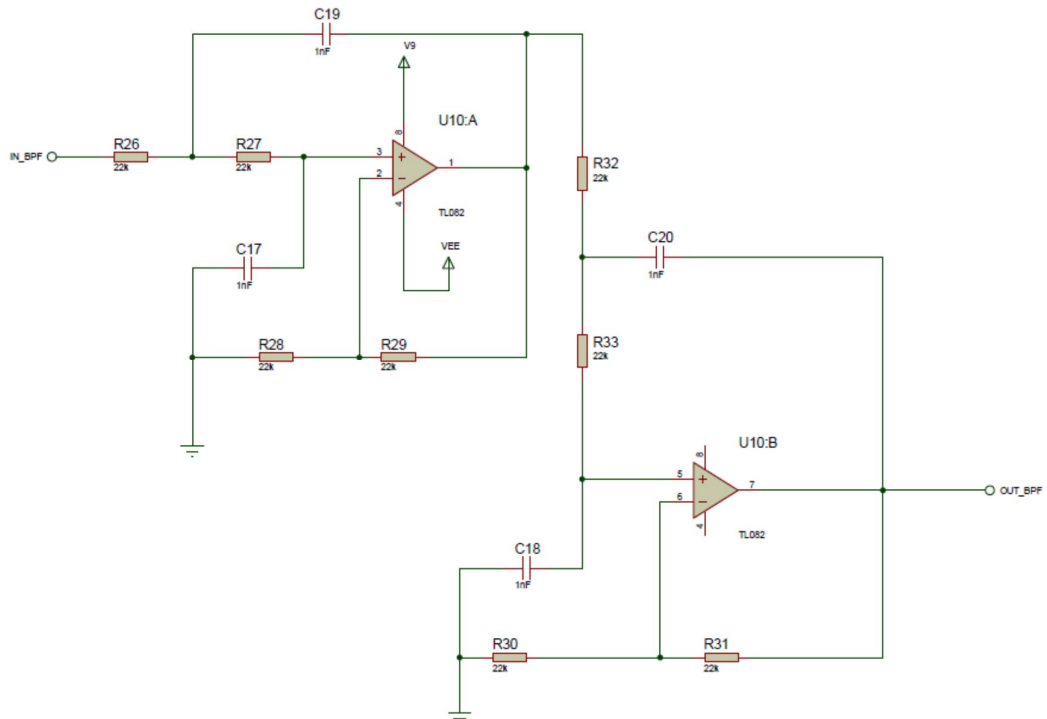
Rangkaian global sensor potensial listrik



Rangkaian pre-amplifier



Rangkaian filter 50Hz dan 150Hz



Rangkaian band-pass-filter

Lampiran 3. Kode-kode pemrograman

```

/*****

```

```

This program was produced by the
CodeWizardAVR V2.03.9 Standard
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2008 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com

```

```

Project : kontrol IGBT
Version :
Date   : 12/31/2010
Author : Danang Tri Hatmoko
Company : UNJ
Comments:

```

```

Chip type       : ATmega16
Program type    : Application
AVR Core Clock frequency: 11.059200 MHz
Memory model    : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 256

```

```

*****/

```

```

#include <mega16.h>

```

```

// Alphanumeric LCD Module functions

```

```

#asm

```

```

    .equ __lcd_port=0x18 ;PORTB

```

```

#endasm

```

```

#include <lcd.h>

```

```

#include <stdio.h>

```

```

#include <delay.h>

```

```

// UP = PINC.2;

```

```

// DOWN = PINC.3;

```

```

// ETR = PINC.4;

```

```

// ESC = PINC.5;

```

```

unsigned char lcd_buffer[33];

```

```

// Declare your global variables here

```

```

unsigned char frec;

```

```

void main(void)

```

```

{

```

```

// Declare your local variables here

```

```
// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization OUTPUT
//
PORTA=0x00;
DDRA=0xFF;

// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In
// Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;

// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In
// Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;

// Port D initialization
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out Func2=Out
// Func1=Out Func0=Out
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTD=0x00;
DDRD=0xFF;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
```

```
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;
freq=1;
// LCD module initialization
lcd_init(16);
lcd_gotoxy(0,0);
sprintf(lcd_buffer," Transmitter");
lcd_puts(lcd_buffer);
lcd_gotoxy(0,1);
```

```

sprintf(lcd_buffer,"Frekuensi= %u Hz",frec);
lcd_puts(lcd_buffer);

```

```

while (1)
{
// frekuensi 1 hertz (atas dan bawah)
PORTA=0B00000101;
delay_ms(75);
PORTA=0B00000001;
delay_ms(50);
PORTA=0B00001001;
delay_ms(200);
PORTA=0B00000001;
delay_ms(50);
PORTA=0B00000101;
delay_ms(200);
PORTA=0B00000010;
delay_ms(50);
PORTA=0B00000110;
delay_ms(200);
PORTA=0B00000010;
delay_ms(50);
PORTA=0B00000101;
delay_ms(125);

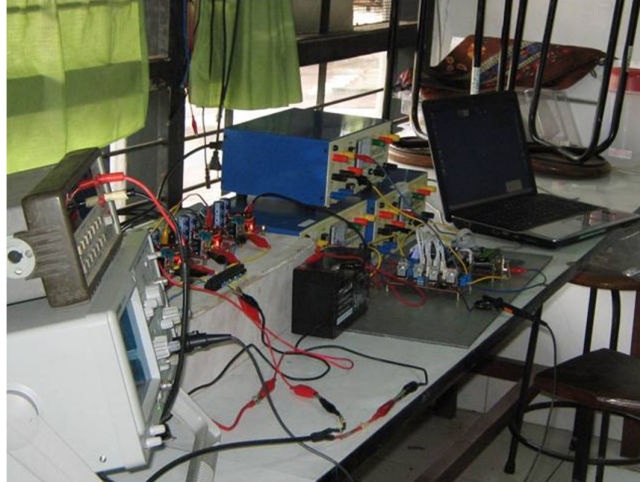
// frekuensi 1 hertz (atas dan bawah)
//PORTA=0B00000101;
//delay_ms(75);
//PORTA=0B00000001;
//delay_ms(50);
//PORTA=0B00001001;
//delay_ms(200);
//PORTA=0B00000001;
//delay_ms(50);
//PORTA=0B00000101;
//delay_ms(200);
//PORTA=0B00000100;
//delay_ms(50);
//PORTA=0B00000110;
//delay_ms(200);
//PORTA=0B00000100;
//delay_ms(50);
//PORTA=0B00000101;
//delay_ms(125);

// frekuensi 10 Hz

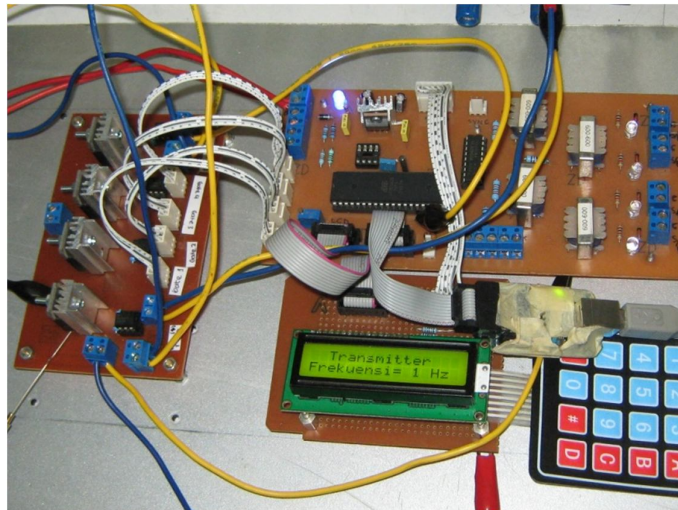
```

```
//PORTA=0B00000101;  
//delay_us(7500);  
//PORTA=0B00000001;  
//delay_us(5000);  
//PORTA=0B00001001;  
//delay_us(20000);  
//PORTA=0B00000001;  
//delay_us(5000);  
//PORTA=0B00000101;  
//delay_us(20000);  
//PORTA=0B00000100;  
//delay_us(5000);  
//PORTA=0B00000110;  
//delay_us(20000);  
//PORTA=0B00000100;  
//delay_us(5000);  
//PORTA=0B00000101;  
//delay_us(12500);  
  
};  
}
```

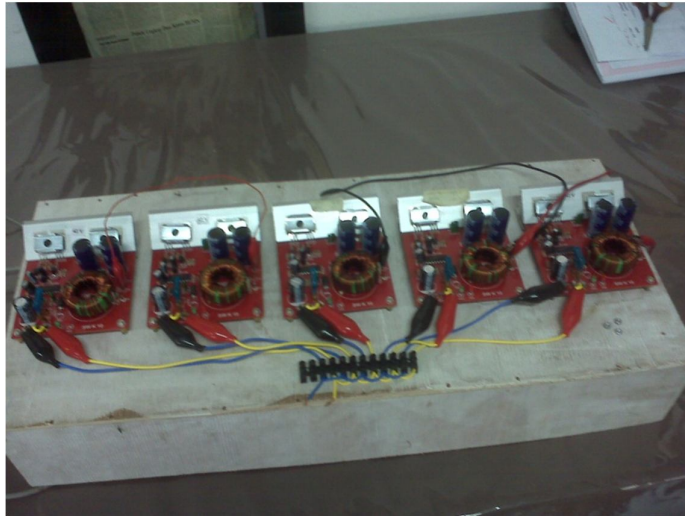

Lampiran 4. Foto kegiatan penelitian



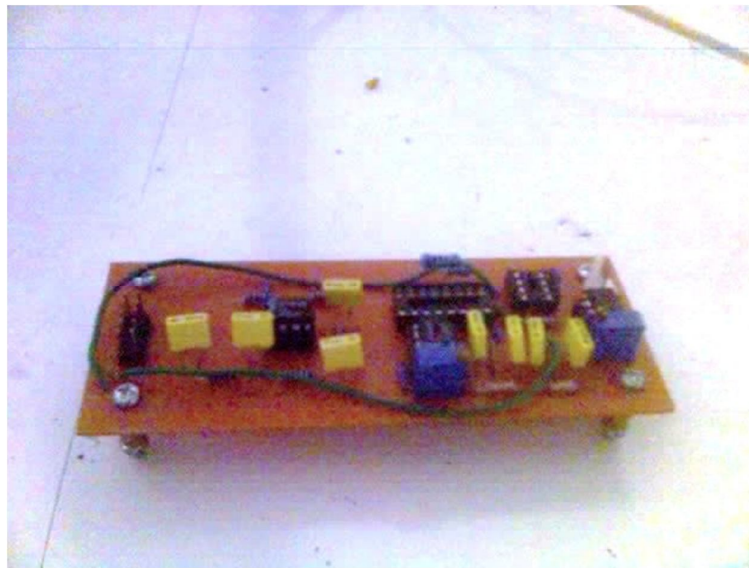
Pengujian di laboratorium elektronika ITB.



Sistem kontrol IGBT.



Inverter.



Sensor potensial listrik.

Lampiran 5. Data Pengamatan

Pengambil Data : Danang Tri Hatmoko

Tanggal Pengambilan Data : 16 Juni 2011

Sensor Potensial Listrik X

Kenaikkan Tegangan Input Kalibrator (0.01 V - 0.05 V)

No	Tegangan Input Kalibrator (V)	Pengukuran (V)		
		I	II	III
1	0.001	1.45	1.42	1.41
2	0.002	1.56	1.58	1.68
3	0.003	1.87	1.89	1.86
4	0.004	2.05	2.08	2.06
5	0.005	2.27	2.24	2.25
6	0.006	2.45	2.46	2.43
7	0.007	2.61	2.58	2.59
8	0.008	2.79	2.74	2.78
9	0.009	2.94	2.97	2.91
10	0.01	3.01	3.07	3.06
11	0.011	3.15	3.12	3.14
12	0.012	3.34	3.29	3.26
13	0.013	3.36	3.38	3.46
14	0.014	3.47	3.42	3.45
15	0.015	3.52	3.51	3.54
16	0.016	3.57	3.59	3.61
17	0.017	3.78	3.82	3.84
18	0.018	3.81	3.87	3.85
19	0.019	3.97	3.91	3.84
20	0.02	3.85	3.87	3.9
21	0.021	3.98	3.98	4.05
22	0.022	4.09	4.08	4.04
23	0.023	4.18	4.19	4.21
24	0.024	4.27	4.26	4.28
25	0.025	4.37	4.34	4.24
26	0.026	4.27	4.29	4.29
27	0.027	4.45	4.47	4.43
28	0.028	4.47	4.44	4.48
29	0.029	4.5	4.51	4.46
30	0.03	4.39	4.41	4.52
31	0.031	4.51	4.45	4.56
32	0.032	4.61	4.62	4.53

33	0.033	4.67	4.63	4.67
34	0.034	4.68	4.69	4.66
35	0.035	4.65	4.61	4.63
36	0.036	4.72	4.78	4.76
37	0.037	4.73	4.71	4.77
38	0.038	4.81	4.89	4.79
39	0.039	4.83	4.88	4.86
40	0.04	4.87	4.92	4.88
41	0.041	4.82	4.96	4.91
42	0.042	5.01	4.96	4.95
43	0.043	4.9	4.93	4.97
44	0.044	4.95	4.96	4.87
45	0.045	5.02	5.03	5.01
46	0.046	5.01	5.04	5.03
47	0.047	5.06	5.02	5.06
48	0.048	5.07	5.03	5.04
49	0.049	5.06	5.09	5.12
50	0.05	5.12	5.16	5.19

Sensor Potensial Listrik X

Penurunan Tegangan Input Kalibrator (0.01 V - 0.05 V)

No	Tegangan Input Kalibrator (V)	Pengukuran (V)		
		I	II	III
1	0.05	5.16	5.07	5.11
2	0.049	5.02	5.08	5.01
3	0.048	5.07	5.06	5.03
4	0.047	5.08	5.01	5.03
5	0.046	5.05	5.03	4.93
6	0.045	4.97	4.98	4.98
7	0.044	4.95	4.96	4.97
8	0.043	4.96	4.94	4.91
9	0.042	4.84	4.89	4.86
10	0.041	4.86	4.87	4.82
11	0.04	4.79	4.8	4.82
12	0.039	4.78	4.74	4.81
13	0.038	4.77	4.79	4.75
14	0.037	4.76	4.79	4.77
15	0.036	4.97	4.99	4.97
16	0.035	4.96	4.98	4.95
17	0.034	4.92	4.89	4.93
18	0.033	4.88	4.84	4.87
19	0.032	4.77	4.76	4.82
20	0.031	4.73	4.76	4.73
21	0.03	4.78	4.75	4.74
22	0.029	4.76	4.75	4.78
23	0.028	4.73	4.75	4.72
24	0.027	4.69	4.67	4.71
25	0.026	4.64	4.61	4.59
26	0.025	4.54	4.51	4.57
27	0.024	4.54	4.52	4.5
28	0.023	4.47	4.46	4.42
29	0.022	4.43	4.42	4.46
30	0.021	4.35	4.37	4.38
31	0.02	4.28	4.26	4.24
32	0.019	4.14	4.13	4.18
33	0.018	3.88	3.89	3.97
34	0.017	3.78	3.94	3.92
35	0.016	3.81	3.82	3.88
36	0.015	3.65	3.68	3.63

37	0.014	3.58	3.57	3.59
38	0.013	3.43	3.48	3.58
39	0.012	3.34	3.35	3.38
40	0.011	3.27	3.28	3.26
41	0.01	3.17	3.16	3.21
42	0.009	3.01	3.05	3.06
43	0.008	2.96	2.92	2.94
44	0.007	2.79	2.74	2.75
45	0.006	2.54	2.61	2.57
46	0.005	2.38	2.34	2.39
47	0.004	2.19	2.17	2.18
48	0.003	1.97	1.95	1.86
49	0.002	1.72	1.74	1.75
50	0.001	1.54	1.56	1.58

Sensor Potensial Listrik Y

Kenaikkan Tegangan Input Kalibrator (0.01 V - 0.05 V)

No	Tegangan Input Kalibrator (V)	Pengukuran		
		I	II	III
1	0.001	0.61	0.68	0.69
2	0.002	3.04	3.01	3.02
3	0.003	3.17	3.15	3.17
4	0.004	3.25	3.26	3.33
5	0.005	3.41	3.46	3.48
6	0.006	3.53	3.56	3.55
7	0.007	3.64	3.62	3.61
8	0.008	3.75	3.79	3.73
9	0.009	3.84	3.82	3.83
10	0.01	3.9	3.92	3.87
11	0.011	3.95	3.96	3.99
12	0.012	4.01	4.02	4.04
13	0.013	4.02	4.03	4.01
14	0.014	4.08	4.09	4.06
15	0.015	4.04	4.15	4.14
16	0.016	4.14	4.11	4.18
17	0.017	4.28	4.29	4.21
18	0.018	4.27	4.28	4.28
19	0.019	4.35	4.31	4.31
20	0.02	4.37	4.33	4.37
21	0.021	4.38	4.37	4.4
22	0.022	4.4	4.41	4.39
23	0.023	4.42	4.45	4.43
24	0.024	4.41	4.39	4.43
25	0.025	4.45	4.47	4.45
26	0.026	4.52	4.53	4.5
27	0.027	4.52	4.55	4.56
28	0.028	4.54	4.57	4.54
29	0.029	4.65	4.62	4.61
30	0.03	4.61	4.6	4.63
31	0.031	4.68	4.65	4.62
32	0.032	4.63	4.74	4.63
33	0.033	4.67	4.63	4.64
34	0.034	4.71	4.67	4.7
35	0.035	4.74	4.72	4.68
36	0.036	4.72	4.73	4.75
37	0.037	4.8	4.71	4.75

38	0.038	4.75	4.77	4.76
39	0.039	4.76	4.75	4.81
40	0.04	4.82	4.82	4.83
41	0.041	4.8	4.82	4.81
42	0.042	4.84	4.81	4.83
43	0.043	4.88	4.86	4.84
44	0.044	4.86	4.9	4.93
45	0.045	4.93	4.89	4.92
46	0.046	4.93	4.96	4.96
47	0.047	4.91	4.95	4.94
48	0.048	4.98	4.94	5
49	0.049	5.02	4.97	5.03
50	0.05	5.01	5.03	5.01

Sensor Potensial Listrik Y

Penurunan Tegangan Input Kalibrator (0.01 V - 0.05 V)

No	Tegangan Input Kalibrator (V)	Pengukuran		
		I	II	III
1	0.05	5.06	5.03	5.01
2	0.049	4.97	5.01	4.99
3	0.048	4.97	4.92	5.03
4	0.047	4.95	4.97	4.95
5	0.046	4.96	4.98	4.96
6	0.045	4.94	4.93	4.97
7	0.044	4.93	4.94	4.96
8	0.043	4.82	4.86	4.92
9	0.042	4.91	4.85	4.94
10	0.041	4.92	4.92	4.91
11	0.04	4.9	4.88	4.87
12	0.039	4.91	4.86	4.88
13	0.038	4.82	4.84	4.89
14	0.037	4.89	4.85	4.84
15	0.036	4.82	4.81	4.8
16	0.035	4.77	4.83	4.79
17	0.034	4.8	4.83	4.77
18	0.033	4.78	4.8	4.72
19	0.032	4.77	4.69	4.73
20	0.031	4.76	4.69	4.69
21	0.03	4.63	4.68	4.71
22	0.029	4.73	4.63	4.68
23	0.028	4.66	4.62	4.64
24	0.027	4.63	4.62	4.63
25	0.026	4.56	4.61	4.57
26	0.025	4.59	4.56	4.54
27	0.024	4.56	4.49	4.51
28	0.023	4.56	4.55	4.52
29	0.022	4.54	4.51	4.46
30	0.021	4.49	4.52	4.42
31	0.02	4.44	4.48	4.44
32	0.019	4.44	4.45	4.39
33	0.018	4.42	4.41	4.39
34	0.017	4.39	4.31	4.38
35	0.016	4.34	4.36	4.31
36	0.015	4.27	4.29	4.27
37	0.014	4.2	4.22	4.2

38	0.013	4.18	4.15	4.13
39	0.012	4.03	3.99	4.11
40	0.011	4.02	3.97	3.99
41	0.01	3.86	3.78	3.92
42	0.009	3.83	3.81	3.89
43	0.008	3.68	3.77	3.65
44	0.007	3.61	3.59	3.6
45	0.006	3.54	3.48	3.49
46	0.005	3.44	3.46	3.44
47	0.004	3.32	3.3	3.34
48	0.003	3.19	3.21	3.2
49	0.002	3.09	3.05	3.03
50	0.001	2.85	2.87	2.86

Karakterisasi IGBT

NO	IGBT 1 (V)		IGBT 2 (V)		IGBT 3 (V)		IGBT 4 (V)	
	on	off	on	off	on	off	on	off
1	268.9	0.79	268.7	1.251	268.1	0.952	266.3	1.11
2	268.5	0.782	267.9	1.241	267.6	0.953	265.7	1.115
3	268	0.763	267.4	1.24	267	0.961	265.4	1.148
4	267.6	0.781	267.2	1.205	266.7	0.988	265.1	1.158
5	267.4	0.765	266.8	1.236	266.4	0.959	264.9	1.165
6	267.2	0.764	266.6	1.234	266.3	0.978	264.7	1.168
7	266.9	0.689	266.4	1.194	266.2	0.968	264.7	1.177
8	266.8	0.721	266.3	1.196	266	0.985	264.6	1.161
9	266.7	0.676	266.2	1.198	265.8	0.993	264.4	1.179
10	266.8	0.673	266.1	1.193	265.8	0.976	264.4	1.183
11	266.6	0.692	266	1.183	265.6	0.958	264.3	1.242
12	266.6	0.703	267.2	1.185	265.6	0.975	264.2	1.207
13	266.5	0.711	266.5	1.131	265.5	0.941	264.2	1.246
14	266.5	0.712	266.2	1.149	265.4	0.962	264.2	1.219
15	266.4	0.694	266	1.167	265.4	0.946	264.2	1.205
16	266.3	0.707	265.9	1.13	265.3	0.986	264.1	1.203
17	266.3	0.704	265.8	1.112	265.2	0.951	264.1	1.141
18	266.4	0.684	265.8	1.098	265.2	0.961	264	1.218
19	266.3	0.701	265.8	1.126	265.2	0.957	264	1.228
20	266.2	0.693	265.6	1.113	265.1	0.965	264	1.224
21	266.2	0.685	265.5	1.124	265.1	0.942	264	1.245
22	266.2	0.67	265.4	1.143	265.1	0.949	263.9	1.243
23	266.2	0.694	265.4	1.137	265	0.959	263.9	1.234
24	266.2	0.653	265.4	1.132	265	0.976	263.9	1.243
25	266.1	0.665	265.4	1.142	265	0.952	263.8	1.236
26	266.1	0.683	265.3	1.124	265	0.915	263.8	1.217
27	266.1	0.676	265.3	1.132	265	0.929	263.7	1.226
28	266.1	0.657	265.3	1.133	265	0.93	263.8	1.22
29	266	0.653	265.3	1.143	264.9	0.925	263.7	1.235
30	266	0.621	265.3	1.137	264.9	0.916	263.7	1.196
31	266	0.643	265.3	1.121	264.9	0.898	263.7	1.194
32	266	0.634	265.2	1.105	264.9	0.891	263.7	1
33	266	0.63	265.2	1.089	264.8	0.906	263.7	1.238
34	266	0.675	265.2	1.098	264.8	0.898	263.7	1.202
35	266	0.681	265.2	1.098	264.8	0.9	263.7	1.192
36	266	0.662	265.1	1.112	264.8	0.893	263.7	1.196
37	265.9	0.642	265.1	1.115	264.8	0.892	263.7	1.207
38	265.9	0.669	265.2	1.108	264.8	0.892	263.7	1.21

39	265.9	0.71	265.1	1.098	264.8	0.882	263.6	1.206
40	265.9	0.657	265.1	1.116	264.8	0.877	263.6	1.201
41	265.9	0.663	265.1	1.095	264.7	0.879	263.6	1.194
42	265.8	0.685	265.1	1.106	264.7	0.878	263.6	1.205
43	265.8	0.745	265.2	1.114	264.7	0.877	263.6	1.206
44	265.9	0.786	265.1	1.107	264.7	0.885	263.6	1.199
45	265.9	0.769	265	1.131	264.7	0.887	263.6	1.206
46	265.8	0.773	265.1	1.112	264.7	0.886	263.6	1.204
47	265.8	0.779	265	1.08	264.7	0.896	263.5	1.201
48	265.8	0.782	265.1	1.088	264.6	0.867	263.5	1.209
49	265.8	0.898	265	1.138	264.7	0.892	263.5	1.218
50	265.8	0.795	265	1.094	264.6	0.885	263.5	1.214
51	265.8	0.786	265	1.087	264.7	0.908	263.5	1.231
52	265.8	0.723	265	1.218	264.7	0.884	263.5	1.224
53	265.8	0.737	265	1.085	264.6	0.892	263.5	1.221
54	265.8	0.728	265	1.116	264.6	0.873	263.5	1.226
55	265.8	0.704	265	1.051	264.6	0.882	263.5	1.227
56	265.8	0.69	265	1.075	264.6	0.883	263.5	1.228
57	265.8	0.657	265	1.082	264.6	0.894	263.4	1.218
58	265.7	0.621	265	1.095	264.6	0.886	263.4	1.228
59	265.8	0.665	265	1.06	264.6	0.879	263.4	1.214
60	265.8	0.639	265	1.081	264.6	0.876	263.4	1.223
61	265.7	0.625	264.9	1.083	264.6	0.873	263.4	1.232
62	265.7	0.582	265	1.075	264.6	0.91	263.4	1.234
63	265.7	0.582	264.9	1.086	264.6	0.904	263.4	1.265
64	265.6	0.565	264.9	1.074	264.6	0.871	263.4	1.229
65	265.7	0.559	264.9	1.102	264.6	0.901	263.4	1.258
66	265.7	0.558	264.9	1.128	264.5	0.894	263.4	1.256
67	265.7	0.559	264.9	1.085	264.6	0.892	263.3	1.214
68	265.7	0.557	264.9	1.071	264.5	0.867	263.3	1.224
69	265.7	0.552	264.9	1.061	264.5	0.878	263.3	1.228
70	265.6	0.549	264.9	1.062	264.6	0.875	263.3	1.211
71	265.6	0.562	264.9	1.059	264.5	0.884	263.3	1.186
72	265.6	0.561	264.9	1.073	264.6	0.876	263.3	1.198
73	265.7	0.56	264.9	1.078	264.5	0.875	263.3	1.165
74	265.7	0.573	264.8	1.079	264.5	0.882	263.3	1.157
75	265.7	0.56	264.8	1.068	264.5	0.889	263.3	1.165
76	265.7	0.567	264.8	1.088	264.5	0.888	263.3	1.165
77	265.7	0.571	264.8	1.106	264.5	0.879	263.3	1.156
78	265.7	0.563	264.8	1.092	264.5	0.898	263.3	1.157
79	265.7	0.57	264.8	1.103	264.5	0.896	263.3	1.153

80	265.7	0.574	264.8	1.094	264.5	0.916	263.3	1.149
81	265.7	0.669	264.8	1.118	264.5	0.919	263.3	1.149
82	266.5	0.417	264.8	1.086	264.5	0.909	263.3	1.134
83	266.2	0.422	264.8	1.098	264.5	0.911	263.3	1.158
84	266.1	0.438	264.8	1.066	264.5	0.916	263.3	1.158
85	266	0.435	264.8	1.077	264.6	0.904	263.2	1.148
86	266	0.434	264.8	1.088	264.5	0.928	263.2	1.158
87	266	0.426	264.8	1.136	264.5	0.912	263.2	1.128
88	266	0.563	264.8	1.094	264.5	0.904	263.2	1.146
89	266	0.426	264.8	1.191	264.5	0.914	263.2	1.143
90	265.9	0.407	264.8	1.086	264.5	0.908	263.2	1.138
91	265.9	0.432	264.8	1.076	264.5	0.898	263.2	1.157
92	265.9	0.412	264.8	1.096	264.5	0.885	263.2	1.145
93	265.9	0.419	264.8	1.073	264.4	0.924	263.2	1.138
94	265.8	0.441	264.7	1.086	264.4	0.909	263.2	1.139
95	265.9	0.452	264.7	1.108	264.4	0.911	263.2	1.156
96	265.9	0.428	264.7	1.118	264.4	0.938	263.2	1.128
97	265.8	0.417	264.7	1.105	264.4	0.914	263.2	1.088
98	265.8	0.451	264.7	1.077	264.4	0.929	263.2	1.041
99	265.8	0.553	264.7	1.098	264.4	0.928	263.2	1.052
100	265.8	0.458	264.7	1.087	264.4	0.908	263.2	1.039

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya yang bertandatangan dibawah ini, mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta:

Nama : Danang Tri Hatmoko
No. Registrasi : 3225061779
Jurusan : Fisika
Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang saya buat dengan judul **“Perancangan Sistem Pengendali IGBT (*Insulates Gate Bipolar Transistor*) dan Sensor Potensial Listrik Sebagai Penunjang Survey Geofisika Metode TDEM (*Time Domain Electromagnetic*)”**:

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri, berdasarkan data yang saya peroleh dari hasil penelitian pada bulan Januari 2011 sampai dengan Juni 2011 di Lab. Elektronika Jurusan Fisika, ITB.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulis orang lain dan bukan terjemahan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan saya bersedia menanggung segala akibat yang timbul jika pernyataan saya ini tidak benar.

Bekasi, Juli 2011

Danang Tri Hatmoko

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 08 Januari 1989. Anak ke tiga dari dua bersaudara hasil buah dari Ayahanda Damami dan Ibunda Suparmi. Bertempat tinggal di jalan gama III Blok.C3, No.15 RT 06/005 Perumahan Guru DKI Jakarta, Kelurahan Duren Jaya, Kecamatan Bekasi Timur.

Penulis telah menempuh pendidikan formal dengan keterangan sebagai berikut, pendidikan SD di SDN Cawang 11 Pagi Jakarta Timur (1994-2000), pendidikan SMP di MTSN 1 Bekasi (2000-2003), pendidikan SMA di SMAN 3 Bekasi (2003-2006). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di UNJ melalui seleksi penerimaan mahasiswa baru (SPMB) dengan programkeahlian Fisika (2006-2011).

Selama duduk di bangku sekolah penulis mengikuti beberapa kegiatan ekstrakurikuler yaitu, BASGA (Basket SMAN 3 Bekasi, sebagai anggota), DKM SMAN 3 Bekasi (Dewan Keluarga Masjid, sebagai ketua II). Selama masa perkuliahan penulis pernah menjabat sebagai koordinator asisten laboratorium fisika dasar, UNJ periode (2009-2010).