



**RANCANG BANGUN SIMULATOR EFEK INDUKSI
ELEKTROMAGNETIK PADA LOGAM SEBAGAI
MEDIA PRAKTIKUM DI LABORATORIUM
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS
PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN**

Disusun dan Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas
Pembangunan Panca Budi Medan

SKRIPSI

OLEH :

**NAMA : MAULIA AKHBARING
NPM : 1514210026
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

MEDAN

2019

**RANCANG BANGUN SIMULATOR EFEK INDUKSI
ELEKTROMAGNETIK PADA LOGAM SEBAGAI
MEDIA PRAKTIKUM DI LABORATORIUM
TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS
PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN**

Maulia Akhbaring*

Zuraidah Tharo**

Pristisal Wibowo**

Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Dalam dunia kelistrikan, pemanfaatan energi listrik secara efisien dapat dilakukan dengan banyak hal. Salah satunya ialah pemanfaatan energi listrik sebagai pemanas induksi yang biasa dimanfaatkan dalam dunia industri peleburan logam. Oleh karena itu, penulis merancang suatu alat simulator efek induksi elektromagnetik pada logam yang dapat digunakan sebagai media praktikum mahasiswa di laboratorium teknik elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan. Penulis mendapat hasil bahwa hanya logam feromagnetis yang berpegaruh terhadap perubahan suhu permukaan logam yang diinduksi oleh kumparan kerja simulator, dengan suhu awal yang didapat oleh logam uji pisau *cutter* ialah 29,4 °C dan setelah dipanaskan selama 30 detik didapat suhu 389 °C, arus beban yang didapat dari pemanasan logam uji pisau *cutter* ialah 3,6 A dan untuk dayanya ialah 43,2 watt. Untuk logam uji paku suhu awalnya ialah 33 °C, setelah dipanaskan selama 2 menit suhu yang didapat mencapai 342 °C, arus bebannya ialah 3,4 A dan untuk dayanya ialah 40,8 watt. Dapat disimpulkan dari hasil yang didapat selama pengujian, semakin lebar dan tipis logam uji logam feromagnetis yang dipanaskan, semakin cepat pula proses pemanasannya berlangsung, dan sebaliknya semakin tebal logam uji yang digunakan, maka semakin lama pula proses pemanasan logam berlangsung.

Kata kunci: *Induksi Elektromagnetik, Pemanas Induksi, Logam.*

*Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro : akhbarvangobar@gmail.com

**Dosen Jurusan Teknik Elektro

**DESIGN A SIMULATOR OF THE EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC
INDUCTION ON METALS AS A PRACTICUM MEDIA IN THE
ELECTRICAL ENGINEERING LABORATORY
PEMBANGUNAN PANCA BUDI
UNIVERSITY MEDAN**

Maulia Akhbaring*

Zuraidah Tharo**

Pristisal Wibowo**

Pembangunan Panca Budi University

ABSTRACT

In the world of electricity, the efficient use of electrical energy can be done with many things. One of them is the use of electrical energy as induction heaters which are commonly used in the metal smelting industry. Therefore, the authors designed a simulator of electromagnetic induction effects on metals that can be used as practical material for students in the electrical engineering laboratory of the five-field development university. The author gets the result that only ferromagnetic metals that affect the change in metal surface temperature induced by the working coil simulator, with the initial temperature obtained by the cutter blade specimen is 29.4 °C and after being heated for 30 seconds a temperature of 389 °C, load current obtained from heating the cutter blade specimen is 3.6 A and for power is 43.2 watts. For nail specimens the initial temperature is 33 °C, after heating for 2 minutes the temperature obtained reaches 342 °C, the load current is 3.4 A and for power is 40.8 watts. It can be concluded from the results obtained during the test, the wider and thinner the ferromagnetic metal specimens are heated, the faster the heating process takes place, and conversely the thicker the specimens used, the longer the metal heating process takes place.

Keywords: *Electromagnetic Induction, Induction Heating, Metals.*

**Student of Electromagnetic Department : akhbarvangobar@gmail.com*

*** Lecturer Department of Electrical Engineering*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	
ABSTRAK	
ABSTRACT	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1. Teori Dasar MOSFET	7
2.1.1. Jenis – Jenis MOS	7
2.1.2. Bentuk Dasar MOSFET	11
2.1.3. Karakteristik dan Operasi MOSFET	12
2.1.4. Kapasitansi Transistor MOSFET	14
2.1.5. Lebar dan Panjang (<i>Width dan Lenght</i>)	18
2.2. Dioda	20
2.2.1. Bias <i>Diode</i>	21
2.2.2. <i>Diode Ideal</i>	22
2.2.3. <i>Diode Riil</i>	23
2.2.4. Macam – macam Dioda	24

2.3.	Resistor	24
2.3.1.	Jenis – jenis Resistor	25
2.3.2.	Karakteristik Resistor	27
2.3.3.	Resistor Tetap	28
2.3.4.	Resistor Tidak Tetap (<i>variable</i>)	29
2.4.	Kapasitor	30
2.4.1.	Prinsip Pembentukan Kapasitor	32
2.4.2.	Besaran Kapasitansi	32
2.4.3.	Macam Kapasitor Sesuai Bahan dan Konstruksi	33
2.4.4.	Karakteristik Berbagai Macam Kapasitor	34
2.4.5.	Kapasitansi Pada Rangkaian Kapasitor	35
2.4.6.	Pengisian dan Pengosongan Pada Kapasitor	36
2.4.7.	Kapasitor Tetap	37
2.4.8.	Kapasitor Tidak Tetap	39
2.5.	Prinsip Pemanasan Induksi	41
2.5.1.	Arus <i>Eddy</i>	45
2.5.2.	Rugi – rugi Hysterisis	46
2.5.3.	Efek Kulit	47
2.5.4.	Fluks Listrik dan Hukum Gauss	48
2.5.5.	Pengamatan Awal Dasar Magnetostatika	49
2.5.6.	Medan Magnet Induksi dan Medan Magnet	51
2.6.	Material Magnetika	53
2.7.	Rangkaian Magnetis	55
2.7.1.	Toroida	55
2.7.2.	Toroida Dengan Celah Udara	57
2.8.	Induktansi	58
2.9.	GGL Induksi dan Hukum Faraday	59
2.10.	Daya Listrik	60
BAB 3	METODE PENELITIAN	61
3.1.	Perancangan Sistem	61

3.2. Blok Diagram	61
3.3. Skema Rangkaian	62
3.4. <i>Flowchart</i>	63
3.5. Rangkaian Alat Simulator	65
3.5.1. Papan PCB	65
3.5.2. Kawat Tembaga dan Kumparan	66
3.5.3. MOSFET	67
3.5.4. Resistor	68
3.5.5. Kapasitor	68
3.5.6. Dioda	69
3.5.7. Kumparan Toroid	70
3.5.8. <i>Box</i> atau penutup	71
3.5.9. <i>Heatsink</i>	71
3.6. Rancangan Alat Simulator Secara Keseluruhan	72
3.7. Kipas atau <i>Fan</i>	73
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	75
4.1. Simulator Efek Induksi Elektromagnetik	75
4.1.1. Pengujian Simulator	75
4.2. Cara Kerja Simulator Menginduksi Logam uji Logam	78
4.3. Uji Logam uji Logam Feromagnetis	79
4.4. Uji Logam uji Logam Paramagnetis	87
4.5. Uji Logam uji Logam Diamagnetis	89
4.6. Analisis Perhitungan Fluks Magnetik	92
4.7. Daya Yang Dihasilkan Oleh Rangkaian	94
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	96
5.1. Kesimpulan	96
5.2. Saran	98
 DAFTAR PUSTAKA	 99
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Simbol Transistor MOSFET Mode <i>Depletion</i>	8
Gambar 2.2	Simbol Transistor MOSFET Mode <i>Enhancement</i>	9
Gambar 2.3	Skematik MOSFET tipe-n.....	10
Gambar 2.4	Struktur fisik N-MOSFET tipe <i>Enhancement</i>	12
Gambar 2.5	Grafik karakteristik MOSFET arus ID sebagai fungsi VDS dengan parameter VGS	13
Gambar 2.6	Kapasitansi Parasitik MOSFET	14
Gambar 2.7	Parameter W dan L Transistor MOS	18
Gambar 2.8	Pengaruh Nilai kR Pada Grafik Vin Terhadap Vout	19
Gambar 2.9	Fisik dioda	19
Gambar 2.10	Bias <i>diode</i>	20
Gambar 2.11	Perhitungan bias <i>diode</i>	20
Gambar 2.12	Bias positif	21
Gambar 2.13	Model pertama	22
Gambar 2.14	Model kedua	22
Gambar 2.15	Model ketiga	23
Gambar 2.16	Grafik karakteristik <i>diode riil</i>	23
Gambar 2.17	Simbol resistor tetap	29
Gambar 2.18	Simbol resistor trimpot	29
Gambar 2.19	Simbol potensiometer	29
Gambar 2.20	Prinsip dasar kapasitor	30

Gambar 2.21 Dielektrikum	32
Gambar 2.22 Rangkaian seri pada kapasitor	35
Gambar 2.23 Rangkaian parallel pada kapasitor	36
Gambar 2.24 Rangkaian RC hubungan seri dicatu oleh tegangan DC	37
Gambar 2.25 Struktur kapasitor polar	38
Gambar 2.26 Pass AC	40
Gambar 2.27 Kapasitor polar	41
Gambar 2.28 Kapasitor non-polar	41
Gambar 2.29 Prinsip kerja pemanas induksi	44
Gambar 2.30 Induksi sisa dan gaya koersif	46
Gambar 2.31 Distribusi arus konduktor yang dialiri arus AC	47
Gambar 2.32 Medan listrik \vec{E} yang menembus bidang $\Delta\vec{S}$	48
Gambar 2.33 Aliran yang menembus bidang S_1 secara sempurna dan sama sekali tidak menembus S_2	49
Gambar 2.34 Gaya listrik akibat muatan q diletakkan dalam medan listrik \vec{E}	50
Gambar 2.35 Muatan q yang bergerak didalam medan magnet, akan terkena gaya magnetis	51
Gambar 2.36 Toroida dengan N gulungan kawat beraliran listrik I	55
Gambar 2.37 Toroida dengan celah udara	57
Gambar 2.38 Dua buah solenoid yang menunjukkan perbedaan arus	58
Gambar 2.39 Fluks magnetic terhadap GGL	60
Gambar 3.1 Blok Diagram	61

Gambar 3.2	Skema rangkaian simulator efek induksi elektromagnetik	62
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> rancang bangun simulator	64
Gambar 3.4	Papan PCB	65
Gambar 3.5	Kawat Tembaga	66
Gambar 3.6	Kumparan inti udara	66
Gambar 3.7	Kumparan inti udara tampak samping	67
Gambar 3.8	MOSFET IRF540N	67
Gambar 3.9	Resistor 220 Ohm	68
Gambar 3.10	Resistor 10K Ohm	68
Gambar 3.11	Kapasitor 470 nf	69
Gambar 3.12	Dioda 2A	69
Gambar 3.13	Kumparan toroid tampak samping	70
Gambar 3.14	Kumparan toroid tampak atas	70
Gambar 3.15	<i>Box</i> untuk rangkaian	71
Gambar 3.16	<i>Heatsink</i> atau pendingin	72
Gambar 3.17	Tampak atas rangkaian yang sudah jadi	72
Gambar 3.18	Tampak bawah rangkaian yang sudah jadi	73
Gambar 3.19	Kipas elektrik 12V	73
Gambar 4.1	Simulator efek induksi elektromagnetik	75
Gambar 4.2	Pengukuran <i>output</i> rangkaian	76
Gambar 4.3	Ampere meter yang ada pada <i>power supply</i>	76
Gambar 4.4	Arus disekitar kumparan	77
Gambar 4.5	Logam uji logam yang sedang dipanaskan	78

Gambar 4.6	Logam uji pisau <i>cutter</i>	79
Gambar 4.7	Logam uji paku	80
Gambar 4.8	Suhu awal pisau <i>cutter</i>	81
Gambar 4.9	Suhu pisau <i>cutter</i> setelah dipanaskan	82
Gambar 4.10	Arus beban pisau <i>cutter</i>	82
Gambar 4.11	Suhu awal paku	84
Gambar 4.12	Kondisi paku setelah dipanaskan	84
Gambar 4.13	Suhu paku setelah dipanaskan	85
Gambar 4.14	Arus beban paku	85
Gambar 4.15	Logam uji aluminium	87
Gambar 4.16	Suhu aluminium setelah dipanaskan	88
Gambar 4.17	Arus beban logam aluminium	88
Gambar 4.18	Logam uji logam tembaga	89
Gambar 4.19	Suhu awal tembaga	90
Gambar 4.20	Suhu tembaga setelah dipanaskan	90
Gambar 4.21	Arus beban logam tembaga	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Kapasitansi Parasitik MOSFET	16
Tabel 2.2 Konstanta bahan dielektrik.....	31
Tabel 2.3 Nilai permeabilitas relatif beberapa material	54
Tabel 2.4 Resistivitas dan koefisien (pada suhu 20 °C)	55
Tabel 4.1 Kenaikan suhu pada logam uji pisau <i>cutter</i>	83
Tabel 4.2 Kenaikan suhu pada logam uji paku	86

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi listrik dalam kehidupan manusia merupakan hal yang tidak dapat lagi dipisahkan. Sejak konversi energi listrik ditemukan, manusia berlomba - lomba untuk menciptakan alat yang dapat mempermudah pekerjaan sehari - hari dengan menggunakan energi listrik. Efisiensi dalam segi operasional maupun biaya menjadi pertimbangan utama untuk menggunakan energi listrik ini. Selain itu dalam beberapa studi dan analisa energi listrik diklaim sebagai sumber energi yang paling ramah terhadap lingkungan. Sehingga tidak heran jika kemudian energi listrik menjadi hal paling utama dalam memenuhi kebutuhan energi dalam kehidupan sehari-hari. Bukan hanya untuk kebutuhan konsumtif saja tetapi juga kebutuhan yang bersifat produktif.

Salah satu revolusi penggunaan energi listrik yang dinilai cukup memberi dampak yang signifikan dalam kebutuhan yang produktif adalah dalam industri peleburan dan pengecoran logam. Penggunaan energi listrik yang diaplikasikan melalui sistem induksi bukan saja memberikan kemudahan dalam proses produksi, tetapi juga keramahan terhadap lingkungan membuat sistem ini dipakai oleh perusahaan yang bergerak di bidang pengecoran logam (*foundry*) beralih menggunakan teknologi yang sekarang ini lebih dikenal sebagai *induction heating* atau pemanasan induksi.

Pemanasan induksi ini telah digunakan dalam proses peleburan logam, dimana itu merupakan sistem pemanasan yang sangat cepat dan efisien. Pemanasan logam

menggunakan mesin pemanas induksi dilakukan dengan meletakkan logam di dalam kumparan (*coil*) yang dialiri arus listrik sehingga timbul medan magnet yang menghasilkan panas. Pemanasan secara terus menerus pada logam hingga suhunya mencapai fase transformasi dan disertai dengan proses pendinginan cepat dapat menghasilkan pengerasan pada permukaan logam.

Hal inilah yang tidak dapat ditemukan pada pemanasan logam yang dilakukan secara tradisional. Karena pemanasan logam yang dilakukan di dalam tungku api atau dengan cara dipanaskan secara langsung oleh api, dapat dikatakan kurang ramah lingkungan dan proses pemanasannya dapat memakan waktu yang cukup lama.

Pemanasan logam dengan cara dibakar juga kurang efektif untuk mengkonsentrasikan panas pada satu titik yang kita inginkan. Sedangkan pemanasan logam dengan cara induksi magnetik, kita dapat mengkonsentrasikan panas pada satu titik tertentu tanpa mempengaruhi titik yang tidak kita inginkan untuk dipanaskan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu simulator efek induksi elektromagnetik sebagai media praktikum di laboratorium teknik elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan. Sistem rangkaian berbasis Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET) dirancang untuk menghasilkan arus AC pada kumparan dengan frekuensi tinggi. Frekuensi kerja yang tinggi akan memberikan pemanasan yang terkonsentrasi pada permukaan logam, sehingga logam dapat memanaskan akibat induksi dari medan elektromagnetik.

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka diangkat sebuah penelitian dengan judul **“Rancang Bangun Simulator Efek Induksi**

Elektromagnetik Pada Logam Sebagai Media Praktikum di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang simulator efek induksi elektromagnetik yang dapat digunakan sebagai media praktikum di laboratorium ?
2. Bagaimana mengetahui cara kerja induksi elektromagnetik sebagai media pemanas pada logam ?
3. Bagaimana mengetahui suhu yang didapat pada logam uji feromagnetis, logam uji paramagnetis dan logam uji diamagnetis pada saat pemanasan induksi ?
4. Bagaimana cara menyusun modul praktikum efek induksi elektromagnetik serta panduan penggunaan simulator di laboratorium teknik elektro UNPAB ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hanya membahas tentang proses induksi yang dimanfaatkan sebagai alat pemanasan induksi atau *induction heating*.
2. Hanya membahas proses pemanasan jenis logam yang diuji.
3. Hanya menekankan pada proses rancang bangun rangkaian simulator.
4. Tidak membahas lebih lanjut mengenai arus *eddy*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai media praktikum diantaranya yaitu :

1. Untuk merancang simulator efek induksi elektromagnetik yang dapat digunakan sebagai media praktikum di laboratorium.
2. Untuk mengetahui cara kerja induksi elektromagnetik sebagai media pemanas pada logam.
3. Untuk mengetahui suhu yang didapat pada logam uji feromagnetis, logam uji paramagnetis dan logam uji diamagnetis pada saat pemanasan induksi.
4. Untuk memahami cara menyusun modul praktikum efek induksi elektromagnetik serta panduan penggunaan simulator di laboratorium teknik elektro UNPAB.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan dari uraian diatas, maka manfaat dari penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk media praktikum mahasiswa saat membahas tentang induksi elektromagnetik.
2. Untuk mengetahui perbedaan efek induksi elektromagnetik pada setiap logam uji.
3. Dapat membantu mahasiswa mengetahui bagaimana pemanasan induksi bekerja melalui simulator efek induksi elektromagnetik.
4. Dengan adanya simulator ini, mahasiswa diharapkan paham dan mengerti mengenai pemanfaatan dari induksi elektromagnetik.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan skripsi ini akan disusun secara sistematis yang terdiri atas bagian–bagian yang saling berhubungan sehingga diharapkan akan mudah dipahami dan dapat diambil manfaatnya.

BAB 1 : PENDAHULUAN

Berisi Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

BAB 2 : LANDASAN TEORI

Pada Bab ini berisi tentang konsep yang mendasari prinsip kerja induksi elektromagnetik yang dimanfaatkan sebagai pelebur logam di industri dan akan diterapkan sebagai media praktikum di laboratorium. Serta untuk mengetahui dasar teori dari proses pemanasan induksi.

BAB 3 : METODE PERANCANGAN

Bagian ini memuat spesifikasi perancangan alat yang akan dibuat, termasuk analisa permasalahan, *flowchart*, serta permodelan/perancangan alat.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil yang diperoleh dari alat serta pembahasan mengenai pengolahan data yang didapat dari perancangan.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian terakhir ini berisi kesimpulan dan saran dari bab – bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi referensi dan kutipan buku, jurnal, dan lain – lain.

LAMPIRAN

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Teori Dasar MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silikon digunakan sebagai landasan (*substrat*) dari penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). Selanjutnya transistor dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silikon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri dari kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah.

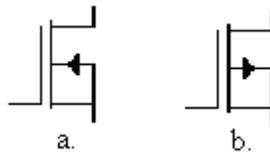
2.1.1. Jenis – Jenis MOS

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silicon ini yang akan digunakan sebagai landasan (*substrat*) penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). Selanjutnya transistor ini dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silicon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri kanal, sehingga transistor MOSFET

akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah. Bila dilihat dari cara kerjanya, transistor MOS dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Transistor Mode Pengosongan (*Transistor Mode Depletion*)

Pada transistor mode depletion, antara drain dan source terdapat saluran yang menghubungkan dua terminal tersebut, dimana saluran tersebut mempunyai fungsi sebagai saluran tempat mengalirnya electron bebas. Lebar dari saluran itu sendiri dapat dikendalikan oleh tegangan gerbang. Transistor MOSFET mode pengosongan terdiri dari tipe-N dan tipe-P, simbol transistor ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



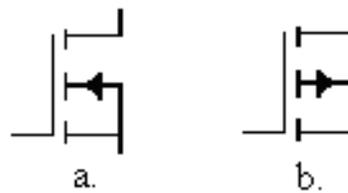
Gambar 2.1 Simbol Transistor MOSFET Mode Depletion

(a). N-Channel Depletion (b). P-Channel Depletion

Sumber : Eka Maulana, 2014

2. Transistor Mode peningkatan (*Transistor Mode Enhancement*)

Transistor mode enhancement ini pada fisiknya tidak memiliki saluran antara *drain* dan *source* nya karena lapisan bulk meluas dengan lapisan SiO₂ pada terminal gate. Transistor MOSFET mode peningkatan terdiri dari tipe-N dan tipe-P, simbol transistor ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Simbol Transistor MOSFET Mode *Enhancement*

(a). *N-Channel Enhancement* (b). *P-Channel Enhancement*

Sumber : Eka Maulana, 2014

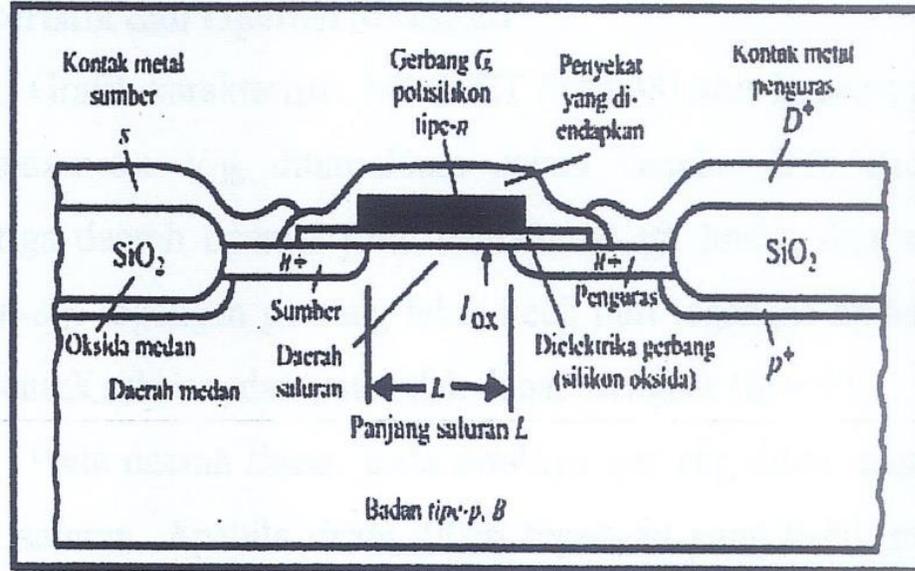
Dilihat dari jenis saluran yang digunakan, transistor MOSFET dapat dikelompokkan menjadi tiga, antara lain:

1. *NMOS*

Transistor NMOS terbuat dari substrat dasar tipe p dengan daerah *source* dan *drain* didifusikan tipe n+ dan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe n. NMOS yang umumnya banyak digunakan adalah NMOS jenis *enhancement*, dimana pada jenis ini source NMOS sebagian besar akan dihubungkan dengan $-V_{ss}$ mengingat struktur dari MOS itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan $+V_{dd}$. Dalam aplikasi gerbang NMOS dapat dikombinasikan dengan resistor, PMOS, atau dengan NMOS lainnya sesuai dengan karakteristik gerbang yang akan dibuat. Sebagai contoh sebuah NMOS dan resistor digabungkan menjadi sebuah gerbang NOT.

Negatif MOS adalah MOSFET yang mengalirkan arus penguras sumber menggunakan saluran dari bahan electron, sehingga arus yang mengalir jika tegangan gerbang lebih positif dari substrat dan nilai mutlaknya lebih besar

dari V_T (*Voltage Treshold*). Skematik MOSFET tipe-n ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skematik MOSFET tipe-n

Sumber: Eka Maulana, 2014

2. PMOS

Transistor PMOS terbuat dari substrat dasar tipe-n dengan daerah *source* dan *drain* didifusikan tipe p+ dan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe p. Positif MOS adalah MOSFET yang mengalirkan arus pengeras sumber melalui saluran positif berupa *hole*, dimana arus akan mengalir jika tegangan gerbang lebih negative terhadap substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari V_T .

PMOS yang umumnya banyak digunakan adalah PMOS jenis *enhancement*, dimana pada jenis ini *source* PMOS sebagian besar akan dihubungkan dengan +Vdd mengingat struktur dari MOS itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan -Vss. Dalam aplikasi

gerbang PMOS dapat dikombinasikan dengan resistor, NMOS, atau dengan PMOS lainnya sesuai dengan karakteristik gerbang yang akan dibuat. Sebagai contoh sebuah PMOS dan resistor digabungkan menjadi sebuah gerbang NOT.

3. *CMOS (Complementary MOS)*

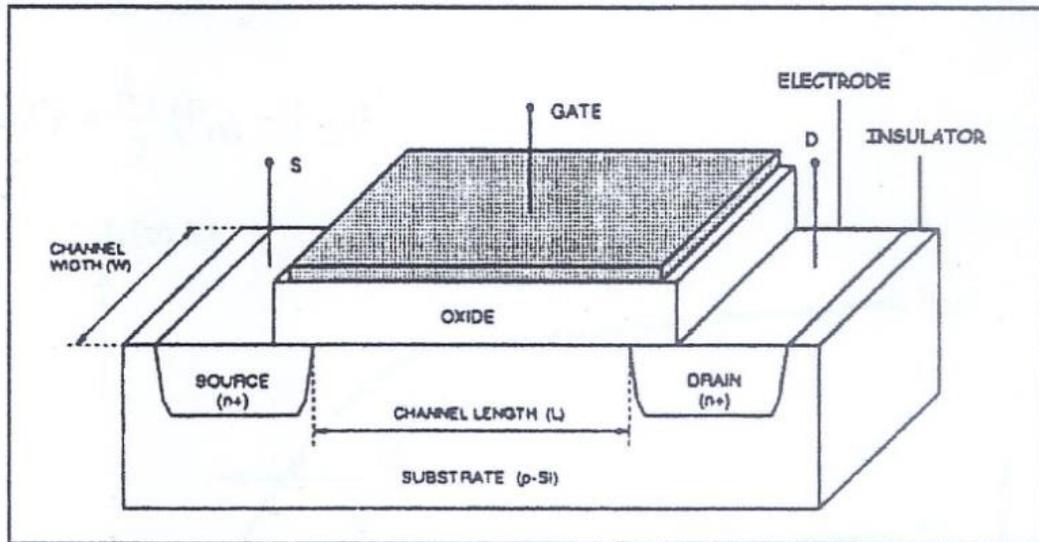
MOSFET tipe *complementary* ini mengalirkan arus penguras sumber melalui saluran tipe-n dan tipe-p secara bergantian sesuai dengan tegangan yang dimasukkan pada gerbangnya (*gate*).

2.1.2. Bentuk Dasar MOSFET

1. *NMOS tipe Enhancement*

Struktur transistor NMOS terdiri atas substrat tipe-p dengan daerah *source* dan *drain* diberi difusi n+. Diantara daerah source dan drain terdapat suatu daerah sempit dari substrat p yang disebut *channel* yang ditutupi oleh lapisan tang penghantar (isolator) yang terbuat dari SiO₂. Panjang *channel* disebut *Length* (L) dan lebarnya disebut *Width* (W). Gerbang (*gate*) terbuat dari polisilikon dan ditutup oleh penyekat yang diendapkan.

Struktur transistor NMOS terdiri atas substrat tipe-p dan tipe-n. kedua parameter ini sangat penting untuk mengontrol MOSFET. Parameter yang tidak kalah penting adalah ketebalan lapisan oksida yang menutupi daerah *channel* (*tox*). Di atas lapisan *insulating* tersebut didepositkan *polycrystalline silicon (polysilicone) electrode*, yang disebut dengan gerbang (*gate*). struktur fisik NMOSFET tipe *enhancement* ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur fisik N-MOSFET tipe *Enhancement*

Sumber : Eka Maulana, 2014

2. PMOS tipe *Enhancement*

Struktur transistor PMOS terdiri atas substrat tipe-n dengan daerah *source* dan *drain* diberi difusi p+, dan untuk kondisi yang lain adalah sama dengan NMOS.

2.1.3. Karakteristik dan Operasi MOSFET

Grafik karakteristik MOSFET (NMOS) arus I_D sebagai fungsi V_{DS} dengan parameter V_{GS} ditunjukkan dalam Gambar 2.5. Pada MOSFET terdapat tiga daerah operasi yaitu daerah *cut-off*, linear dan saturasi. Pada daerah *cut-off*, tegangan gerbang lebih kecil dari tegangan ambang, sehingga tidak terbentuk saluran, dan arus tidak dapat mengalir ($I_D = 0$).

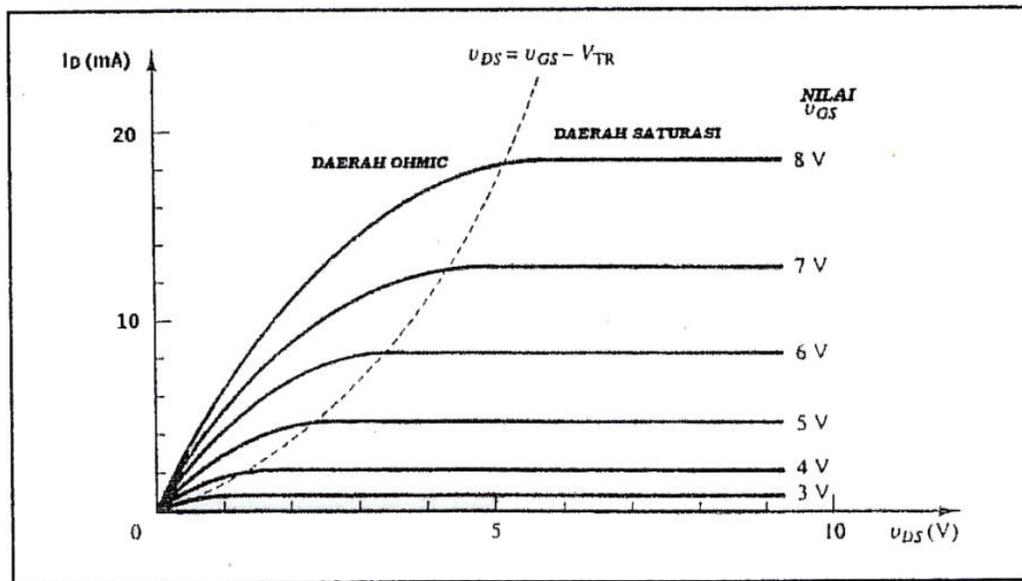
Pada daerah linear, pada awalnya gerbang diberi tegangan hingga terbentuk saluran. Apabila *drain* diberi tegangan yang kecil, maka elektron akan mengalir dari

source menuju *drain* atau arus akan mengalir dari *drain* ke *source*. Selanjutnya saluran tersebut akan bertindak sebagai suatu tahanan, sehingga arus *drain* (I_D) akan sebanding dengan tegangan *drain*.

$$I_D(LIN) = K_n \left[(V_{GS} - V_T)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (1)$$

Apabila tegangan *drain* tersebut ditingkatkan hingga tegangan pada *gate* menjadi netral, lapisan inversi saluran pada sisi *drain* akan hilang, dan mencapai suatu titik yang disebut titik *pinch-off*. Pada titik *pinch-off* ini merupakan permulaan dari daerah kerja saturasi. Apabila melebihi titik ini, peningkatan tegangan *drain* tidak akan mengubah arus *drain*, sehingga arus *drain* tetap (konstan).

$$I_D(SAT) = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TN})^2 \quad (2)$$



Gambar 2.5 Grafik karakteristik MOSFET arus I_D sebagai fungsi V_{DS} dengan parameter V_{GS}

Sumber: Eka Maulana, 2014

Bentuk operasi untuk MOSFET saluran-p adalah sama seperti pada transistor MOSFET saluran-n. pernyataan arus *drain* identik dengan polaritas tegangan dan arah arus terbalik.

a. *cutoff* = $V_{SG,P} \leq -V_{TP}$

$$I_D(\text{OFF}) = 0$$

b. *Linear* = $V_{SG,P} \geq -V_{TP}$, dan $V_{SD,P} \leq V_{SG,P} + V_{TP}$

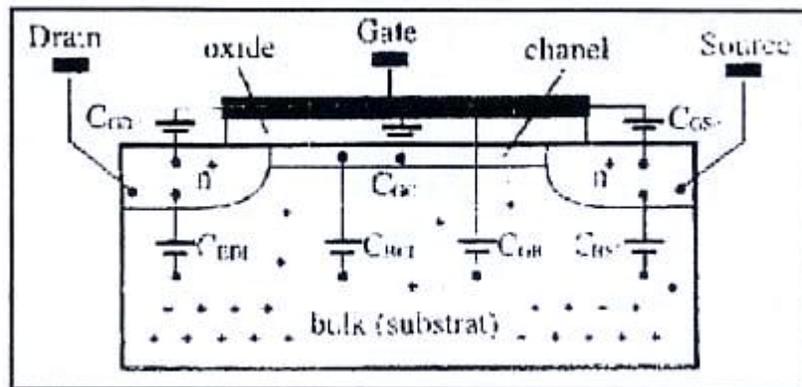
$$I_{D,p}(\text{LIN}) = k_p \left[(V_{SG,P} - V_{TP})V_{SD,P} - \frac{V_{SD,P}^2}{2} \right] \quad (3)$$

c. *Saturasi* = $V_{SG,P} \geq -V_{TP}$, dan $V_{SD,P} \geq V_{SG,P} + V_{TP}$

$$I_D(\text{SAT}) = \frac{k_p}{2} (V_{SG,P} - V_P)^2 \quad (4)$$

2.1.4. Kapasitansi Transistor MOSFET

Semua waktu respon alih MOSFET digital sebanding dengan kapasitansi keluaran (C_{out}). Minimalisasi C_{out} menjadi objek terpenting dalam perancangan rangkaian logika berkecepatan tinggi. Kapasitansi serpih MOSFET akan dipertimbangkan dalam proses fabrikasi dan ukuran *layout*.



Gambar 2.6 Kapasitansi Parasitik MOSFET

Sumber: Eka Maulana, 2014

Beberapa struktur kapasitansi terkumpul (*lumped*) setara yang dikenalkan sebagai model adalah *non-linier* (tergantung tegangan) ditunjukkan dalam Gambar 2.6 Perhitungan hanya dalam perkiraan rata-rata sehingga analisis yang lebih akurat memerlukan simulasi komputer.

Walaupun tidak dapat ditentukan dengan pasti simpul keluaran kapasitansi (C_{out}), tetapi perkiraan dapat diperoleh relatif langsung dengan pemodelan. Ini dilakukan dengan mengisolasi kapasitansi intrinsik. Kapasitansi MOSFET yang dibuat akan mendekati kesesuaian dengan setiap transistor dalam rangkaian. Nilai C_{out} untuk perantaraan gerbang logika dapat dibuat dengan menggabungkan kapasitansi MOSFET dengan kapasitansi saluran C_{out} . Karena keduanya adalah paralel, maka dapat langsung dijumlahkan dengan C_{out} sebagai kapasitansi tersendiri.

Besar kapasitansi C_{out} menentukan waktu tunda rambatan dan besar perkalian daya tunda (*power delay product*). Kapasitansi dalam model ditentukan juga oleh ukuran geometris dari panjang dan lebar gerbang serta ukuran panjang difusi muatan ion dalam saluran dan sumber. Nilai kapasitansi parasitik MOSFET ditunjukkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai Kapasitansi Parasitik MOSFET

C	Daerah Kerja		
	Cut-off	Linear	Jenuh
C_{GD}	$C_{ox}WL_D$	$C_{ox}WL_D + \frac{1}{2}WLC_{ox}$	$C_{ox}WL_D$
C_{GS}	$C_{ox}WL_D$	$C_{ox}WL_D + \frac{1}{2}WLC_{ox}$	$C_{ox}WL_D + \frac{1}{2}WLC_{ox}$
C_{BG}	$C_{ox}WL$	0	0
C_{BD}	C_{BDI}	$C_{BDI} + C_{BC} \frac{1}{2}$	C_{BDI}
C_{BS}	C_{BSI}	$C_{BSI} + C_{BC} \frac{1}{2}$	$C_{BSI} + \frac{2}{3}C_{BCI}$

Sumber: Eka Maulana, 2014

Panjang fisik gerbang dirumuskan dengan:

$$L = L_s + L_d + L \quad (5)$$

Dengan L adalah panjang sebenarnya (panjang efektif) dari gerbang MOSFET (di antara daerah $n+$ saluran dan sumber). L_s dan L_d memberikan jarak *overlap* pada gerbang saluran untuk membuat $L_s > 0$ dan $L_d > 0$ digunakan untuk operasional alat dan memastikan lapisan inversi dapat membuat hubungan dengan kedua daerah $n+$ saluran dan sumber. Kapasitansi *overlap* dapat dihitung dengan:

$$C_{ols} = C_{ox}WL_s C_{old} = C_{ox}WL_d \quad (6)$$

Dengan :

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}} \quad (7)$$

Cols adalah kapasitansi *overlap source* dan Cold adalah kapasitansi *overlap drain*.

Dengan Cols dan Cox tetap sesuai dengan ukuran. Untuk kapasitansi yang lain adalah Cgs, Cgd, Cgb (kapasitansi parasit setiap terminal). Masing-masing kapasitor tersebut dipengaruhi Oleh fungsi tegangan gerbang dan tegangan sumber, $f(VGS, VGD)$

dengan persamaan:

$$Cgs = CoxWLf1(VGS, VGD)$$

$$Cgd = CoxWLf2(VGS, VGD)$$

Nilai $f1$ dan $f2$ adalah fungsi yang menyatakan ketergantungan tidak-linier pada tegangan dan Cgb adalah kapasitansi gerbang-badan berisi muatan tipe-p tergantung terhadap tegangan, dinyatakan sebagai:

$$Cgd = CoxWLf3(VGS, VGD, VSB) \quad (8)$$

Dengan $f3$ termasuk efek bias badan melalui VSB. Fungsi tegangan $f1$, $f2$, dan $f3$ dapat dianalisis langsung, dengan asumsi langsung terhadap perubahan dalam kanal (lapisan inversi). Perhitungan nilai rangkaian perlu kombinasi kapasitansi terhadap kapasitansi overlap. Kapasitansi total diberikan:

$$CG = CoxWL \quad (9)$$

Apabila L adalah panjang gerbang. Total kapasitansi gerbang-sumber dinyatakan:

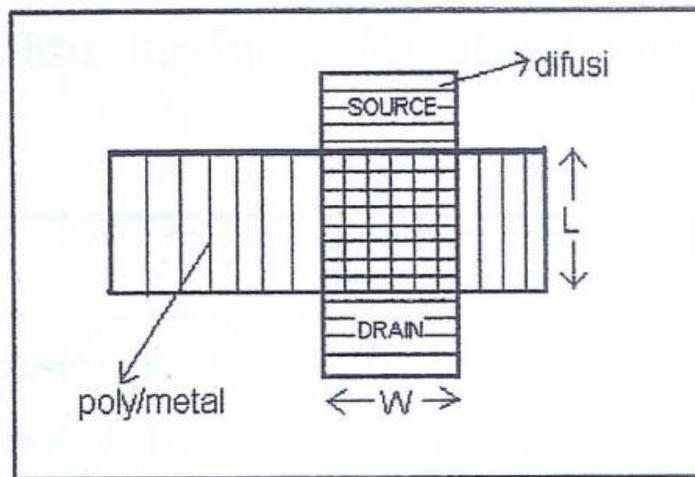
$$CGD = Cols + Cgs \quad (10)$$

Sedangkan total kapasitansi gerbang saluran:

$$CGD = Cols + Cgd \quad (11)$$

2.1.5. Lebar dan Panjang (Width dan Length)

Transistor MOS dapat dibuat dengan menyilangkan sebuah poly atau logam (metal) dengan sebuah difusi seperti dalam Gambar 2.7. Masing- masing *poly* atau metalan difusi memiliki luas yang terdiri atas lebar (*Width*) dan panjang (*Length*) dan disimbolkan dengan W dan L. Nilai W dan L ini akan mempengaruhi dimensi dan beberapa parameter lain dalam perancangan.

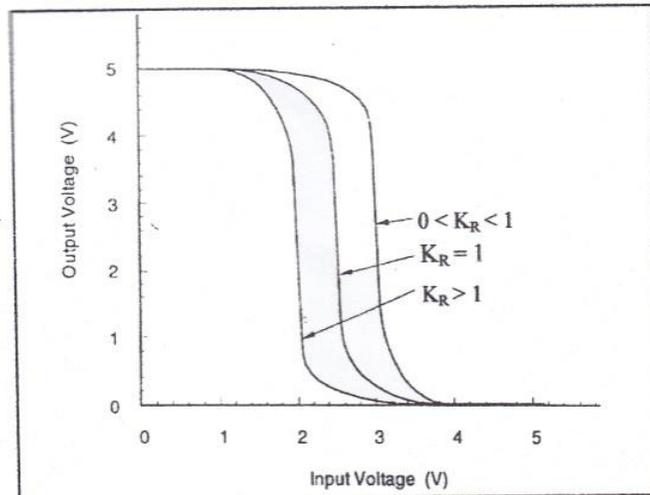


Gambar 2.7 Parameter W dan L Transistor MOS

Sumber : Eka Maulana, 2014

Ukuran W dan L ini merupakan parameter terpenting dalam sebuah perancangan Transistor MOS. Perbedaan perbandingan ukuran W dan L diusahakan harus sekecil mungkin untuk memperoleh kerapatan rangkaian dan kecepatan proses yang tinggi, yang akhirnya akan menghasilkan performansi yang tinggi. W_n dan L_n merupakan lebar untuk difusi p+ dan polisilikon dari transistor PMOS sedangkan W_p dan L_p menunjukkan lebar untuk difusi n+ dan polisilikon dari transistor NMOS. Nilai k_R memberikan pengaruh terhadap kesimetrisan grafik alih tegangan antara tegangan

keluaran dan masukan pada gerbang logika MOS. Gambar 2.9 menunjukkan pengaruh k_R terhadap kesimetrisan suatu grafik karakteristik alih tegangan.



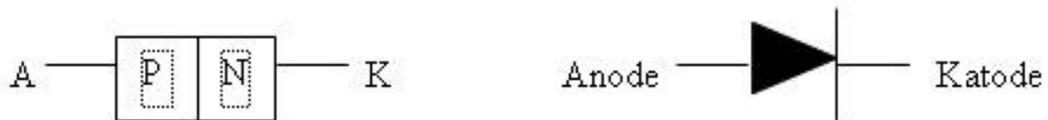
Gambar 2.8 Pengaruh Nilai k_R Pada Grafik V_{in} Terhadap V_{out}

Sumber : Eka Maulana, 2014

Suatu gerbang dikatakan memiliki grafik karakteristik alih tegangan yang simetris apabila nilai $k_R = 1$.

2.2. Dioda

Dioda adalah komponen elektronika semikonduktor yang memiliki 1 buah junction, sering disebut sebagai komponen 2 lapis (lapis N dan P) dan secara fisik digambarkan :

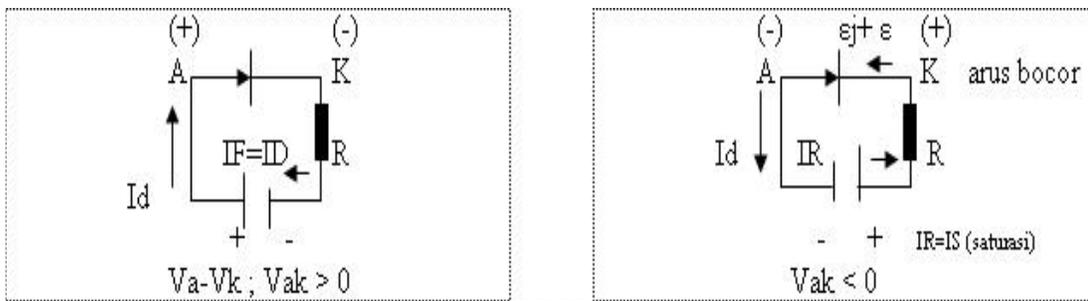


Gambar 2.9 Fisik dioda

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

Bias diode adalah cara pemberian tegangan luar ke terminal *diode*. Apabila A diberi tegangan positif dan K diberi tegangan *negative* maka bias tersebut dikatakan bias maju (*forward bias*).

Pada kondisi bias ini akan terjadi aliran arus dengan ketentuan beda tegangan yang diberikan ke *diode* atau $V_A - V_K > V_j$ dan selalu positif. Sebaliknya apabila A diberi tegangan *negative* dan K diberi tegangan positif, arus yang mengalir (I_R) jauh lebih kecil dari pada kondisi bias maju. Bias ini dinamakan bias mundur (*reverse bias*) pada arus maju (I_F) diperlakukan baterai tegangan yang diberikan dengan I_F tidak terlalu besar maupun tidak ada peningkatan I_R yang cukup significant.



Gambar 2.10 Bias diode

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

$\begin{array}{c} -3V \quad \text{---} \quad \quad \text{---} \quad -4V \\ \quad \quad \quad A \quad \quad K \\ V_{ak} = V_A - V_K \\ = -3 - (-4) \\ = 1 \text{ volt (VF)} \end{array}$	$\begin{array}{c} +3V \quad \text{---} \quad \quad \text{---} \quad +5V \\ \quad \quad \quad A \quad \quad K \\ V_{ak} = V_A - V_K \\ = 3 - 5 \\ = -2 \text{ volt (VR)} \end{array}$
---	--

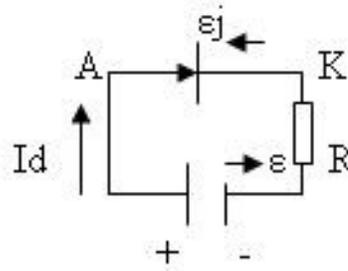
Gambar 2.11 Perhitungan bias diode

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

2.2.1. Bias Diode

Bias ada 2 macam, yaitu bias positif atau bias maju (*forward bias*) dan bias negatif atau bias mundur (*reverse bias*).

Pada kondisi bias positif, anoda lebih positif dari katoda.



Gambar 2.12 Bias positif

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

ϵ_j = medan listrik yang ada di junction

ϵ = medan listrik sumber bias dari luar (medan luar)

Apabila $\epsilon > \epsilon_j$ maka akan terjadi arus difusi didalam diode untuk hole dari P ke N untuk electron dari N ke P. Arus difusi didalam diode tersebut diimbangi oleh aliran arus listrik dari kutub positif sumber ke diode dan berakhir ke kutub *negative* sumber.

Dikatakan diode menghantar pada kondisi tegangan anode-katoda berkisar V_{ji} yang disebut dengan *cut in threshold* untuk Si V_{ji} 0.6 – 0.7v Ge 0.3 – 0.4

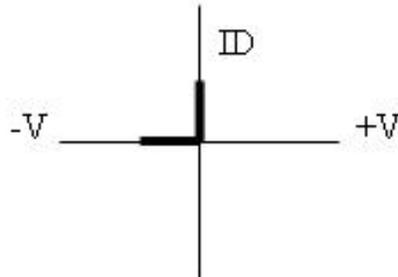
Lazimnya tegangan *anode-katode* sedikit diatas V_{ji} . Pada bias positif, *diode* bersifat serupa konduktor dengan nilai hambatan yang disebut hambatan maju (R_F). Nilai $R_F = R_P + R_N$, R_P dan R_N disebut hambatan bulk.

Karakteristik arus tegangan diode dapat ditinjau melalui 2 pendekatan :

1. *Diode Ideal*
2. *Diode Riil*

2.2.2. Diode Ideal

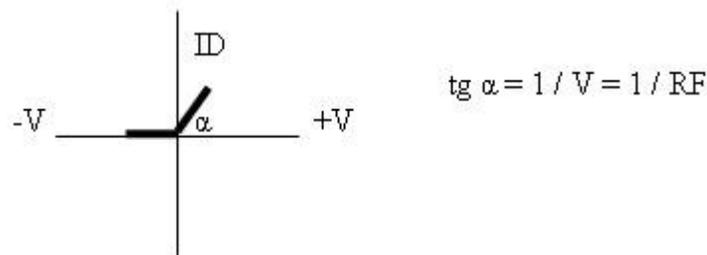
Untuk diode ideal, didekati melalui pendekatan setengah linier (*Piece Wise Linier*) ada 3 pendekatan, yang didekati secara grafis.



Gambar 2.13 Model pertama

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

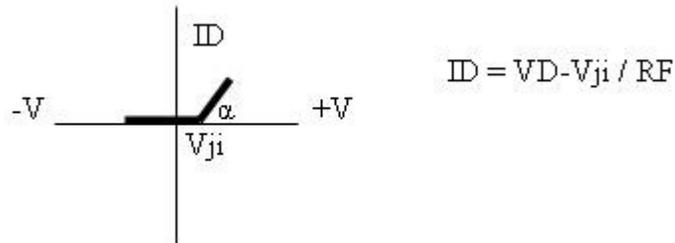
Disini *diode* dimodelkan sebagai saklar ideal yaitu suatu saklar yang memiliki cirri untuk kondisi tertutup $R=0$ dan untuk kondisi terbuka $R= \infty$. Untuk bias *negative diode* dianggap sebagai isolator dengan nilai hambatan $R_{off} \gg R_{on}$. Pada model ini untuk bias positif sebagai saklar tertutup (on) dan pada bias *negative* sebagai saklar terbuka (*off*), kedua kondisi bias dilukiskan pada grafik I/V . Model kedua adalah untuk bias positif sebagai saklar *non-ideal* pada kondisi tertutup $R \neq 0$. Untuk bias *negative* sebagai saklar ideal. Kedua bias tersebut dilukiskan sebagai berikut :



Gambar 2.14 Model kedua

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

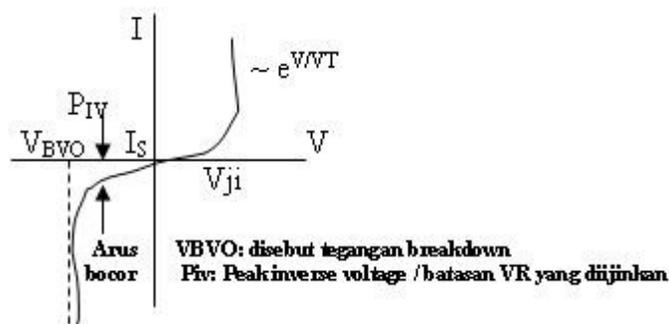
Untuk model ketiga bias positif sebagai saklar non-ideal yang tertutup terpasang seri dengan sumber tegangan V_{ji} . Untuk bias *negative* sebagai saklar ideal terbuka dengan grafik sebagai berikut :



Gambar 2.15 Model ketiga
Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

2.2.3. Diode Riil

Model *diode riil*, didekati oleh pendekatan ke-3 dari diode ideal dengan pendekatan tambahan, pada bias *negative* nilai $RR \neq \sim$ sehingga terjadi arus *reverse* yang disebut arus bocor atau arus saturasi. Umumnya dalam orde nanoampere. Ditulis sebagai I_B atau I_S , arus I_S , dipandang sebagai gerakan pembawa minoritas nilai I_S berubah terhadap suhu atau $I_S = aT^3$. Untuk bias positif terjadi hubungan eksponensial antara arus dan tegangan. $I_D \approx e^{V/VT}$, VT =tegangan termal = kT/q . Grafik karakteristik diode riil digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.16 Grafik karakteristik diode riil
Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

Pada nilai $V_R = V_{BVO}$, terjadi peningkatan I_s yang luar biasa besarnya. Arus diode pada kondisi riil, umumnya dinyatakan sebagai berikut : $I_D = I_S(e^{V/V_T} - 1)$.

2.2.4. Macam – Macam Dioda

Secara umum semua dioda memiliki konstruksi dan prinsip kerja yang sama. Semua dioda terbentuk oleh sambungan PN yang secara fisik dioda dikenali melalui nama elektrodanya yang khas yaitu : anoda dan katoda.

Dioda dibedakan menurut fungsinya, disini dalam representasi simbolik dilukiskan secara berbeda demikian pula karakteristiknya.

1. Dioda rectifier (penyearah)
2. Dioda zener (regulator)
3. LED (*display*)
4. *Fotodiode* (sensor cahaya)
5. *Schottky* (saklar kecepatan tinggi)
6. *Tunnel* (osilator)

2.3. Resistor

Resistor adalah komponen dasar elektronika yang digunakan untuk membatasi jumlah arus yang mengalir dalam satu rangkaian. Sesuai dengan namanya resistor bersifat resistif dan umumnya terbuat dari bahan karbon. Dari hukum Ohms diketahui, resistansi berbanding terbalik dengan jumlah arus yang mengalir melaluinya. Satuan resistansi dari suatu resistor disebut Ohm atau dilambangkan dengan simbol Ω (Omega).

Untuk menyatakan resistansi sebaiknya disertakan batas kemampuan dayanya. Berbagai macam resistor di buat dari bahan yang berbeda dengan sifat-sifat yang

berbeda. Spesifikasi lain yang perlu diperhatikan dalam memilih resistor pada suatu rancangan selain besar resistansi adalah besar watt-nya. Karena resistor bekerja dengan dialiri arus listrik, maka akan terjadi disipasi daya berupa panas sebesar $W=I^2R$ watt. Semakin besar ukuran fisik suatu resistor bisa menunjukkan semakin besar kemampuan disipasi daya resistor tersebut. Umumnya di pasar tersedia ukuran 1/8, 1/4, 1, 2, 5, 10 dan 20 watt. Resistor yang memiliki disipasi daya 5, 10 dan 20 watt umumnya berbentuk kubik memanjang persegi empat berwarna putih, namun ada juga yang berbentuk silinder. Tetapi biasanya untuk resistor ukuran jumbo ini nilai resistansi dicetak langsung dibadannya, misalnya 100Ω5W.

Resistor dalam teori dan prakteknya di tulis dengan perlambangan huruf R. Dilihat dari ukuran fisik sebuah resistor yang satu dengan yang lainnya tidak berarti sama besar nilai hambatannya. Nilai hambatan resistor di sebut resistansi.

2.3.1. Jenis – jenis Resistor

Berdasarkan jenis dan bahan yang digunakan untuk membuat resistor dibedakan menjadi resistor kawat, resistor arang dan resistor oksida logam. Sedangkan resistor arang dan resistor oksida logam berdasarkan susunan yang dikenal resistor komposisi dan resistor film.

Namun demikian dalam perdagangan resistor-resistor tersebut dibedakan menjadi resistor tetap (*fixed resistor*) dan resistor variabel. Penggunaan untuk daya rendah yang paling utama adalah jenis tahanan tetap yaitu tahanan campuran karbon yang dicetak. Ukuran relatif semua tahanan tetap dan tidak tetap berubah terhadap rating daya (jumlah watt), penambahan ukuran untuk meningkatkan rating daya agar dapat mempertahankan arus dan rugi lesapan daya yang lebih besar.

Tahanan yang berubah-ubah, seperti yang tercantum dari namanya, memiliki sebuah terminal tahanan yang dapat diubah harganya dengan memutar dial, knob, ulir atau apa saja yang sesuai untuk suatu aplikasi. Mereka bisa memiliki dua atau tiga terminal, akan tetapi kebanyakan memiliki tiga terminal. Jika dua atau tiga terminal digunakan untuk mengendalikan besar tegangan, maka biasanya di sebut potensiometer. Meskipun sebenarnya piranti tiga terminal tersebut dapat digunakan sebagai rheostat atau potensiometer (tergantung pada bagaimana dihubungkan), ia biasa disebut potensiometer bila daftar dalam majalah perdagangan atau diminta untuk aplikasi khusus.

Kebanyakan potensiometer memiliki tiga terminal. Dial, knob, dan ulir pada tengah kemasannya mengendalikan gerak sebuah kontak yang dapat bergerak sepanjang elemen hambatan yang dihubungkan antara dua terminal luar. Tahanan antara terminal luar selalu tetap pada harga penuh yang terdapat pada potensiometer, tidak terpengaruhi pada posisi lengan geser. Dengan kata lain tahanan antar terminal luar untuk potensiometer $1M\Omega$ akan selalu $1M\Omega$, tidak ada masalah bagaimana kita putar elemen kendali. Tahanan antara lengan geser dan salah satu terminal luar dapat diubah-ubah dari harga minimum yaitu nol ohm sampai harga maksimum yang sama dengan harga penuh potensiometer tersebut. Jumlah tahanan antara lengan geser dan masing-masing terminal luar harus sama dengan besar tahanan penuh potensiometer. Apabila tahanan antara lengan geser dan salah satu kontak luar meningkat, maka tahanan antara lengan geser dan salah satu terminal luar yang lain akan berkurang.

Macam-macam resistor tetap :

1. *Metal Film Resistor*
2. *Metal Oxide Resistor*
3. *Carbon Film Resistor*
4. *Ceramic Encased Wirewound*
5. *Economy Wirewound*
6. *Zero Ohm Jumper Wire*
7. *SIP Resistor Network*

Macam-macam resistor variabel :

1. Potensiometer
 - a. Linier
 - b. Logaritmis
2. Trimer-Potensiometer
3. Thermister
 - a. NTC (*Negative Temperature Coefisient*)
 - b. PTC (*Positive Temperature Coefisient*)

2.3.2. Karakteristik Resistor

Karakteristik berbagai macam resistor dipengaruhi oleh bahan yang digunakan. Resistansi resistor komposisi tidak stabil disebabkan pengaruh suhu, jika suhu naik maka resistansi turun. Kurang sesuai apabila digunakan dalam rangkaian elektronika tegangan tinggi dan arus besar. Resistansi sebuah resistor komposisi berbeda antara kenyataan dari resistansi nominalnya. Jika perbedaan nilai sampai 10 % tentu kurang baik pada rangkaian yang memerlukan ketepatan tinggi.

Resistor variabel resistansinya berubah-ubah sesuai dengan perubahan dari pengaturannya. Resistor variabel dengan pengatur mekanik, pengaturan oleh cahaya, pengaturan oleh temperature suhu atau pengaturan lainnya.

Jika perubahan nilai, resistansi potensiometer sebanding dengan kedudukan kontak gesernya maka potensiometer semacam ini disebut potensiometer linier. Tetapi jika perubahan nilai resistansinya tidak sebanding dengan kedudukan kontak gesernya disebut potensio logaritmis.

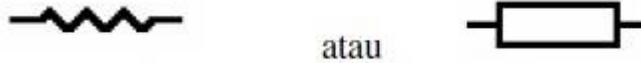
Secara teori sebuah resistor dinyatakan memiliki resistansi murni akan tetapi pada prakteknya sebuah resistor mempunyai sifat tambahan yaitu sifat induktif dan kapasitif. Pada dasarnya bernilai rendah resistor cenderung mempunyai sifat induktif dan resistor bernilai tinggi resistor tersebut mempunyai sifat tambahan kapasitif.

Suhu memiliki pengaruh yang cukup berarti terhadap suatu hambatan. Didalam penghantar ada electron bebas yang jumlahnya sangat besar sekali, dan sembarang energi panas yang dikenakan padanya akan memiliki dampak yang sedikit pada jumlah total pembawa bebas. Kenyataannya energi panas hanya akan meningkatkan intensitas gerakan acak dari partikel yang berada dalam bahan yang membuatnya semakin sulit bagi aliran electron secara umum pada sembarang satu arah yang ditentukan. Hasilnya adalah untuk penghantar yang bagus, peningkatan suhu akan menghasilkan peningkatan harga tahanan. Akibatnya, penghantar memiliki koefisien suhu positif.

2.3.3. Resistor Tetap

Resistor tetap adalah resistor yang memiliki nilai hambatan yang tetap. Resistor memiliki batas kemampuan daya misalnya : $1/6$ w, $1/8$ w, $1/4$ w, $1/2$ w, 1 w, 5 w, dsb

yang berarti resistor hanya dapat dioperasikan dengan daya maksimal sesuai dengan kemampuan dayanya.



Gambar 2.17 Simbol resistor tetap

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

2.3.4. Resistor Tidak Tetap (*variable*)

Resistor tidak tetap adalah resistor yang nilai hambatannya dapat diubah-ubah atau tidak tetap. Jenisnya yaitu hambatan geser, Trimpot dan Potensiometer.

1. Trimpot

Resistor yang nilai hambatannya dapat diubah-ubah dengan cara memutar porosnyadengan menggunakan obeng. Untuk mengetahui nilai hambatan dari suatu trimpot dapat dilihat dari angka yang tercantum pada badan trimpot tersebut. Simbol trimpot :



Gambar 2.18 Simbol resistor trimpot

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

2. Potensiometer

Resistor yang nilai hambatannya dapat diubah-ubah dengan memutar poros yang telah tersedia. Potensiometer pada dasarnya sama dengan trimpot secara fungsional. Simbol potensiometer :

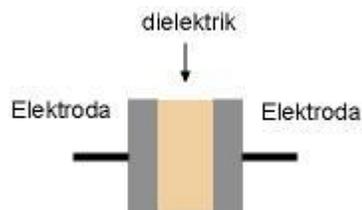


Gambar 2.19 Simbol potensiometer

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

2.4. Kapasitor

Kapasitor ialah komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan electron-elektron selama waktu yang tidak tertentu. Kapasitor berbeda dengan akumulator dalam menyimpan muatan listrik terutama tidak terjadi perubahan kimia pada bahan kapasitor, besarnya kapasitansi dari sebuah kapasitor dinyatakan dalam farad. Pengertian lain Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan dan melepaskan muatan listrik. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini "tersimpan" selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Di alam bebas, fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatan-muatan positif dan negatif di awan. Kemampuan untuk menyimpan muatan listrik pada kapasitor disebut dengan kapasitansi atau kapasitas.



Gambar 2.20 Prinsip dasar kapasitor

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Coulombs pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulomb = 6.25×10^{18} elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulombs. Dengan rumus dapat ditulis :

$$Q = CV \quad (12)$$

Q = muatan elektron dalam C (coulombs)

C = nilai kapasitansi dalam F (farads)

V = besar tegangan dalam V (volt)

Dalam praktek pembuatan kapasitor, kapasitansi dihitung dengan mengetahui luas area plat metal (A), jarak (t) antara kedua plat metal (tebal dielektrik) dan konstanta (k) bahan dielektrik. Dengan rumusan dapat ditulis sebagai berikut :

$$C = (8.85 \times 10^{-12}) (k A/t) \quad (13)$$

Berikut adalah tabel contoh konstanta (k) dari beberapa bahan dielektrik yang disederhanakan.

Tabel 2.2 Konstanta bahan dielektrik

Udara Vakum	$K = 1$
Aluminium Oksida	$K = 8$
Keramik	$K = 100-1000$
Gelas	$K = 8$
Polyethylene	$K = 3$

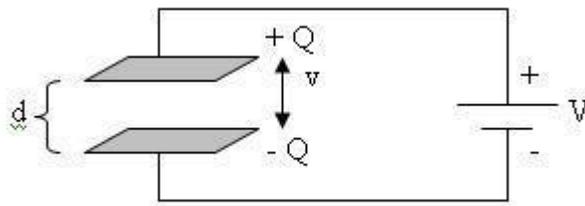
Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

2.4.1. Prinsip Pembentukan Kapasitor

Jika dua buah plat atau lebih yang berhadapan dan dibatasi oleh isolasi, kemudian plat tersebut dialiri listrik maka akan terbentuk kondensator (isolasi yang menjadi batas kedua plat tersebut dinamakan dielektrikum).

Bahan dielektrikum yang digunakan berbeda-beda sehingga penamaan kapasitor berdasarkan bahan dielektrikum. Luas plat yang berhadapan bahan dielektrikum dan jarak kedua plat mempengaruhi nilai kapasitansinya.

Pada suatu rangkaian yang tidak terjadi kapasitor liar. Sifat yang demikian itu disebutkan kapasitansi parasitic. Penyebabnya adalah adanya komponen-komponen yang berdekatan pada jalur penghantar listrik yang berdekatan dan gulungan-gulungan kawat yang berdekatan.



Gambar 2.21 Dielektrikum
Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

Gambar diatas menunjukkan bahwa ada dua buah plat yang dibatasi udara. Jarak kedua plat dinyatakan sebagai d dan tegangan listrik yang masuk.

2.4.2. Besaran Kapasitansi

Kapasitas dari sebuah kapasitor adalah perbandingan antara banyaknya muatan listrik dengan tegangan kapasitor.

$$C = Q/V \quad (14)$$

Keterangan :

C = Kapasitas dalam satuan farad

Q = Muatan listrik dalam satuan Coulomb

V = Tegangan kapasitor dalam satuan Volt

Jika dihitung dengan rumus $C = 0,0885 \frac{D}{d}$. Maka kapasitasnya dalam satuan piko farad D = luas bidang plat yang saling berhadapan dan saling mempengaruhi dalam satuan cm .

Bila tegangan antara plat 1 volt dan besarnya muatan listrik pada plat 1 coulomb, maka kemampuan menyimpan listriknya disebut 1 farad.

Dalam kenyataannya kapasitor dibuat dengan satuan dibawah 1 farad. Kebanyakan kapasitor elektrolit dibuat mulai dari 1mikrofarad sampai beberapa milifarad. Kapasitor variabel mempunyai ukuran fisik yang besar tetapi nilai kapasitansinya sangat kecil hanya sampai ratusan pikofarad.

2.4.3. Macam Kapasitor Sesuai Bahan dan Konstruksi

Kapasitor seperti juga resistor nilai kapasitansinya ada yang dibuat tetap dan ada yang variabel. Kapasitor dielektrikum udara, kapasitansinya berubah dari nilai maksimum ke minimum. Kapasitor variabel sering kita jumpai pada rangkaian pesawat penerima radio dibagian penala dan osilator. Agar perubahan kapasitansi di dua bagian tersebut serempak maka digunakan kapasitor variabel ganda. Kapasitor variabel ganda adalah dua buah kapasitor variabel dengan satu pemutar. Berdasarkan dielektrikumnya kapasitor dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

1. Kapasitor keramik
2. Kapasitor film

3. Kapasitor elektrolit
4. Kapasitor tantalum
5. Kapasitor kertas

Kapasitor elektrolit dan kapasitor tantalum adalah kapasitor yang mempunyai kutub atau polar, sering disebut juga dengan nama kapasitor polar. Kapasitor film terdiri dari beberapa jenis yaitu polyester film, poly propylene film atau polysterene film.

2.4.4. Karakteristik Berbagai Macam Kapasitor

Kapasitor mika mampu menerima tegangan sampai ribuan volt pada rangkaian frequency tinggi. Kapasitor untuk rangkaian frekuensi tinggi electron-elektron harus mengisi plat-plat logam dan mengisi dielektrikunya.

Pada saat arus berubah arah elektron – elektron harus meningkatkan dielektrikum. Perubahan arah arus yang terjadi pada kapasitor terhalangi oleh rintangan yang disebut hysteresis kapasitif. Sifat-sifat kapasitor pada umumnya :

- a. Terhadap tegangan dc merupakan hambatan yang sangat besar.
- b. Terhadap tegangan ac mempunyai resistansi yang berubah-ubah sesuai dengan frekuensi kerja.
- c. Terhadap tegangan ac akan menimbulkan pergeseran fasa, dimana arus 90^o mendahului tegangannya.

Resistansi dari sebuah kapasitor terhadap tegangan ac disebut reaktansi.

Disimbolkan dengan X_c , besarnya reaktansi kapasitor ditulis dengan rumus :

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \quad (15)$$

Keterangan :

X_c = Reaktansi kapasitif (Ohm)

F = Frekuensi kerja dalam satuan hertz

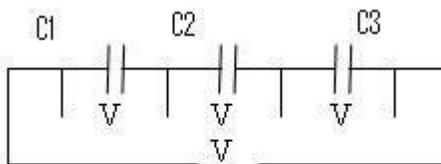
c = Kapasitansi (farad)

Sebuah kapasitor dapat mengalami kerusakan apabila :

1. sudah lama terpakai
2. batas tegangan kerja terlampaui
3. kesalahan pada pemasangan polaritas yang tidak benar.

2.4.5. Kapasitansi Pada Rangkaian Kapasitor

Kapasitor yang dihubungkan seri dengan kapastor lain, kemampuan menahan listrik menjadi lebih tinggi, kapasitansi totalnya menjadi lebih rendah dan bahan dielektrikum seolah-olah menjadi lebih tebal. Jumlah muatan listrik pada setiap kapasitor menjadi sama besar. Jika perbedaan potensial tiap-tiap kapasitor sama dengan pemberian tegangan pada rangkaian.



Gambar 2.22 Rangkaian seri pada kapasitor

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

Berdasarkan gambar diatas maka :

$$V = V_1 + V_2 + V_3, \quad V_1 = Q_1 / C_1$$

$$V_2 = Q_2 / C_2, \quad V_3 = Q_3 / C_3, \quad V = Q / C$$

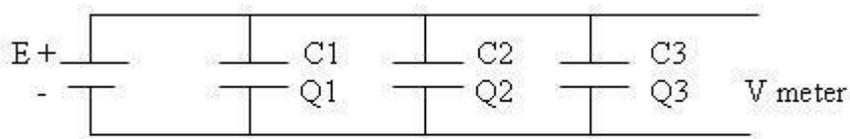
$$Q / C = Q_1 / C_1 + Q_2 / C_2 + Q_3 / C_3$$

sehingga :

$$1/C_t = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$$

Bagaimana jika kapasitor dihubungkan secara paralel?

Beberapa kapasitor dihubungkan paralel yang diberi tegangan V seperti gambar dibawah, maka jumlah muatan seluruh sama dengan jumlah tegangan muatan kapasitor. Tegangan pada tiap-tiap kapasitor sama dengan tegangan sumber yang dicantumkan



Gambar 2.23 Rangkaian paralel pada kapasitor

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

Berdasarkan gambar diatas maka :

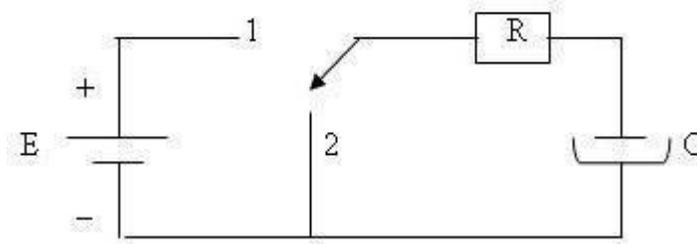
$$V = V_1 = V_2 = V_3 = E$$

$$C_t \cdot V = C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3$$

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

2.4.6. Pengisian dan Pengosongan Pada Kapasitor

Saat pengisian dan pengosongan muatan pada kapasitor, waktu lamanya pengisian dan pengosongan muatannya tergantung dari besarnya nilai resistansi dan kapasitansi yang digunakan pada rangkaian. Pada saat saklar menghubungkan ketitik 1 arus listrik mengalir dari sumber-sumber tegangan melalui komponen R menuju komponen C. Tegangan pada kapasitor meningkat dari 0 volt sampai sebesar tegangan sumber, kemudian tak terjadi aliran, saklar dipindahkan posisinya ke titik 2 maka terjadi proses pengosongan. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini



Gambar 2.24 Rangkaian RC hubungan seri dicatu oleh tegangan DC

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

Tegangan kapasitor menurun, arah arus berlawanan dari arah pengisian. Tegangan pada R menjadi negatif dan berangsur-angsur tegangannya menjadi 0 volt. Pengisian dan pengosongan masing-masing memerlukan $5 R.C$ (*time constan*).

2.4.7. Kapasitor Tetap

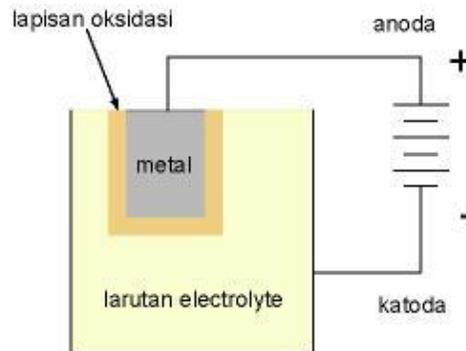
Kapasitor yang mempunyai kapasitansi yang tetap. Jenis-jenis kapasitor tetap antara lain :

1. Kapasitor polar

Kelompok kapasitor electrolytic terdiri dari kapasitor-kapasitor yang bahan dielektriknya adalah lapisan metal-oksida. Umumnya kapasitor yang termasuk kelompok ini adalah kapasitor polar dengan tanda + dan – di badannya. Mengapa kapasitor ini dapat memiliki polaritas, adalah karena proses pembuatannya menggunakan elektrolisa sehingga terbentuk kutup positif anoda dan kutup negatif katoda.

Telah lama diketahui beberapa metal seperti tantalum, aluminium, magnesium, titanium, niobium, zirconium dan seng (zinc) permukaannya dapat dioksidasi sehingga membentuk lapisan metal-oksida (oxide film). Lapisan oksidasi ini terbentuk melalui proses elektrolisa, seperti pada proses penyepuhan emas. Elektroda metal yang dicelup kedalam larutan

electrolit (sodium borate) lalu diberi tegangan positif (anoda) dan larutan electrolit diberi tegangan negatif (katoda). Oksigen pada larutan electrolyte terlepas dan mengoksidai permukaan plat metal. Contohnya, jika digunakan Aluminium, maka akan terbentuk lapisan Aluminium-oksida (Al_2O_3) pada permukaannya.



Gambar 2.25 Struktur kapasitor polar

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

Dengan demikian berturut-turut plat metal (anoda), lapisan-metal-oksida dan electrolyte (katoda) membentuk kapasitor. Dalam hal ini lapisan-metal-oksida sebagai dielektrik. Diketahui besar kapasitansi berbanding terbalik dengan tebal dielektrik. Lapisan metal-oksida ini sangat tipis, sehingga dengan demikian dapat dibuat kapasitor yang kapasitansinya cukup besar. Karena alasan ekonomis dan praktis, umumnya bahan metal yang banyak digunakan adalah aluminium dan tantalum. Bahan yang paling banyak dan murah adalah Aluminium. Untuk mendapatkan permukaan yang luas, bahan plat Aluminium ini biasanya digulung radial. Sehingga dengan cara itu dapat diperoleh kapasitor yang kapasitansinya besar. Sebagai contoh 100uF, 470uF, 4700uF dan lain-lain, yang sering juga disebut kapasitor elco. Bahan electrolyte pada kapasitor Tantalum ada yang cair tetapi ada

juga yang padat. Disebut electrolyte padat, tetapi sebenarnya bukan larutan elektrolit yang menjadi elektroda negatif-nya, melainkan bahan lain yaitu manganese-dioksida. Dengan demikian kapasitor jenis ini bisa memiliki kapasitansi yang besar namun menjadi lebih ramping dan mungil. Selain itu karena seluruhnya padat, maka waktu kerjanya (lifetime) menjadi lebih tahan lama. Kapasitor tipe ini juga memiliki arus bocor yang sangat kecil. Jadi dapat dipahami mengapa kapasitor Tantalum menjadi relatif mahal.

2. Kapasitor non-polar

Kapasitor non polar adalah kelompok kapasitor yang dibuat dengan bahan dielektrik dari keramik, film dan mika. Keramik dan mika adalah bahan yang populer serta murah untuk membuat kapasitor yang kapasitansinya kecil. Tersedia dari besaran pF sampai beberapa uF, yang biasanya untuk aplikasi rangkaian yang berkenaan dengan frekuensi tinggi. Termasuk kelompok bahan dielektrik film adalah bahan-bahan material seperti polyester (polyethylene terephthalate atau dikenal dengan sebutan mylar), polystyrene, polypropylene, polycarbonate, metalized paper dan lainnya.

2.4.8. Kapasitor Tidak Tetap

Kapasitor yang nilai kapasitansinya dapat berubah-ubah, nilai kapasitansi pada kapasitor dapat dilihat dari kode yang terdapat pada fisik kapasitor. Sebagai contoh, jika tertera 105, itu berarti $10 \times 10^5 = 1.000.000 \text{ pF} = 1000 \text{ nF} = 1 \text{ }\mu\text{F}$. Nilai yang dibaca pF (pico farad). Kapasitor lain ada yang tertulis 0.1 atau 0.01, jika demikian, maka satuan yang dipakai μF . Jadi 0.1 berarti $0.1 \text{ }\mu\text{F}$.

Nilai kapasitansi satu Farad menunjukkan bahwa kapasitor memiliki kemampuan untuk menyimpan satu coulomb pada tegangan satu volt. Kapasitor pada power supply menggunakan kapasitan sebesar 4700 μ F. Sedang circuit pada radio sering menggunakan besar kapasitan di bawah 10pF. Waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk mencapai pengisian optimal tergantung pada besarnya nilai kapasitansi dan resistansi. Formulasinya :

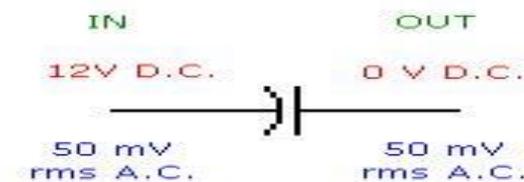
$$T = R \times C \quad (16)$$

T = Time (waktu dalam detik)

R = Resistansi (Ohm)

C = Kapasitansi (Farad)

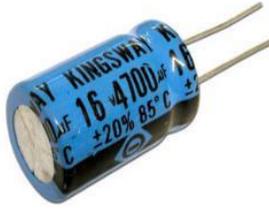
Formula ini merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 63 % nilai tegangan pada sumber. Yang perlu diperhatikan adalah kapasitor akan melewatkan arus AC bukan DC. Dalam rangkaian elektronika ini merupakan hal yang penting.



Gambar 2.26 Pass AC

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

Berikut adalah beberapa bentuk kapasitor :



Gambar 2.27 Kapasitor polar

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007



Gambar 2.28 Kapasitor non-polar

Sumber : Jayadin Ahmad, 2007

2.5. Prinsip Pemanasan Induksi

Pemanasan induksi ditemukan oleh Michael Faraday pada tahun 1831, dimana fenomena pemanasan induksi terjadi ketika suatu logam yang memiliki sifat kemagnetan terkena gelombang elektromagnetik dan akan menimbulkan induksi panas. Seiring perkembangan zaman, penemuan ini semakin berkembang dan dapat dimanfaatkan sebagai dasar dari pembuatan pemanas induksi menggunakan energi listrik yang hasilnya memiliki efisiensi cukup baik dan lebih ramah lingkungan. Kini penemuan ini sering digunakan di industry peleburan logam, industri yang berkaitan dengan proses perlakuan panas pada logam dan kompor untuk rumah tangga.

Pemanas induksi adalah alat yang memanfaatkan timbulnya panas pada logam ferro yang terkena induksi medan magnet, hal ini disebabkan karena pada logam timbul arus eddy yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet yang terjadi arus, akibat

dari interaksi induksi magnet yang menimbulkan fluks magnetik yang menembus logam, sehingga menyebabkan panas pada logam.

Secara umum, kawat yang beraliran listrik akan membangkitkan medan magnet disekelilingnya. Dengan suatu perancangan, baik dengan menggunakan kawat saja yang dibentuk khusus ataupun ditambahkan material tertentu, bisa dihimpun medan magnet pada suatu lokasi tertentu (misalnya dalam bentuk rangkaian magnetis).

Dari pengamatan yang sudah pernah dilakukan, dikenal fluks magnetis ψ_m , yaitu seberapa besar ‘aliran’ medan magnet induksi yang menembus suatu luasan tertentu. Jadi fluks magnetis ψ_m menceritakan seberapa efektif medan magnet dikonsentrasikan di suatu wilayah.

Pada rangkaian yang bersifat linier, fluks magnetis ψ_m berbanding lurus (proporsional) dengan arus listrik penyebab terjadinya. Sehingga didapatkan suatu kemungkinan untuk mendefinisikan suatu besaran yang menyatakan kemampuan dari benda tersebut untuk menghasilkan medan magnet jika suatu arus tertentu dialirkan melaluinya.

Besaran ini hanya tergantung pada struktur geometri darinya dan juga material yang menyusunnya. Hal ini pernah dilakukan ketika diperkenalkan konsep kapasitansi sebagai kemampuan dari suatu struktur elektris untuk menghasilkan medan listrik.

Besaran ini dinamakan induktansi yang didefinisikan dengan :

$$L = \frac{\psi_m}{I} \quad (17)$$

Dan untuk struktur yang memiliki banyak gulungan :

$$L = \frac{N\psi_m}{I} \quad (18)$$

Pada struktur toroida dengan persamaan (29), didapatkan induktansi toroida :

$$L = \frac{\mu_o \mu_r N^2 \cdot A}{2\pi r_m} \quad (19)$$

Keterangan :

μ_o = Permeabilitas udara

μ_r = Permeabilitas relatif

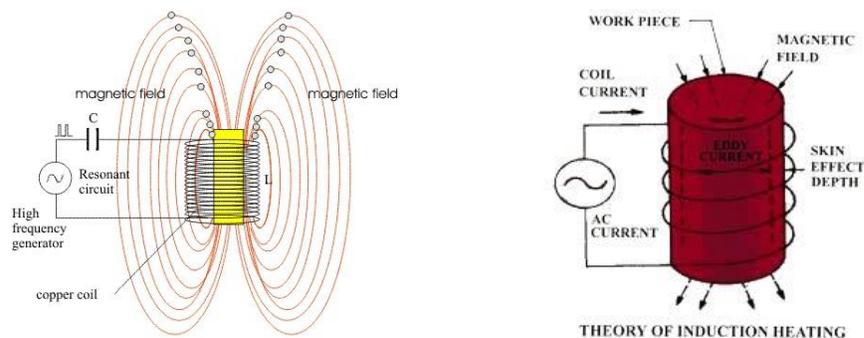
N = Jumlah lilitan

A = Luas penampang kumparan

Secara umum pemanasan induksi memanfaatkan prinsip arus *eddy*, rugi-rugi hysteresis dan efek kulit. Pemanas induksi adalah timbulnya panas pada logam yang terkena induksi medan magnet, hal ini disebabkan karena pada logam timbul arus *eddy* atau arus pusar yang arahnya melingkar melingkupi medan magnet terjadinya arus pusar akibat dari induksi magnet yang menimbulkan fluks magnetik yang menembus logam, sehingga menyebabkan panas pada logam.

Induksi magnet adalah kuat medan magnet akibat adanya arus listrik yang mengalir dalam konduktor. Pemanasan Induksi juga disebut sebagai proses pemanasan nonkontak yang menggunakan listrik frekuensi tinggi untuk menghasilkan panas yang konduktif secara elektrik. Karena non-kontak, proses pemanasan tidak mencemari bahan yang sedang dipanaskan. Hal ini juga sangat efisien karena panas yang sebenarnya dihasilkan di dalam benda kerja. Ini dapat dibandingkan dengan metode pemanasan lain dimana panas yang dihasilkan dalam elemen api atau pemanas, yang kemudian diterapkan pada benda kerja. Untuk alasan ini Pemanas Induksi cocok untuk beberapa aplikasi yang unik dalam industri.

Sebuah sumber listrik digunakan untuk menggerakkan sebuah arus bolak balik atau yang biasa disebut sebagai arus AC yang besar melalui sebuah kumparan induksi. Kumparan induksi ini dikenal sebagai kumparan kerja. Aliran arus yang melalui kumparan ini menghasilkan medan magnet yang sangat kuat dan cepat berubah dalam kumparan kerja. Benda kerja yang akan dipanaskan ditempatkan dalam medan magnet ini dengan arus AC yang sangat kuat. Ketika sebuah beban masuk dalam kumparan kerja yang di aliri oleh arus AC, maka nilai arus yang mengalir akan mengikuti besarnya sesuai dengan nilai beban yang masuk. Medan magnet yang tinggi akan dapat menyebabkan sebuah beban dalam kumparan kerja tersebut melepaskan panasnya, sehingga panas yang ditimbulkan oleh beban tersebut justru dapat melelehkan beban itu sendiri. Karena panas yang dialami oleh beban akan semakin tinggi, hingga mencapai nilai titik leburnya.



Gambar 2.29 Prinsip kerja pemanas induksi

Sumber : Ryan Noviansyah, 2012

Apabila suatu pada suatu koil pemanas dilewatkan arus listrik, maka besarnya daya yang diberikan pada koil tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E = i^2 \cdot R \cdot t = v \cdot i \cdot t \quad (20)$$

Keterangan :

i = Arus

R = Resistansi

t = Waktu

v = Tegangan

Efek pemanasan pada permukaan benda kerja disebabkan oleh arus *eddy* yang timbul akibat arus bolak-balik pada koil. Pada kenyataannya panas cenderung menyebar lebih dalam yang disebabkan oleh sifat konduktivitas material.

2.5.1. Arus Eddy

Ketika logam uji konduksi besar dikenai transformator atau induksi yang bergerak, arus cenderung menginduksi kedalam logam uji. Arus mengalir di jalur tertutup dalam logam uji dan disebut arus *eddy*. Sesuai dengan hukum len'z, arus *eddy* cenderung menentang perubahan di bidang yang mendorongnya.

Arus *eddy* menghasilkan pemanasan joule pada logam uji yang dikonduksi. Hilangnya energi akibat arus *eddy* di inti feromagnetik dari perangkat AC selain energi yang hilang dalam proses magnetisasi - demagnetisasi (sebanding dengan luas loop hysteresis), seperti dibahas pada proses magnetisasi - demagnetisasi. Untuk mengurangi arus *eddy* pada perangkat AC berinti besi, pada umumnya inti terbuat dari lembaran tipis atau laminasi besi yang diisolasi satu sama lain secara elektrik. Dengan demikian arus eddy terbatas pada masing-masing lembar, dan kehilangan daya berkurang. Setiap lembar kontinu didalam arah fluks magnet melalui inti, tetapi karena ketipisannya memiliki reluktansi yang relatif besar. Dengan menumpuk jumlah lembar yang cukup secara paralel, reluktansi total sirkuit magnetik dapat dikurangi hingga nilai yang

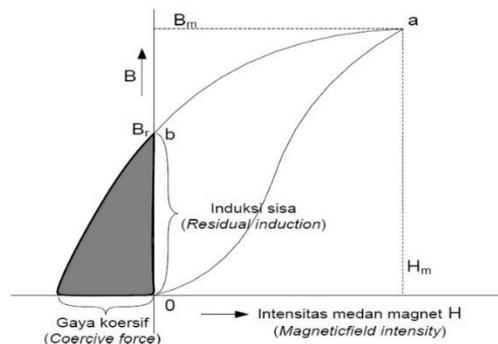
diinginkan. Untuk mengurangi arus *eddy* ke minimum, kabel besi kadang-kadang digunakan sebagai pengganti lembaran, sedangkan pada frekuensi radio, bubuk besi biasanya digunakan sebagai inti.

Arus *eddy* memiliki peranan yang paling dominan dalam proses pemanasan induksi. Panas yang dihasilkan pada material sangat bergantung kepada besarnya arus *eddy* yang diinduksikan oleh lilitan penginduksi. Ketika lilitan dialiri oleh arus bolak-balik, maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat penghantar. Medan magnet tersebut besarnya berubah-ubah sesuai dengan arus yang mengalir pada lilitan tersebut. Jika terdapat bahan konduktif disekitar medan magnet yang berubah-ubah tersebut, maka pada bahan konduktif tersebut akan mengalir arus yang disebut arus *eddy*.

2.5.2. Rugi – Rugi Hysterisis

Rugi-rugi hysteresis memiliki peranan penting dalam proses pemanasan, namun hal ini hanya berlaku pada benda yang bersifat ferromagnetik. Jika sebuah kumparan dihubungkan dengan sebuah sumber arus AC, maka akan menghasilkan arus I, dengan nilai dari nol sampai maksimal.

Seiring dengan penambahan arus I maka nilai H dan B juga meningkat (berbanding lurus). Peningkatan nilai H dan B akan terlihat seperti gambar 2.30.



Gambar 2.30 Induksi sisa dan gaya koersif

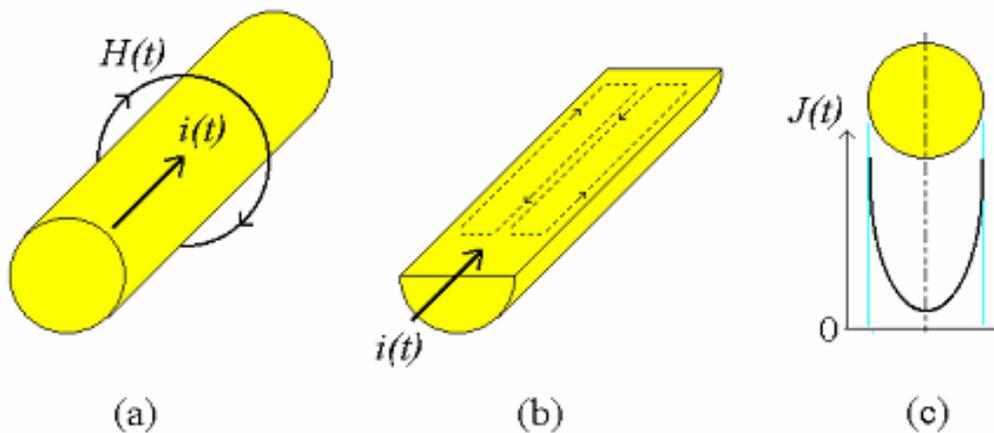
Sumber : Pandu Sandi Pratama, 2011

Ketika arus naik, maka medan magnet B akan naik diikuti kenaikan H sesuai kurva $0a$, dan ketika arus turun menuju nol, maka akan diikuti dengan penurunan B , akan tetapi penurunannya mengikuti kurva ab di atas kurva oa . Sama juga berarti jika menurunkan intensitas medan magnet (H), maka intensitas fluks akan berusaha untuk mempertahankan nilainya, hal ini disebut hysteresis. Hingga mencapai harga nol, masih ada nilai intensitas medan (B) yang tersisa.

2.5.3. Efek Kulit

Jika arus bolak – balik dialirkan melalui sebuah konduktor, arus tidak tersebar secara merata. Konduktor tunggal yang dialiri arus AC seperti pada gambar 2.31a, akan dikelilingi medan magnet konsentris $H(t)$. Medan ini akan menginduksi kembali konduktor sehingga timbul arus *eddy* seperti terlihat pada gambar 2.31b.

Arus eddy ini melawan arah arus utama pada bagian pusat konduktor dan searah pada permukaan konduktor. Ini menyebabkan distribusi arus utama tidak merata, yaitu arus berkurang dibagian tengah dan paling besar pada bagian permukaan. Hal ini disebut efek kulit.



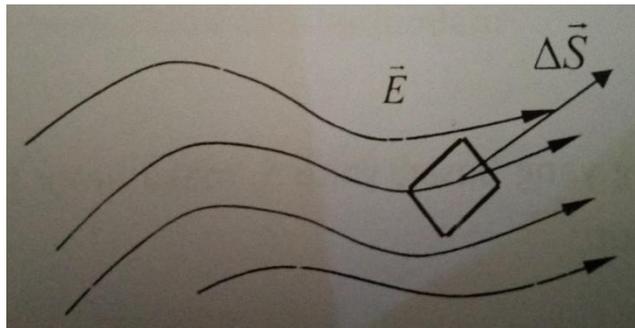
Gambar 2.31 Distribusi arus konduktor yang dialiri arus AC

Sumber : Pandu Sandi Pratama, 2011

Efek kulit dari radiasi elektromagnetik sering disebut kedalaman penetrasi, maksudnya adalah jarak ke dalam sebuah logam beradiasi sampai $1/e$ dari intensitas awalnya. Namun Efek kulit juga dapat menunjukkan ke kedalaman dari permukaan suatu konduktor di mana $1/e$, atau sekitar 37%, dari *current density*. Ini menunjukkan bahwa medan magnet yang berubah terhadap waktu menginduksi arus *eddy* dalam melakukan pengujian pada suatu bahan. Efek kulit dirumuskan pada persamaan berikut:

2.5.4. Fluks Listrik dan Hukum Gauss

Bermula pada eksperimen yang dilakukan oleh Faraday, diamati sebuah muatan listrik yang menghasilkan medan listrik statis. Dengan menganalogikan medan listrik seperti aliran air dan mendefinisikan sebuah elemen luasan $\Delta\vec{S}$, maka dapat dihitung/dikuantitaskan berapa besar aliran yang menembus bidang luasan tadi (gambar 2.32).

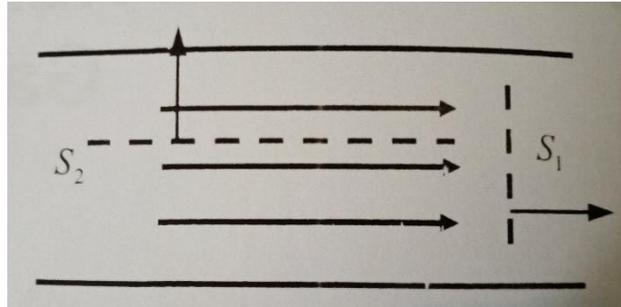


Gambar 2.32 Medan listrik \vec{E} yang menembus bidang $\Delta\vec{S}$

Sumber : Mudrik Alaydrus, 2014

Pengamatan faraday menyimpulkan jika luasan vector dari bidang $\Delta\vec{S}$ sejajar dengan arah medan listrik, maka fluks yang ada akan maksimal. Dengan memutar orientasi dari $\Delta\vec{S}$, fluks yang terjadi akan mengecil sampai, jika bidang tersebut tegak lurus dengan arah arus listrik, tak ada lagi fluks yang menembus bidang tersebut.

Fenomena ini bisa pula diterangkan dengan menggunakan fluida yang menembus suatu bidang fiktif tertentu. Digambar 2.33 ditunjukkan aliran air didalam sebuah pipa. Diandaikan aliran air hanya terjadi dari kiri ke kanan.



Gambar 2.33 Aliran yang menembus bidang S_1 secara sempurna dan sama sekali tidak menembus S_2

Sumber : Mudrik Alaydrus, 2014

Bidang S_1 akan ditembus oleh aliran air sehingga fluks dari vector ini ada. Sedangkan bidang S_2 , karena ia tegak lurus terhadap arah aliran, maka tak ada air yang menembusnya.

Dari hasil eksperimennya, Faraday menyimpulkan bahwa besar aliran yang menembus suatu bidang kecil didefinisikan sebagai besaran fluks di bidang itu :

$$\Delta\psi = \varepsilon_0 \vec{E} \cdot \Delta\vec{S} \quad (21)$$

Jika $\Delta\vec{S}$ adalah suatu bidang yang besar, yaitu S , maka besar fluks adalah hasil integrasi sejauh luas bidang tersebut :

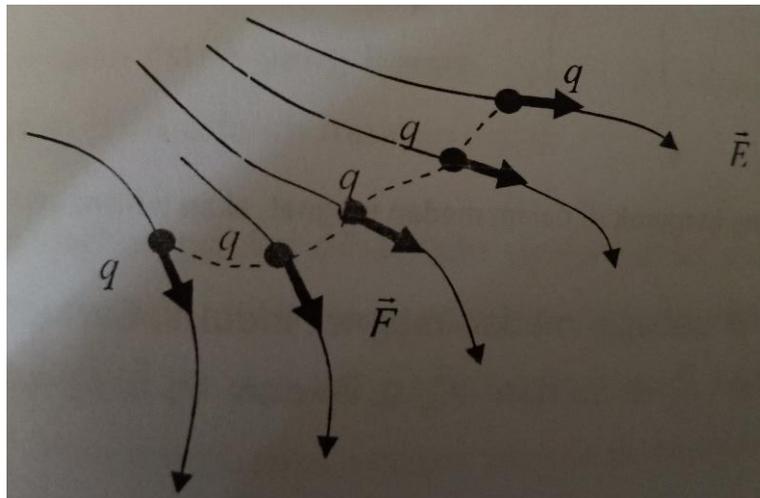
$$\psi = \varepsilon_0 \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (22)$$

2.5.5. Pengamatan Awal Dasar Magnetostatika

Diketahui bahwa medan elektrostatika menghasilkan gaya listrik yang bekerja pada muatan :

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (23)$$

Dengan gaya \vec{F} yang sejajar dengan medan listrik \vec{E} . Nilai \vec{E} diambil pada posisi di mana q berada. Gambar 2.34 memperjelas terjadinya gaya listrik ini jika muatan q diletakkan dalam medan listrik \vec{E} . Baik muatan listrik ini diam ataupun bergerak melalui rute yang dinyatakan oleh garis putus – putus, gaya yang bekerja pada muatan q tetap searah dengan medan listriknya.



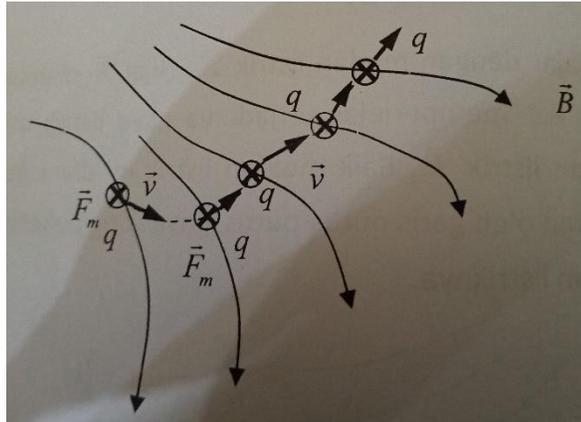
Gambar 2.34 Gaya listrik akibat muatan q diletakkan dalam medan listrik \vec{E}

Sumber : Mudrik Alaydrus, 2014

Pengamatan menunjukkan didalam medan magnetostatik, muatan q yang tidak bergerak (hanya diam pada posisinya) tidak akan mengalami adanya gaya.

Pengamatan lain menunjukkan jika muatan yang berada didalam medan magnetostatik ini digerakkan sesuai dengan garis putus – putus (gambar 2.35), akan mengalami suatu gaya. Gaya ini tidak sama seperti gaya listrik digambar 2.34. gaya yang terbentuk ini tidak sejajar dengan medan magnetnya, tetapi tegak lurus terhadapnya dan selain itu, gaya magnet yang terbentuk ini juga tegak lurus terhadap arah gerakan muatan q .

Jadi karakter dari medan magnet atau gaya magnet yang dihasilkannya. Dengan demikian, diperlukan suatu pengamatan yang lebih mendalam tentang medan magnetostatika ini.



Gambar 2.35 Muatan q yang bergerak didalam medan magnet, akan terkena gaya magnetis

Sumber : Mudrik Alaydrus, 2014

Digambar 2.35 ditunjukkan \vec{B} sebagai medan magnet induksi. Gaya yang bekerja pada muatan q mempunyai sifat $\vec{F}_m \perp \vec{B}$ dan $\vec{F}_m \perp \vec{v}$ dan $\vec{v}, \vec{B}, \vec{F}_m$ yang membentuk sistem tangan kanan. Juga didapati bahwa gaya yang terbentuk berbanding lurus dengan besar \vec{v} dan besar \vec{B} . Dengan gaya faktor proporsionalitasnya muatan itu, maka gaya yang menarik muatan disebut gaya magnetic, mempunyai besar :

$$\vec{F}_m = q (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (24)$$

2.5.6. Medan Magnet Induksi dan Medan Magnet

Dari pengamatan awal diatas, maka didapati gaya yang menarik muatan bergerak mempunyai arah tegak lurus terhadap arah gerakan muatan dan tegak lurus terhadap suatu arah medan tertentu (disini belum dikatakan secara langsung bahwa

medannya adalah medan magnet), maka gaya seperti itu dinamakan gaya magnetis dan medan yang menghasilkan gaya itu disebut medan magnet.

Dari hubungan medan magnet dan gaya magnet diatas, bisa dihitung salah satu besaran yang mengkarakteristikan besar dan arah dari medan magnet, yaitu medan magnet induksi \vec{B} . Medan listrik statis bisa dihasilkan dengan bantuan sebuah muatan listrik yang berada dalam keadaan diam. Jadi sumber atau penyebab dari medan listrik adalah muatan listrik.

Sedangkan medan magnet induksi dihasilkan oleh magnet permanen. Magnet adalah suatu material yang mempunyai kemampuan menarik atau menolak material tertentu. Magnet permanen seperti ini dipakai pada *loudspeaker*, kompas, motor listrik yang dihasilkan oleh penghantar atau kabel yang dialiri oleh arus listrik atau bisa juga dikatakan magnet induksi dihasilkan oleh muatan listrik yang bergerak. Medan magnet induksi yang dihasilkan oleh arus listrik ini juga bisa menghasilkan gaya terhadap suatu muatan listrik yang juga bergerak. Kondisi kemagnetan yang dihasilkan oleh arus listrik ini disebut juga elektromagnet.

Fenomena arus listrik menghasilkan medan magnet (induksi) ini ditemukan oleh peneliti Denmark, Hans Oersted (1820), yang awalnya secara kebetulan melihat adanya perubahan arah jarum kompas yang berada didekat kawat beraliran arus listrik. Oersted melanjutkan pengamatannya secara kuantitatif sehingga didapatkan hubungan antara arus listrik sebagai sebab dan medan magnet H ataupun medan magnet induksi B sebagai akibat dari arus listrik ini.

2.6. Material Magnetika

Didalam setiap material terdapat elektron – elektron yang bergerak berputar mengelilingi inti atom. Pergerakan elektron (muatan) secara definisi merupakan tanda adanya arus listrik. Pergerakan atom mengelilingi inti atom ini bisa dipandang sebagai sebuah simpul rangkaian yang sangat kecil. Keberadaan simpul – simpul rangkaian berarus ini di setiap material jika diberikan sebuah medan magnet eksternal, membuat material akan bereaksi berbeda – beda sesuai dengan struktur mikroskopis yang ada didalamnya.

Karena medan elektromagnetika yang dibahas ini hanya mengamati masalah – masalah yang bersifat mikroskopis, maka hanya akan dilihat efek – efek keluarannya saja. Dengan mengamati efek – efek luar ini, material bisa diklasifikasikan menjadi empat jenis :

1. Material diamagnetis

Sifat magnetis dari material secara intern saling mengimbangi sehingga keluar tak terlihat efek makroskopisnya. Jika kedalam medan magnet dimasukkan material diamagnetis, maka tak tampak perubahan yang signifikan.

Misalnya : tembaga, emas, perak, air, dll.

2. Material paramagnetis

Adanya perubahan pada medan magnet jika material paramagnetis kita celupkan kedalamnya.

Contoh : aluminium, platina, titan, magnesium, dll.

3. Material feromagnetis

Adanya perubahan yang sangat besar bila material feromagnetis dikenai medan magnet. Adanya hubungan tidak linier antara medan magnet \vec{H} dan medan magnet induksi \vec{B} .

Contoh : besi, nikel, kobalt, dll.

4. Ferimagnetis

Setiap molekul yang berdampingan saling mengimbangi. Contoh penting dari jenis material magnetis ini adalah ferit, yang sering dipakai pada aplikasi gelombang radio

Secara makroskopis, fenomena diatas dikarakteristikan dengan bantuan besaran permeabilitas, yang mana permeabilitas setiap material magnetis dibandingkan dengan permeabilitas dari ruang hampa. μ_0 adalah permeabilitas dari ruang hampa, sedangkan permeabilitas dari material magnetis adalah $\mu_0\mu_r$. Dengan μ_r permeabilitas relatif dari material yang bersangkutan.

Tabel 2.3 menunjukkan permeabilitas relatif dari beberapa material :

Tabel 2.3 Nilai permeabilitas relatif beberapa material

Material	Permeabilitas relatif
Perak	0,99998
Aluminium	1,00002
Nikel	600
Besi	5000
Supermalloy	1000000

Sumber : Mudrik Alaydrus, 2014

Magnetik permeabilitas μ adalah angka yang mengkuantifikasi tingkat induksi magnetik B bahan ketika medan magnet H diterapkan, seperti yang ditunjukkan pada persamaan:

$$B = \mu H$$

$$\mu = \mu_r \mu_0 ; \text{dimana } \mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ N/A}^2 \quad (25)$$

Tabel 2.4 Resistivitas dan koefesien (pada suhu 20 °C)

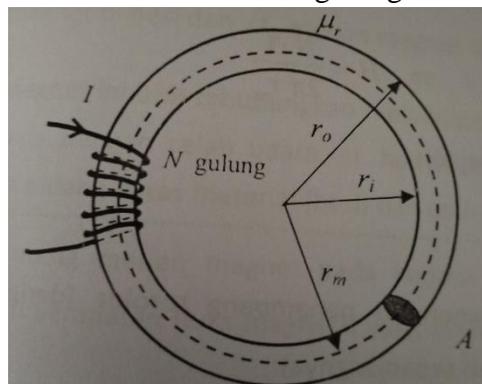
Material	Resistivity, ρ ($\Omega\text{-m}$)	Coefficient, α ($^{\circ}\text{C}$) ⁻¹
Tembaga	$1,68 \times 10^{-8}$	0,0068
Aluminium	$2,65 \times 10^{-8}$	0,00429
Besi	$9,71 \times 10^{-8}$	0,00651

Sumber : Febriyanti Novitasari, 2014

2.7. Rangkaian Magnetis

2.7.1. Toroida

Diamati suatu struktur toroida yang berbentuk cincin dengan radius dalam r_i dan radius luar r_o . Toroida ini memiliki luas penampang A dan dililitkan dengan sebuah kawat beraliran listrik I . kawat ini memiliki N gulungan.



Gambar 2.36 Toroida dengan N gulungan kawat beraliran listrik I

Sumber : Mudrik Alaydrus, 2014

Struktur seperti ini akan menghasilkan medan magnet yang terutama sekali akan terkonsentrasi didalam toroida yang biasanya terbuat dari besi dengan permeabilitas yang relatif tinggi dibanding dengan permeabilitas udara.

Dengan mengandaikan luas penampang toroida A relatif kecil dibandingkan dengan radius cincin tersebut, maka bisa diandaikan medan magnet yang terdapat didalam toroida tersebut konstan sebidang penampang A pada pengamatan berikut diabaikan terbentuknya medan fringe, yaitu garis medan yang tidak teratur yang keluar dari jalur toroida.

Dengan menggunakan hukum Ampere

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_i I_i \quad (26)$$

Dan dengan menggunakan lintasan rata – rata, keliling dari lingkaran pada garis di tengah toroida $l_m = 2\pi r_m$, maka kita bisa menghitung medan magnet di garis tengah toroida tersebut

$$H \cdot 2\pi r_m = N \cdot I \rightarrow H = \frac{N \cdot I}{2\pi r_m} \quad (27)$$

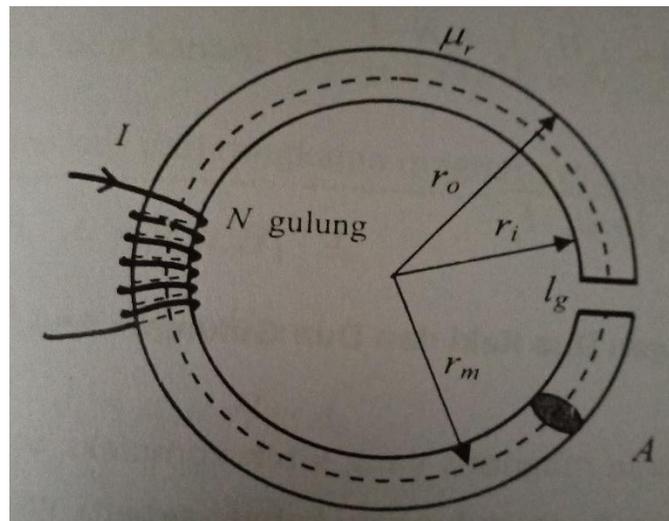
Medan magnet induksinya menjadi :

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r N \cdot I}{2\pi r_m} \quad (28)$$

Dan fluks magnetis yang menembus penampang toroida (dengan mengandaikan medan magnet induksi konstan sepanjangnya) :

$$\psi_m = \iint B dA = \frac{\mu_0 \mu_r N \cdot I \cdot A}{2\pi r_m} \quad (29)$$

2.7.2. Toroida dengan Celah Udara



Gambar 2.37 Toroida dengan celah udara

Sumber : Mudrik Alaydrus, 2014

Disini berbeda dengan rangkaian sebelumnya, toroida di gambar 2.37 memiliki lintasan fluks magnetis harus kontinyu, artinya B yang konstan, maka hukum Ampere akan menghasilkan

$$H_i \cdot 2\pi(r_m - l_g) + H_g \cdot l_g = N \cdot I \quad (30)$$

Dengan H_i medan magnet di besi dan H_u medan magnet di udara.

Kedua nilai medan magnet ini bisa dihubungkan melalui pengamatan di bidang batas. Pada problema toroida dengan celah udara ini, hanya terdapat komponen normal tegak lurus pada bidang batas material (besi) dan udara.

Dari pembahasan tentang medan magnet pada kondisi batas, yaitu kontinuitas komponen normal dari kerapatan fluks magnetis, maka berlaku

$$B_i = B_u \rightarrow \mu_o \mu_r H_i = \mu_o H_u \rightarrow H_u = \mu_r H_i \quad (31)$$

Jadi

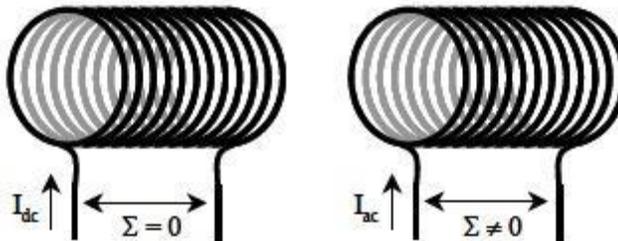
$$H_i \cdot 2\pi(r_m - l_g) + \mu_r H_i \cdot l_g = N \cdot I \quad (32)$$

Maka

$$H_i = \frac{N \cdot I}{2\pi(r_m - l_g) + \mu_r \cdot l_g} \quad (33)$$

2.8. Induktansi

Ketika dua buah kumparan didekatkan, maka akan menimbulkan medan magnet induksi. Atau dapat didefinisikan bahwa ketika terjadi perubahan arus, maka akan terjadi perubahan fluks magnetik di kumparan tersebut, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan induksi (tegangan kumparan). Berdasarkan hukum Faraday maka solenoid menghasilkan ggl induksi. Dengan demikian, ketika dialiri arus bolak-balik (AC) maka muncul tegangan antara dua ujung solenoid. Tegangan ini tidak muncul ketika solenoid dialiri arus konstan searah (DC).



Gambar 2.38 Dua buah solenoid yang menunjukkan perbedaan arus

Sumber : Febriyanti Novitasari, 2014

Gambar solenoid yang dialiri arus DC konstan, tidak muncul tegangan antara dua ujung solenoid sedangkan solenoid yang dialiri arus AC maka muncul tegangan antara dua ujung solenoid.

Kuat magnet dalam rongga solenoid, adalah :

$$B = \mu_0 n I \quad (34)$$

Jika luas penampang solenoid A maka fluks magnetis dalam solenoid, adalah :

$$\phi = BA = \mu_0 nIA \quad (35)$$

Oleh karena itu, berdasarkan hukum Faraday, ggl induksi yang dihasilkan solenoid :

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d(\mu_0 nIA)}{dt} = -N\mu_0 nA \frac{dI}{dt} \quad (36)$$

Fluks sebanding dengan arus I . Konstanta sebanding dengan induktansi diri :

$$L = \frac{\phi_m}{I} = \mu_0 n^2 A l \quad (37)$$

Apabila arus dalam rangkaian berubah, fluks magnetis juga berubah, sehingga ggl akan diinduksi dalam rangkaianannya (kumparan). Karena induktansi diri suatu rangkaian konstan, perubahan fluks dihubungkan dengan perubahan arus oleh :

$$\frac{d\phi_m}{dt} = \frac{d(LI)}{dt} = L \frac{dI}{dt} \quad (38)$$

Menurut hukum Faraday, diperoleh :

$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi_m}{dt} = -L \frac{dI}{dt} \quad (39)$$

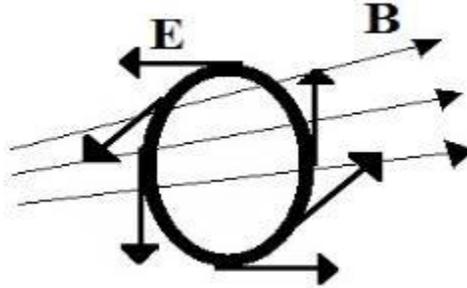
Dengan demikian, ggl induksi diri sebanding dengan laju perubahan arusnya.

2.9. GGL Induksi dan Hukum Faraday

Istilah ggl disebabkan karena adanya sebuah gaya listrik yang bekerja untuk menggerakkan elektron dalam konduktor yang menyatakan bahwa apabila terjadi perubahan fluks dalam suatu loop maka dihasilkan gaya gerak listrik (tegangan listrik) induksi yang berbanding lurus dengan laju perubahan fluks. Ggl biasanya dideteksi dengan mengamati arus dalam suatu rangkaianannya (lilitan kumparan). Ggl yang diinduksi oleh fluks magnetik yang berubah dapat dianggap terdistribusi di seluruh rangkaianannya (lilitan kumparan).

$$\mathcal{E} = \oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad (40)$$

Hasil ini dikenal sebagai hukum Faraday. Tanda negative dalam hukum Faraday berkenaan dengan arah ggl induksinya.



Gambar 2.39 Fluks magnetik terhadap GGL
Sumber : Febriyanti Novitasari, 2014

2.10 Daya Listrik

Daya listrik sering dikaitkan dengan laju hantaran energi listrik pada sirkuit listrik. Satuan standart internasional daya listrik adalah watt yang menyatakan banyaknya tegangan listrik yang mengalir dalam suatu waktu (joule/detik). Daya listrik dilambangkan dengan huruf P. Pada rangkaian arus DC, Daya listrik sesaat dihitung menggunakan hukum joule. Daya pada sumber DC dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$P = V \cdot I \quad (41)$$

Keterangan:

P = Daya keluaran (watt)

V = Tegangan keluaran (Volt)

I = Arus (Ampere)

BAB 3

METODE PENELITIAN

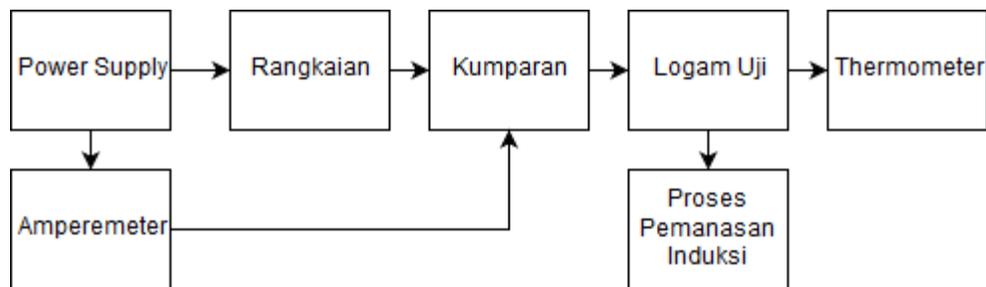
Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode perancangan untuk menulis skripsi dengan tema rancang bangun rangkaian simulator.

3.1. Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem ini berisi blok diagram, skema rangkaian, flowchart dan rangkaian alat. Pada alat simulator efek induksi elektromagnetik, akan dilakukan beberapa langkah percobaan untuk mengetahui kelayakan simulator untuk alat praktikum mahasiswa di laboratorium.

3.2. Blok Diagram

Sistem kerja simulator efek induksi elektromagnetik yang akan dirangkai nanti sesuai dengan blok diagram berikut :



Gambar 3.1 Blok Diagram

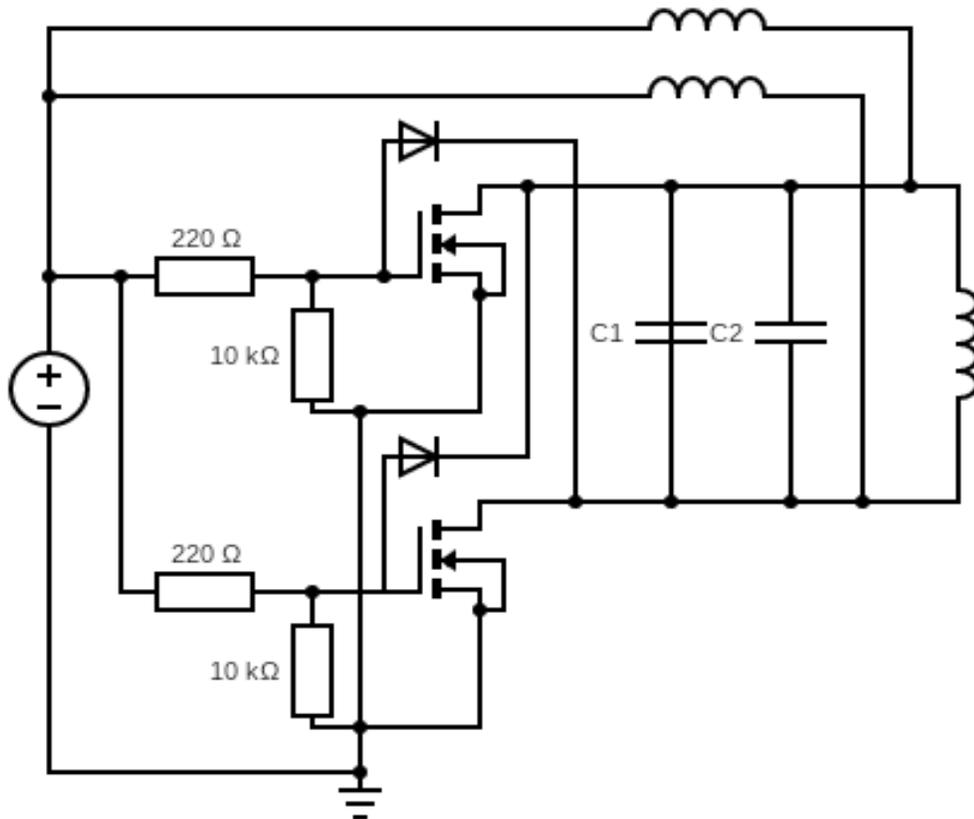
Sumber : Penulis, 2019

Penjelasan dari blok diagram diatas, dimulai dari tegangan AC 220V yang diubah menjadi tegangan DC 12V melalui *power supply* 5A yang akan digunakan untuk mensuplai rangkaian, *power supply* dilengkapi dengan amperemeter untuk melihat arus kerja dari rangkaian yang berhubungan dengan percobaan pada kumparan. Kemudian rangkaian akan mengirim tegangan pada kumparan dan kumparan akan

menghasilkan medan elektromagnet dan kumpulan arus eddy yang akan memanaskan logam uji pada saat proses pemanasan induksi, lalu mahasiswa akan melihat berapa suhu yang didapat dari proses pemanasan induksi pada logam uji.

3.3. Skema Rangkaian

Dibawah ini adalah skema rangkaian atau *circuit diagram* dari simulator efek induksi elektromagnetik yang akan dirakit dengan sedemikian rupa untuk media praktikum mahasiswa di laboratorium.



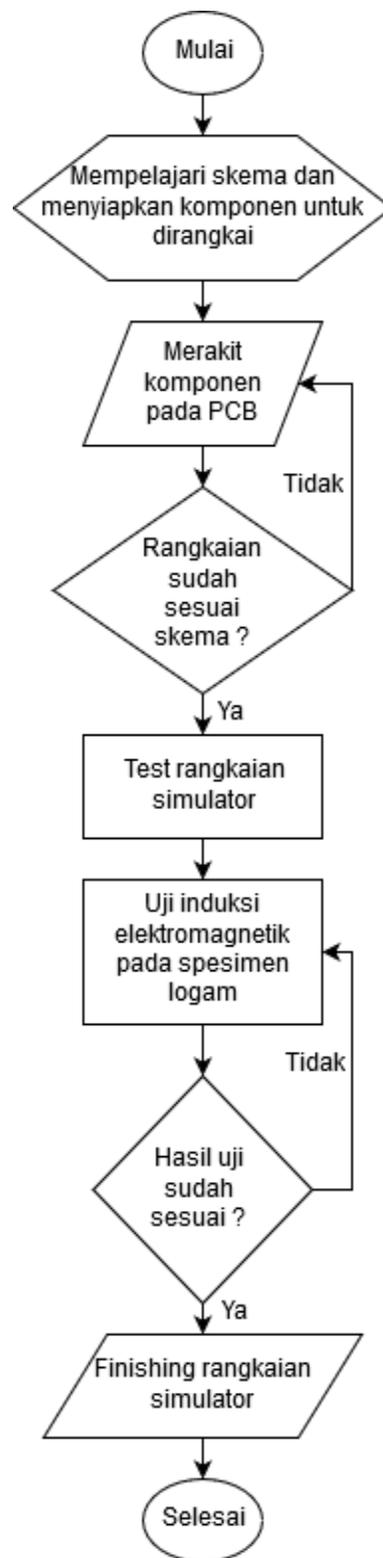
Gambar 3.2 Skema rangkaian simulator efek induksi elektromagnetik

Sumber : Penulis, 2019

Pada gambar diatas dapat kita lihat skema dari rangkaian simulator yang akan dibuat, berdasarkan skema diatas, penulis akan menggunakan 2 buah resistor dengan tahanan 220 Ohm dan 2 buah resistor dengan tahanan 10 kilo Ohm, keempat resistor ini memiliki batasan daya 2W. Kemudian penulis juga menggunakan 2 buah dioda dengan nilai 2A dan 2 buah kapasitor berjenis non-polar dengan kapasitansi 470 nf dan batasan voltase 270 VAC. Kumparan yang digunakan ialah 2 buah kumparan toroid dengan nilai 10 mH 3 A berdiameter 13 mm dan 1 buah kumparan induksi yang akan dililit oleh penulis sesuai kebutuhan simulator. Komponen utama yang digunakan ialah MOSFET tipe *N-Channel* dengan nomor IRF540N.

3.4. Flowchart

Langkah – langkah rancang bangun simulator efek induksi elektromagnetik, dapat dilihat secara singkat pada *flowchart* . Pada *flowchart* terdapat alur perancangan simulator agar hasil yang didapatkan sesuai dengan keinginan. Dimulai dari mempelajari skema rangkaian dan menyiapkan komponen yang akan dirangkai menjadi simulator, kemudian komponen dirakit pada PCB sesuai skema rangkaian. Setelah rangkaian selesai, rangkaian akan dicek apakah sudah sesuai skema atau tidak. Jika tidak sesuai pada skema maka pengerjaan akan diulang, jika sudah sesuai pengerjaan akan dilanjutkan untuk *test* simulator serta uji induksi elektromagnetik pada spesimen logam. Apabila hasil uji belum sesuai maka uji induksi elektromagnetik akan diulang, jika hasil uji sudah sesuai maka akan dilakukan analisa terhadap hasil uji. Kemudian tahap *finishing* rangkaian simulator, rangkaian simulator akan dirapikan dan dimasukkan kedalam *box* dan perancangan selesai.



Gambar 3.3 *Flowchart* rancang bangun simulator

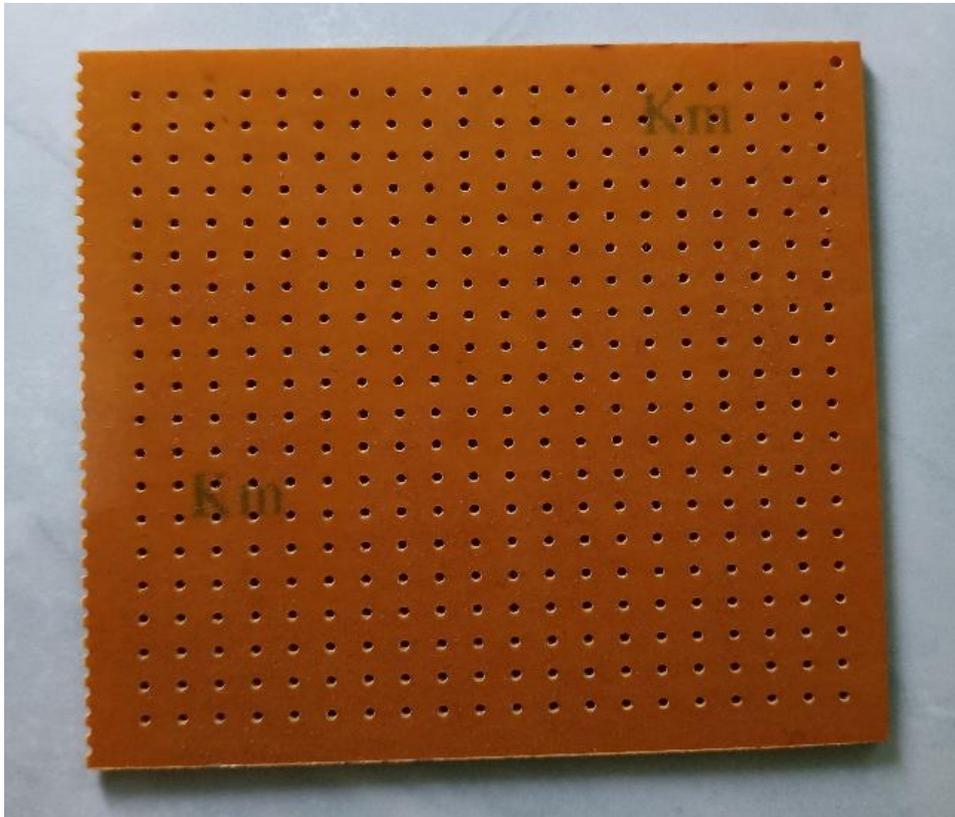
Sumber : Penulis, 2019

3.5. Rangkaian Alat Simulator

Berikut merupakan komponen yang diperlukan untuk merancang alat simulator efek induksi elektromagnetik :

3.5.1. Papan PCB

Papan PCB diperlukan untuk merangkai dan menempatkan komponen sesuai skema rangkaian. Disini penulis menggunakan PCB yang sudah ada lubang untuk menempatkan komponen agar pengerjaan menjadi mudah.



Gambar 3.4 Papan PCB

Sumber : Penulis, 2019

3.5.2. Kawat Tembaga dan Kumparan

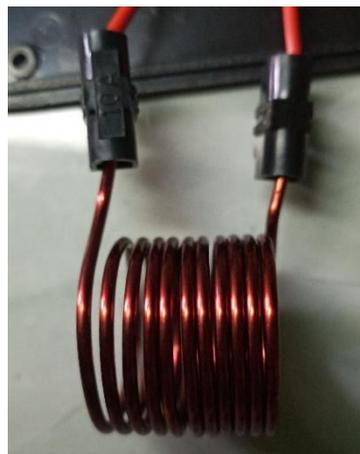
Kawat tembaga diperlukan untuk membuat kumparan dengan inti udara dan akan digunakan sebagai media untuk memanaskan logam. Kawat tembaga yang digunakan berdiameter 2 mm.



Gambar 3.5 Kawat tembaga

Sumber : Penulis, 2019

Kumparan ini dibuat dengan 10 lilitan dan diameter 3 cm. Kumparan dibuat dengan inti udara, karena nanti spesimen akan diletakkan ditengah kumparan untuk dipanaskan.



Gambar 3.6 Kumparan inti udara

Sumber : Penulis, 2019

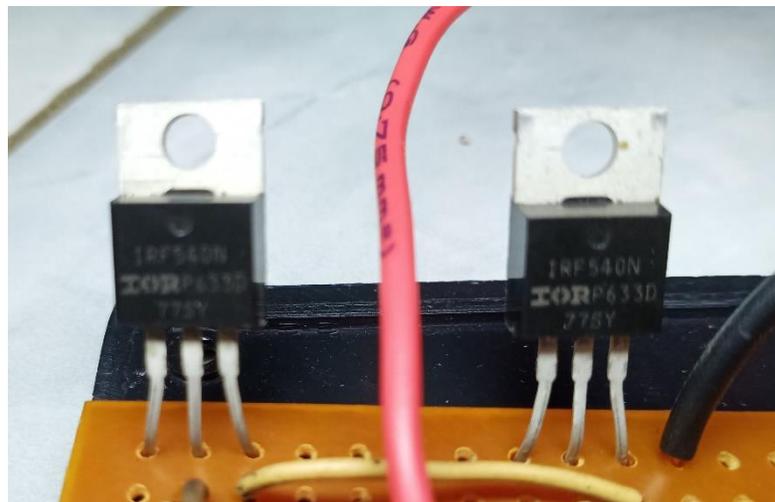
Semakin tebal kawat tembaga yang dipakai maka akan semakin bagus induksi elektromagnetik yang dihasilkan, akan tetapi untuk rangkaian simulator, kawat tembaga dengan diameter 2 mm sudah cukup untuk sebuah simulator.



Gambar 3.7 Kumparan inti udara tampak samping
Sumber : Penulis, 2019

3.5.3. MOSFET

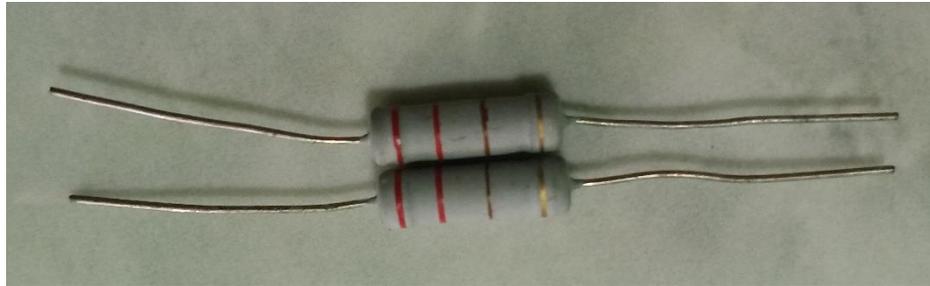
MOSFET digunakan sebagai penguat arus, karena rangkaian simulator ini bekerja dengan arus yang besar. Disini penulis menggunakan MOSFET tipe IRF540N.



Gambar 3.8 MOSFET IRF540N
Sumber : Penulis, 2019

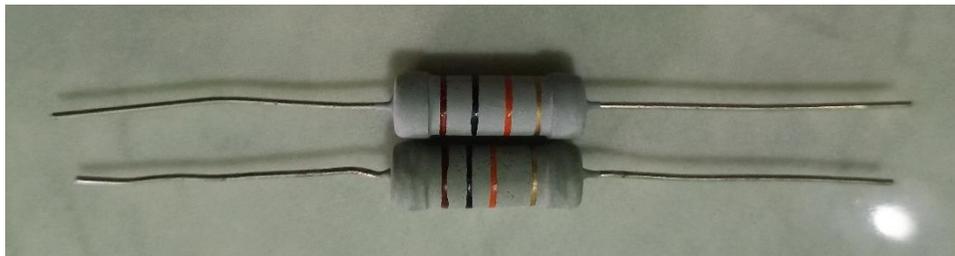
3.5.4. Resistor

Resistor berikut adalah salah satu komponen dari rangkaian simulator. Disini penulis menggunakan 2 buah resistor dengan tahanan 220 Ohm dan 2 buah transistor dengan tahanan 10K Ohm sesuai dengan skema rangkaian.



Gambar 3.9 Resistor 220 Ohm

Sumber : Penulis, 2019



Gambar 3.10 Resistor 10K Ohm

Sumber : Penulis, 2019

3.5.5. Kapasitor

Kapasitor disini berfungsi untuk menyimpan energi dalam bentuk medan listrik sebelum disalurkan ke induktor. Disini peneliti menggunakan 2 kapasitor yang disusun secara parallel untuk mendapatkan nilai kapasitansi yang diinginkan dengan tegangan yang sama.



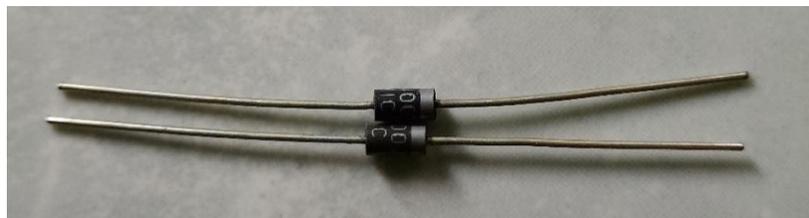
Gambar 3.11 Kapasitor 470 nf

Sumber : Penulis, 2019

Kapasitor yang digunakan berukuran 470 nf dengan tegangan 275VAC sebanyak 2 buah dan disusun secara paralel sehingga mendapatkan total 940 nf dengan tegangan yang sama yaitu 275VAC. Kapasitor yang dipilih bekerja pada tegangan AC karena kapasitor ini dipasang secara paralel pada keluaran rangkaian inverter guna menghindari dari hal – hal yang tidak diinginkan dengan contoh panas berlebih yang mengakibatkan kapasitor terbakar.

3.5.6. Dioda

Pada rangkaian ini dioda yang digunakan adalah dioda 2A, dipilih dioda 2A karena disesuaikan dengan skema rangkaian. Guna menghindari hal – hal yang tidak diinginkan.



Gambar 3.12 Dioda 2A

Sumber : Penulis, 2019

3.5.7. Kumparan Toroid

Kumparan toroid diperlukan untuk membangkitkan medan magnet guna membantu proses induksi yang terjadi.



Gambar 3.13 Kumparan toroid tampak samping
Sumber : Penulis, 2019



Gambar 3.14 Kumparan toroid tampak atas
Sumber : Penulis, 2019

Kumparan yang digunakan bernilai 10 mH 3A dengan diameter 13 mm. Kumparan ini sudah cukup untuk membangkitkan medan magnet untuk membantu kumparan induksi.

3.5.8. *Box* atau Penutup

Setelah semua komponen dirangkai dengan sedemikian rupa mengikuti skema, maka rangkaian akan dirapikan dengan menyusunnya kedalam sebuah kotak atau *box* agar terlihat rapi dan menarik. Penulis menggunakan *box* dengan ukuran panjang 12 cm, lebar 8 cm, dan tinggi 5 cm agar rangkaian tidak terlalu sempit didalam *box*. *Box* ini nanti akan diberi lubang untuk sirkulasi udara guna mengeluarkan panas yang dihasilkan rangkaian.



Gambar 3.15 *Box* untuk rangkaian

Sumber : Penulis, 2019

3.5.9. *Heatsink*

Heatsink atau pendingin berguna untuk menghantar panas yang dihasilkan oleh MOSFET agar MOSFET tidak *overheat* dan menghindari hal – hal yang tidak diinginkan. *Heatsink* ini dibuat dengan menggunakan material aluminium karena sampai saat ini material ini yang dinilai sangat baik untuk menghantarkan panas yang dihasilkan dari komponen elektronika. Untuk ukuran *heatsink* itu sendiri disesuaikan dengan ukuran MOSFET.



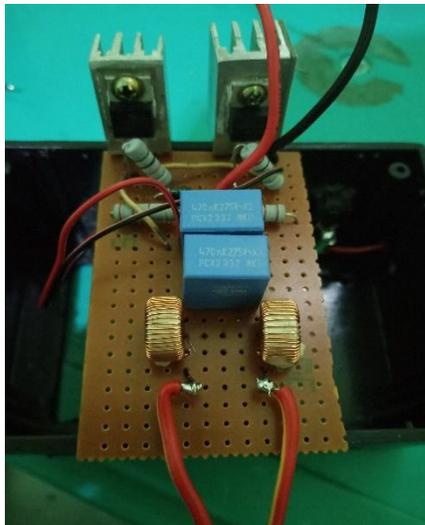
Gambar 3.16 Heatsink atau pendingin

Sumber : Penulis, 2019

Ukuran *heatsink* yang digunakan ini disesuaikan dengan ukuran MOSFET yang digunakan, dan *heatink* dipisah untuk masing – masing MOSFET agar tidak terjadi *short circuit*.

3.6. Rancangan Alat Simulator Secara Keseluruhan

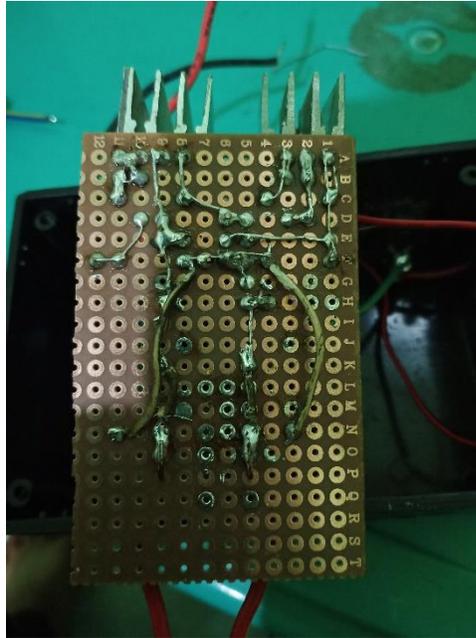
Adapun rancangan alat simulator ini secara keseluruhan dapat dilihat dari gambar dibawah ini :



Gambar 3.17 Tampak atas rangkaian yang sudah jadi

Sumber : Penulis, 2019

Gambar 3.15 menunjukkan rangkaian dari komponen elektronika yang sudah dipaparkan. Rangkaian ini dirakit mengikuti skema yang ada sesuai pada gambar 3.3.



Gambar 3.18 Tampak bawah rangkaian yang sudah jadi

Sumber : Penulis, 2019

Gambar 3.16 menunjukkan tampak bawah rangkaian yang sudah jadi, dimana gambar ini menunjukkan solderan dan jalur dari rangkaian simulator.

3.7. Kipas Atau Fan

Kipas atau *fan* ini diperlukan untuk membantu membuang panas yang dihasilkan dari rangkaian simulator.



Gambar 3.19 Kipas elektrik 12V

Sumber : Penulis, 2019

Penulis menggunakan kipas elektrik dengan tegangan 12V, karena disesuaikan dengan tegangan kerja dari simulator yaitu 12V. Kipas elektrik yang digunakan berukuran 4x4 cm, dipilih kipas berukuran kecil karena menyesuaikan dengan ukuran *box* simulator nantinya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan pembahasan dari perancangan alat simulator yang sudah dibuat, serta untuk menguji alat guna mengetahui kelebihan dan kekurangan alat.

4.1. Simulator Efek Induksi Elektromagnetik

Adapun simulator efek induksi elektromagnetik yang sudah rapi ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.1 Simulator efek induksi elektromagnetik

Sumber: penulis, 2019

4.1.1. Pengujian Simulator

Pengujian simulator ini dapat dilakukan dengan menghubungkan alat dengan power supply 5A yang sudah disediakan dengan tegangan 12V. Langkah selanjutnya melihat tegangan output pada rangkaian, dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.2 Pengukuran output rangkaian

Sumber : Penulis 2019

Dapat dilihat pada gambar 4.2, saat output dari rangkaian diukur menggunakan multimeter, maka bisa kita lihat pada jarum multimeter menunjukkan angka sekitar 11 VAC.

Kemudian pengujian dilanjutkan dengan melihat ampere meter yang ada pada *power supply* untuk mengetahui arus kerja dari rangkaian simulator sebelum diberi beban.



Gambar 4.3 Ampere meter yang ada pada *power supply*

Sumber : Penulis, 2019

Setelah kita lihat pada jarum ampere meter, jarum menunjuk disekitaran angka 1,2A. Hal ini menunjukkan bahwa ketika rangkaian belum diberi beban berupa Logam Uji yang diletakkan ditengah kumparan, rangkaian sudah bekerja dengan arus 1,2A.



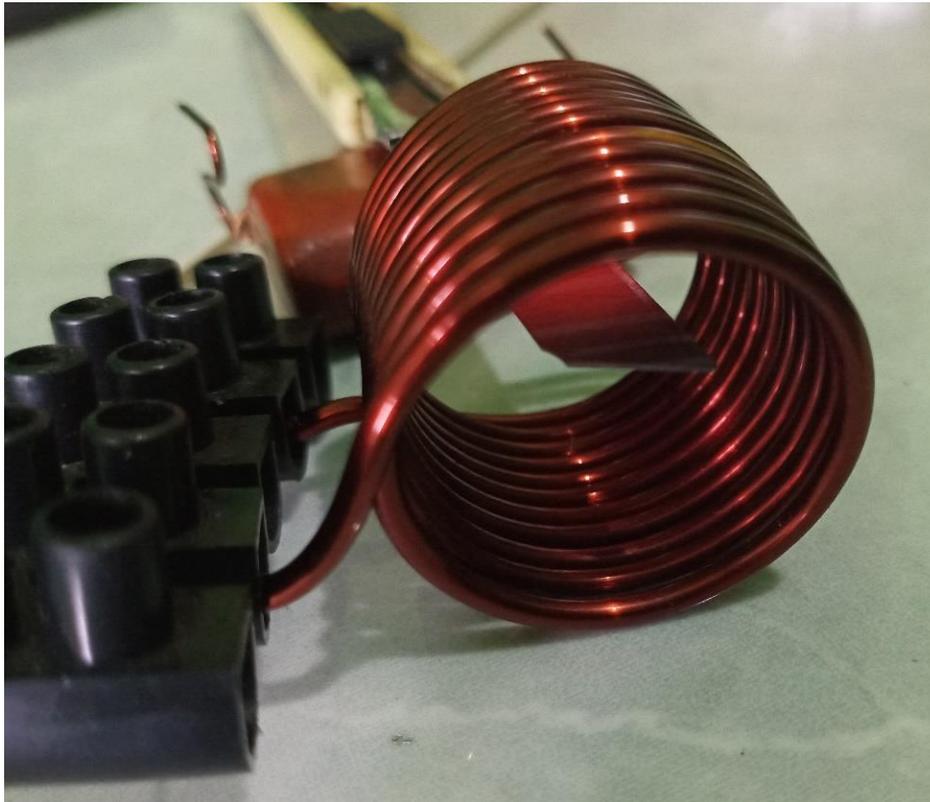
Gambar 4.4 Arus disekitar kumparan

Sumber : Penulis, 2019

Penulis juga mengukur arus yang ada pada sekitar kumparan untuk memastikan kumparan sudah bekerja. Alat ukur yang digunakan penulis menunjukkan angka 7,03A, angka ini membuktikan ada arus yang terjadi disekitar kumparan dan menunjukkan kumparan sudah bekerja.

4.2. Cara Kerja Simulator Menginduksi Logam Uji Logam

Pada umumnya pemanas induksi bekerja dengan memanfaatkan arus *eddy* yang sering dianggap sebagai kerugian, akan tetapi pada proses pemanasan induksi ini, arus *eddy* dimanfaatkan sebaik mungkin untuk memanaskan Logam Uji logam. Dengan memasukkan Logam Uji logam kedalam kumparan berinti udara yang kemudian akan terjadi induksi magnetik yang akan memanaskan logam hingga mencapai suhu tertentu.



Gambar 4.5 Logam Uji logam yang sedang dipanaskan

Sumber : penulis, 2019

Dapat dilihat pada gambar 4.5, Logam Uji yang sedang diletakkan ditengah kumparan lama kelamaan akan semakin memanaskan hingga mencapai suhu yang tinggi. Panas yang timbul adalah hasil dari logam yang terkena induksi medan magnet sehingga pada logam akan timbul arus *eddy* atau arus dengan arah melingkar dan

melingkupi sehingga terjadi fluks magnetik yang menembus logam dan menyebabkan panas pada logam, maka digunakan sebuah rangkaian untuk menggerakkan sebuah arus bolak balik atau yang biasa disebut sebagai arus AC yang besar melalui sebuah kumparan induksi. Kumparan induksi ini dikenal sebagai kumparan kerja. Aliran arus yang melalui kumparan ini menghasilkan medan magnet yang sangat kuat dan cepat berubah dalam kumparan kerja. Benda kerja yang akan dipanaskan ditempatkan dalam medan magnet ini dengan arus AC yang sangat kuat. Ketika sebuah beban masuk dalam kumparan kerja yang di aliri oleh arus AC, maka nilai arus yang mengalir akan mengikuti besarnya sesuai dengan nilai beban yang masuk. Medan magnet yang tinggi akan dapat menyebabkan sebuah beban dalam kumparan kerja tersebut melepaskan panasnya, sehingga panas yang ditimbulkan oleh beban tersebut justru dapat melelehkan beban itu sendiri. Karena panas yang dialami oleh beban akan semakin tinggi, hingga mencapai nilai titik leburnya.

Peneliti akan melihat perbedaan dari logam jenis ferromagnetis, paramagnetis, dan diamagnetis. Untuk melihat apakah ada perbedaan diantara tiga jenis material ini terhadap medan magnetis yang dikeluarkan pada kumparan.

4.3 Uji Logam Uji Logam Feromagnetis

Penulis menggunakan dua logam berjenis feromagnetis untuk dijadikan Logam Uji uji.



Gambar 4.6 Logam Uji pisau cutter

Sumber : Penulis, 2019

Logam Uji yang pertama yaitu pisau *cutter*, pisau ini sama dengan gambar 4.5. Pisau ini mempunyai ukuran panjang sekitar 6 Cm, lebar sekitar 0,9 Cm dan ketebalan sekitar 0,05 mm. Dipilih pisau *cutter*, yaitu sebagai Logam Uji dengan bidang yang lebar dan tipis untuk mengetahui perbedaan dengan Logam Uji pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Logam Uji paku

Sumber : Penulis, 2019

Logam Uji kedua yaitu paku, bisa dilihat pada gambar 4.7. Paku ini mempunyai ukuran panjang 3 inci dan ketebalan sekitar 0,4 Cm. Dipilih paku 3 inci, yaitu sebagai Logam Uji dengan bidang yang tidak lebar namun tebal untuk mengetahui perbedaan proses induksi dengan pisau *cutter*.

Penulis melakukan uji dengan waktu yang berbeda di tiap Logam Uji, waktu pengujian induksi tiap Logam Uji ditentukan dari waktu Logam Uji mencapai titik panas yang ditentukan, yaitu sekitar 300 °C kurang lebih. Kenaikan suhu dapat dilihat pada tabel. Logam Uji pertama yang diuji adalah pisau *cutter*, dapat dilihat pada gambar 4.8 suhu awal pisau *cutter* sebelum dimasukkan kedalam kumparan inti udara.



Gambar 4.8 Suhu awal pisau cutter

Sumber : Penulis, 2019

Pada thermometer di gambar 4.8, suhu awal Logam Uji pisau *cutter* ialah disekitaran 29 °C.



Gambar 4.9 Suhu pisau *cutter* setelah dipanaskan
Sumber : Penulis, 2019

Dapat dilihat pada gambar 4.9 yaitu suhu pisau *cutter* setelah dipanaskan mencapai suhu 389°C dan didapatkan dalam waktu sekitar 30 detik.



Gambar 4.10 Arus beban pisau *cutter*
Sumber ; Penulis, 2019

Pada saat pisau *cutter* diletakkan ditengah kumparan, maka dilihat juga arus beban yang dihasilkan ketika pisau *cutter* dipanaskan. Dapat dilihat pada gambar 4.10, pisau *cutter* menghasilkan arus beban sekitar 3,6 A. Hal ini membuktikan adanya

induksi yang terjadi disekitar kumparan ketika Logam Uji pisau *cutter* diletakkan ditengah kumparan, karena terlihat beban arus yang naik dari beban awal sebelum dimasukkan yaitu 1,2 A. Dengan begitu didapat hasil kenaikan arus beban yang terjadi akibat dari induksi dari Logam Uji pisau *cutter* dengan cara diambil dari arus beban induksi Logam Uji dikurangi dengan arus beban awal dan didapat hasil yaitu 2,4 A.

Tabel 4.1 Kenaikan suhu pada Logam Uji pisau *cutter*

Waktu	Suhu	Arus	Tegangan
0 detik	29,4 °C	1,2 A	12 V
5 detik	45 °C	3,6 A	12 V
10 detik	140 °C	3,6 A	12 V
15 detik	210 °C	3,6 A	12 V
20 detik	260 °C	3,6 A	12 V
25 detik	300 °C	3,6 A	12 V
30 detik	389 °C	3,6 A	12 V

Sumber : Penulis, 2019

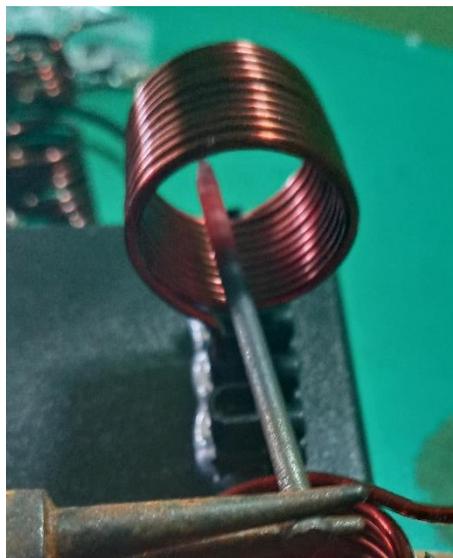
Tabel 4.1 menunjukkan kenaikan suhu yang terjadi pada Logam Uji pisau *cutter* selama 30 detik dengan jarak per - 5 detik. Berikutnya penulis menguji Logam Uji paku, dengan cara yang sama yaitu meletakkan paku ditengah kumparan dan paku akan dipanaskan.



Gambar 4.11 Suhu awal paku

Sumber : Penulis, 2019

Dilihat pada gambar 4.11, suhu awal paku ditunjukkan pada thermometer dengan suhu sekitar 33 °C.



Gambar 4.12 Kondisi paku setelah dipanaskan

Sumber : Penulis, 2019

Dilihat pada gambar 4.12, paku terlihat berwarna merah setelah diletakkan ditengah kumparan dalam waktu 2 menit dan menandakan paku tersebut sudah mencapai suhu yang sangat panas



Gambar 4.13 Suhu paku setelah dipanaskan

Sumber : Penulis, 2019

Pada gambar 4.13 menunjukkan suhu paku setelah dipanaskan selama 2 menit mencapai 342 °C



Gambar 4.14 Arus beban paku

Sumber : Penulis, 2019

Dilihat pada gambar 4.14, jarum ampmeter menunjukkan arus beban paku berada disekitar 3,4 A. Sama halnya dengan pengujian pada Logam Uji pisau *cutter*, hal ini juga membuktikan induksi terjadi pada Logam Uji paku. Maka didapat hasil kenaikan arus beban yang terjadi akibat dari induksi dari Logam Uji paku dengan cara yang sama yaitu diambil dari arus beban induksi Logam Uji dikurangi dengan arus beban awal dan didapat hasil yaitu 2,2 A.

Tabel 4.2 Kenaikan suhu pada Logam Uji paku

Waktu	Suhu	Arus	Tegangan
0 detik	33 °C	1,2 A	12 V
10 detik	45 °C	3,4 A	12 V
20 detik	75 °C	3,4 A	12 V
30 detik	95 °C	3,4 A	12 V
40 detik	120 °C	3,4 A	12 V
50 detik	145 °C	3,4 A	12 V
60 detik	160 °C	3,4 A	12 V
70 detik	180 °C	3,4 A	12 V
80 detik	200 °C	3,4 A	12 V
90 detik	235 °C	3,4 A	12 V
100 detik	280 °C	3,4 A	12 V
110 detik	315 °C	3,4 A	12 V
120 detik	342 °C	3,4 A	12 V

Sumber : Penulis, 2019

Dapat dilihat pada tabel 4.2, menunjukkan kenaikan suhu selama 2 menit dengan jarak per – 10 detik. Dapat diperhatikan pada tabel 4.1 dan 4.2 bahwa logam berjenis feromagnetis ini dapat dipanaskan hingga suhu yang sangat panas dengan waktu yang singkat. Dibanding dengan memanaskan logam feromagnetis dengan cara tradisional, memanaskan logam feromagnetis ini dengan cara menginduksinya jauh lebih cepat dan bersih juga tidak memerlukan api.

4.4. Uji Logam Uji Logam Paramagnetis

Pada pengujian Logam Uji logam paramagnetis, penulis menggunakan logam aluminium sebagai bahan uji. Logam Uji uji dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.15 Logam Uji aluminium

Sumber : Penulis, 2019

Dapat dilihat pada gambar 4.15, Logam Uji aluminium memiliki ketebalan 0,3 cm dan lebar sekitar 1 cm. Juga dapat dilihat suhu awal Logam Uji aluminium sebelum dimasukkan ditengah kumparan, berada pada sekitar 31,7 °C.



Gambar 4.16 Suhu aluminium setelah dipanaskan

Sumber : Penulis, 2019

Pada gambar diatas terlihat suhu aluminium yang naik sedikit dari suhu awal sebelum dimasukkan kedalam kumparan. Setelah dimasukkan selama 1 menit kedalam kumparan dapat terlihat pada thermometer bahwa suhu aluminium berada pada sekitar 32,3 °C, hal ini menunjukkan bahwa induksi elektromagnetik tidak terlalu berpengaruh terhadap logam jenis paramagnetis.



Gambar 4.17 Arus beban logam aluminium

Sumber : Penulis, 2019

Pada ampmeter yang ditunjukkan di gambar 4.17, ada kenaikan sedikit dari arus awal rangkaian sebelum diberi beban, arus awal yaitu 1,2A dan setelah logam aluminium dimasukkan ke kumparan, ada kenaikan arus yaitu 1,4A, ini membuktikan bahwa ada arus beban sebesar 0,2A yang mempengaruhi beban rangkaian. Dengan hal ini kita dapat mengetahui induksi terjadi pada logam paramagnetis, walaupun itu sedikit sekali.

4.5. Uji Logam Uji Logam Diamagnetis

Penulis juga menguji Logam Uji logam berjenis diamagnetis, yaitu logam tembaga. Guna mengetahui perbedaan dari logam feromagnetis dan paramagnetis, maka pengujian dengan logam diamagnetis juga diperlukan untuk mengetahui perbedaan tiap jenis logam.



Gambar 4.18 Logam Uji logam tembaga

Sumber : Penulis, 2019

Logam Uji logam tembaga yang dipilih yaitu pipa tembaga dengan diameter sekitar 0,4 inci. Pipa ini adalah pipad yang biasa dipakai pada *air conditioner*, sengaja dipilih pipa tembaga ini karena mudah didapat.



Gambar 4.19 Suhu awal tembaga

Sumber : Penulis, 2019

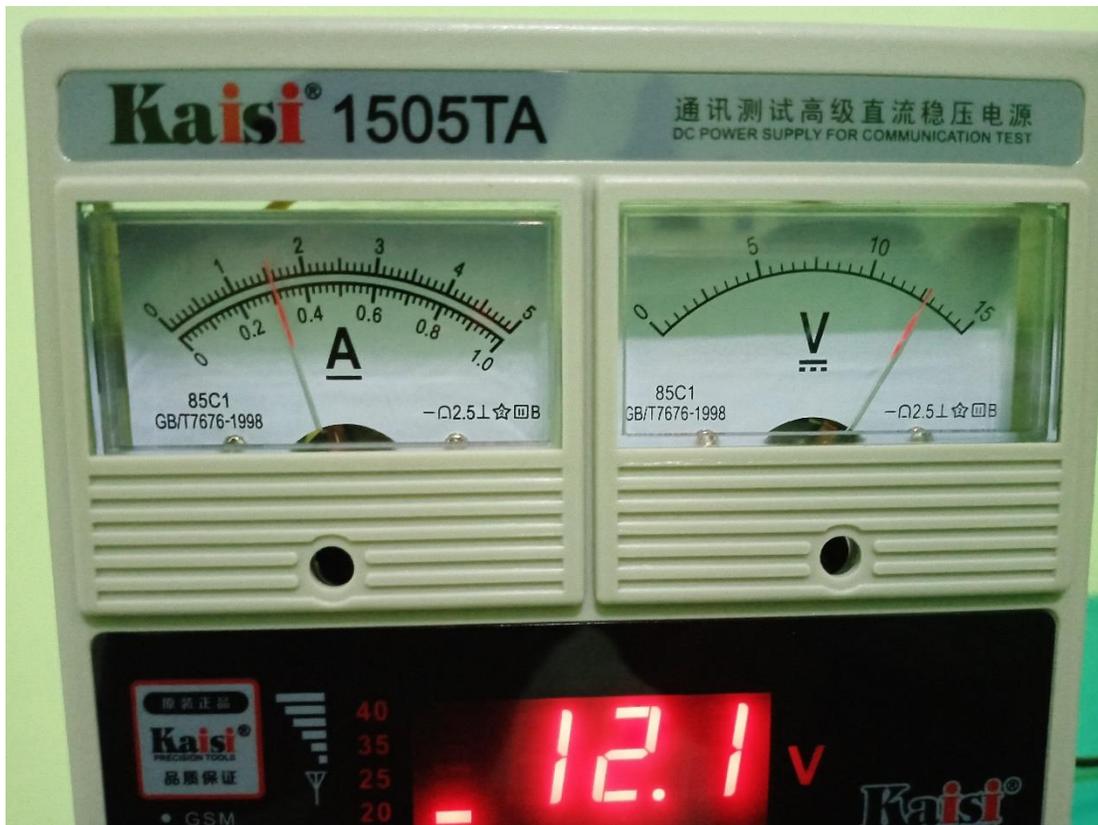
Dilihat pada gambar 4.19, thermometer menunjukkan angka 30,8 °C dimana itu adalah suhu awal tembaga sebelum dimasukkan kedalam kumparan. Tembaga akan diuji didalam kumparan selama 1 menit untuk melihat kenaikan suhu yang terjadi pada pipa tembaga.



Gambar 4.20 Suhu tembaga setelah dipanaskan

Sumber : Penulis, 2019

Gambar 4.20 menunjukkan suhu $32,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, angka ini menunjukkan ada kenaikan dari suhu awal tembaga sebelum dipanaskan yaitu $30,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, dapat diartikan bahwa ada kenaikan sekitar $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dari suhu awal tembaga. Selanjutnya penulis melihat arus beban yang terjadi saat tembaga dimasukkan kedalam kumparan.



Gambar 4.21 Arus beban logam tembaga

Sumber : Penulis, 2019

Setelah dilihat pada ampmeter yang ada pada power supply, ada kenaikan arus beban yaitu sekitar $1,5\text{ A}$. ada kenaikan $0,3\text{ A}$ dari arus beban awal yaitu $1,2\text{ A}$. hal ini menunjukkan bahwa induksi magnet juga terjadi pada logam jenis diamagnetis, tetapi sma seperti logam jenis paramagnetis, induksi yang terjadi pada logam diamagnetis

tidak seperti logam feromagnetis yang arus bebannya naik secara signifikan ketika logam dimasukkan di tengah kumparan.

4.6. Analisis Perhitungan Fluks Magnetik

Sebelum fluks magnetik ditentukan, harus ditentukan terlebih dahulu luas penampang dari kumparan, dengan persamaan sebagai berikut.

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

Dimana $d = 3 \text{ cm}$

$$\text{Maka, } A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 3^2$$

$$A = 7,065 \text{ cm}^2 / 0,07065 \text{ m}^2$$

Adapun fluks magnetik serta induktansi diri yang dihasilkan oleh kumparan dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Perhitungan sebelum diberi beban

Fluks magnetik sebelum diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Phi = BA = \mu_0 n I A$$

Dengan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, $n = 10$ lilitan, $I = 1,2 \text{ A}$, dan $A = 0,07065 \text{ m}^2$

$$\text{Maka, } \Phi = 4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 1,2 \times 0,07065$$

$$\Phi = 10,676 \times 10^{-7} \text{ wb}$$

Induktansi diri sebelum diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$L = \Phi / I$$

Dengan $\Phi = 10,676 \times 10^{-7} \text{ wb}$ dan $I = 1,2 \text{ A}$

$$\text{Maka, } L = \frac{10,676 \times 10^{-7}}{1,2}$$

$$L = 8,89 \times 10^{-7}$$

2. Perhitungan setelah diberi beban logam uji ferromagnetis jenis pisau cutter

Fluks magnetik setelah diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Phi = BA = \mu_0 nIA$$

Dengan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, $n = 10$ lilitan, $I = 3,6$ A, dan $A = 0,07065 \text{ m}^2$

Maka, $\Phi = 4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 3,6 \times 0,07065$

$$\Phi = 31,65 \times 10^{-7} \text{ wb}$$

Induktansi diri setelah diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$L = \Phi / I$$

Dengan $\Phi = 31,65 \times 10^{-7} \text{ wb}$ dan $I = 3,6$ A

$$\text{Maka, } L = \frac{31,65 \times 10^{-7}}{3,6}$$

$$L = 8,79 \times 10^{-7}$$

3. Perhitungan setelah diberi beban logam uji ferromagnetis jenis paku

Fluks magnetik setelah diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Phi = BA = \mu_0 nIA$$

Dengan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, $n = 10$ lilitan, $I = 3,4$ A, dan $A = 0,07065 \text{ m}^2$

Maka, $\Phi = 4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 3,4 \times 0,07065$

$$\Phi = 29,89 \times 10^{-7} \text{ wb}$$

Induktansi diri setelah diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$L = \Phi / I$$

Dengan $\Phi = 29,89 \times 10^{-7} \text{ wb}$ dan $I = 3,4$ A

$$\text{Maka, } L = \frac{29,89 \times 10^{-7}}{3,4}$$

$$L = 8,79 \times 10^{-7}$$

4. Perhitungan setelah diberi beban logam uji paramagnetis jenis aluminium

Fluks magnetik setelah diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Phi = BA = \mu_0 nIA$$

Dengan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, $n = 10$ lilitan, $I = 1,4$ A, dan $A = 0,07065 \text{ m}^2$

$$\text{Maka, } \Phi = 4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 1,4 \times 0,07065$$

$$\Phi = 12,42 \times 10^{-7} \text{ wb}$$

Induktansi diri setelah diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$L = \Phi / I$$

Dengan $\Phi = 12,42 \times 10^{-7} \text{ wb}$ dan $I = 1,4$ A

$$\text{Maka, } L = \frac{12,42 \times 10^{-7}}{1,4}$$

$$L = 8,87 \times 10^{-7}$$

5. Perhitungan setelah diberi beban logam uji diamagnetis jenis tembaga

Fluks magnetik setelah diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Phi = BA = \mu_0 nIA$$

Dengan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$, $n = 10$ lilitan, $I = 1,5$ A, dan $A = 0,07065 \text{ m}^2$

$$\text{Maka, } \Phi = 4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 1,5 \times 0,07065$$

$$\Phi = 13,31 \times 10^{-7} \text{ wb}$$

Induktansi diri setelah diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$L = \Phi / I$$

Dengan $\Phi = 13,31 \times 10^{-7} \text{ wb}$ dan $I = 1,5 \text{ A}$

$$\text{Maka, } L = \frac{13,31 \times 10^{-7}}{1,5}$$

$$L = 8,87 \times 10^{-7}$$

4.7. Daya yang Dihasilkan Oleh Rangkaian

Adapun daya yang dihasilkan dari rangkaian dapat dihitung dari hasil pengukuran yang dilakukan saat pengujian dilakukan.

1. Daya rangkaian sebelum diberi beban

Daya rangkaian sebelum diberi beban dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = V \times I$$

Dengan $V = 12 \text{ V}$ dan $I = 1,2 \text{ A}$

Maka,

$$P = 12 \times 1,2 \text{ A}$$

$$P = 14,4 \text{ Watt}$$

2. Daya rangkaian saat pengujian Logam Uji pisau *cutter*

Daya rangkaian saat pengujian Logam Uji pisau *cutter* dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = V \times I$$

Dengan $V = 12 \text{ V}$ dan $I = 3,6 \text{ A}$

Maka,

$$P = 12 \times 3,6 \text{ A}$$

$$P = 43,2 \text{ Watt}$$

3. Daya rangkaian saat pengujian Logam Uji paku

Daya rangkaian saat pengujian Logam Uji paku dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = V \times I$$

Dengan $V = 12 \text{ V}$ dan $I = 3,6 \text{ A}$

Maka,

$$P = 12 \times 3,6 \text{ A}$$

$$P = 43,2 \text{ Watt}$$

4. Daya rangkaian saat pengujian Logam Uji aluminium

Daya rangkaian saat pengujian Logam Uji aluminium dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = V \times I$$

Dengan $V = 12 \text{ V}$ dan $I = 1,4 \text{ A}$

Maka,

$$P = 12 \times 1,4 \text{ A}$$

$$P = 16,8 \text{ Watt}$$

5. Daya rangkaian saat pengujian Logam Uji tembaga

Daya rangkaian saat pengujian Logam Uji tembaga dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = V \times I$$

Dengan $V = 12 \text{ V}$ dan $I = 1,5 \text{ A}$

Maka,

$$P = 12 \times 1,5 \text{ A}$$

$$P = 18 \text{ Watt}$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun hasil dari percobaan simulator efek induksi elektromagnetik pada logam adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengukuran arus rangkaian sebelum dibebani oleh logam uji logam adalah 1,2 A., untuk tegangan input adalah 12 VDC, untuk tegangan output yang terhubung pada kumparan adalah 11 VAC.
2. Hasil pengukuran untuk arus beban logam uji pisau cutter adalah 3,6 A, arus beban logam uji paku adalah 3,4 A, untuk logam uji aluminium adalah 0,2 A, untuk logam uji tembaga adalah 0,3 A.
3. Untuk daya yang dihasilkan oleh rangkaian saat sebelum dimasukkan beban adalah 14,4 watt, saat dimasukkan beban logam uji pisau *cutter* adalah 43,2 watt, saat dimasukkan beban logam uji paku adalah 40,8 watt, saat dimasukkan beban logam uji aluminium adalah 16,8 watt, dan saat dimasukkan beban logam uji tembaga adalah 18 watt.
4. Hasil pengukuran arus yang dihasilkan oleh kumparan adalah 7,03 A.
5. Ada peningkatan yang signifikan untuk memanaskan logam jenis feromagnetis yaitu logam uji pisau cutter dan paku, dimana suhu awal untuk pisau cutter adalah 29,4 °C setelah dipanaskan selama 30 detik terjadi peningkatan hingga suhu 389 °C. Sedangkan untuk logam uji paku suhu

awalnya adalah $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ setelah dipanaskan selama 2 menit terjadi peningkatan hingga suhu $342\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. Untuk logam jenis paramagnetis dan diamagnetis yaitu logam uji aluminium dan tembaga tidak terjadi peningkatan suhu yang signifikan. Dengan suhu awal logam uji aluminium adalah $31,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan setelah dipanaskan selama 1 menit suhunya adalah $32,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sedangkan untuk logam uji tembaga suhu awalnya adalah $30,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan setelah dipanaskan selama 1 menit suhunya adalah $32,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.
7. Setelah diamati hasil pengukuran arus dan pengamatan suhu dari empat logam uji, didapat kesimpulan bahwa hanya logam berjenis feromagnetis yang dapat dipanaskan dengan cara induksi elektromagnetik secara signifikan dikarenakan logam feromagnetis adalah jenis logam yang bereaksi langsung terhadap medan magnet.
8. Perbandingan nilai arus beban untuk logam jenis feromagnetis, diamagnetis dan paramagnetis juga terlihat jauh perbedaannya, karena induksi elektromagnetik bekerja secara efektif hanya pada logam feromagnetis.
9. Penggunaan pemanas induksi pada industri besi dan baja akan menimbulkan efek positif terhadap lingkungan dikarenakan lebih bersih dan tidak memakai bahan bakar fosil apapun.
10. Semakin tipis dan lebar logam uji logam feromagnetis, maka akan semakin cepat pula logam mencapai titik panasnya, semakin tebal logam uji logam feromagnetis, maka akan semakin lama pula logam mencapai titik panasnya.

11. Berdasarkan pengamatan dan pengujian yang sudah dilakukan terhadap rangkaian induksi elektromagnetik ini, maka disimpulkan semakin besar frekuensi dan arus yang dihasilkan oleh kumparan maka akan semakin cepat pemanasan logam berlangsung.

5.2 Saran

Adapun saran yang didapat dari penulisan skripsi dan penelitian dari rancang bangun alat simulator ini adalah sebagai berikut :

1. Pengamatan suhu dapat dilakukan lebih lama untuk melihat apakah logam uji logam mencapai titik leburnya atau tidak.
2. Penggunaan pemanas induksi ini memerlukan daya dan arus listrik yang besar, sehingga untuk aplikasi ke alat rumah tangga tidak disarankan.
3. Apabila komponen pada rangkaian tidak sesuai spesifikasinya, umur dari pemanas induksi ini tidak akan panjang, maka diperlukan riset lebih lanjut agar pemanas induksi dapat diaplikasikan ke masyarakat luas.
4. Diperlukan pengembangan lebih lanjut terhadap rangkaian simulator yang sudah dibuat, guna mendapat proses yang tepat dan waktu yang cepat untuk memanaskan logam.
5. Diperlukan analisis lebih lanjut untuk output yang didapat dari hasil induksi elektromagnetik terhadap logam.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Jayadin, 2007, "*Elektronika Dasar*", e-book <http://jayadin.wordpress.com>.
- Alaydrus, Mudrik, 2014, "*Medan Elektromagnetika*", Penerbit Andi, Jakarta.
- D. Kraus, John, 1984, "*Electromagnetics, Third Edition*", McGraww Hill, Singapore.
- Ismail, Rifky.dkk, 2011, "*Pemanfaatan Mesin Pemanas Induksi Untuk Pengerasan Permukaan Roda Gigi Produk UKM*", Universitas Diponegoro, Semarang
- Maulana, Eka, 2014, "*Teori Dasar Mosfet*", e-book <http://maulanalecture.ub.ac.id>.
- Lubis, A., & Batubara, S. (2019, December). Sistem Informasi Suluk Berbasis Cloud Computing Untuk Meningkatkan Efisiensi Kinerja Dewan Mursyidin Tarekat Naqsyabandiyah Al Kholidiyah Jalaliyah. In Prosiding SiManTap: Seminar Nasional Matematika dan Terapan (Vol. 1, pp. 717-723).
- Muttaqin, Muhammad. "Analisa Pemanfaatan Sistem Informasi E-Office Pada Universitas Pembangunan Panca Budi Medan Dengan Menggunakan Metode Utaut." Jurnal Teknik dan Informatika 5.1 (2018): 40-43.
- Nur, Muhammad, 2019 "*Implementasi Rangkaian Penyearah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin*", Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.
- Novitasari, Febriyanti.dkk, 2014, "*Studi Perbandingan Konfigurasi Koil Metoda Eddy Current Testing (ECT) Pada Bahan Ferromagnetik Dan Non-Ferromagnetik*", Universitas Telkom, Bandung.
- Noviansyah, Ryan, 2012, "*Pemanas Induksi (Induction Heating) Kapasitas 200 Watt*", Universitas Gunadarma, Depok.
- Pratama, Pandu Sandi.dkk, 2011, "*Perancangan Inverter Resonan Seri Frekuensi Tinggi Sebagai Suplai Pemanas Induksi Pada Alat Pemanas Bearing*", Universitas Diponegoro, Semarang
- Putra, Randi Rian. "implementasi metode backpropagation Jaringan saraf tiruan dalam memprediksi pola Pengunjung terhadap transaksi." JurTI (Jurnal Teknologi Informasi) 3.1 (2019): 16-20.

- Putri, N. A. (2018). Sistem Pakar untuk Mengidentifikasi Kepribadian Siswa Menggunakan Metode Certainty Factor dalam Mendukung Pendekatan Guru. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 1(1), 78-90.
- Raharjo, Wahyu Purwo, Bambang Kusharjanta, 2013, “**Rancang Bangun Pemanas Induksi Berkapasitas 600W Untuk Proses Perlakuan Panas Dan Perlakuan Permukaan**”, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Ramadhani, S., Suherman, S., Melvasari, M., & Herdianto, H. (2018). Perancangan Teks Berjalan Online Sebagai Media Informasi Nelayan. *Jurnal Ilmiah Core IT: Community Research Information Technology*, 6(2).
- Siahaan, A. P. U., Aryza, S., Nasution, M. D. T. P., Napitupulu, D., Wijaya, R. F., & Arisandi, D. (2018). Effect of matrix size in affecting noise reduction level of filtering.
- Sulistianingsih, I., Suherman, S., & Pane, E. (2019). Aplikasi Peringatan Dini Cuaca Menggunakan Running Text Berbasis Android. *IT Journal Research and Development*, 3(2), 76-83.
- Syahbardia.dkk, 2018, Vol. 3 “**Pembuatan Tungku Induksi Sederhana**”, Univesitas Diponegoro, Semarang
- Tasril, V., & Putri, R. E. (2019). Perancangan Media Pembelajaran Interaktif Biologi Materi Sistem Pencernaan Makanan Manusia Berbasis Macromedia Flash. *Jurnal Ilmiah Core IT: Community Research Information Technology*, 7(1).
- Utomo, R. B. (2019). Aplikasi Pembelajaran Manasik Haji dan Umroh berbasis Multimedia dengan Metode User Centered Design (UCD). *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer dan Informatika)*, 3(1), 68-79.
- Wijaya, R. F., Utomo, R. B., Niska, D. Y., & Khairul, K. (2019). Aplikasi Petani Pintar Dalam Monitoring Dan Pembelajaran Budidaya Padi Berbasis Android. *Rang Teknik Journal*, 2(1).
- Wahyuni, S., Lubis, A., Batubara, S., & Siregar, I. K. (2018, September). Implementasi algoritma crc 32 dalam mengidentifikasi Keaslian file. In *Seminar Nasional Royal (SENAR) (Vol. 1, No. 1, pp. 1-6)*.