

**ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAN PANJANG KUMPARAN
LUAR TERHADAP DAYA KELUARAN PADA *HUBBARD COIL***

SKRIPSI

Oleh:

AYU NUR KHALIFAH

NIM. 11640036



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

**ANALISIS JUMLAH DAN PANJANG KUMPARAN LUAR TERHADAP
DAYA KELUARAN PADA *HUBBARD COIL***

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**AYU NUR KHALIFAH
NIM. 11640036**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2015**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAN PANJANG KUMPARAN LUAR
TERHADAP DAYA KELUARAN PADA *HUBBARD COIL*

SKRIPSI

Oleh:

AYU NUR KHALIFAH

NIM. 11640036

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal : 27 Oktober 2015

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Erika Rani, M.Si
NIP. 19810613 200604 2 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAN PANJANG KUMPARAN LUAR TERHADAP DAYA KELUARAN PADA HUBBARD COIL

SKRIPSI

Oleh:

AYU NUR KHALIFAH
NIM.11640036

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 09 November 2015

Penguji Utama	:	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Ketua Penguji	:	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Sekretaris Penguji	:	<u>Ahmad Abtokhi, M,Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	
Anggota Penguji	:	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : AYU NUR KHALIFAH
NIM : 11640036
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Analisis Pengaruh Jumlah dan Panjang Kumbaran Luar Terhadap Daya Keluaran Pada *Hubbard Coil*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 25 Oktober 2015

Yang Membuat Pernyataan,

Ayu Nur Khalifah
NIM. 11640036

MOTTO

وَلَوْ أَنَّمَا فِي الْأَرْضِ مِنْ شَجَرَةٍ أَقْلَمٌ وَالْبَحْرُ يَمُدُّهُ مِنْ بَعْدِهِ سَبْعَةُ
أَبْحُرٍ مَّا نَفِدَتْ كَلِمَاتُ اللَّهِ إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ حَكِيمٌ

“Dan seandainya pohon-pohon di bumi menjadi pena dan laut (menjadi tinta), ditambahkan kepadanya tujuh laut(lagi) sesudah (kering)nya, niscaya tidak akan habis-habisnya (dituliskan) kalimat Allah. Sesungguhnya Allah maha perkasa lagi maha bijaksana”(QS Luqman:27)



HALAMAN PERSEMBAHAN

" sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai dari suatu urusan kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain" (QS Al insyirah :6-7)

Ungkapan hati sebagai rasa terima kasihku:

Sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT. Taburan cinta dan kasih sayangMu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW.

Terimakasih beribu ribu terimakasih dari lubuk hati yang paling dalam kepada kedua orang tua ku Ayahanda Saleh dan Ibunda Siti Aisah (Telapak kaki syurgaku) adik tercinta beserta seluruh keluarga atas kasih tulus dan doa yang selalu mengiringi setiap langkahku, jika ada balasan untuk setiap perbuatan baik yang ku lakukan saat ini, semuanya untuk ayah dan ibu terlebih dahulu.

Seluruh dosen fisika uin maliki malang terimakasih atas ketulusan mengajar Para guru dan pembimbing yang telah berbagi ilmu dan memberikan bimbingan. untuk teman seperjuangan fisika 2011 terimakasih atas kebersamaan selama ini kalian begitu berarti. khususnya fisika instrumentasi.

Terimakasih untuk semuanya semoga Allah memberikan yang terbaik untuk kalian.. Amiin

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Baginda Rasulallah, Nabi besar Muhammad SAW serta para keluarga, sahabat, dan pengikut-pengikutnya. Atas Ridho dan Kehendak Allah SWT, Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Analisis Pengaruh jumlah dan Panjang Kumbaran Luar Terhadap Daya Keluaran Pada *Hubbard Coil*** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah banyak meluangkan waktu, nasehat dan inspirasinya sehingga dapat melancarkan dalam proses penulisan skripsi.

4. Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu dan pikirannya dan memberikan bimbingan, bantuan serta pengarahan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Erika Rani, M.Si selaku Dosen Pembimbing Agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Qur'an serta Hadits.
6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses perkuliahan.
7. Kedua orang tua, Ibu Siti Aisah dan Bapak Saleh serta semua keluarga yang telah memberikan dukungan, restu, serta selalu mendoakan disetiap langkah penulis.
8. Teman-teman dan para sahabat terimakasih atas kebersamaan dan persahabatan serta pengalaman selama ini, terutama teman-teman angkatan 2011 terkhusus instrumentasi.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat, tambahan ilmu dan dapat menjadikan inspirasi kepada para pembaca *Amin Ya Rabbal Alamin*.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 25 Oktober 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Kebutuhan Listrik di Indonesia	8
2.2 Permasalahan Energi	9
2.3 Transformator	12
2.3.1 Konstruksi dan Jenis Transformator	15
2.3.2 Prinsip Kerja Transformator	17
2.3.3 Rangkaian Ekuivalen Transformator	19
2.3.4 Operasi Kerja Paralel Transformator	21
2.4 Generator	22
2.5 Kumparan Hubbard	26
2.6 Matrik Kumparan Hubbard	27
2.7 Gaya Lorentz dan Kaidah Tangan Kanan	28
2.8 Medan Magnet oleh Kawat Berarus	30
2.8.1 Hukum Biot-Savart	32
2.8.2 Hukum Ampere	34
2.8.3 Dipol Magnet	36
2.8.4 Solenoida	36
2.9 Medium magnetik	37
2.9.1 Ferromagnetik	39
2.9.2 Ferimagnetik	41
2.9.3 Antiferomagnetik	41
2.9.4 Diamagnetik	42
2.9.5 Paramagnetik	43
2.10 Hukum Faraday	46
2.11 Prinsip Induksi Elektromagnetik	50
2.12 Rugi-rugi dan Efisiensi Transformator	51

BAB III METODE PENELITIAN	56
3.1 Jenis Penelitian	56
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	56
3.3 Alat dan Bahan	56
3.4.1 Alat-Alat Penelitian	56
3.4.2 Bahan-Bahan Penelitian	57
3.4 Diagram Alir Penelitian	58
3.5 Tahapan Penelitian	59
3.6 Rancangan Penelitian	59
3.7 Pembuatan transformator pada Hubbard Coil	60
3.7.1 Pembuatan Koker	60
3.7.2 Penggulangan lilitan dan Isolasi	60
3.7.3 Pemasangan Inti Besi	61
3.8 Pembuatan Rangkaian Osilator Transformator	61
3.9 Teknik Pengambilan Data	62
3.10 Teknik Analisis Data	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1 Hasil Penelitian	64
4.1.1 Rancang Bangun Transformator Desain Hubbard Coil	63
4.1.2 Pengujian Tegangan dan Arus Keluaran Transformator Hubbard Coil ..	67
4.1.3 Pengujian Efisiensi pada Transformator Hubbard Coil	72
4.2 Pembahasan	73
4.3 Kajian Integrasi Islam Terhadap Hasil Penelitian	77
BAB V PENUTUP	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konstruksi transformator tipe inti	16
Gambar 2.2	Transformator tipe cangkang	16
Gambar 2.3	Transformator terdiri dari dua kumparan dililitkan pada inti besi.....	18
Gambar 2.4	Rangkaian ekivalen sebuah transformator	19
Gambar 2.5	Rangkaian ekivalen transformator dilihat dari sisi primer .	20
Gambar 2.6	Penyederhanaan rangkaian ekivalen transformator.....	20
Gambar 2.7	Hasil akhir penyederhanaan ekivalen transformator	21
Gambar 2.8	Rangkaian dua transformator paralel	21
Gambar 2.9	Konstruksi generator arus bolak balik.....	24
Gambar 2.10	Generator arus searah	25
Gambar 2.11	Output tegangan generator DC.....	25
Gambar 2.12	Desain kumparan Hubbard.....	27
Gambar 2.13	Kaidah tangan kanan	30
Gambar 2.14	Percobaan Hans	31
Gambar 2.15	Medan magnet arus listrik	33
Gambar 2.16	Medan magnet di sekeliling arus listrik	35
Gambar 2.17	Solenoida	37
Gambar 2.18	Grafik hubungan antara magnetik χ terhadap temperatur T pada bahan feromagnetik.....	41
Gambar 2.19	Grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik χ terhadap temperatur T pada bahan paramagnetik	45
Gambar 2.20	Arah Domain. (a) Diamagnetik; (b) Paramagnetik; (c) Feromagnetik (d) Antiferomagnetik; (e) Ferimagnetik.....	45
Gambar 2.21	Percobaan faraday mengenai induksi elektromagnetik	46
Gambar 2.22	Magnet yang didekatkan kumparan.....	50
Gambar 2.23	Kurva perubahan efisiensi terhadap faktor kerja.....	53
Gambar 2.24	Diagram blok rugi-rugi transformator	54
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	58
Gambar 3.2	Model desain Kumparan Hubbard. (a) terlihat dari atas, (b) terlihat dari samping	59
Gambar 3.3	Rangkaian desain kumparan Hubbard.....	60
Gambar 3.4	Desain rangkaian Osilator	61
Gambar 4.1	Transformator Hubbard Coil.....	64
Gambar 4.2	Foto rangkaian osilator	66
Gambar 4.3	Gelombang keluaran.....	66
Gambar 4.4	Bentuk gelombang pada Oscilloscope. (a) 6:1, (b) 7:1 (c) 8:1, (d) 6:1 (e) 7:1 (f) 8:1	68
Gambar 4.5	Grafik nilai tegangan keluaran dengan $L=8$ cm	70
Gambar 4.6	Grafik nilai tegangan keluaran dengan $L=12$ cm	70
Gambar 4.7	Grafik nilai arus keluaran dengan $L= 8$ cm.....	71
Gambar 4.8	Grafik nilai arus keluaran dengan $L= 12$ cm.....	72
Gambar 4.9	Grafik nilai Efisiensi dengan $L= 8$ cm	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Desain kumparan Hubbard (G.D.Mutch 2000).....	27
Tabel 4.1 Pengujian transformator dengan desain Hubbard Coil	69



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Gambar perbandingan 8:1 dengan $\ell = 8$ cm
- Lampiran 2 Gambar perbandingan 7:1 dengan $\ell = 8$ cm
- Lampiran 3 Gambar perbandingan 6:1 dengan $\ell = 8$ cm
- Lampiran 4 Gambar perbandingan 8:1 dengan $\ell = 12$ cm
- Lampiran 5 Gambar perbandingan 7:1 dengan $\ell = 12$ cm
- Lampiran 6 Gambar perbandingan 6: 1 dengan $\ell = 12$ cm



ABSTRAK

Khalifah, Ayu Nur. 2015. **Analisis Pengaruh Jumlah dan Panjang Kumbaran Luar Terhadap Daya Keluaran pada *Hubbard Coil***. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing (I) Ahmad Abtokhi, M.Pd, (II) Erika Rani, M.Si

Kata Kunci: Transformator, Hubbard Coil, Jumlah dan Panjang Kumbaran

Peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan ekonomi berdampak terhadap peningkatan kebutuhan energi di Indonesia. Energi listrik merupakan bentuk energi yang sangat dibutuhkan umat manusia dalam berbagai kehidupan yang serba teknologis-dinamis. Tidaklah mengherankan jika berbagai bentuk energi yang ada di ubah menjadi bentuk energi listrik agar dapat memenuhi kebutuhan akibat kemajuan industri dan jumlah penduduk yang bertambah. Penelitian ini bertujuan menganalisis keluaran transformator desain Hubbard coil dengan menggunakan variasi jumlah dan panjang kumbaran luar agar dapat menghasilkan nilai keluaran yang maksimal. Metode penelitian yang digunakan yaitu perancangan dan pembuatan alat serta eksperimen dengan melakukan pendekatan penelitian secara deskriptif. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu telah rancang bangun transformator dengan desain Hubbard Coil, transformator ini mempunyai kontruksi dengan satu kumbaran dalam sebagai kumbaran sekunder dan variasi kumbaran luar sebagai kumbaran primer yaitu 6, 7 dan 8. Kumbaran luar dengan perbandingan 7:1 dengan panjang 12 cm memiliki nilai keluaran terbesar dengan nilai efisiensi terbesar 6,7%.

ABSTRACT

Khalifah, Ayu Nur. 2015. **Analysis the Number and the Length of Outer Coil influence towards Power Output of Hubbard Coil**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology at State Islamic University (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor (I) Ahmad Abtokhi, M.Pd, (II) Erika Rani, M.Si

Keywords: Transformer, Hubbard Coil, number and length of coil

The increasing population number and economic development increasing the needs of energy in Indonesia. Electrical energy is needed in various areas of life. It is not surprising if several forms of energy converted into electrical energy in industrial advancement and the increasing population number. The research aimed to analyze the output transformer Hubbard coil designed by the number and the length of outer coils variation to generate maximum output value. This research was designed and constructed Hubbard Coil instrument using experimental study with descriptive approach. Hubbard Coil transformer was constructed with secondary coil and the variety of primary coils, 6, 7 and 8. It was obtain that the ratio between primary coil and secondary coil, 7:1 with length 12 cm has the largest value and the greatest efficiency in amount of 6.7 %.

ملخص البحث

ايو نور خليفة, البحث عن تأثير عدد وطول اللغائف الخارجية على إنتاج الطاقة في لغائف هوبارد. البحث لكلية العلوم والتكنولوجيا شعبة علم الفيزياء بالجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. تحت إشراف المشرفين (1) أحمد أبطاخي M.Pd (2) إيريك راني M.Si

الكلمات الرئيسية: المحول الكهربائي لغائف هوبارد وعدد وطول اللغائف.

يعتبر الانفجار السكاني و نمو حاجات الإنسان من العوامل الأساسية التي تسبب في حاجة بلاد إندونيسيا المتزايدة إلى الطاقة. والطاقة الكهربائية هي من أهم الطاقات التي يحتاجها الناس لتغطية حوائجهم اليومية في جميع مجالات الحياة. بناء على ذلك فلا عجب علينا أنهم بدأوا يحولون الطاقات الموجودة المتاحة حولهم إلى الطاقة الكهربائية من أجل تلبية حاجاتهم المتزايدة المتطورة كما وكيفا نتيجة تقدم الصناعة والنمو السكاني. الغرض من هذا البحث هو تحليل إنتاج المحولات الكهربائية على تصميم لغائف هوبارد باستخدام التنوع في عدد وطول اللغائف الخارجية لإنتاج أعلى قيمة الطاقة. طريقة البحث المستعملة للقيام بهذا العمل هي تصميم وصنع الآلة وإجراء التجربة مقترنا بالمنهج الوصفي. النتيجة المتحققة لهذا البحث والتحليل أن تصميم المحول الكهربائي بتصميم لغائف هوبارد, باستخدام لغائف الثانوي ولغائف الأساسي 6,7 و 8. وبعد إجراء عدة المقارنات يظهر أن 7,1 بطول 12 سم لها أعلى قيمة إنتاج الطاقة بكفاءة تبلغ 6,7%.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan ekonomi berdampak terhadap peningkatan kebutuhan energi di Indonesia. Energi listrik secara umum menopang relatif banyak terhadap kebutuhan energi. Kenaikan harga listrik dunia rata-rata 7% setahun, sedangkan di Indonesia sudah dicanangkan akan ada kenaikan 6% tiap 4 bulan. Salah satu alasan kenaikan harga ini adalah untuk membangun pembangkit baru guna mencukupi kebutuhan kenaikan konsumsi listrik. Jika setiap konsumen bisa menghemat antara 5-10% saja, maka ada kemungkinan pada tahun ini tidak diperlukan pembangkit baru. Pemerintah bisa ikut berperan untuk mendukung program penghematan energi ini dengan memberikan insentif pada pelaksanaannya.

Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia tumbuh rata-rata sebesar 8,4% per tahun. Hal ini untuk mendukung pertumbuhan ekonomi nasional yang rata-rata 6% per tahun. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, setiap tahun dibutuhkan tambahan pasokan listrik sekitar 5.700 Mega Watt (MW). Hingga 2022 dibutuhkan tambahan pasokan listrik 60 Giga Watt (GW), jaringan transmisi 58 ribu kilo meter sirkit (kms), dan gardu induk 134 ribu Mega Volt Ampere (MVA).

Oleh karena itu, perkiraan kebutuhan listrik jangka panjang di Indonesia sangat diperlukan agar dapat menggambarkan kondisi kelistrikan saat ini dan masa datang. Perkiraan kebutuhan listrik jangka panjang antara tahun 2003 hingga tahun

2020 akan dapat ditentukan jenis dan perkiraan kapasitas pembangkit di Indonesia selama kurun waktu tersebut (Muchlis dan Permana, 2014).

Jenis dan kapasitas pembangkit listrik dapat mempengaruhi besarnya listrik yang diproduksi baik pada waktu siang maupun malam. Faktor yang berpengaruh pembebanan baik sebagai beban dasar maupun beban puncak, karakteristik pembebanannya sendiri termasuk daya mampu, dan waktu operasi unit pembangkit listrik. Waktu operasi adalah jam operasi maksimum dalam 1 tahun dikurangi dengan penghentian terjadwal dan perkiraan penghentian tak terjadwal (Muchlis dan Permana, 2014).

Sebagaimana juga dijelaskan pada QS Al-A'raf ayat 31 yang berbunyi:

يٰۤاٰدَمُ خُذْ زِينَتَكَ عِنْدَ كُلِّ مَسْجِدٍ وَكُلْ وَاشْرَبْ وَلَا تُسْرِفْ اِنَّهٗ لَا يُحِبُّ
الْمُسْرِفِيْنَ

“Hai anak adam, pakailah pakaianmu yang indah di setiap (memasuki) masjid, makan dan minumlah, dan jangan berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih: (QS Al-A'raf:31)

Menurut tafsir Muamalah pada QS Al-A'raf 31, Allah telah mengatur urusan berpakaian, makan dan minum (kebutuhan pokok) sesuai dengan kebutuhan serta tidak menggunakan atau memakan di atas batas kewajaran. Dari ayat tersebut dapat menjelaskan segala kebutuhan manusia terutama kebutuhan pokok telah diatur termasuk kebutuhan energi listrik yang saat ini semakin meningkat. Mengurangi pemakaian yang berlebihan dapat membantu dalam penghematan energi.

Apabila daya listrik yang akan ditransmisikan menempuh jarak yang jauh, maka akan lebih ekonomis jika digunakan tegangan tinggi dan arus yang rendah untuk meminimalkan hilangnya I^2R dalam saluran transmisi. Jalur listrik 350 kV sangatlah umum, dan di banyak daerah bahkan terdapat jalur listrik yang bertegangan lebih tinggi (765 kV). Pada ujung saluran penerima, para pelanggan membutuhkan daya tersebut pada tegangan yang lebih rendah (untuk keamanan dan efisiensi perancangan). Oleh karena itu, dibutuhkan perangkat yang dapat mengubah tegangan dan arus bolak-balik tanpa membuat daya yang disalurkan berubah secara signifikan. Trafo AC adalah perangkat tersebut (Serway dan Jewett, 2012).

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yang ditemukan oleh Faraday sehingga di sini harus ada perubahan fluks magnetik. Karena itulah transformator hanya bekerja untuk arus bolak-balik. Transformator tidak dapat digunakan untuk mengubah besar tegangan arus searah dari sebuah baterai misalnya. Salah satu alasan utama untuk menggunakan arus bolak-balik dalam kehidupan sehari-hari adalah karena besar tegangannya dapat diubah dengan mudah melalui transformator.

Energi listrik merupakan bentuk energi yang sangat dibutuhkan umat manusia dalam berbagai bidang kehidupan yang serba teknologis-dinamis, oleh sebab itu tidaklah mengherankan jika berbagai bentuk energi yang ada diubah menjadi bentuk energi listrik agar dapat memenuhi kebutuhan yang selalu bertambah ragam

dan kuantitasnya akibat kemajuan industri dan jumlah penduduk yang terus bertambah (Damanik, 2011:71).

Stiffler telah melakukan penelitian yang menangkap gelombang elektromagnetik dari bumi dan menguatkan mereka untuk menyalakan LED. Dalam sistemnya hanya menggunakan sebuah kapasitor, dioda dan tiga kumparan dalam resonansi. Hector Tores juga pernah melakukan penelitian yang sama tetapi dalam bentuk 3 fase yang menggunakan 3 kristal kumparan radio dengan hubungan delta, dan 3 caps variabel dalam konfigurasi xyz untuk tuning fekuensi, sedangkan satu antenna dihubungkan dengan kapasitor udara dan ground. Rangkaian ini Hector Tores dapat menyalakan LED.

Albert Hubbard ilmuwan yang meneliti perkembangan energi atom, mengubah radioaktif menjadi energi listrik. Para ilmuwan atom telah mencoba segala cara tetapi sejauh ini gagal. Para peneliti atom meyakini alat ini tepat dan belum pernah dilakukan. Albert Hubbard juga mengembangkan alat lain yang akan menghasilkan listrik langsung dari sinar matahari, tetapi alat ini memiliki output kecil dan pada transformator hubbard tidak terdapat hukum kekekalan energi. Hubbard mengakui ia mendapat energi dari udara sehingga penemuan itu diakhiri.

Alferd M. Hubbard (1920) membuat sebuah perangkat pembangkit yang diberi nama “atmosfer generator listrik” yang bisa menggerakkan sebuah motor perahu yang berukuran delapan belas kaki sebagai sumber kekuatan perahu tersebut. Kumparan tersebut pernah didemonstrasikan di Danau Oneon.

Penelitian Hubbard tentang generator tersebut saat ini tidak banyak yang mengetahui kebenarannya. Penelitian itu sejak tahun 1920 telah ditutup sampai sekarang. Belum ada informasi lanjutan tentang penelitian Hubbard yang bisa mengubah energi listrik menjadi lebih besar sampai tiga kali lipat dari daya masukannya. Selain itu tidak ada kontruksi rancang bangun sebenarnya, yang ada adalah informasi bahwa Alfred Hubbard (1920) telah membuat rangkaian 9 kumparan dengan melilitkan kawat penghantar pada inti yang disusun secara seri yang dapat menginduksi satu sama lain sehingga setelah diberi pemicu akan terjadi efek osilasi induksi diantara ke 9 koil sehingga dapat menghasilkan arus listrik.

Di sekitar pusat berongga, kawat tembaga terisolasi, ukuran kawat dan jumlah lilitan tidak diketahui. Batang ini tidak menyentuh satu sama lain. 8 gulungan kawat menjadi 8 inti magnet pada besi. Kedelapan kumparan sejajar dengan batang pusat. Lilitan luar dihubungkan secara seri dan sesuai dengan transformator sekunder.

Berdasarkan QS Ali Imran ayat 190:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ

“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal” (QS Ali ‘Imran: 190)

Manusia sebagai Hamba yang telah diciptakan dengan akal pikiran yang sempurna, dapat berpikir tentang ciptaanNya, termasuk mengetahui apa yang tidak

diketahui dengan berpikir agar mampu membuat segala yang diciptakan menjadi lebih bermanfaat.

Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi lebih jelas mengenai pernyataan Hubbard dalam penelitiannya. Memberikan sumbangan kepada sistem pemasangan alat hemat listrik di seluruh instalasi yang secara otomatis juga akan berakibat pada perbaikan daya. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan penguatan arus dan tegangan secara simultan, sehingga energi listrik yang dihasilkan oleh generator yang dilengkapi dengan sistem *amplifying* dapat lebih meningkatkan nilai efisiensinya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang transformator dengan desain kumparan Hubbard?
2. Bagaimana pengaruh jumlah dan panjang kumparan luar terhadap daya keluaran pada *Hubbard coil*?
3. Bagaimana efisiensi transformator dengan desain *Hubbard coil*?
4. Berapa nilai frekuensi optimal transformator dengan desain *Hubbard coil*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang transformator dengan desain kumparan Hubbard.
2. Mengetahui pengaruh jumlah dan panjang kumparan luar terhadap daya keluaran pada *Hubbard coil*.

3. Mengetahui efisiensi transformator dengan desain Hubbart coil.
4. Menegetahui frekuensi transformator dengan desain *Hubbard coil*.

1.4 Batasan Masalah

1. Rancang bangun trafo menggunakan desain *Hubbard coil*.
2. Penelitian ini bersifat eksperimen untuk menentukan jumlah dan panjang kumparan luar transformator pada *Hubbard coil* yang dapat menghasilkan daya efisiensi yang efisien.
3. Penelitian ini menggunakan variasi jumlah kumparan luar yaitu dengan perbandingan 8:1 , 7:1 , 6:1 dan variasi panjang kumparan luar yaitu 12 cm dan 8 cm.

1.5 Manfaat penelitian

1. Rancangan alat yang dibuat diharapkan memberikan informasi tentang *Hubbard coil* dan keluaran tegangan yang dihasilkan.
2. Hasil rancangan *Hubbard coil* dapat menjadi inspirasi teknik efisiensi energi listrik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebutuhan Listrik di Indonesia

Kebutuhan listrik di Indonesia diperhitungkan per sektor pada 22 wilayah pemasaran listrik Pusat listrik Negara (PLN), yaitu sektor industri, rumah tangga, usaha, umum, dan lainnya. Pulau Sumatera dibagi menjadi delapan wilayah pemasaran listrik PLN yang meliputi Nangroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Riau, Sumatera Barat, Sumatera Selatan + Jambi + Bengkulu, Bangka Belitung, Lampung, Batam. Wilayah pemasaran listrik PLN di pulau Jawa, Madura dan Bali dibedakan menjadi lima wilayah, yaitu distribusi Bali, distribusi Jawa Timur, distribusi Jawa Tengah-Jogya, distribusi Jawa Barat-Banten, dan distribusi Jawa Barat-Tangerang. Pulau Kalimantan dibagi menjadi tiga wilayah pemasaran listrik PLN, yaitu Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Selatan-Tengah. Adapun wilayah pulau lain yang terbagi ke dalam 6 wilayah, yaitu Pulau Sulawesi dua wilayah, yaitu Sulawesi Selatan-Tenggara dan Sulawesi Utara Tengah-Gorontalo, Pulau Maluku satu wilayah, Pulau Papua satu wilayah, Nusa Tenggara dua wilayah, yaitu Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur.

Konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Berdasarkan prakiraan kebutuhan listrik jangka panjang di Indonesia, kebutuhan listrik jangka panjang antara tahun 2003 hingga tahun 2020 mencapai pada masing-masing sektor pengguna energi di 22 wilayah pemasaran listrik PLN, dan selama kurun waktu 17 tahun (2003-2020)

diperkirakan tumbuh sebesar 6,5% per tahun dari 91,2 TWh pada tahun 2002 menjadi 272,34 TWh pada tahun 2020 (Muchlis dan permana,2004).

Secara nasional, kebutuhan listrik terbesar pada perodesasi 2003 sampai dengan 2020 adalah sektor industri, diikuti sektor rumah tangga, usaha, dan umum. Bila ditinjau per wilayah, maka pola kebutuhan listrik berubah, dimana semakin ke wilayah timur Indonesia, maka semakin besar kebutuhan listrik sektor rumah tangga dibanding sektor industri. Hal ini dikarenakan masih rendahnya rasio elektrifikasi saat ini dan terbatasnya jumlah industri (Muchlis dan permana,2004).

Berdasarkan pada jumlah kebutuhan dan realita ketersediaan energi, maka perlu strategi yang jitu, sekaligus eksploitasi sumberdaya energi yang terbarukan guna memenuhi energi terutama energi listrik di Indonesia terpenuhi. Salah satunya melalui pemanfaatan piranti listrik agar didapatkan sumber listrik dengan efisiensi yang tinggi.

2.2 Permasalahan Energi

Tenaga listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia baik untuk kegiatan industri, kegiatan komersial maupun dalam kehidupan sehari-hari rumah tangga. Energi listrik dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan penerangan dan juga proses produksi yang melibatkan barang-barang elektronik dan alat-alat atau mesin industri. Mengingat begitu besar dan pentingnya manfaat energi listrik sedangkan sumber energi pembangkit listrik terutama yang berasal dari sumber daya tak terbarui keberadaannya terbatas, maka untuk menjaga kelestarian sumber energi ini perlu diupayakan langkah-langkah

strategis yang dapat menunjang penyediaan energi listrik secara optimal dan terjangkau.

Energi merupakan segala bentuk tenaga yang diperlukan oleh manusia untuk dapat mempertahankan hidupnya. Berdasarkan pengertian tersebut, maka manusia tidak akan terlepas dari kebutuhan energi dalam hidupnya. Dengan kata lain, manusia akan selalu berusaha untuk mencukupi kebutuhan energinya agar dapat hidup (Wardhana, 2005).

Upaya menambah pembangkit sebenarnya telah dilakukan pemerintah. Namun membutuhkan proses yang lama dan anggaran yang besar. Apalagi saat ini PLN sedang mengalami kerugian dan menanggung hutang yang cukup besar. Hal ini tak lepas dari akibat praktek KKN yang masih melekat pada birokrasi dan kepengurusan PLN. Oleh karena itu, kerja sama dan partisipasi berbagai pihak sangat diperlukan untuk mengatasi krisis energi listrik ini.

Saat ini sistem distribusi listrik yang digunakan oleh PLN umumnya adalah sistem sentralisasi listrik. Sistem tersebut ternyata dapat membawa dampak buruk dalam distribusi listrik di Indonesia. Diantaranya menyebabkan banyaknya wilayah yang sulit dicapai oleh jaringan listrik dan faktor geologisnya buruk, tidak dapat menikmati listrik. Selain itu, dapat juga menyebabkan terjadinya penyusutan tenaga listrik, tidak stabilnya tegangan listrik hingga pada pemadaman aliran listrik yang berakibat seluruh wilayah yang bergantung pada gardu tertentu akan mengalami black out.

Memang telah terjadi penghematan yang cukup signifikan, terutama pada instansi pemerintah. Namun seiring dengan waktu, gerakan hemat listrik ini

tinggal sejarah. Pola konsumsi listrik berlebihan dan tidak berdaya guna, kembali menjadi kebiasaan di mana-mana. Di gedung pemerintahan sekalipun, itu hanya tinggal sebatas imbauan di atas kertas yang ditempel di dinding-dinding kantor. Lampu dibiarkan tetap menyala, bahkan disengaja untuk dihidupkan kendati cahaya matahari sudah cukup memberi terang pada tiap ruang. Gerakan ini idealnya tetap dilaksanakan dan harus dilaksanakan. Tetapi perlu adanya kerjasama antara pihak pemerintah, LSM, para pelajar, dan media untuk menyuarakan gerakan hemat listrik secara berkelanjutan.

Untuk menghemat energi listrik masyarakat disarankan untuk mengurangi penggunaan alat elektronik yang banyak menyedot daya listrik, seperti kulkas, mesin cuci, AC dan mesin pompa air. Diharapkan juga untuk menggunakan lampu hemat energi (LHE). Komparasi penggunaan LHE jauh berbeda dengan lampu pijar biasa. Bagi pengguna LHE, misalnya dengan daya 900 watt bisa menghemat biaya 10.000 sampai 12.000 rupiah per bulan. Rekening listrik yang dibayarkan pun akan semakin berkurang. Dibandingkan dengan negara-negara lain, harga pokok listrik di Indonesia tergolong tidak efisien. Harga pokok listrik di Indonesia mencapai 6,5 sen dollar AS per kWh, masih lebih tinggi daripada negara-negara lain di sekitarnya. Seperti Malaysia dengan biaya listriknya hanya 6,2 sen dollar AS per kWh, Thailand hanya 6,0 sen dollar AS per kWh, Vietnam 5,2 sen dollar AS per kWh. Jika dibandingkan dengan berbagai inovasi yang dilakukan swasta dalam mengatasi energinya sendiri, tidak sedikit biaya produksi listrik swasta lebih rendah dari PLN, terutama listrik untuk kebutuhan perusahaan sendiri. Namun, karena PLN masih bersifat monopoli, tidak ada pembanding dan

tidak ada tekanan terhadap PLN untuk melakukan efisiensi. Yang terjadi selama ini dalam sejarah PLN tidak lain adalah rangkaian KKN, yang memeras sumber daya perusahaan ini. Pembangkit swasta bernuansa KKN dipaksakan masuk ke PLN dengan harga penjualan daya listrik lebih tinggi dari harga PLN, yang dijual kepada masyarakat. Pengadaan mesin yang tidak efisien banyak terjadi di lingkungan PLN.

2.3 Transformator

Kita sering perlu mengubah tegangan listrik ac dari satu harga ke harga yang lain. Sebagai contoh, tegangan untuk radio transistor atau kalkulator adalah sekitar 6V – 12 V dc dan ini memerlukan tegangan ac sebesar itu pula. Akan tetapi tegangan jala-jala PLN adalah 110 V atau 220 V ac. Untuk merubah tegangan ac ini dapat digunakan transformator. Tegangan PLN 110 V juga sudah diturunkan dari harga tegangan tinggi sekitar 20000 V ac. Transmisi daya listrik dari pembangkit listrik ke kota-kota dilakukan dengan tegangan tinggi, agar daya tinggi dapat dikirimkan dengan arus yang rendah. Tegangan tinggi ini diturunkan menjadi 110 V atau 220 V dalam gardu transformator (Sutrisno,1979,133-134)

Transformator atau trafo adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan energi listrik atau memindahkan dan mengubah energi listrik bolak-balik dari satu level ke level tegangan yang lain melalui kinerja satu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Transformator juga digunakan untuk mengubah potensial listrik supaya sesuai dengan kebutuhan. Transformator terdiri dari sebuah inti besi, lilitan kawat primer dan sekunder seperti pada Gambar. Transformator dapat memindahkan

energi listrik dari satu kumparan ke kumparan yang lain dengan cara induksi (Damanik, 2011:82).

Trafo sangat banyak juga digunakan dalam rangkaian elektronik berdaya rendah dan dalam rangkaian kontrol. Dalam rangkaian-rangkaian tersebut trafo melakukan fungsi sebagai pengimbang impedansi sebuah sumber dan bebannya untuk mendapatkan perpindahan daya yang maksimum, yang mengisolasi satu rangkaian dari yang lain, atau yang memisahkan arus searah sambil mempertahankan kontinuitas ac di antara dua rangkaian (Grabel,1981:241).

Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis, dan dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kedua kumparan ini tidak terhubung secara langsung. Satu-satunya hubungan antara kedua kumparan adalah fluks magnetik bersama yang terdapat dalam inti. Salah satu dari kedua kumparan transformator tadi dihubungkan ke sumber daya listrik bolak-balik dan kumparan kedua (serta ketiga jika ada) akan mensuplai daya ke beban. Kumparan transformator yang terhubung bersumber daya dinamakan kumparan primer sedangkan yang terhubung ke beban dinamakan kumparan sekunder, jika terdapat kumparan ketiga dinamakan kumparan tersier.

Komponen utama dari transformator adalah gulungan dan inti magnet yang masing-masing berfungsi untuk membangkitkan fluks magnet pada gulungan primer dan menyalurkan ke gulungan sekunder melauli inti. Gulungan primer dan sekunder kebanyakan dibuat dari kawat email yang karakteristiknya ditentukan berdasarkan nilai resistivitas dan berat jenisnya. Bahan kawat email kebanyakan adalah tembaga karena mempunyai sifat-sifat yang baik dibanding

dengan bahan yang lain misalnya, resistivitas, berat jenis dan koefisien suhu atau panas jenisnya yang rendah.

Besar tahanan listrik suatu bahan logam berbanding lurus terhadap resistivitasnya (ρ) dan panjang (L) bahan serta berbanding terbalik terhadap luas penampangnya (A). Sehingga resistivitas bahan adalah:

$$\rho = R\left(\frac{L}{A}\right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dan apabila R , A dan L bahan diketahui maka resistivitasnya dapat diketahui juga.

Suatu penghantar kawat dari bahan Cu dikatakan mempunyai hantaran listrik 100% IACS (*International Annealed Copper Standard*) bila pada suhu 20 °C mempunyai tahanan jenis (ρ) 1,7241 $\mu\Omega\text{-cm}$ atau 0,15328 $\Omega/\text{gr-m}$ dan berat jenis $Bdnya = 8,89 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan panas jenisnya adalah sekitar 0,09 $\text{kcal}/(\text{gr } ^\circ\text{C})$. Ketidak murnian Cu akan menurunkan daya hantarnya atau menaikkan resistivitasnya dan menaikkan panas jenisnya, tetapi dapat memperbaiki sifat-sifat mekanisnya. Unsur-unsur pengotor yang menyebabkan ketidakmurnian penghantar Cu biasanya adalah Pb, Ni dan Fe (Suyamto. 2008).

Transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya jarak jauh. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal merupakan salah satu alasan penting dalam pemakaiannya dalam penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik, karena arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk

pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian sebesar I^2R watt, kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan, dengan mempergunakan tegangan yang tinggi.

Tegangan yang paling tinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi. Dan menaikkan tegangan listrik di pusat listrik dari tegangan generator yang biasanya berkisar antara 6-20 kV pada awal saluran transmisi, dan menurunkannya pada ujung saluran itu ketegangan yang lebih rendah, dilakukan dengan transformator. Transformator yang dipakai pada jaringan tenaga listrik merupakan transformator tenaga.

Disamping itu, ada jenis-jenis transformator lain yang banyak dipergunakan, dan yang pada umumnya merupakan transformator yang jauh lebih kecil. Misalnya transformator yang dipakai dirumah tangga, yang dipakai pada lampu TL, pesawat radio, televisi dan berbagai alat elektronika lainnya.

2.3.1 Konstruksi dan jenis transformator

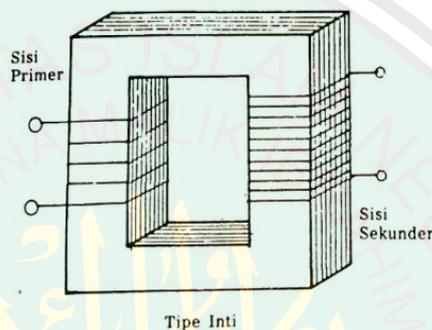
Pada umumnya konstruksi transformator terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut:

1. Inti (core) yang dilaminasi.
2. Dua buah kumparan, kumparan primer dan sekunder.
3. Tangki.
4. Tangki.
5. Terminal.
6. Bushing.

Sedangkan menurut konstruksinya, jenis transformator dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Tipe inti (*Core form*)

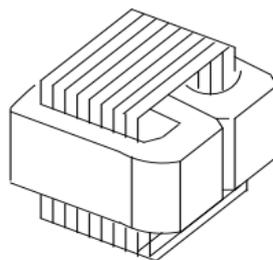
Pada transformator tipe ini, kumparan mengelilingi inti dan konstruksi dari intinya berbentuk huruf L atau huruf U. Seperti pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 konstruksi transformator tipe inti (sumber: <http://google.com/>)

b. Tipe cangkang (*shell form*)

Jenis konstruksi transformator yang kedua yaitu tipe cangkang yang dibentuk dari lapisan inti berisolasi, dan kumparan dibelitkan di pusat inti. Pada transformator ini, kumparan atau belitan transformator dikelilingi oleh inti, Sedangkan konstruksi intinya umumnya berbentuk huruf E, huruf I atau huruf. seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2



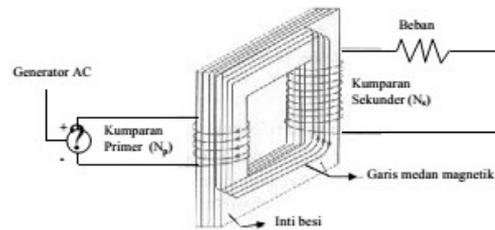
Gambar 2. 2 Transformator tipe cangkang (shell form)
(sumber: <http://google.com/>)

2.3.2 Prinsip kerja transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah dan menyalurkan energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformator di gunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya jarak jauh.

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yang ditemukan oleh Faraday sehingga di sini harus ada perubahan fluks magnetik. Karena itulah transformator hanya bekerja untuk arus bolak-balik. Transformator tidak dapat digunakan untuk mengubah besar tegangan arus searah dari sebuah baterai misalnya. Salah satu alasan utama untuk menggunakan arus bolak-balik dalam kehidupan sehari-hari adalah karena besar tegangannya dapat diubah dengan mudah melalui transformator.

Arus bolak-balik pada kumparan primer menimbulkan induksi magnetik yang berubah-ubah. Fluks magnetik yang terjadi akan mengalir melalui inti besi melewati kumparan sekunder. Karena induksi magnetik berubah-ubah, maka fluks magnetik juga akan berubah-ubah dan akibatnya timbul ggl induksi.



Gambar 2.3 Transformator terdiri dari dua kumparan yang dililitkan pada inti besi

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibatnya adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi sendiri (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi).

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

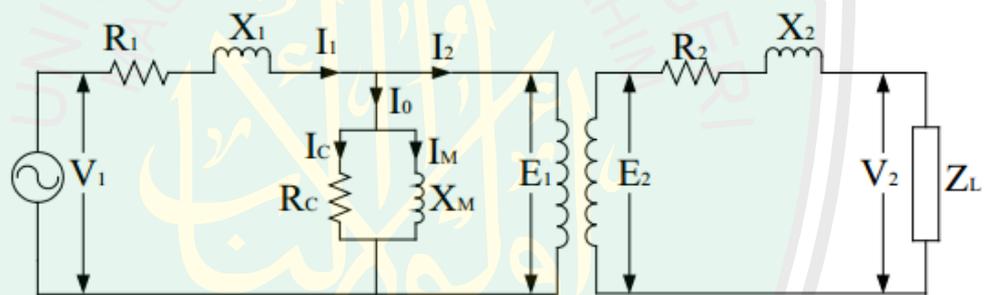
ε = gaya gerak listrik (ggl) (volt)

N = jumlah lilitan

$$\frac{d\Phi}{dt} = \text{perubahan fluks magnet}$$

2.3.3 Rangkaian ekivalen transformator

Tidak semua fluks (Φ) yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_m merupakan fluks bersama (Φ_M), sebagian darinya hanya mencakup kumparan primer (Φ_1) atau kumparan sekunder saja (Φ_2). Rangkaian ekivalen digunakan untuk menganalisis kerja suatu transformator, adanya fluks bocor Φ_1 dan Φ_2 yang dinyatakan sebagai reaktansi X_1 dan X_2 sedangkan untuk rugi tahanan dinyatakan dengan R_1 dan R_2 . Rangkaian ekivalen suatu transformator seperti gambar 2.3.



Gambar 2.4 Rangkaian ekivalen sebuah transformator
(sumber: <http://google.com/>)

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + E_1$$

$$E_1 = a E_2$$

$$E_2 = I_2 R_2 + I_2 X_2 + V_2$$

$$I_2 = a I_2'$$

Sehingga persamaan di atas menjadi,

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + a(I_2 R_2 + I_2 X_2 + V_2)$$

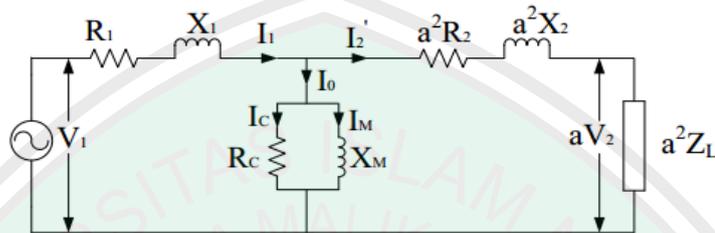
$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + a I_2 R_2 + a I_2 X_2 + a V_2$$

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + a(a I_2' R_2) + a(a I_2' X_2) + a V_2$$

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + a^2 I_2' R_2 + a^2 I_2' X_2 + a V_2$$

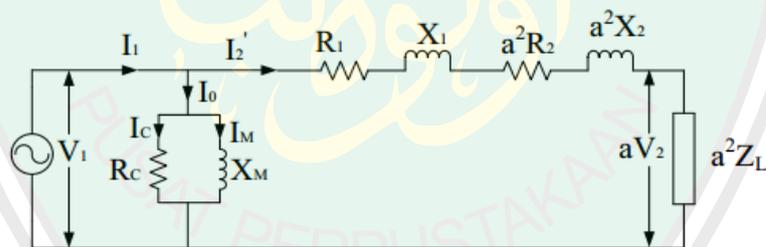
$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + I_2' (a^2 R_2 + a^2 X_2) + a V_2$$

Apabila semua parameter sekunder dinyatakan dalam harga rangkaian primer, maka harganya perlu dikalikan dengan faktor a^2 , dimana $a = E_1/E_2$, sehingga rangkaian ekivalennya seperti Gambar 2.4



Gambar 2.5 Rangkaian ekivalen transformator dilihat dari sisi primer
(sumber: <http://google.com/>)

Untuk memudahkan perhitungan, model rangkaian gambar 2.5 diatas dapat diubah menjadi seperti gambar 2.6.

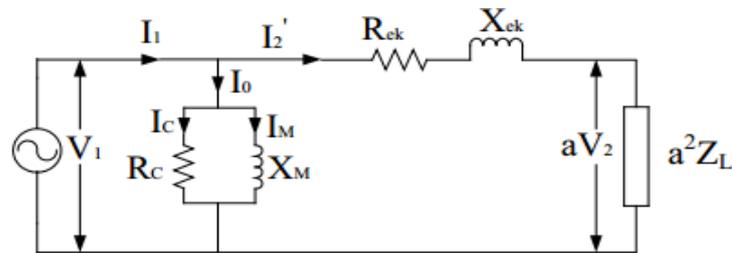


Gambar 2.6 penyederhanaan rangkaian ekivalen transformator
(sumber: <http://google.com/>)

Maka dari gambar 2.6 diperoleh:

$$R_{ek} = R_1 + a^2 R_2$$

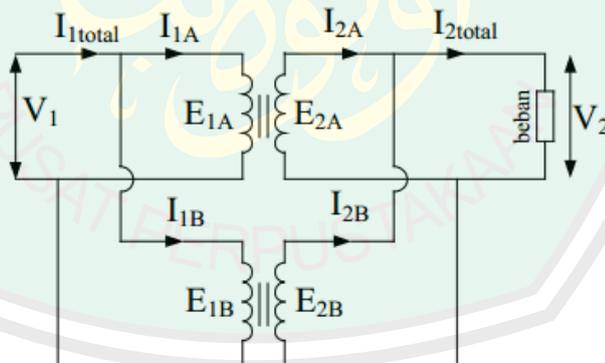
$$X_{ek} = X_1 + a^2 X_2$$



Gambar 2.7 hasil akhir penyederhanaan rangkaian ekivalen transformator
(sumber: <http://google.com/>)

2.3.4 Operasi kerja paralel transformator

Dua buah transformator dikatakan bekerja secara paralel apabila kedua sisinya (primer dan sekunder) dihubungkan untuk melayani beban. Tujuan utama kerja paralel adalah agar beban yang dipikul sebanding dengan kemampuan KVA masing-masing transformator, hingga tidak terjadi pembebanan lebih dan pemanasan lebih.



Gambar 2.8 rangkaian dua transformator paralel
(sumber: <http://google.com/>)

Untuk maksud diatas diperlukan beberapa syarat yaitu:

1. Perbandingan tegangan harus sama

Jika perbandingan tidak sama, maka tegangan induksi pada kumparan sekunder masing-masing transformator tidak sama. Perbedaan ini

menyebabkan terjadinya arus pusar pada kumparan sekunder ketika transformator dibebani. Arus ini menimbulkan panas pada kumparan sekunder tersebut.

2. Polaritas transformator harus sama.
3. Tegangan impedansi pada keadaan beban penuh harus sama.

Dari rangkaian ekivalen, bisa diketahui:

$$V_1 = I_1 Z_{ek} + V_2 \dots \dots \dots \text{Pers.(2.3)}$$

Dua transformator yang diparalelkan dapat digambarkan sebagai berikut:

$$I_1 \text{ total} = I_1A + I_1B \dots \dots \dots \text{Pers.(2.4)}$$

Karena

$$V_1 = I_1 Z_{ek} + V_2' \dots \dots \dots \text{Pers.(2.5)}$$

Maka untuk keadaan beban penuh

$$V_1 - V_2' = I_1A Z_{1A} = I_1B Z_{1B} \dots \dots \dots \text{Pers.(2.6)}$$

Persamaan diatas mengandung arti, agar kedua transformator membagi beban sesuatu dengan kemampuan KVA-nya, sehingga tegangan impedansi pada keadaan beban penuh kedua transformator tersebut harus sama ($I_1A Z_{1A} = I_1B Z_{1B}$) dengan demikian dapat juga dikatakan bahwa kedua transformator tersebut mempunyai impedansi per unit (pu) yang sama.

2.4 Generator

Generator merupakan alat yang mampu menghasilkan energi listrik yang bersumber kepada energi mekanik dan umumnya menggunakan induksi elektromagnetik. Sumber energi mekanik sendiri bisa berasal dari resiprokot ataupun turbin.

Generator listrik pertama kali ditemukan pada tahun 1831 oleh seseorang yang bernama Faraday. Saat itu generator listrik mempunyai bentuk gulungan kawat yang dililitkan pada besi yang berukuran U. Generator tersebut dikenal dengan nama generator Cakram Faraday.

Cara kerja generator adalah melalui pergerakan medan magnet yang ada di rotor terhadap kumparan tetap yang terdapat di stator. Medan magnet tersebut dihasilkan dengan cara memberikan tegangan DC (Direct Current) pada kumparan penguat medan yang ada di rotor yang dapat dihasilkan melalui penguat sendiri maupun penguat terpisah sumber tegangan DC sendiri bisa didapat dari aki (accumulator). Setelah itu pemotong medan magnet bisa menggunakan bahan konduktor untuk memotong medan magnet yang ada, karena apabila tidak memotong maka prinsip kerja generator tidak akan timbul yang berupa gaya gerak listrik.

Besar tegangan generator bergantung pada:

1. Kecepatan putaran (N)
2. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluks(Z)
3. Banyaknya fluks magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet(f)

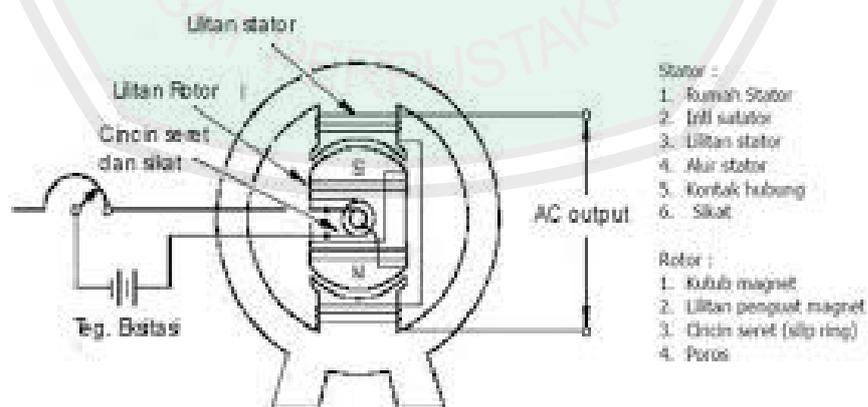
Generator listrik mempunyai 2 macam jenis yaitu generator listrik AC dan generator listrik DC. Generator listrik AC mempunyai dua kutub stator sehingga apabila kutub-kutub magnet yang berlawanan dihadapkan maka akan menimbulkan sebuah medan magnet. Sedangkan generator listrik DC mempunyai komulator sehingga arus listrik yang akan dihasilkan berupa arus listrik DC sekalipun sumbernya berupa arus listrik AC. Adapun alat yang mampu

mengkonverter arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik AC yaitu inverter listrik.

Generator arus bolak-balik ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

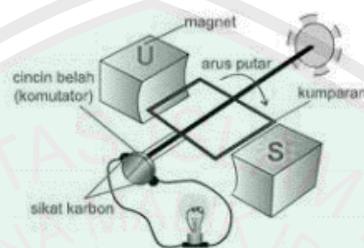
1. Stator, merupakan bagian diam dari generator yang mengeluarkan tegangan bolak-balik
2. Rotor, merupakan bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksi ke stator.

Stator terdiri dari badan generator yang terbuat dari baja yang berfungsi melindungi bagian dalam generator, kotak terminal dan name plate pada generator. Inti stator yang terbuat dari bahan ferromagnetik yang berlapis-lapis dan terdapat alur-alur tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator yang merupakan tempat untuk menghasilkan tegangan. Sedangkan, rotor berbentuk kutub sepatu (salient) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Konstruksi dari generator sinkron dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.9 konstruksi generator arus bolak balik
(sumber: <http://google.com/>)

Sedangkan generator DC merupakan pembangkit listrik yang menghasilkan listrik arus searah. Pada generator DC terdapat komutator (sepasang cincin belah) untuk menghindari melilitnya kabel sekaligus menyearahkan arus listrik yang dihasilkan (Sutrisno dan Praginda).



Gambar 2.10 Generator arus searah (DC)
(e-dukasi.net, diunduh tgl 13/6/2012)

Pada ujung-ujung kumparannya dihubungkan ke bagian setengah cincin, bagian setengah cincin ini berfungsi sebagai komutator yang dapat mengubah arus listrik yang keluar selalu merupakan arus searah (Gambar 2.14) Generator arus searah (DC) memiliki satu cincin belah atau komutator. Kedua sikat karbon bersentuhan dengan kedua cincin belah secara bergantian, sehingga salah satu sikat karbon selalu berpolaritas positif dan yang lain berpolaritas negatif. Hal ini menyebabkan arus listrik induksi yang mengalir ke luar generator adalah searah (DC) (Sutrisno dan Praginda).



Gambar 2.11 Output tegangan generator DC
(PPPPTK IPA)

Dari Gambar 2.11 tegangan output selalu mempunyai polaritas yang sama dan pulsa arus adalah pulsa arus searah. Hal ini dapat dimengerti dengan melihat bahwa kontak dengan cincin belah akan membuktikan peranan setiap setengah siklus. Pada saat ini yang sama polaritas dan ggl induksi berbalik karenanya polaritas dan cincin belah tetap sama (Sutrisno dan Praginda).

Manfaat generator listrik adalah sebagai salah satu elemen mesin pembangkit listrik yang mana berasal dari energi mekanik dan semua pembangkit listrik menggunakan komponen generator di dalamnya. Manfaat generator listrik pun sangat banyak baik itu untuk kalangan pribadi ataupun industri. Untuk industri prinsip kerja generator sangat terasa pada pusat listrik tenaga uap yang berjenis medan tutup dan menggunakan sistem udara yang terbuka. Disini putaran turbin yang berasal dari air yang dibendung dalam waduk mampu menghasilkan listrik.

2.5 Kumparan Hubbard

Alfred Hubbard (1920) telah membuat rangkaian 9 kumparan dengan melilitkan kawat penghantar pada inti yang disusun secara seri yang dapat menginduksi satu sama lain sehingga setelah diberi pemicu akan terjadi efek osilasi induksi diantara ke 9 koil sehingga dapat menghasilkan arus listrik.

Desain kumparan Hubbard adalah sebagai terlihat pada gambar.



Gambar 2.12 desain kumparan hubbard(Hubbard 1929)

Tabel 2.1 Desain kumparan Hubbard(Hubbard 1929)

Hubbard Design	Outer	Inner	Total	Hubbard's frequencies
No.coils	8	1	9	$5.340 \text{ Hz} = 2.8 \text{ Ghz}/ (2^{19})$
Diameter mm	30	49		$10.681 \text{ Hz} = 2.8 \text{ Ghz}/ (2^{18})$
Height mm	146	146		$21.362 \text{ Hz} = 2.8 \text{ Ghz}/ (2^{17})$

Ukuran yang ada dalam tabel diambil dari desain asli kumparan hubbard 9 kumparan. Hubbard menggunakan rasio 5.75 yang diformulasikan dari perhitungannya sendiri. Hubbard menyatakan bahwa desainnya ini dapat memperkuat input hingga 3 kali.

2.6 Matrik kumparan Hubbard

Gd. Mutch telah mereview desain kumparan Hubbard dan berkesimpulan bahwa teknik ini dapat dijelaskan dengan matematika matriks yang sebagian mirip dengan hukum kuadrat Professor J.R.R Searl. Berikut ini pembahasan mengenai perumusan Hubbard yang mula-mula diformulasikan dalam sebuah matrik persegi yang seimbang dan kemudian ditransformasikan menjadi matriks perbandingan yang dapat digunakan sebagai model kumparan trafo energi yang dipakai.

Ketika kita bicara tentang energi maka kita akan menemui sebuah gambaran bahwa semua atom berputar pada sebuah pusaran matrik energi mikro aetheric. Kemudian bisa dipahami bahwa dengan menggunakan density/volume material yang berbeda secara bersama-sama, dapat menggunakan menambahkan selisih dari kedua density/volume untuk melipatgandakan paket energi masukan dengan frekuensi yang sesuai. Jumlah matrik 6 adalah jumlah yang menarik yang merupakan angka yang tidak dapat dibagi yang biasa dipakai dalam matrik pelipat ganda energi. contoh dari golden section ini adalah urutan Fibonacci 0.6 atau 1.6. nilai 1.6 adalah angka yang populer dan dapat ditemukan dalam perhitungan sehari-hari. Enam (6) adalah jumlah sisi dalam struktur Kristal yang sangat baik untuk penggunaan energi. Diperkirakan bahwa enam sisi Kristal menyebabkan paket energi harmonic yang masuk ke dalam matrik orbit atom untuk melipatgandakan putaran aetheric dari energi masukan. Struktur atom kemudian melawan input yang masuk keluar orbit atom dalam rangkan untuk membuat keseimbangan. Hal ini menyebabkan paket energi liar meningkat dari kuantanya aslinya yang kemudian di berikan pada Kristal berikutnya. Kristal berikutnya kemudian mengalami hal yang sama sampai pada lapisan terluar Kristal.

2.7 Gaya Lorentz dan Kaidah Tangan Kanan

Muatan listrik yang bergerak dalam medan magnet akan mendapat gaya, yang disebut Gaya Lorentz. Peristiwa ini dimanfaatkan orang untuk membuat alat, misalnya alat yang menggerakkan elektron pada layar televisi ataupun dalam kamera televisi. Selain itu juga digunakan pada peristiwa spektrometer masa, yaitu alat untuk mengukur masa atom berbagai isotop. Peristiwa ini juga

digunakan dalam alat untuk mempercepat partikel bermuatan agar mempunyai energi seperti bila dipercepat dengan beda potensial listrik sampai ribuan juta volt. Alat jenis ini yang paling sederhana disebut *siklotron*.

Gaya Lorentz adalah gaya pada arus listrik di dalam medan magnet. Tetapi arus listrik di dalam medan magnet. Tetapi arus listrik adalah arus muatan listrik, yang berarti bahwa muatan listrik yang bergerak akan bertindak sebagai arus listrik. Oleh sebab itu gaya Lorentz adalah juga gaya pada muatan listrik yang tengah bergerak di dalam medan magnet. (Soedjo, 1999:208)

Gaya pada muatan dalam pengaruh medan magnet adalah gaya Lorentz. Medan magnet merupakan garis-garis gaya yang keluar dari kutub utara menuju kutub selatan. Gaya magnetik ini terjadi jika sebuah partikel bermuatan q bergerak dengan kecepatan v dalam pengaruh medan magnet B . Maka akibat pergerakan muatan ini akan timbul gaya magnetik F yang besarnya:

$$|F| = q(v \times B) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$|F| = qvB \sin \theta \dots\dots\dots (2.8)$$

Arah dari gaya magnetik adalah sesuai kaidah tangan kanan 2 adalah tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk vektor v dengan B . Dimana arah ibu jari menunjukkan kecepatan muatan v dan arah keempat jari yang lain menunjukkan arah medan magnet B sedangkan telapak tangan terbuka menunjukkan arah gaya magnetik F (Ishaq, 2007).

Gaya Lorentz pada penghantar juga bergantung pada faktor kuat medan magnet, besar arus listrik dan panjang penghantar, sehingga Hukum Lorentz juga dapat dirumuskan menjadi:

$$|F| = BiL \dots\dots\dots (2.9)$$

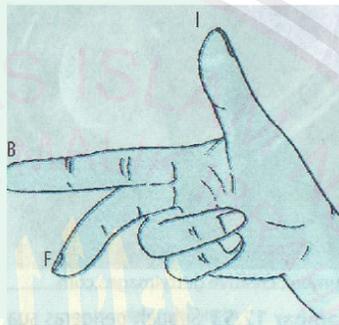
dengan:

$|F|$ = Gaya Lorentz (N)

B = Medan magnet (Tesla)

i = arus listrik (A)

L = panjang penghantar (m)



Gambar 2.13 kaidah tangan kanan(Bueche 2006)

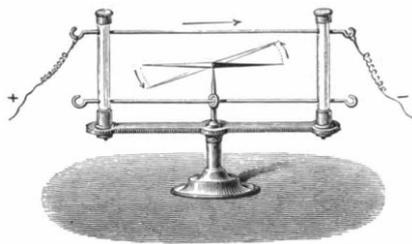
Arah Gaya Lorentz dapat ditentukan dengan aturan tangan kanan. Jari-jari tangan kanan diatur sedemikian rupa. Sehingga ibu jari tegak lurus terhadap telunjuk dan tegak lurus juga terhadap jari tengah. Bila arah medan magnet B diwakili oleh telunjuk dan arah arus listrik i diwakili oleh ibu jari, maka arah Gaya Lorentz F di tunjukkan oleh jari tengah (Bueche,2006).

2.8 Medan Magnet oleh Kawat Berarus

Medan magnet (\vec{B}) dapat digambarkan sebagai garis medan magnet, dengan arah \vec{B} di setiap titik searah dengan arah anak panah di titik itu. Besarnya medan magnet sebanding dengan rapat garis medan magnet per satuan luas. Garis medan magnet selalu membentuk loop atau lintasan tertutup. Medan magnet merupakan

besaran vektor sehingga \vec{B} di sebuah titik yang disebabkan oleh sejumlah muatan listrik yang bergerak merupakan hasil penjumlahan secara vektor (Tri 2008:375).

Ahli fisika dari Denmark Hans C. Oersted (1770-1852), profesor pada universitas Copenhogen, menemukan pada tahun 1819 bahwa arus listrik menimbulkan gaya terhadap magnet, dengan demikian dia membuktikan bahwa arus listrik menimbulkan medan magnet. Oersted meletakkan sebuah konduktor lurus langsung di atas dan sejajar jarum sebuah kompas. Alangkah herannya ketika dia menemukan bahwa jika konduktor tersebut dialiri arus, jarum kompas berputar dan menjadi tegak lurus terhadap arus. Segera setelah oersted mengumumkan penemuannya ini dalam tahun 1820, beberapa ahli mulai mempelajari interaksi antara medan magnetik dan arus listrik. Peneliti-peneliti tersebut diantaranya ialah Andre M. Ampere (1775-1836) dan Pierre Laplace (1749-1827), yang berasal dari Perancis yang mengembangkan teori kuantitatif mengenai interaksi magnetik arus-arus dan memperkenalkan istilah-istilahnya yang sampai sekarang masih dipakai. Sebelum abad 19 berakhir, hubungan antara medan magnetik dan muatan listrik yang bergerak telah ditentukan, sebagian merupakan hasil penelitian ahli fisika Amerika pada tahun 1878, H.A. Rowland (1848-1901) (Alonso dan Finn, 1994).



Gambar 2.14 Percobaan Hans C. Oersted

Interaksi antar kutub magnet terjadi karena adanya penhubung berupa medan, yang disebut medan magnet. Medan magnet bersatuan tesla (T); $1\text{T} = 1\text{ Weber/m}^2 = 10^4\text{ gauss}$. Medan magnet (\vec{B}) dapat ditentukan baik besar maupun arahnya, dengan cara menempatkan muatan (q) di dalam \vec{B} pada berbagai arah kecepatan (\vec{v}) dan diukur gaya magnet yang diderita oleh q , yaitu \vec{F}_{mq} . Besarnya medan magnet disebut kuat medan magnet, berlambang $|\vec{B}|$ atau B . Jika \vec{v} sejajar atau berlawanan arah terhadap \vec{B} maka $\vec{F}_{mq} = 0$. Hal ini ditampikan oleh lintasan q yang bergerak lurus pada kecepatan tetap atau disebut gerak lurus beraturan (GLB).

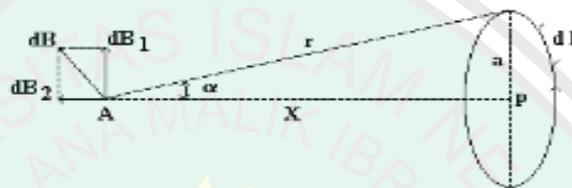
Medan magnet (\vec{B}) dapat digambarkan sebagai garis medan magnet, dengan arah \vec{B} di setiap titik searah dengan arah anak panah di titik itu. Besarnya medan magnet sebanding dengan rapat garis medan magnet per satuan luas. Garis medan magnet selalu membentuk loop atau lintasan tertutup. Medan magnet merupakan besaran vektor sehingga \vec{B} di sebuah titik yang disebabkan oleh sejumlah muatan listrik yang bergerak merupakan hasil penjumlahan secara vektor (Kuncoro dan Bambang, 2008).

Pembahasan mengenai medan magnet oleh kawat berarus ini meliputi hukum Biot-Savart, dipol magnet, hukum Ampere dan Solenoida.

2.8.1 Hukum Biot-Savart

Kuat medan magnet arus listrik tentunya merupakan jumlahan dari kontribusi masing-masing bagian atau elemen panjang arus listrik itu. Lebih lanjut Biot dan Savart berpendapat bahwa kuat medan magnet itu berbanding

terbalik dengan kuadrat jaraknya dari elemen arus dengan arang menyilang tegak lurus arah elemen tersebut. Kecuali sebanding dengan kuat arus juga sebanding dengan panjang elemen arus sebagaimana kelihatan dari tempat mana kuat medan magnet itu ditinjau (Soedjo. 1999:193).



Gambar 2.15 Medan magnet arus listrik
sumber: <http://google.com/medan-magnet-arus-listrik>

Hukum Biot Savart secara singkat dirumuskan sebagai berikut:

$$dH = \frac{i dl \sin\theta}{4 \pi r^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Adapun arahnya medan magnet oleh arus tersebut mengikuti arah pemutar sekrup apabila arah majunya sekrup mengikuti arah arus listrik i . Agar penulisan rumusnya langsung menyatakan arahnya pula, rumus pada persamaan (2.4) ditulis sebagai persamaan berikut (Soedjo. 1998:67):

$$dH = \frac{i dl \times \hat{r}}{4 \pi r^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan \hat{r} selaku vektor satuan pada arah elemen arus $i dl$ di mana kuat medan H ditinjau.

Untuk arus melingkar dengan jari-jari lingkaran R , gaya garis magnet di pusat lingkaran itu adalah tegak lurus bidang lingkaran dan kuat medan magnetnya

dengan mudah dihitung dengan memasukkan $\theta = 1/2 \pi$ dan integrasinya meliputi lingkaran arus tersebut; integrasi ini akan menghasilkan:

$$H = \frac{i 2 \pi R}{4\pi R^2} = 1/2 \frac{i}{R} \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk kawat yang panjangnya tak terhingga, yang dialiri arus listrik, integrasi persamaan (2.5) di atas lebih mudah dengan pertolongan transformasi-transfomasi

$$dl \sin\theta = r d\theta \text{ dan } R = r \sin\theta \dots\dots\dots(2.13)$$

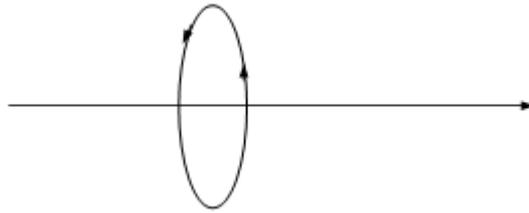
Yang lalu menghasilkan

$$H = \int_0^\pi \frac{1}{4\pi R} \sin\theta d\theta = \frac{i}{2\pi R} \dots\dots\dots(2.14)$$

Persamaan (2.14) di atas kemukakan oleh Biot dan Savart pada tahun 1820.

2.8.2 Hukum Ampere

Medan magnet adalah gaya medan yang konservatif, sebagai mana usaha oleh muatan magnet yang bergerak dari satu titik ke titik yang lainnya tak tergantung lintasan yang ditempuhnya, khususnya usaha dari satu titik kembali ke titik itu lagi, adalah nol. Tetapi menurut hasil di atas, usaha sepanjang garis gaya sekeliling arus listrik tidaklah nol melainkan sama dengan arus yang dikelilinginya. Hal ini tentu disebabkan oleh sifat rotasional garis gaya medan magnet arus listrik. Namun demikian, menurut Ampere, karena sifat konservatif medan magnet, usaha dari satu titik ke titik itu lagi, meskipun tidak sepanjang garis gaya, akan sama dengan arus yang dikelilinginya (Soedjo. 1999:194-195).



Gambar 2.16 Medan magnet di sekelilingi arus listrik
(sumber: <http://google.com/>)

Usaha sepanjang lintasan sembarang selalu dapat diuraikan menjadi usaha sekeliling bagian lingkaran dan yang sepanjang arah sejajar arus. Tetapi usaha yang sepanjang arah yang sejajar arah arus itu tentu sama dengan nol karena medan magnetnya selalu pada arah tegak lurus arah arus. Jadi bagaimanapun juga bentuk lintasannya berlaku rumus:

$$\oint H \cdot dr = i \dots\dots\dots(2.15)$$

Hukum Ampere berfungsi untuk menghitung kuat medan magnet di sekitar konduktor berarus listrik dan sebaran arus listrik pada sebuah konduktor. Untuk kawat berarus listrik I sehingga memberikan kuat medan magnet B pada jarak r dari kawat, diperoleh:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \dots\dots\dots(2.16)$$

Adapun arah \vec{B} adalah konsentris melingkupi sepanjang kawat. Sehingga untuk vektor elemen memanjang $d\vec{l}$ di medan magnet, memenuhi kaitan:

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int Brd\theta = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int d\theta \dots\dots\dots(2.17)$$

Untuk kawasan sudut θ dari 0 sampai dengan 2π , diperoleh:

$$\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I \dots\dots\dots(2.18)$$

Persamaan (2.12) merupakan penampilan hukum Ampere yang berlaku pada muatan bergerak baik di dalam maupun di luar konduktor. Hukum itu menyatakan bahwa hasil perkalian skalar antara medan magnet dengan vektor lingkup ($d\vec{l}$) yang melingkupi kawat berarus listrik adalah sebanding dengan arus listrik neto yang dilingkupinya.

2.8.3 Dipol Magnet

Dipol magnet dapat berbentuk magnet batang atau loop kawat berarus. Loop kawat berarus (berupa cincin) memberikan efek medan magnet seperti medan magnet yang dikerahkan oleh medan batang. Untuk cincin berarus I dan berjari-jari R , sesuai dengan persamaan (2.13), disepanjang sumbu cincin (z) bermedan magnet (Kuncoro dan bambang.2008: 379):

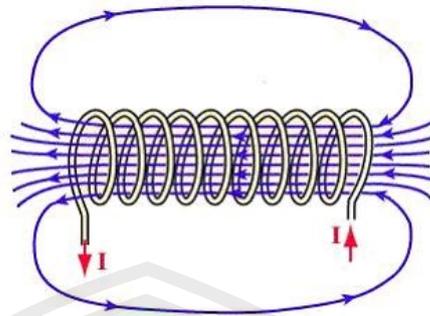
$$B_z = \frac{\mu_0 I \pi R^2}{2\pi z^3} \dots\dots\dots (2.19)$$

Didefinisikan momen dipol (dwikutub) magnet (μ), sebagai: $\mu = [\text{arus listrik}] \times [\text{luas loop}]$, maka $\mu = I\pi R^2$. Akhirnya diperoleh persamaan kuat medan magnet disepanjang sumbu cincin:

$$B_z = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi z^3} \dots\dots\dots (2.20)$$

2.8.4 Solenoida

Solenoida merupakan kawat berbahan konduktor yang disusun sehingga membentuk kumparan (koil) dan dialiri arus listrik. Kuat medan magnet di dalam solenoida disebut ideal bila medan magnet di dalam solenoida bersifat homogen dan diluarnya nol (Kuncoro dan Bambang.2008: 380).



Gambar 2.17 Solenoida (Kuncoro dan Bambang 2008)

Kuat medan magnet di dalam solenoida dapat dihitung menggunakan hukum Ampere sehingga $\int \vec{B} \cdot d\vec{l} = Bl$.

Jika setiap lilitan berarus listrik I_0 dan terdapat N buah lilitan pada solenoida sepanjang l , maka:

$$B = \mu_0 I_0 \frac{N}{l} \dots \dots \dots (2.21)$$

Untuk $n (= \frac{N}{l})$ merupakan lambang jumlah lilitan persatuan panjang.

Selanjutnya persamaan (2.15) dapat ditulis menjadi:

$$B = \mu_0 I_0 n \dots \dots \dots (2.22)$$

2.9 Medium magnetik

Medium magnetik disini yang dimaksud ialah medium yang mempengaruhi medan magnet sebagaimana dielektrikum mempengaruhi medan listrik. Tetapi jika dielektrikum selalu memperlemah medan listrik, maka medium magnetik ada yang justru memperkuat medan medan magnet, yaitu yang dinamakan medium paramagnetik. Medium yang memperlemah medan magnet disebut medium diamagnetik. Biji besi ternyata amat memperkuat medan magnet dan dinamakan

medium ferromagnetik karena merupakan sifat kemagnetan yang istimewa dari bahan besi (Soedjo,1999:223).

Pada hakikatnya penguatan medan magnet oleh bahan paramagnetik dan pelemahan medan magnet oleh bahan paramagnetik dan pelemahan medan magnet oleh bahan diamagnetik hanyalah sedikit saja, yakni dengan suseptibilitas magnetik χ_m antara -10^{-5} sampai -10^{-8} untuk bahan diamagnetik seperti misalnya Hg, Ag, Cu, H₂, A, Au, Bi dan K_m, antara 10^{-7} sampai 10^{-3} bagi bahan paramagnetik seperti misalnya Pt, Al, O₂, N₂. Di pihak lain bahan ferromagnetik mempunyai nilai suseptibilitas magnetik sampai ribuan (10^3) (Soedjo,1999:223).

Menurut Ampere, dipool magnet tak lain ialah arus listrik melingkar belaka. Adapun arus melingkar di dalam atom adalah berasal dari gerakan orbital elektron, yang mengakibatkan gerakan muatan listrik elektron melingkari inti atom. Disamping itu gerak rotasi elektron disekeliling sumbunya sendiri juga menghasilkan gerak rotasi muatan listrik elektron yang memberikan arus melingkar (Soedjo,1999:223-224).

Demikianlah momen dipool atom tak lain ialah jumlahan atau resultante momen-momen dipool dari gerakan orbital maupun rotasi atau spin semua elektron-elektronnya. Kalau resultante itu nol, maka atom akan bersifat diamagnetik, sedangkan kalau tidak nol akan bersifat paramagnetik (Soedjo,1999:223-224).

Suatu magnet adalah suatu materi yang mempunyai suatu medan magnet. Magnet selalu memiliki dua kutub yaitu kutub utara U dan kutub selatan S. Gejala kemagnetan dan kelistrikan berkaitan sangat erat. Sifat kemagnetan tidak hanya

ditimbulkan oleh bahan magnetik tetapi juga arus listrik. Pada tahun 1819, Oesterd menemukan bahwa disekitar arus listrik terdapat medan magnet.

Semua bahan dapat diklasifikasikan jenis kemagnetannya menjadi lima kategori yaitu ferromagnetik, paramagnetik, diamagnetik, antiferromagnetik dan ferrimagnetik (Barsoum, 1997). Semuanya dibedakan dari keteraturan arah domain pada bahan magnet tersebut.

2.9.1 Ferromagnetik

Ferromagnetik yaitu bahan yang sangat mudah dipengaruhi medan magnetik karena mempunyai resultan medan magnet yang besar, sehingga apabila bahan diberi medan magnet dari luar maka elektron-elektronnya akan mengusahakan dirinya untuk menimbulkan medan magnet atomis tiap-tiap atom atau molekul searah dengan medan magnet luar. Hal ini dikarenakan momen magnetik spin elektron. Medan magnet dari masing-masing atom dalam bahan ferromagnetik sangat kuat. Contoh bahan ferromagnetik adalah baja, cobalt, nikel. Walaupun demikian bahan tadi dapat hilang sifat kemagnetannya apabila mencapai suhu tertentu (Halliday, 1996).

Bahan ferromagnetik memiliki suseptibilitas magnetik yang amat besar, yakni dalam orde ribuan, bahan tersebut juga memiliki sifat khusus, yakni memperlihatkan gejala apa yang disebut histerisis yang secara umum didefinisikan sebagai keterlambatan reaksi atau respons atas aksi yang lazim. Bahan ferromagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik X_m positif, yang sangat tinggi (sebagaimana yang diukur pada keadaan

yang diuraikan berikut ini). Ferromagnetisme muncul pada besi murni, kobalt, dan nikel serta paduan dari logam-logam ini. Sifat ini juga dimiliki oleh gadolinium, disprosium, dan beberapa senyawa yang lain. Dalam bahan-bahan ini sejumlah kecil medan magnetik luardapat menyebabkan derajat penyearah yang tinggi pada momen dipol magnetik atomnya. Dalam beberapa kasus, penyearahan ini dapat bertahan sekalipun medan pemagnetannya telah hilang. Ini terjadi karena momen dipol magnetik atom dari bahan-bahan ini mengarahkan gaya-gaya yang kuat pada atom tetangganya sehingga dalam daerah ruang yang sempit momen ini disearahkan satu sama lain sekalipun medan luarnya tidak ada lagi. Daerah ruang tempat momen dipol magnetik disearahkan ini disebut daerah magnetik. Ukuran suatu ranah biasanya bersifat mikroskopik. Dalam daerah ini, semua momen magnetik disearahkan, tetapi arah penyearahannya beragam dari daerah ke daerah sehingga momen magnetik total dari kepingan mikroskopik bahan ferromagnetik ini adalah nol dalam keadaan normal (Tipler, 2001).

Pada temperatur tertentu bahan ferromagnetik akan berubah menjadi bahan paramagnetik, temperatur transisi ini dinamakan temperatur curie. Diatas temperatur curie orientasi momen magnetik akan menjadi acak, dan suseptibilitas magnetiknya diberikan oleh persamaan:

$$\chi = \frac{C}{T-T_f} \dots\dots\dots (2.23)$$

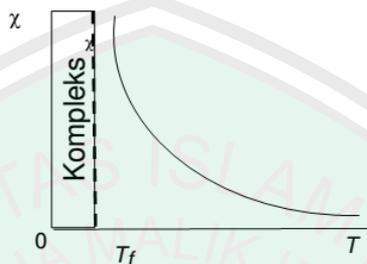
Dimana C adalah tetapan Curie dan T_f adalah temperatur Curie. Persamaan (2.23) merupakan hukum Curie- Weiss, besar tetapan Curie adalah:

$$C = \frac{T_f}{\lambda} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$C = \frac{\mu_0 N(g\mu_B)^2}{k_B} \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana λ adalah konstanta Weiss yang besarnya

$$\lambda = \frac{k_B T_f}{\mu_0 N(g\mu_B)^2} \dots\dots\dots (2.26)$$



Gambar 2.18 Grafik hubungan antara magnetik χ terhadap temperatur T pada bahan feromagnetik (Kittel, 1996)

2.9.2 Ferimagnetik

Pada bahan yang bersifat, dipole yang berdekatan memiliki arah yang berlawanan tetapi momen magnetiknya tidak sama besar. Bahan ferrimagnetik memiliki nilai suseptibilitas tinggi tetapi lebih rendah dari bahan feromagnetik, beberapa contoh dari bahan ferimagnetik adalah ferriete dan magnetite.

Dalam aplikasi modern ferriete lebih berguna dibanding semua jenis bahan magnetik, karena selain dari sifat magnetiknya, bahan ini juga merupakan isolator yang baik (Omar, 1993).

2.9.3 Antiferomagnetik

Jika jumlah momen magnetik dari sub-domain paralel dan antiparalel mengganti satu sama lain pada material yang seharusnya feromagnetik, nilai suseptibilitasnya sangat kecil, mendekati substansi paramagnetik. Material ini disebut antiferomagnetik dan contohnya hematite (Telford dkk.,1976).

2.9.4 Diamagnetik

Diamagnetik yaitu bahan yang sangat sulit dipengaruhi oleh medan magnet luar. Bahkan apabila diberi pengaruh medan magnet dari luar, resultan medan atomisnya akan membentuk arah yang melawan arah medan magnet luar. Sehingga medan magnet atomis masing-masing atom nol. Jika magnet ini dimasukkan ke dalam medan magnet luar, akan menimbulkan induksi magnet yang lebih kecil dibandingkan bahan paramagnetik. Contohnya adalah bismuth, timbal, air raksa, emas, air dan tembaga (halliday,1996).

Bahan yang momen dipol magnet atom-atomnya nol bersifat diamagnetik. Karena momen dipol magnetnya nol, maka tidak berupa dipool magnet sehingga dengan sendirinya tidak mengalami orientasi pemutaran di dalam medan magnet. Sepintas bahan tersebut tentunya tidak berinteraksi dengan medan magnet, yakni tidak mempengaruhi medan magnet yang dikenakan padanya. Namun nyatanya bahan tersebut memperlemah medan magnet.(Soedjo,1999:225-226)

Bahan diamagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas negatif dan sangat kecil. Sifat diamagnetik ditemukan oleh Faraday pada tahun1846 ketika sekeping bismuth ditolak oleh kedua kutub magnet, hal ini memperlihatkan bahwa medan induksi dari magnet tersebut menginduksi momen magnetik pada bismuth pada arah yang berlawanan dengan medan induksi pada magnet (Tipler, 2001)

2.9.5 Paramagnetik

Paramagnetik yaitu bahan yang dapat dipengaruhi oleh medan magnet luar, tetapi tidak semudah bahan ferromagnetik. Bahan yang resultan medan magnet atomisnya tidak nol namun resultan medan magnet dalam bahan nol. Hal ini disebabkan karena gerakan atom acak sehingga medan magnetnya saling meniadakan. Sebagian besar magnet atomisnya, mengikuti arah medan magnet, tetapi ada sebagian kecil yang justru melawan arah medan magnet luar. Contoh bahan paramagnetik yaitu antara lain mangan, platina, aluminium (Halliday,1996).

Bahan yang momen dipol magnet atomnya tidak nol, bersifat paramagnetik. Di dalam medan magnet, dipol-dipol magnet atom bahan demikian akan terorientasi menurut arah medan magnet, yakni kutub utaranya akan mengarah pada arah medan magnet sedangkan kutub selatannya pada arah sebaliknya, mirip dengan momen dipol listrik molekul-molekul dielektrikum di dalam medan listrik (Soedjo,1999:224).

Berbeda dengan dipol listrik di dalam medan listrik yang lalu menampilkan garis gaya medan listrik yang arahnya berlawanan dengan arah medan listrik yang dikenakan, maka garis gaya dari dipol magnet di dalam medan magnet itu sebagian besar berada pada arah yang sama dengan arah medan magnet yang dikenakan karena sifat rotasional garis gaya itu bukan dari utara ke selatan melainkan sebaliknya. Dengan demikian bahan paramagnetik itu menambah kerapatan garis gaya medan magnet yang dikenakan, yang berarti akan memperkuat medan magnet (Soedjo,1999:225).

Bahan paramagnetik adalah bahan- bahan yang memiliki suseptibiitas magnetik χ_m yang positif dan sangat kecil. Paramagnetik muncul dalam bahan yang atom- atomnya memiliki momen magnetik hermanen yang berinteraksi satu sama lain secara sangat lemah. Apabila tidak terdapat Medan magnetik luar, momen magnetik ini akan berorientasi acak. Dengan daya Medan magnetik luar, momen magnetik ini arahnya cenderung sejajar dengan medannya, tetapi ini dilawan oleh kecenderungan momen untuk berorientasi acak akibat gerakan termalnya. Perbandingan momen yang menyearahkan dengan medan ini bergantung pada kekuatan medan dan pada temperaturnya. Pada medan magnetik luar yang kuat pada temperatur yang sangat rendah, hampir seluruh momen akan disearahkan dengan medannya (Tipler, 2001).

Karakteristik dari bahan yang bersifat paramagnetik adalah memiliki momen magnetik permanen yang akan cenderung menyearahkan diri sejajar dengan arah medan magnet dan harga suseptibilitas magnetiknya berbanding terbalik dengan suhu T. Variasi dari nilai suseptibilitas magnetik yang berbanding terbalik dengan suhu T adalah merupakan hukum Curie

$$\chi = \frac{N (g\mu_B)^2 J(J+1)}{3 k_B T} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\chi = \frac{N\mu_B^2 P^2}{3V k_B T} \dots\dots\dots (2.28)$$

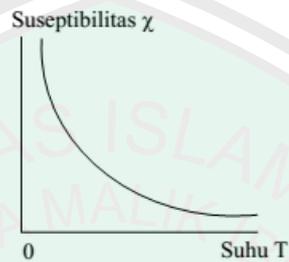
$$\chi = \frac{C}{T} \dots\dots\dots (2.29)$$

Persamaan di atas adalah merupakan persamaan hukum Curie dimana T adalah suhu pengamatan, μ_B adalah bilangan Bohr Magneton, N adalah jumlah

atom bahan, k_B adalah konstanta Boltzman, C adalah tetapan Curie, P adalah bilangan Bohr Magneton efektif, dan g adalah faktor Lande.

$$P = g(J(J + 1))^{1/2} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$g = \frac{3}{2} + \frac{1}{2} \left[\frac{S(S+1) - L(L+1)}{J(J+1)} \right] \dots\dots\dots (2.31)$$

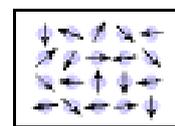


Gambar 2.19 Grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik χ terhadap temperatur T pada bahan paramagnetik (Kittel, 1996)

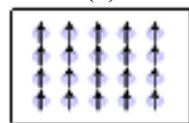
Sifat dari bahan dapat diketahui dengan mengetahui kandungan mineral magnetik pada bahan tersebut. Kandungan mineral magnetik ini dapat diketahui dengan serangkaian penelitian, salah satunya adalah dengan mengukur temperatur curie dari bahan tersebut. Batuan merupakan bahan yang kompleks, tersusun dari lebih satu mineral magnetik. Dengan pengukuran temperatur curie, dapat menentukan mineral magnetik yang terkandung dalam batuan.



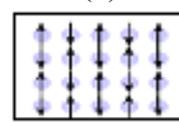
(a)



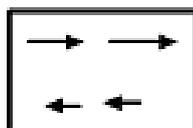
(b)



(c)



(d)

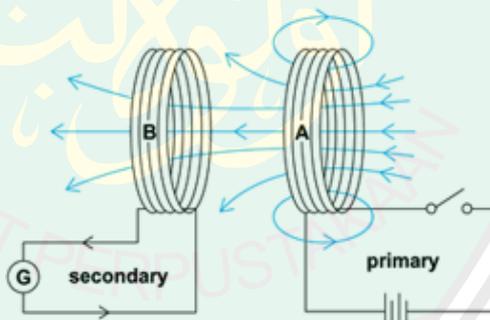


(e)

Gambar 2.20 Arah Domain. (a) Diamagnetik; (b) Paramagnetik; (c) Ferromagnetik (d) Antiferromagnetik; (e) Ferimagnetik

2.10 Hukum Faraday

Induksi elektromagnetik adalah induksi e.m.f, yakni timbulnya e.m.f di dalam kumparan yang mencakup sejumlah flux garis gaya medan magnet, bilamana banyaknya flux garis gaya itu divariasasi. Dengan kata lain akan timbul e.m.f. di dalam kumparan apabila kumparan itu berada di dalam medan magnet yang kuat medannya berubah-ubah terhadap waktu. Gejala demikian ditemukan oleh Faraday pada tahun 1831 dalam percobaan-percobaannya sebagai berikut (Peter, 1999, 231).



Gambar 2.21 percobaan Faraday mengenai induksi elektromagnetik (sumber: [http://google.com/percobaan faraday](http://google.com/percobaan%20faraday))

Bilamana kuat arus di kumparan primer pada gambar diatas diubah, maka kumparan sekunder ternyata mengalir arus listrik, sedangkan kumparan sekunder itu tak bersambungan sama sekali dengan kumparan primer. Satu-satunya hubungan ialah adanya fluks garis gaya medan magnet dari kumparan primer yang dialiri arus listrik, yang dicakup oleh kumparan sekunder. Jadi tentunya

mengalirnya arus listrik di kumparan sekunder itu bukan disebabkan langsung oleh perubahan kuat arus listrik di kumparan primer, melainkan oleh adanya perubahan banyaknya flux garis gaya medan magnet yang dicakup kumparan sekunder tersebut. Hal ini oleh Faraday sendiri diyakinkan dengan menggantikan kumparan primer yang dialiri arus listrik itu dengan batang magnet yang digerakkan mendekati lalu menjauhi kumparan sekunder sehingga banyaknya flux garis gaya medan magnet yang dicakup kumparan sekunder pun berubah-ubah. Lebih lanjut, dengan mengamati arah arus listrik terinduksi di kumparan sekunder itu, ternyata arah arus yang berkaitan dengan penambahan fluks, misalnya dengan batang magnet yang lebih didekatkan, akan berlawanan dengan seandainya sebaliknya, yakni yang berkaitan dengan pengurangan fluks yang dicakup kumparan sekunder. Ternyata arah mengalirnya arus listrik di kumparan sekunder itu sedemikian hingga fluks garis gaya medan magnet yang ditimbulkan oleh kumparan sekunder itu mengkompensasi perubahan fluks yang dicakupnya. Jadi seolah-olah mengalirnya arus listrik di kumparan sekunder itu merupakan reaksi atas pengubahan fluks garis gaya yang dicakupnya, sejalan dengan hukum Newton III mekanika (Soedjo,1999,232-233)

Fluks magnetik merupakan jumlah garis medan magnet yang lewat melalui luasan yang telah diketahui sebelumnya. Fluks magnetik ϕ_m adalah perkalian medan magnetik B dengan luasan A yang dibatasi dengan rangkaian. Secara matematis, fluks magnetik dapat dinyatakan sebagai.(Bueche,2006:253):

$$\phi_m = B A \dots\dots\dots(2.32)$$

Satuan fluks magnetik adalah Tesla/m² atau biasa yang disebut dengan Weber. Persamaan 2.1 merupakan fluks magnetik yang disebabkan medan magnet tegak lurus dengan permukaan luasan dan jika medan magnet tidak tegak lurus terhadap permukaan luasan maka fluks magnetik dinyatakan sebagai:

$$\phi_m = B A \cos \theta \dots\dots\dots(2.33)$$

Apabila fluks magnetik melalui sebuah kumparan dengan jumlah lilitan pada kumparan dinyatakan N, maka secara matematis fluks magnetik dinyatakan sebagai:

$$\phi_m = N B A \cos \theta \dots\dots\dots(2.34)$$

Suatu GGL akan sebanding dengan laju perubahan fluks yang diinduksikan dalam rangkaianannya. GGL yang diinduksi oleh fluks magnetik yang berubah dapat dianggap terdistribusi di seluruh rangkaianannya. GGL induksi dalam suatu simpal terjadi ketika fluks magnetik yang melalui simpal tersebut berubah. Gaya per muatan satuan merupakan medan listrik E, yang dalam hal ini diinduksi oleh fluks yang berubah tadi. GGL dalam rangkaian merupakan integral tertutup medan listrik di sekeliling rangkaian tertutup sama dengan kerja yang dilakukan per muatan satuan. Secara matematis, dinyatakan sebagai:

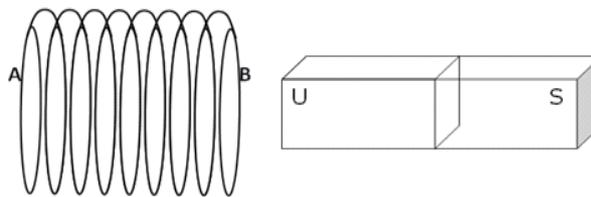
$$\varepsilon = \oint E \cdot dl \dots\dots\dots(2.35)$$

GGL induksi sama dengan integral tertutup medan listrik di sekeliling rangkaian tertutup dan juga sama dengan laju perubahan fluks magnetik yang diinduksikan dalam rangkaian. Sehingga dapat dituliskan menjadi:

$$\varepsilon = \oint E \cdot dl = - \frac{d\phi_m}{dt} \dots\dots\dots(2.36)$$

Persamaan 2.27 inilah merupakan Hukum Faraday menyatakan bahwa tegangan gerak elektrik induksi dalam sebuah simpal tertutup sama dengan negatif dari kecepatan perubahan fluks magnetik terhadap waktu yang melalui simpal tersebut. Tanda negatif dalam Hukum Faraday berkenaan dengan arah GGL induksinya yang kemudian dinyatakan oleh dalam Hukum Lenz(Tipler,1998).

Hukum Lenz digunakan untuk menentukan arah suatu arus induksi atau GGL induksi (tegangan gerak elektrik induksi). Hukum ini dikemukakan oleh H.F.E Lenz (1804-1865) yang merupakan ilmuwan Jerman. Hukum Lenz menyatakan bahwa arah sebarang efek induksi magnetik adalah sedemikian rupa sehingga rupa sehingga menentang penyebab efek itu. Dalam hukum ini, penyebab efek adalah fluks yang berubah-ubah dimana fluks tersebut melalui sebuah rangkaian stasioner yang ditimbulkan oleh sebuah medan magnetik yang berubah-ubah. Selain itu juga dapat dikarenakan gerak konduktor yang membentuk rangkaian. Penyebab efek dalam Hukum Lenz dapat berupa penggabungan dari kedua alasan fluks berubah-ubah. Perubahan fluks dalam sebuah rangkaian stasioner menyebabkan arus induksi menimbulkan medan magnetiknya sendiri. Medan yang ditimbulkan ini berlawanan dengan medan semula. Arus induksi menentang perubahan fluks yang melalui rangkaian tersebut. Dan jika perubahan fluks disebabkan karena gerak konduktor maka arah gaya medan magnetik pada konduktor berlawanan dengan gerak konduktor tersebut. Sehingga gerak konduktor yang menyebabkan arus induksi akan ditentang(Young,2002).



Gambar 2.22 magnet yang didekatkan kumparan(Halliday 1996)

Jika kutub U magnet batang di dekatkan kumparan AB, maka akan terjadi pertambahan garis gaya magnet arah BA yang dilingkupi kumparan. Sesuai dengan hukum Lenz, maka akan timbul garis gaya magnet baru arah menentang pertambahan garis gaya magnet tersebut. Garis gaya magnet baru arah AB ditimbulkan oleh arus induksi pada kumparan. Jika kutub U magnet batang dijauhkan, maka akan terjadi kebalikannya(Halliday,1996).

2.11 Prinsip induksi elektromagnetik

Sebuah percobaan yang dilakukan Faraday-Henry menemukan bahwa ketika batang magnet dimasukkan ke dalam lilitan kawat, terjadi arus yang terukur oleh Galvanometer, akan tetapi arus tersebut setelah beberapa saat kemudian hilang. Hal yang sama terjadi ketika batang magnet dikeluarkan dari lilitan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan medan magnet yang konstan menimbulkan listrik yang disebut dengan induksi elektromagnetik atau induksi magnetik. Menurut hukum Biot-savart, sebuah kawat berarus dapat menimbulkan medan magnet disekitarnya sesuai dengan aturan tangan kanan. Medan magnet adalah ruang disekitar magnet atau ruang yang masih memungkinkan adanya interaksi magnet. Medan magnet merupakan daerah disekitar magnet yang terdapat gaya-gaya magnet. Medan magnet merupakan besaran vektor disebut dengan vektor

induksi magnet B . Medan magnet dilukiskan dengan garis-garis yang arah garis singgungnya pada setiap titik garis-garis induksi magnet menunjukkan arah vektor induksi magnet. Banyaknya garis magnet persatuan luas dinamakan rapat fluks magnet ϕ sedangkan banyaknya garis induksi magnet persatuan luas dinamakan rapat fluks magnet.

Induksi elektromagnetik adalah induksi e.m.f, yakni timbulnya e.m.f. di dalam kumparan yang mencakup sejumlah flux garis gaya itu divariasi. Dengan kata lain akan timbul e.m.f. di dalam kumparan apabila kumparan itu berada di dalam medan magnet yang kuat medannya berubah-ubah terhadap waktu. Gejala demikian ditemukan oleh Faraday pada tahun 1831 dalam percobaan-percobaannya.

Penemuan Oersted mengenai hubungan listrik dan magnet, yaitu bahwa suatu muatan listrik dapat berinteraksi dengan magnet ketika muatan itu bergerak. Penemuan ini membuktikan teori tentang “muatan” magnet, yaitu bahwa magnet terdiri muatan listrik. Selanjutnya dari hasil percobaan menggunakan kompas, dapat diketahui bahwa medan magnet melingkar disekitar kawat berarus dengan arah yang dapat kita tentukan dengan aturan tangan kanan. Hal ini dapat dilakukan seperti menggenggam kawat dengan tangan kanan sehingga ibu jari menunjuk arah arus. Arah putaran genggam keempat jari menunjukkan arah medan magnet. Secara matematis, kuat medan magnet disuatu titik disekitar kawat berarus listrik dapat kita hitung dengan persamaan (Zemansky,2012):

$$B = k \frac{i}{a} \dots\dots\dots (2.37)$$

dengan keterangan:

B = induksi magnetik (T)

k = konstanta

i = kuat arus (A)

a = jarak (m)

2.12 Rugi-rugi dan Efisiensi transformator

Secara teori, suatu trafo bisa mencapai efisiensi 100% yang disebut sebagai trafo ideal. Namun pada prakteknya, setiap transformator selalu menghasilkan rugi-rugi dan tidak ada yang mencapai efisiensi 100%. Hal ini dikarenakan belitan (konduktor) yang dipakai pasti mempunyai tahanan walau hanya sedikit. Rugi-rugi yang timbul pada transformator diantaranya rugi-rugi tembaga, dan rugi-rugi besi.

Pemindahan daya dalam suatu transformator dapat berlangsung dengan efisiensi yang tinggi. Efisiensi pada transformator didefinisikan sebagai :

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}} = \frac{\text{daya masukan} - \text{daya hilang}}{\text{daya masukan}} \dots\dots\dots(2.38)$$

Efisiensi sebesar 98% tidak susah dicapai pada transformator besar. Daya hilang total sebesar 2% dari daya masukan ini, terdiri dari daya hilang pada inti transformator (30% dari daya hilang total) dan daya hilang kawat lilitan (70% dari daya hilang total), yaitu sebagai daya hilang I^2R .

Walaupun daya hilang inti transformator ini cukup kecil, yaitu sekitar 1% dari daya masukan, untuk daya yang besar akan banyak artinya. Pada tahun 1965 penggunaan energi listrik di Amerika Serikat adalah 10^{12} kwh, dan diperkirakan daya hilang pada inti transformator seharga \$300.000.000,-. Tak heran jika orang

masih terus berusaha memperkecil daya hilang pada inti transformator. (Sutrisno, 1979:136)

Efisiensi dinyatakan sebagai:

$$\eta = \frac{V_2 \cos \phi}{V_2 \cos \phi + I_2 R_{2ek} \frac{P_1}{P_2}} \dots \dots \dots (2.39)$$

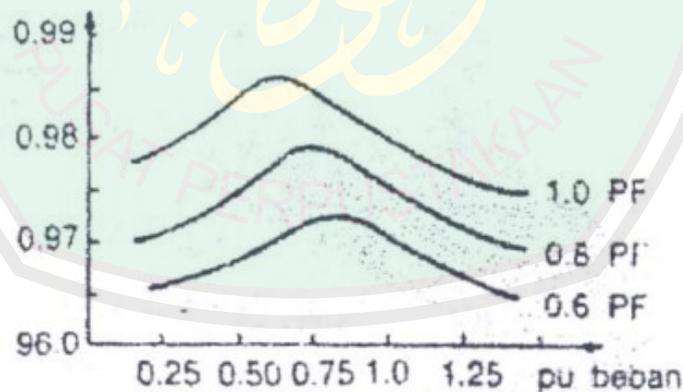
Melalui penurunan persamaan diatas bisa dicari nilai efisiensi maksimum untuk beban tertentu yaitu pada saat rugi tembaga = rugi inti

Perubahan efisiensi terhadap faktor kerja (Cos Φ) beban dapat dinyatakan sebagai:

$$\eta = 1 - \frac{X}{\cos \phi + X} \dots \dots \dots (2.40)$$

Jika $X = \sum \text{rugi} / V_2 I_2 = \text{konstan}$

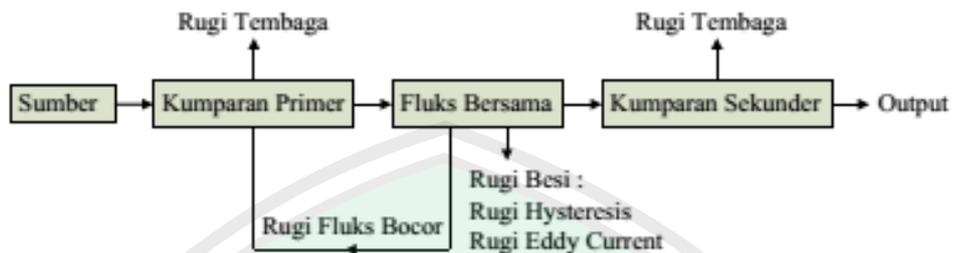
Hubungan antara efisiensi dengan beban pada Cos Φ bisa dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 2.23 kurva perubahan efisiensi terhadap faktor kerja

Rugi-rugi pada transformator dapat diklasifikasikan atas rugi-rugi primer, rugi-rugi sekunder dan rugi-rugi inti (besi). Rugi-rugi primer dan sekunder adalah rugi-rugi daya nyata I^2R dalam watt. Rugi-rugi ini akibat resistansi dari masing-masing belitan, yaitu belitan primer dan sekunder. Apabila transformator tidak

dibebani, maka rugi-rugi daya pada sekunder adalah nol. Berikut sekema dari rugi-rugi yang ada pada transformator.



Gambar 2.24 Diagram blok rugi-rugi transformator

a. Rugi tembaga

Rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_{Cu} = I^2 R \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.41)$$

Formula ini merupakan perhitungan untuk pendekatan. Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak konstan bergantung pada beban. Dan perlu diperhatikan pula resistansi, di sini merupakan resistansi AC.

b. Rugi Besi

Rugi inti atau rugi besi pada transformator juga adalah rugi dalam *watt*. Rugi inti pada transformator terdiri atas dua bagian, yaitu rugi *hysteresis* dan *eddy current*. Adapun penjelasan tentang kedua jenis rugi inti tersebut adalah sebagai berikut.

Rugi *Hysteresis*, yaitu rugi yang disebabkan oleh fluks bolak-balik pada inti besi yang dinyatakan sebagai:

$$P_h = k_h f^2 B_{max}^{1,6} \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.42)$$

Dimana: k_h = konstanta

B_{max} = fluks maksimal (*weber*)

Rugi Eddy Current, yaitu rugi yang disebabkan oleh arus pusar pada inti besi yang dinyatakan sebagai:

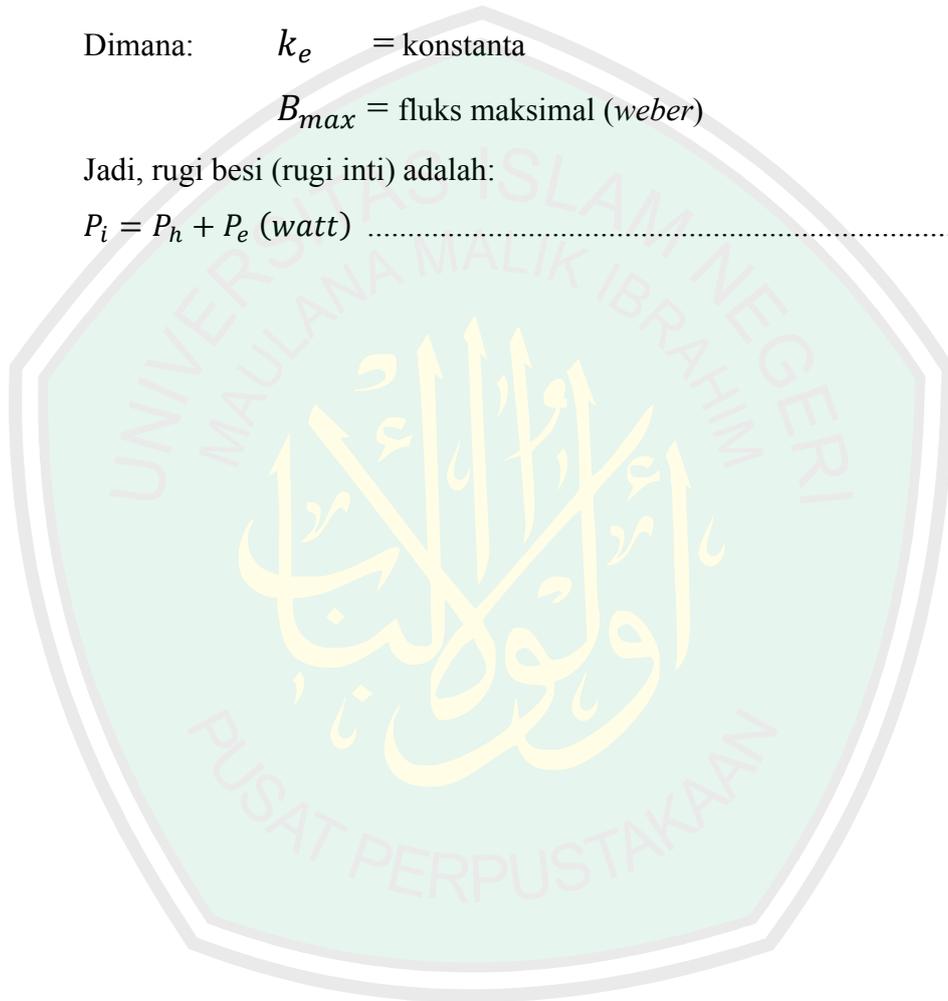
$$P_e = k_e f^2 B_{max}^2 \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.43)$$

Dimana: k_e = konstanta

B_{max} = fluks maksimal (*weber*)

Jadi, rugi besi (rugi inti) adalah:

$$P_i = P_h + P_e \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.44)$$



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk membuat transformator dengan desain *Hubbard coil* dengan memvariasikan jumlah dan panjang kumparan luar. Kemudian menganalisis tegangan dan arus keluaran untuk mengetahui daya keluaran dan efisiensi dari transformator dengan desain *Hubbard coil*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, pada bulan April 2015.

3.3 Alat dan bahan

3.3.1. Alat Penelitian

pada penelitian ini menggunakan alat sebagai berikut:

- a. Fungsi generator
- b. Avometer
- c. Multimeter
- d. Solder
- e. Penghitung kumparan
- f. Osciloscop
- g. Tang
- h. Pemotong koker

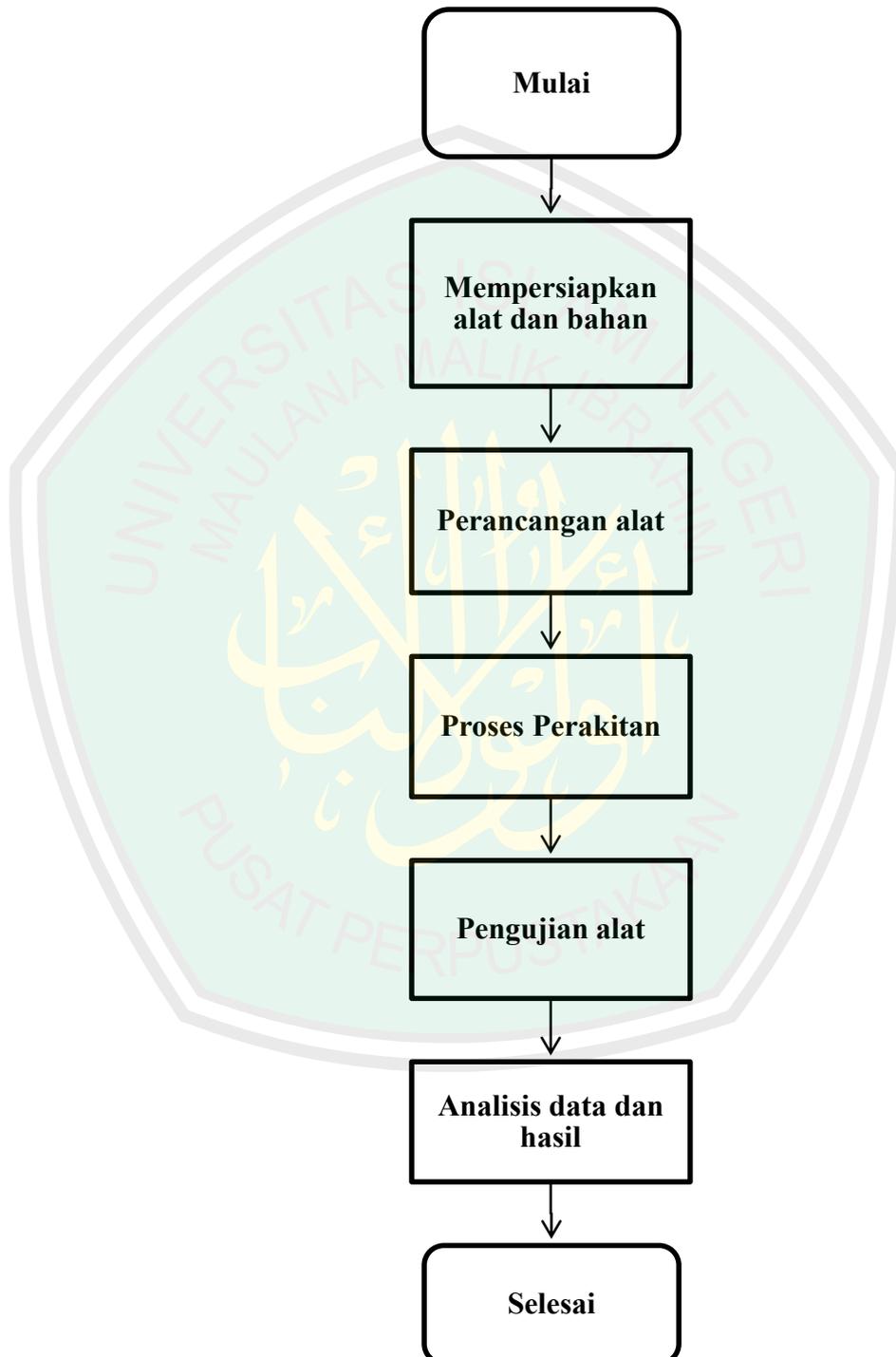
- i. Gunting
- j. Clamper inti besi
- k. Pemotong inti besi

3.3.2. Bahan Penelitian

pada penelitian ini menggunakan beberapa bahan sebagai berikut:

- a. Kawat email berbahan tembaga dengan $d = 0.4 \text{ mm}$
- b. Pipa PVC (*polyvinyl chloride*)
- c. Inti transformator dari besi lunak
- d. Timah
- e. Resistor $1 \text{ K}\Omega$
- f. Kapasitor milar 100 nF dan 1 nF
- g. Potensiometer 120 K
- h. IC NE555N
- i. Transistor NPN D313
- j. Heatshink
- k. PCB
- l. Kertas isolasi dan double tip
- m. Kabel *connecting*

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

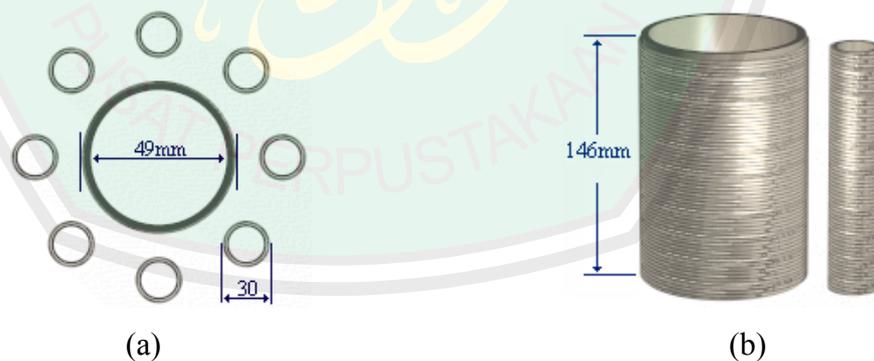
3.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian untuk menganalisis pengaruh jumlah dan panjang kumparan luar terhadap daya keluaran pada *Hubbard Coil* dibagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

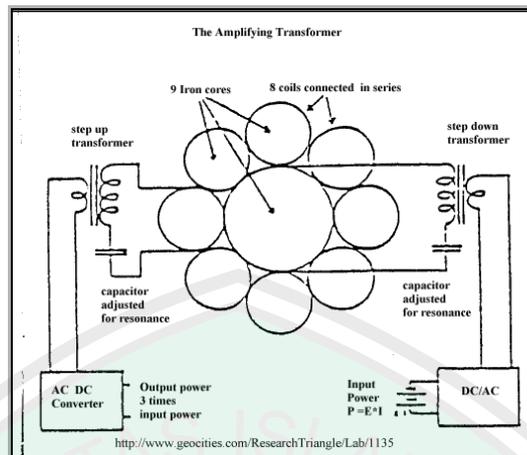
1. Pembuatan rancang bangun transformator desain *Hubbard Coil*
2. Pembuatan transformator desain *Hubbard Coil*
3. Pengambilan data
4. Analisis tegangan dan arus masukan dengan tegangan dan arus keluaran untuk menentukan daya keluaran dan efisiensi dari transformator desain *Hubbard Coil*.

3.6 Rancangan Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan desain kumparan sebagaimana gambar di bawah ini:



Gambar 3.2 Model desain Kumparan Hubbard. (a) terlihat dari atas, (b) terlihat dari samping



Gambar 3.3 Rangkaian desain kumparan Hubbard

Pada penelitian ini menggunakan tiga variasi pada jumlah kumparan luar yaitu perbandingan kumparan primer dan sekunder antara lain 8:1 , 7:1 , 6:1 dan panjang kumparan luar masing masing yaitu 12 cm dan 8 cm.

3.7 Pembuatan transformator pada *Hubbard Coil*

3.7.1 Pembuatan Koker

Koker merupakan tempat untuk menggulung lilitan transformator. Koker terbuat dari bahan pipa PVC yang bersifat isolator. Pipa PVC yang digunakan mempunyai diameter 49 mm dan 30 mm yang kemudian dipotong dengan panjang 149 mm. Selanjutnya pipa PVC tersebut didesain seperti desain kumparan Hubbard.

3.7.2 Penggulungan lilitan dan Isolasi

Kertas isolasi transformator dipasang pada koker yang telah terkontruksi. Kemudian kawat email primer dililitkan sesuai dengan panjang yang telah ditentukan pada kumparan luar. Jika lebih dari satu lapis, maka antar lapis dipasang kertas isolasi transformator (prespan). Begitu pula dengan kawat email sekunder. Pada sisi luar kawat email sekunder serta di antara kawat primer dan sekunder

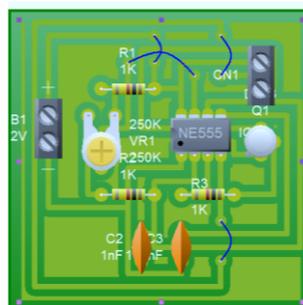
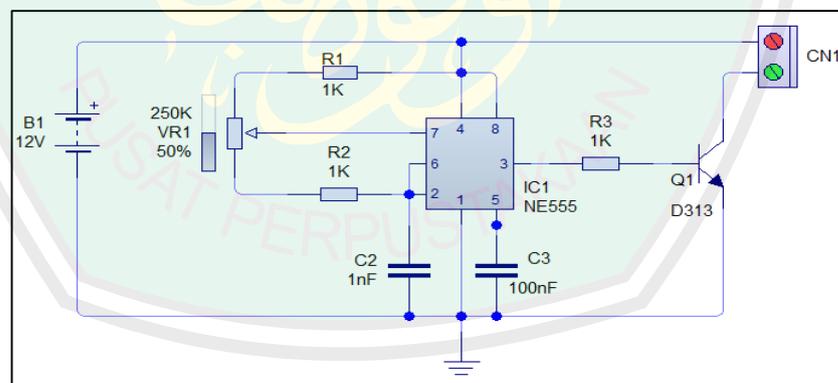
dipasang kertas isolasi. Penelitian ini menggunakan kawat email yang berbahan tembaga yang sudah terlapsi dengan isolator di luarnya yang mempunyai diameter 0,4 mm. Kawat digulung dengan rapat seperti solenoida yang rapat, hal ini dilakukan agar kuat medannya ideal.

3.7.3 Pemasangan Inti Besi

Inti transformator dibuat menggunakan inti besi yang terbuat dari besi lunak yang kemudian dipotong sesuai dengan panjang dari masing-masing kumparan, yaitu dengan panjang 14,6 cm. Kemudian besi dimasukkan ke dalam koker untuk masing-masing kumparan sampai memenuhi koker tersebut.

3.8 Pembuatan Rangkaian Osilator Transformator

Rangkaian osilator transformator digunakan sebagai penyearah gelombang dan pengaturan frekuensi transformator. Desain rangkaian osilator sebagai berikut:



Gambar 3.4 Desain rangkaian Osilator

3.9 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan masukan dari fungsi generator dan kemudian mengukur keluaran transformator yang berupa tegangan dan arus keluaran dari kumparan sekundernya.

Langkah-langkah pengambilan data sebagai berikut:

1. Semua kumparan dirangkai seperti Gambar 3.3
2. Kumparan luar dihubungkan secara seri dan membiarkan kumparan dalam sehingga tidak ada koneksi antara kumparan luar dan kumparan dalam.
3. Menghubungkan transformator dengan semua perangkat dengan kabel *connecting*.
4. Menghubungkan rangkaian switching pada output kumparan sekunder dan memasukkannya.
5. Mencari nilai frekuensi yang baik dengan memutar potensiometer.
6. Merubah nilai inputan dengan variasi 3 volt, 6 volt, 9 volt dan 12 volt.
7. Setelah selesai, mengganti kumparan luar Mengulang langkah pertama sampai ke tujuh pada variasi panjang.
8. Dianalisis data-data yang didapat dalam bentuk grafik kemudian dibahas dengan menggunakan pendekatan secara deskriptif.

3.10 Teknik Analisis Data

parameter yang akan diukur dibuat dalam bentuk tabulasi data untuk mengetahui keterkaitan dari beberapa data tersebut, yaitu meliputi hubungan antara jumlah dan panjang kumparan luar dengan nilai tegangan dan arus keluaran pada kumparan luar.

Terdapat enam percobaan dalam pengambilan data. Untuk tahapan pertama yaitu percobaan dengan panjang kumparan luar 12 cm pada masing-masing perbandingan yaitu 8:1 7:1 6:1 jadi terdapat tiga kali percobaan. Selanjutnya pada panjang kumparan 8 cm pada masing-masing perbandingan 8:1 7:1 6:1.

Hasil penelitian yang telah diperoleh dapat diketahui keefektifan transformator dengan desain *Hubbard coil* dari nilai keluaran dari kumparan sekunder untuk menghasilkan efisiensi dari transformator yang maksimal.

Untuk mengetahui efisiensi dari transformator dapat diperoleh dengan perbandingan dari keluaran dan masukan, sehingga digunakan persamaan:

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

$$P = V \times I$$

dengan :

P_{out} = Daya Output transformstor (watt)

P_{in} = Daya input transformstor (watt)

V = Tegagan (Volt)

I = Arus (Ampere)

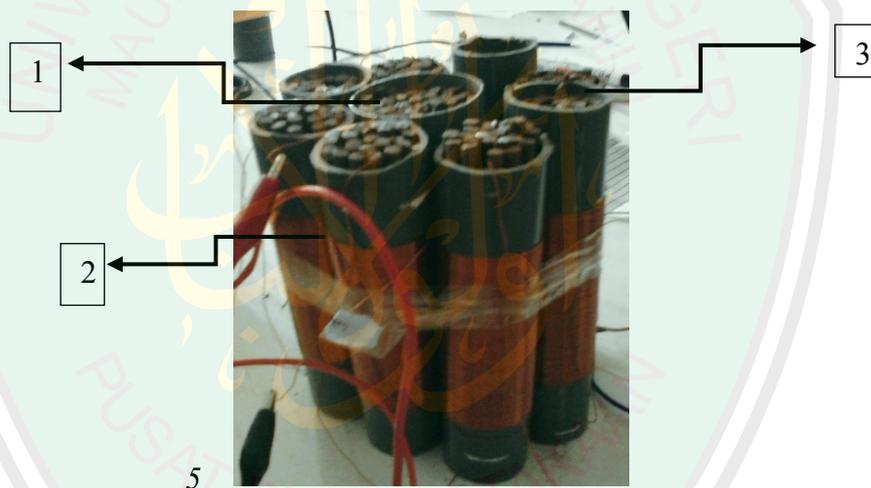
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Rancang bangun transformator desain Hubbard Coil

Rancang bangun transformator dengan desain *Hubbard coil* terdiri dari tiga bagian pokok yaitu kumparan luar atau kumparan primer, kumparan dalam atau kumparan sekunder, dan inti transformator. Rancangan bangun Transformator dengan desain Hubbard Coil dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Transformator desain *Hubbard coil*

Keterangan :

1 = Kumparan Sekunder

2 = Kumparan Primer

3 = Inti Transformator

Kumparan-kumparan transformator berbentuk solenoida. Lilitan kawat email yang digunakan berbahan tembaga. Kawat email dengan lapisan tipis bertujuan agar tidak terjadi hubung singkat antar lilitan dan badan kumparan ketika dialiri

arus listrik. Inti transformator menggunakan besi lunak dengan panjang 14 cm dan diameter 0,5 cm.

Penelitian ini memvariasikan jumlah dan panjang kumparan luar dengan diameter kawat tetap (konstan). Untuk kumparan sekunder (kumparan dalam) tetap menggunakan panjang 12 cm. Untuk kumparan luar divariasikan 8, 7 dan 6 dengan panjang lilitan masing masing percobaan yaitu 8 cm dan 12 cm sehingga jumlah percobaan yang dilakukan sebanyak enam kali.

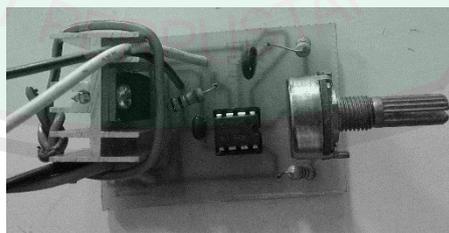
Langkah pertama dalam merancang transformator dengan desain *Hubbard coil* yaitu melilit kumparan dengan menggunakan kawat email 0,4 mm yang dililitkan pada koker yang menggunakan pipa PVC. Untuk kumparan primer menggunakan pipa dengan diameter 30 mm dan kumparan sekunder 49 mm dengan panjang 146 mm. Kemudian kumparan sekunder dikelilingi oleh beberapa kumparan primer sesuai dengan percobaan yang akan dilakukan dengan jumlah yang telah ditentukan dan dihubungkan secara seri. Keseluruhan pada kumparan di isi dengan besi lunak agar memperbesar fluks magnet pada masing-masing kumparan. Jika fluks dalam kumparan bertambah, arus yang timbul karena terjadinya ggl induksi akan menghasilkan suatu fluks yang meniadakan penambahan fluks tersebut, begitu sebaliknya.

Transformator desain Hubbard ini memiliki cara kerja yang mirip dengan cara kerja generator listrik dibanding dengan transformator pada umumnya. Cara kerja pada generator melalui pergerakan medan magnet yang ada pada rotor terhadap kumparan tetap yang terdapat pada stator. Kumparan penguat medan pada rotor diberi tegangan DC sehingga menghasilkan medan magnet. Pada

prinsip kerja generator gaya gerak listrik tidak akan timbul ketika terdapat medan magnet sehingga digunakan pemotong medan magnet yang berbahan konduktor. Transformator dengan desain Hubbard memperkuat aliran listrik pada kumparan penguat tidak dengan pergerakan medan magnet, melainkan induksi dari kumparan primer yang mengelilingi kumparan sekunder sedangkan pada generator listrik menggunakan pergerakan medan magnet.

Transformator dengan desain *Hubbard coil* memiliki perbedaan dengan transformator yang terdapat di pasaran pada umumnya. Pada inti transformator Hubbard antara kumparan primer dan kumparan sekunder tidak menyatu sementara pada transformator biasa pada kumparan primer dan kumparan sekunder dibuat satu inti. Transformator dengan desain Hubbard memiliki jumlah kumparan primer lebih banyak dibanding jumlah kumparan sekunder.

Transformator ini juga menggunakan rangkaian osilator sebagai sumber tegangan. Rangkaian osilator ini digunakan untuk membentuk gelombang kotak (pulsa) pada keluarannya. Seperti terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Foto rangkaian osilator

Pengambilan data dilakukan dengan menghubungkan kumparan primer sebagai masukan dengan fungsi generator dan kumparan sekunder sebagai keluaran. Masukan dari fungsi generator memiliki tegangan maksimal 12 Volt dan arus maksimal 3 Ampere. Sehingga data dapat diulang dengan memvariasikan

masukan yang didapat dari fungsi generator. Untuk mengetahui nilai arus masukan sebelum arus listrik masuk dalam kumparan, fungsi generator dihubungkan dengan ampermeter dan rangkaian osilator sebagai penyearah gelombang masukan dan mengatur frekuensi. Sedangkan keluaran dihubungkan dengan voltmeter dan ampermeter untuk didapatkan tegangan dan arus keluaran.

Oscilloscope yang dihubungkan dengan kumparan sekunder dapat menghasilkan nilai frekuensi. Berdasarkan bentuk gelombang yang didapat dari arus keluaran, dimana gelombang tersebut memiliki bentuk gelombang pulsa sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.3.



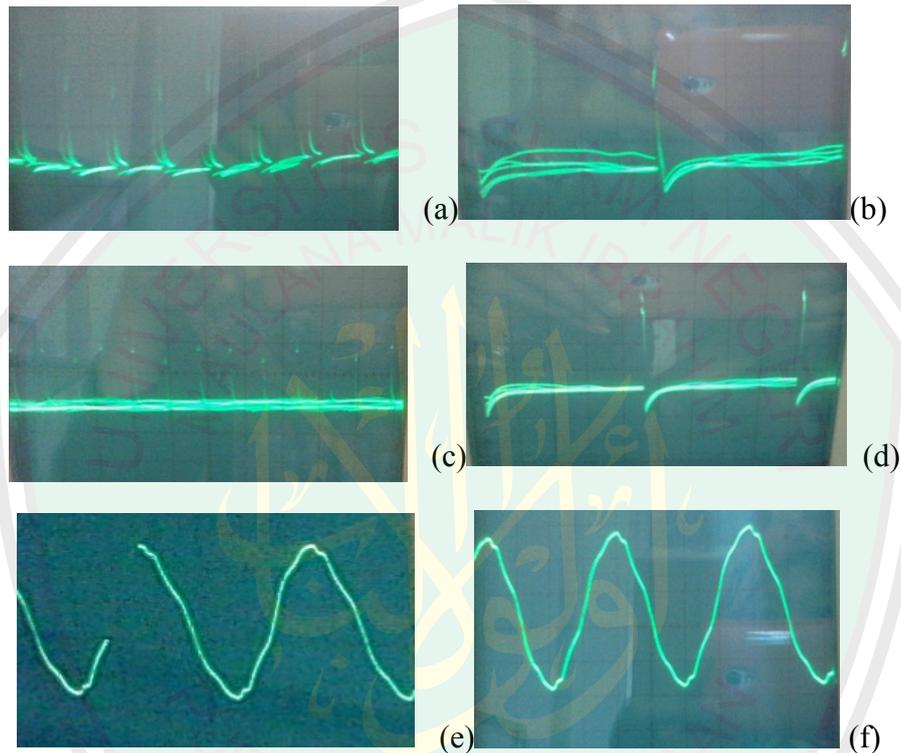
Gambar 4. 3 Gelombang keluaran

Pada gambar 4.3 menjelaskan bagian garis vertikal menunjukkan nilai frekuensi akibat adanya medan magnet. Sedangkan garis horizontal menunjukkan tidak adanya pengaruh medan magnet yang didapat dari kumparan sekunder transformator dengan desain *Hubbard coil*.

4.1.2 Pengujian tegangan dan arus transformator desain Hubbard Coil

Hasil Penelitian pada pengujian rangkaian transformator dengan desain *Hubbard coil* dengan mengubah jumlah dan panjang kumparan luar diperoleh nilai tegangan dan arus keluaran yang optimal. Hasil dari beberapa pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1.

Keluaran yang dihasilkan oleh transformator desain Hubbard Coil dapat dilihat pada Oscilloscope yang dihubungkan dengan kumparan sekunder sehingga menghasilkan nilai frekuensi. Berdasarkan bentuk gelombang yang didapat dari arus keluaran.



Gambar 4. 4 Bentuk gelombang keluaran pada Oscilloscope. (a) $\ell=8$ 6:1, (b) $\ell=8$ 7:1, (c) $\ell=8$ 8:1, (d) $\ell=12$ 6:1, (e) $\ell=12$ 7:1, (f) $\ell=12$ 8:1

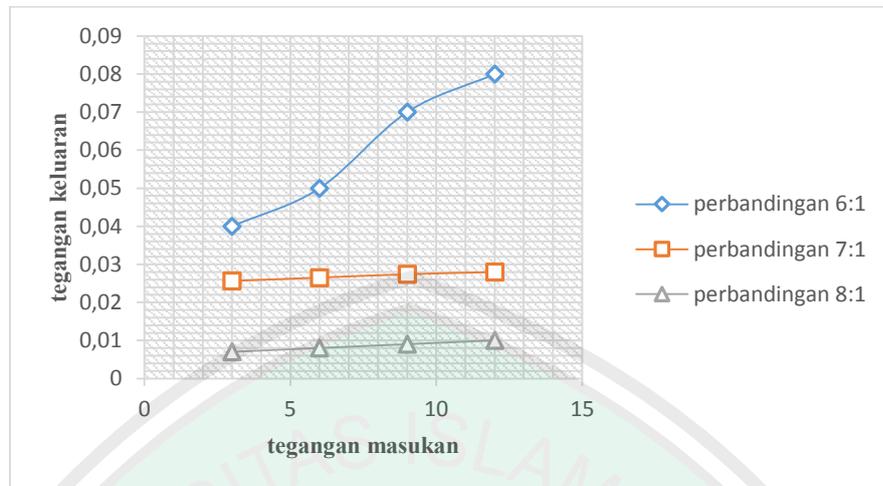
Bentuk gelombang yang terdapat pada oscilloscope merupakan bentuk gelombang dengan nilai frekuensi terbaik untuk masing-masing variasi jumlah kumparan luarnya. Nilai frekuensi yang dikeluarkan oleh kumparan primer berpengaruh pada nilai-nilai keluaran yang dihasilkan oleh kumparan sekunder. Hal ini dapat dilihat dengan mengubah nilai frekuensi melalui potensiometer, maka akan mengubah nilai keluarannya. Nilai frekuensi dari masing-masing

percobaan diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 dibanding T sehingga diperoleh nilai frekuensi pada tabel 41.

Tabel 4.1 Pengujian transformator dengan desain *Hubbard coil*

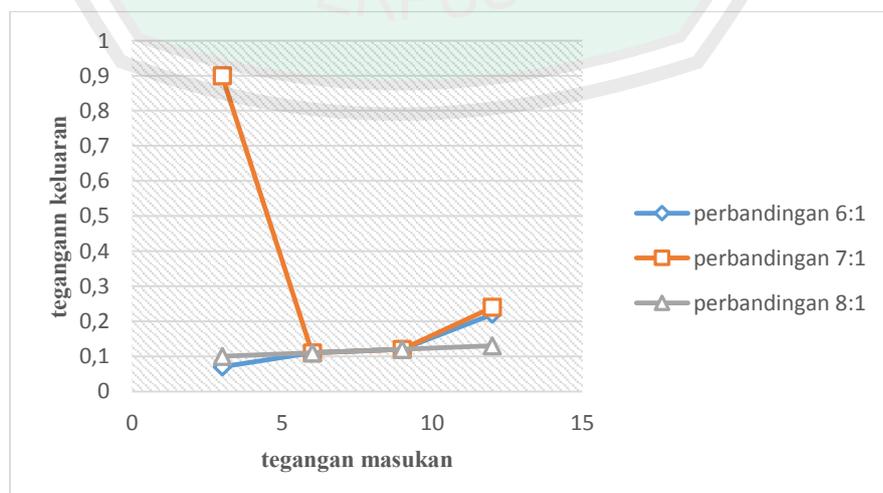
Jumlah/ panjang kumparan	Masukan		Keluaran		Efisiensi (%)	Frekuensi (Hz)	Resistansi (Ω)
	Vin (V)	Iin (A)	VOut (V)	Iout (A)			
8:1 /8	3	0,0803	0,04	0,00325	0,053964301	416,7	12,3
	6	0,1563	0,05	0,00402	0,021433141		12,4
	9	0,1698	0,07	0,0056	0,025651093		12,5
	12	0,1719	0,08	0,005	0,019391119		16
7:1 /8	3	0,5	0,0256	0,007	0,011946667	100	3,6
	6	0,51	0,0265	0,008	0,006928105		12,4
	9	0,52	0,0274	0,009	0,005269231		12,5
	12	0,53	0,028	0,1	0,044025157		16
6:1 /8	3	0,00525	0,007	0,0043	0,191111111	357,14	1,6
	6	0,00619	0,008	0,00452	0,097361335		1,7
	9	0,00622	0,009	0,0046	0,073954984		1,9
	12	0,00719	0,01	0,00502	0,058182661		1,9
8:1 /12	3	0,23	0,07	0,01848	0,187478261	166,6	3,7
	6	0,36	0,11	0,0185	0,094212963		5,9
	9	0,51	0,12	0,01867	0,048810458		6,4
	12	0,62	0,22	0,01897	0,056094086		11,5
7:1 /12	3	0,13	0,9	0,102	23,53846154	125	8,8
	6	0,99	0,11	0,96	1,777777778		0,11
	9	0,93	0,12	0,99	1,419354839		0,12
	12	1,11	0,24	0,1	0,18018018		2,4
6:1 /12	3	0,0701	0,1	0,106	5,04041845	111,11	0,94
	6	0,1417	0,11	0,109	1,41025641		1,00
	9	0,97	0,12	0,11	0,151202749		1,09
	12	1,37	0,13	0,112	0,088564477		1,1

Pengujian variasi jumlah dan panjang kumparan luar bertujuan untuk mengetahui nilai keluaran tegangan dan arus dari kumparan luar yang maksimal guna mengetahui jumlah dan panjang kumparan yang sesuai untuk transformator dengan desain *Hubbard coil*.



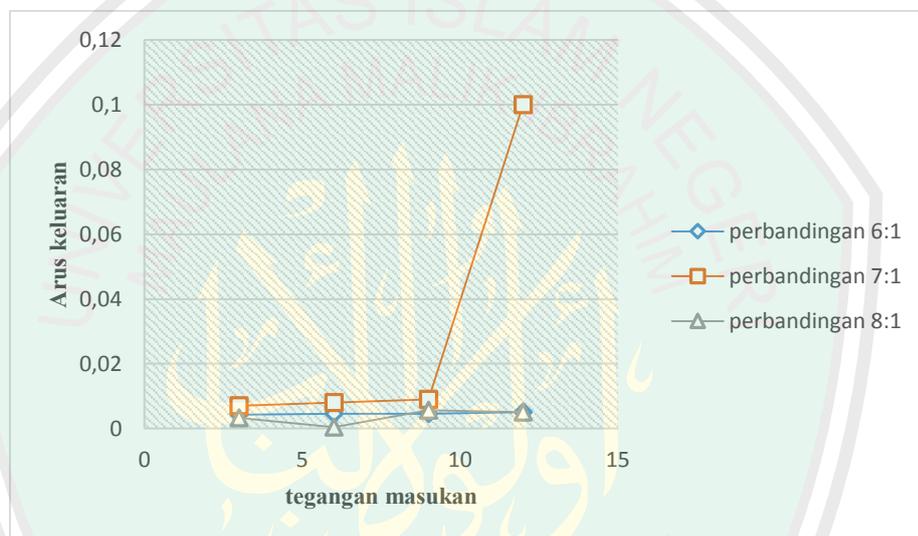
Gambar 4.5 Grafik nilai tegangan keluaran dengan $\ell = 8$ cm

Grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan hubungan nilai tegangan keluaran dan tegangan masukan pada $\ell = 8$ cm, pada perbandingan 8:1 perubahan kenaikan tegangan keluaran sangat kecil pada tiap tegangan masukan, sementara pada perbandingan 7:1 hasil tegangan keluaran pada setiap perubahan tegangan masukan masih kecil, pada perbandingan 6:1 memiliki nilai tegangan keluaran terbesar dan perubahan yang signifikan. Pada ketiga perbandingan kumparan luar nilai tegangan keluaran terbesar terdapat pada perbandingan 6:1.



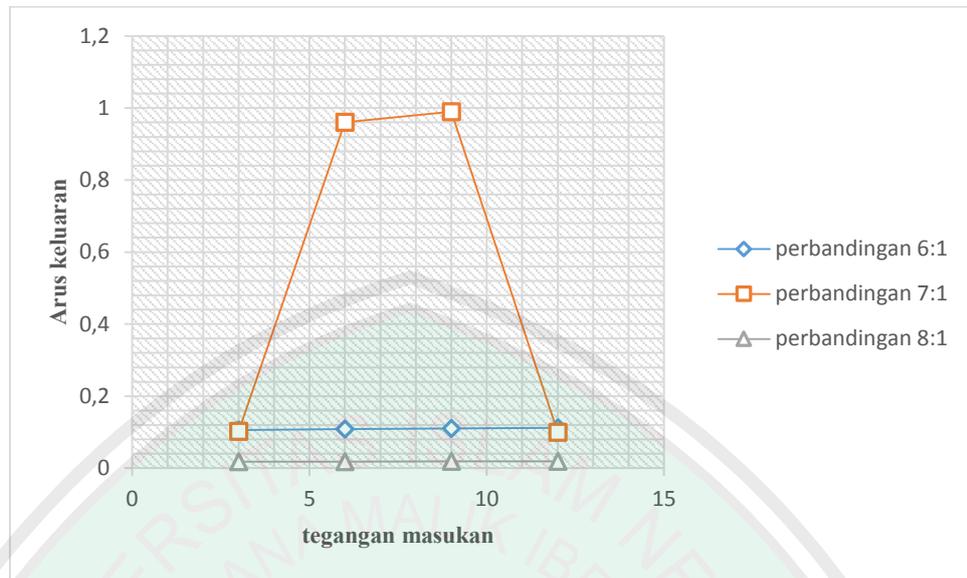
Gambar 4.6 Grafik nilai tegangan keluaran dengan $\ell = 12$ cm

Grafik pada gambar 4.6 menunjukkan hubungan nilai tegangan keluaran dan tegangan masukan dengan $\ell = 12$ cm terlihat pada grafik pada masing-masing perbandingan menghasilkan nilai keluaran yang cukup kecil dengan tidak mengalami perubahan yang cukup besar, namun pada perbandingan 7:1 dengan masukan tegangan 6 Volt menghasilkan nilai tertinggi yaitu 0,9 Volt.



Gambar 4.7 Grafik nilai arus keluaran dengan $\ell = 8$ cm

Grafik pada gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara nilai arus keluaran dan tegangan masukan dengan $\ell = 8$ cm pada ketiga perbandingan menghasilkan nilai arus keluaran sangat kecil sekitar dengan rata-rata 0,004 A, terlihat kenaikan keluaran terbesar pada tegangan masukan 9 Volt dengan perbandingan 7:1 yaitu mencapai 0,1 A.

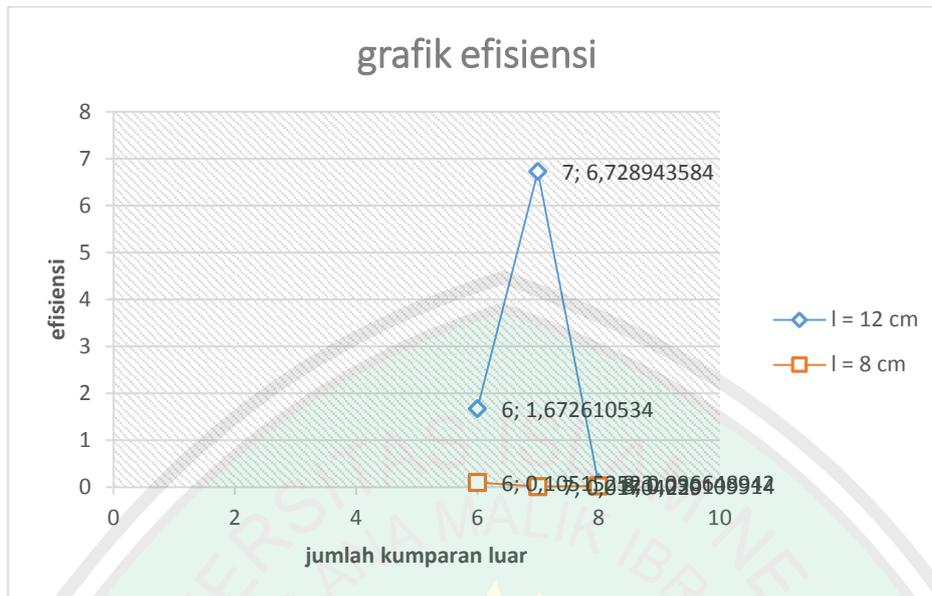


Gambar 4.8 Grafik nilai arus keluaran dengan $\ell = 12$ cm

Grafik pada gambar 4.8 menunjukkan hubungan nilai arus keluaran dan tegangan masukan dengan $\ell = 12$ cm. pada perbandingan 8:1 dan 6:1 arus keluaran pada tiap tegangan masukan tidak terlihat perubahan yang signifikan dengan rata-rata 0,01 A dan 0,1 A, sementara pada perbandingan 7:1 dengan tegangan masukan 6 Volt dan 9 Volt terlihat kenaikan arus keluaran cukup besar mencapai 0,96 A dan 0,99 A.

4.1.3 Pengujian efisiensi transformator desain Hubbard Coil

Nilai efisiensi yang didapat dari transformator dengan desain *Hubbard coil* dengan membandingkan daya masukan dan daya keluaran dari nilai tegangan dan arus.



Gambar 4.9 Grafik nilai efisiensi dengan $l = 8$ cm dan $l = 12$ cm

Nilai efisiensi tertinggi pada ketiga perbandingan terdapat pada perbandingan 7:1 dengan panjang 12 cm yaitu 6,7 %. Untuk panjang 8 cm dan perbandingan 6:1 memiliki nilai efisiensi 0,1%. Dengan panjang yang sama dan perbandingan 7:1 memiliki nilai efisiensi 0,01%. Perbandingan 8:1 memiliki nilai efisiensi 0,03%. Sedangkan variasi panjang 12 cm dengan perbandingan 6:1 memiliki nilai efisiensi 1,6%. Perbandingan 8:1 memiliki nilai efisiensi 0,09%.

4.2 Pembahasan

Hasil keluaran dari transformator *Hubbard coil* memiliki perbedaan dengan transformator biasa. Berdasarkan penelitian Hubbard desain kumparan sebagai kumparan primer memiliki jumlah lilitan lebih banyak dibandingkan jumlah lilitan kumparan sekunder dan bisa memperbesar nilai keluaran. Sementara untuk transformator biasa ketika jumlah lilitan kumparan primer lebih banyak dibandingkan dengan jumlah lilitan kumparan sekunder maka nilai keluaran akan memperkecil nilai masukan. Sedangkan nilai keluaran akan memperbesar nilai

masukannya ketika jumlah lilitan primer lebih sedikit dibandingkan jumlah lilitan kumparan sekunder. Prinsip yang digunakan oleh Alfred Hubbard berbanding terbalik dengan prinsip yang digunakan pada transformator pada umumnya. Namun dari hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan prinsip *Hubbard coil* belum bisa membuktikan dan memperkuat pernyataan yang telah dikeluarkan oleh Alfred Hubbard karena nilai keluaran yang diperoleh pada penelitian ini masih lebih kecil dibanding nilai masukannya.

Berdasarkan hasil penelitian, nilai frekuensi dapat dikatakan mempengaruhi nilai keluaran. Pada persamaan reaktansi induktif, ketika sebuah induktor dialiri arus AC maka timbul sebuah reaktansi induktif resistansi semu atau reaktansi induktansi. Besarnya nilai reaktansi induktif tergantung pada jumlah kumparan dan panjang lilitan. Perbedaan pada nilai frekuensi dapat disebabkan dari nilai induktansi untuk masing-masing panjang kumparan luar dan jumlah kumparan luar atau perbandingan antara kumparan primer dan kumparan sekunder.

Frekuensi tersebut juga berpengaruh pada nilai arus yang mengalir karena nilai arus yang didapat merupakan hasil pembagian dari nilai tegangan yang dibagi dengan jumlah dari reaktansi induktif. Selain reaktansi induktif yang diakibatkan oleh induktor yang dialiri listrik, resistansi juga dapat diperhitungkan. Resistansi dalam hal ini adalah resistansi dari kawat induktor yang digunakan. Berdasarkan perhitungan pembagian tegangan dan arus yang mengalir nilai resistansi rata terbesar terdapat pada perbandingan 8:1 dengan $\ell = 8$ cm diperoleh resistansi rata-rata 13,3 Ω . Pada perbandingan 7:1 dengan $\ell = 8$ cm

diperoleh nilai resistansi rata-rata sekitar 19,11 Ω . Pada perbandingan 6:1 dengan $\ell=8$ cm diperoleh nilai resistansi rata-rata sekitar 1,8 Ω . Pada perbandingan 8:1 dengan $\ell=12$ cm diperoleh nilai resistansi rata-rata sekitar 4,4 Ω . Pada perbandingan 7:1 dengan $\ell=12$ cm diperoleh nilai resistansi rata-rata sekitar 2,9 Ω . Pada perbandingan 6:1 dengan $\ell=12$ cm diperoleh nilai resistansi rata-rata sekitar 1,03 Ω .

Berdasarkan hukum Ohm, dengan resistansi yang sama nilai tegangan dan arus yang mengalir berbanding terbalik. Jika nilai arus semakin besar maka nilai tegangan akan menjadi semakin kecil dari nilai semula. Namun dari hasil penelitian berbeda dengan teori yang ada.

Data hasil pengujian pada tabel 4.1 dapat menyatakan nilai arus keluaran terbesar pada perbandingan 7:1 dengan $\ell = 12$ cm. Jumlah kumparan memiliki pengaruh terhadap tegangan keluaran karena pada saat menggunakan 6 kumparan luar hasil tegangan keluaran sangat kecil karena arus yang bekerja terlalu kecil sehingga interaksi antara kumparan primer dan sekunder juga tidak maksimal. Begitu juga pada penggunaan 8 kumparan nilai tegangan keluaran juga kecil sehingga dari hasil penelitian penggunaan 7 kumparan lebih tepat karena menghasilkan tegangan keluaran lebih besar dibandingkan jumlah kumparan lain karena dengan bertambahnya kerapatan maka arus yang bekerja juga semakin tinggi sehingga akan memperbaiki interaksi antara kumparan primer dan sekunder.

Nilai keluaran pada transformator desain Hubbard Coil masih sangat kecil dibandingkan dengan nilai masukan. Hasil yang diharapkan tidak sesuai dengan penelitian yang dilakukan Hubbard yang mampu menaikkan tiga kali lipat dari nilai masukan. Menurut Sutrisno pada transformator terdapat beberapa faktor yang menyebabkan nilai keluaran sangat kecil diantaranya rugi-rugi yang diakibatkan oleh resistansi dari masing-masing belitan. Adanya rugi Hysterisis dimana daya hilang hysteresis disebabkan karena arus sinusoidal, hingga dalam kurva $B(H)$, medan H berubah dalam siklus. Karena inti besi bersifat ferromagnetik, rapat fluks B akan berubah sesuai dengan kurva hysteresis. Agar daya hilang Hysteresis sekecil mungkin, perlu digunakan inti trafo dengan kurva hysteresis yang sekurus mungkin.

Daya hilang juga dapat disebabkan oleh arus pusar dimana terjadi karena inti bersifat konduktor, dengan suatu hambatan. Arus pusar yang terjadi mengakibatkan daya hilang joule, yaitu $I^2 R$ pada inti transformator. Arus pusar sendiri terjadi karena adanya fluks induksi magnet yang berubah dengan waktu. Sesuai dengan hukum Faraday atau hukum Lenz. Untuk mengurangi arus pusar dapat digunakan inti dengan plat tipis. Setiap plat dibungkus dengan laker agar arus pusar terbatas pada plat.

Arus eddy juga dapat terjadi ketika sebuah konduktor digerakkan memotong medan magnet, yang berarti ada perubahan medan melingkar konduktor yang terjadi karena posisi konduktor berubah relatif terhadap arah medan magnet yang tetap. Hal ini yang terjadi pada sebuah transformer. Medan

magnet induksi yang dihasilkan oleh listrik bolak balik besarnya berubah-ubah terhadap waktu.

Induksi elektromagnetik diakibatkan oleh timbulnya medan elektromagnetik didalam kumparan yang mencakup sejumlah fluks garis gaya medan magnet. Untuk sistem banyak kumparan arus listrik, fluks magnetik yang dicakup oleh setiap kumparan merupakan jumlah fluks magnetik yang berasal dari masing-masing kumparan arus listrik. Nilai efisiensi pada transformator desain Hubbad coil mempunyai nilai efisiensi dibawah dari transformator pada umumnya, karena nilai keluaran yang belum maksimal. Efisiensi merupakan perbandingan antara daya masukan dan daya keluaran. Pada penelitian ini nilai keluaran induksi kumparan primer yang diharapkan dapat mengubah menjadi energi listrik masih mengalami kehilangan energi yang merupakan disipasi panas yang terjadi pada kawat penghantar dan inti besi.

4.3 Kajian Integrasi Islam terhadap Hasil Penelitian

Al Quran merupakan kitab suci yang agung didalamnya mengandung segala ilmu pengetahuan, tetapi tidak berarti Al Quran adalah kitab ilmiah yang dikenal dengan teori-teori ilmiahnya. Kemukjizatan ilmiah Al Quran merupakan dorongan untuk selalu memikirkan dan mencermati alam dan penggunaan akal dalam aktifitas berfikir, bukan dalam teori-teori. Al Quran juga menganjurkan untuk mengaplikasikan aktifitas berfikir dalam bentuk konkret. Al Quran tidak hanya berbicara tentang ibadah, kehidupan maupun sejarah, tetapi juga berbicara tentang ilmu pengetahuan dan teknologi.

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang termasuk dalam klasifikasi mesin listrik statis yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya dengan frekuensi sama. Prinsip kerja trafo berdasarkan hukum ampere dan faraday yaitu, arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya. Jika salah satu kumparan pada trafo diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah, akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah pula, maka disisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

Di dalam Al Quran terdapat beberapa ayat yang menjelaskan terjadinya aliran energi listrik yaitu pada QS An Nur ayat 43:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ يَزْجِي سَحَابًا ثُمَّ يُؤَلِّفُ بَيْنَهُ ثُمَّ يَجْعَلُهُ رُكَامًا فَتَرَى الْوَدْقَ يَخْرُجُ
مِّنْ خَلِيلِهِ وَيُنزِلُ مِنَ السَّمَاءِ مِثْرًا مِّمَّا فِيهَا مِنْ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِ مَن يَشَاءُ
وَيَصْرِفُهُ عَن مَّن يَشَاءُ يَكَادُ سَنَا بَرْقِهِ يَذْهَبُ بِالْأَبْصَارِ ﴿٤٣﴾

"Tidaklah kamu melihat bahwa Allah mengarak awan, kemudian mengumpulkan antara (bagian-bagian)nya, kemudian menjadikannya bertindih-tindih, Maka kelihatanlah olehmu hujan keluar dari celah-celahnya dan Allah (juga) menurunkan (butiran-butiran) es dari langit, (yaitu) dari (gumpalan-gumpalan) awan seperti) gunung-gunung, Maka ditimpakan-Nya (butiran-butiran) es itu kepada siapa yang dikehendaki-Nya dan dipalingkan-Nya dari siapa yang dikehendaki-Nya. Kilauan kilat awan itu Hampir-hampir menghilangkan penglihatan."(QS. an-Nûr [24]: 43).

Selama hujan, guntur dan kilat yang tersusun dari pembentukan cahaya-cahaya terang akibat pelepasan energi listrik di ruang atmosfer, sesungguhnya merupakan

sumber energi yang menghasilkan listrik lebih besar dari pada ribuan pembangkit listrik di samping sebagai fenomena iklim.

Ayat lain yang menjelaskan tentang kejadian mengalirnya energi listrik tersebut di jagat raya, diantaranya adalah QS. Al-Baqoroh: 19-20

أَوْ كَصَيْبٍ مِّنَ السَّمَاءِ فِيهِ ظُلُمَاتٌ وَرَعْدٌ وَبَرْقٌ يَجْعَلُونَ أَصْبَعَهُمْ فِي آذَانِهِمْ مِّنَ
 الصَّوَاعِقِ حَذَرَ الْمَوْتِ ۗ وَاللَّهُ مُحِيطٌ بِالْكَافِرِينَ ﴿١٩﴾ يَكَادُ الْبَرْقُ تَخْطِفُ أَبْصَرَهُمْ
 كُلَّمَا أَضَاءَ لَهُمْ مَّشَوْا فِيهِ وَإِذَا أَظْلَمَ عَلَيْهِمْ قَامُوا ۗ وَلَوْ شَاءَ اللَّهُ لَذَهَبَ بِسَمْعِهِمْ
 وَأَبْصَرِهِمْ ۗ إِنَّ اللَّهَ عَلِيُّ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ ﴿٢٠﴾

“19. atau seperti (orang-orang yang ditimpa) hujan lebat dari langit disertai gelap gulita, guruh dan kilat; mereka menyumbat telinganya dengan anak jarinya, karena (mendengar suara) petir, sebab takut akan mati. Dan Allah meliputi orang-orang yang kafir. 20. Hampir-hampir kilat itu menyambar penglihatan mereka. Setiap kali kilat itu menyinari mereka, mereka berjalan di bawah sinar itu, dan bila gelap menimpa mereka, mereka berhenti. Jikalau Allah menghendaki, niscaya Dia melenyapkan pendengaran dan penglihatan mereka. Sesungguhnya Allah berkuasa atas segala sesuatu.” (QS. Al-Baqoroh: 19-20).

Diriwayatkan dari Ibnu Abbas, *al barq* adalah cambuk dari cahaya yang berada di tangan malaikat untuk membentak awan-awan.

الرَّعْدُ (Guruh) adalah suara (yang muncul dari) mendung, maka boleh mengatakan bahwa guruh juga bertasbih mensucikan namaNya dengan dalil penciptaan kehidupan di dalam awan. Diriwayatkan pula dari Ibnu Abbas RA, dia berkata, “Ar radu” adalah malaikat yang menggiring awan, dan bahwa uap air awan berada pada lubang ibu jarinya, dan bahwa malaikat tersebut ditempatkan di awan tersebut serta menggerakkannya ketika diperintah. Selain itu, Ar Radu juga

bertasbih mensucikan namaNya. Ketika malaikat Ar-radu bertasbih, bertasbih pulalah para malaikat yang ada di langit dengan mengangkat suaranya. Ketika itu turunlah tetesan hujan.

وَرَعْدٌ suara petir yang terdengar ketika terjadi penumpukan awan dan saat turunnya hujan. Fenomena petir dan kilat, ditafsirkan oleh para ahli fisika sebagai sesuatu yang terjadi akibat pertemuan perbedaan muatan listrik yang ada di awan, antara positif dan negatif

وَبَرْقٌ Allah SWT juga telah membuat perumpamaan untuk Al Quran itu dengan menyerupakannya sebagai kilat, karena dalam Al Quran terdapat dalil-dalil yang bersifat pasti dan bukti-bukti yang jelas. Diriwayatkan dari Ibnu abbas, *al barq* adalah cambuk dari cahaya yang berada di tangan malaikat untuk membentuk awan-awan.

Dalam dua ayat tersebut terdapat kalimat “kilat” dan “halilintar” yang merupakan bukti kejadian mengalirnya energi listrik dalam alam semesta ini. timbulnya kilat dan petir berasal dari awan yang bermuatan dan mengalirkan elektron-elektronnya ke tanah. Karena tegangan yang dihasilkan sangat besar, hal ini membuat terbentuknya sebuah percikan atau lompatan elektron yang seperti cahaya yang sangat terang secara seketika di langit bumi.

Cara kerja dari transformator adalah mengubah nilai listrik masukan yang diberikan pada kumparan primer yang kemudian membuat kumparan sekunder bisa mengeluarkan nilai listrik keluaran yang diinginkan, baik itu memperbesar maupun memperkecil. Terjadinya aliran listrik yang mengalir di dalam kumparan primer akibat dari pengaruh fluks magnet dari kumparan primer. Dengan melihat

proses timbulnya energi listrik yang mengalir pada transformator juga telah dijelaskan dalam Al-Quran dan Al-Hadits.

مَثَلُ الْجَلِيسِ الصَّالِحِ وَالْجَلِيسِ السَّوِّءِ كَمَثَلِ صَاحِبِ الْمِسْكِ ، وَكَبِيرِ الْحَدَّادِ ، لَا يَعْدَمُكَ مِنْ صَاحِبِ الْمِسْكِ إِذَا تَشْتَرِيهِ ، أَوْ تَجِدُ رِيحَهُ ، وَكَبِيرُ الْحَدَّادِ يُحْرِقُ بَدَنَكَ أَوْ ثَوْبَكَ أَوْ تَجِدُ مِنْهُ رِيحًا خَبِيثَةً.

“Seseorang yang duduk (berteman) dengan orang sholih dan orang yang jelek adalah bagaikan berteman dengan pemilik minyak misk dan pandai besi. Jika engkau tidak dihadiahkan minyak misk olehnya, engkau bisa membeli darinya atau minimal dapat baunya. Adapun berteman dengan pandai besi, jika engkau tidak mendapati badan atau pakaianmu hangus terbakar, minimal engkau dapat baunya yang tidak enak.” (HR. Bukhari no. 2101, dari Abu Musa)

Hadits yang telah riwayatkan oleh Imam Bukhari tersebut menjelaskan bahwa tingkah laku seorang teman akan terpengaruh dengan tingkah laku dari teman dan lingkungannya. Selain menjelaskan tentang kehidupan manusia, hadits tersebut juga menerangkan tentang benda-benda yang mati, seperti halnya transformator dengan desain Hubbard. Transformator ini memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu pengaruh medan magnet dari kumparan primer yang ada disekeliling kumparan sekunder dan membuat kumparan sekunder dapat mengalirkan listrik. Jadi jika kumparan sekunder tersebut tidak terkena pengaruh dari kumparan primer maka tidak akan bisa menimbulkan listrik yang mengalir di dalamnya.

Dan pada QS Al-Qamar:49 dijelaskan:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

“Sesungguhnya kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran”.(Al-Qamar:49)

Seandainya tuhan menciptakan segala sesuatu tanpa ukuran, maka akan terjadi ketidakseimbangan di dalamnya. Ukuran yang diciptakan tuhan sangat tepat, sehingga alam seperti telah dirasakan manusia dan sebagaimana yang kita rasakan ini adalah benar-benar seimbang.

Menurut tafsir Ibnu katsir sesungguhnya kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran sebagaimana firman-Nya pada QS Al-Furqaan:2 menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya. Maksudnya, Dia menetapkan suatu ukuran dan memberikan petunjuk terhadap semua makhluk kepada ketetapan tersebut.

Dalam penelitian ini kita mencari daya keluaran dengan memvariasikan jumlah kumparan yang memiliki nilai keluaran maksimum sehingga di dapat hasil sesuai harapan. Dari hasil penelitian dengan memvariasikan jumlah kumparan luar dan panjang kumparan luar dapat dilihat nilai keluaran maksimum dan minimum. Dimana dari ketiga perbandingan yang digunakan, pada perbandingan 7:1 memiliki nilai keluaran lebih besar dibandingkan dengan perbandingan yang lain. berdasarkan ayat diatas agar mencari keseimbangan dalam menentukan ukuran terhadap segala sesuatu.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah penelitian ini dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Rancang bangun transformator pada Hubbard coil terbentuk dari sekumpulan solenoida yang dihubungkan secara seri.
2. Rancang bangun trafo yang telah divariasikan jumlah dan panjang kumparan luar telah di uji dan diperoleh data seperti pada tabel, dengan nilai keluaran terbesar terdapat pada perbandingan 7:1 dengan $\ell = 12\text{cm}$.
3. frekuensi dapat mempengaruhi nilai masukan dan keluaran dari transformator Hubbard coil sehingga pemilihan frekuensi harus tepat. Melalui reaktansi induktif dapat diperoleh hubungan antara frekuensi dan arus.
4. Rancang bangun transformator desain Hubbard coil memiliki nilai efisiensi kecil. Nilai efisiensi maksimum yang diperoleh dari hasil penelitian ini yaitu 6,7% pada perbandingan 7:1 dengan $L = 12\text{cm}$.

5.2 SARAN

Penelitian ini merupakan awal untuk mengungkap beberapa hal yang masih menjadi misteri pada penelitian Hubbard coil. Masih diperlukan lagi variasi yang lebih banyak baik dalam jumlah kumparan dan panjang kumparan agar diperoleh nilai keluaran yang lebih besar. Selain itu

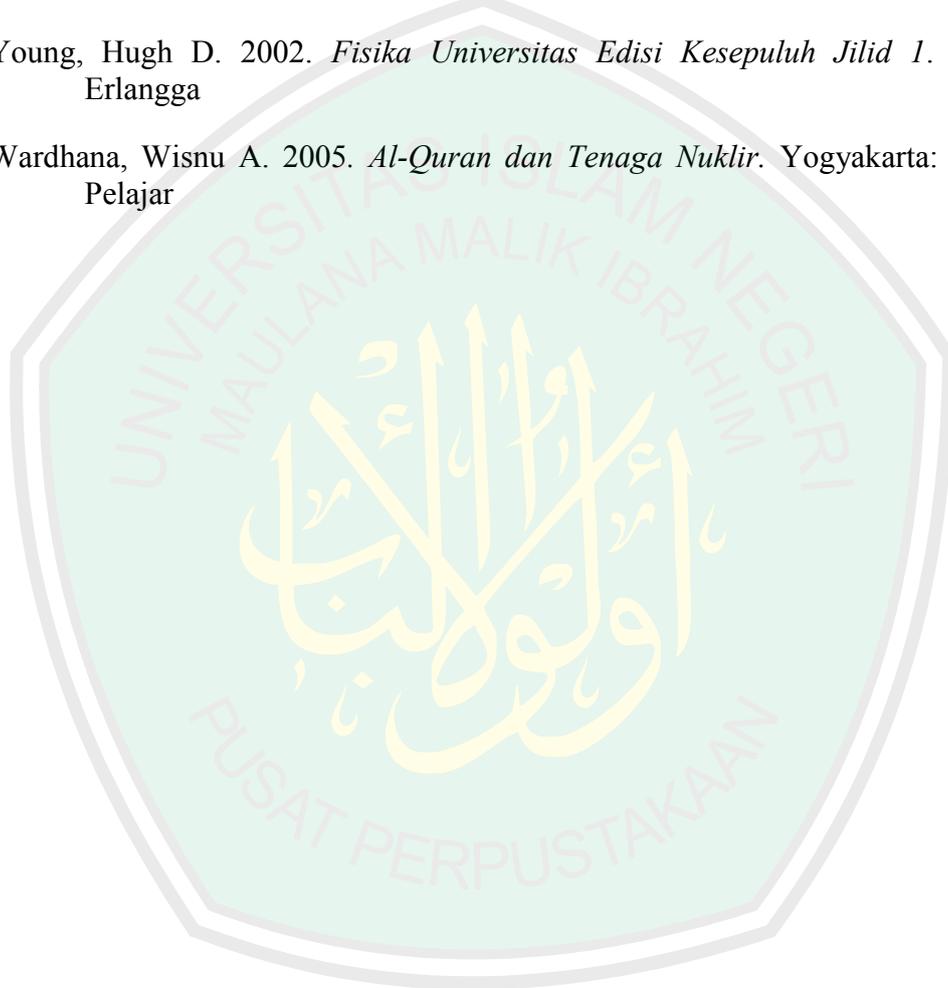
penyusunan inti besi juga perlu dilakukan perbaikan adar diperoleh induksi yang sesuai.



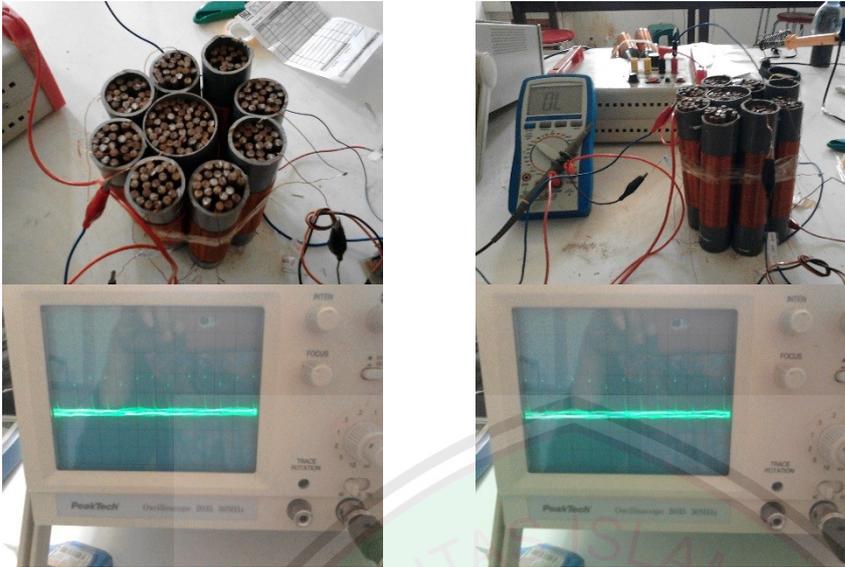
DAFTAR PUSTAKA

- Abu Bakar syaikh jabir Al Jazairi.2006.Tafsir Al Quran Al-Aisar: Jakarta: Darus sunnah press
- Alfred Hubbard. 1929. *The Original Hubbard Coil Design*. Geoff Egels All Natural Energy Web Site
- Alonso, Marcelo dan Edward J. Finn. 1994. *Dasar-Dasar Fisika Universitas, Edisi Kedua, Jilid Kedua, Medan dan Gelombang*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Bin muhammad Abdullah Dr. bin Abdurrahman bin Ishaq Alu Syaikh.2007. *Lubaabut Tafsir Ibnu Katsiir*. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i
- Bueche, Frederick J. 2006. *Schaum's Otlines Theory and Problems of Collage Physics*. New york: McGrow-Hill
- Damanik, Asan. 2011. *Fisika Energi*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma
- G.D.Mutch, 2000, *The Hubbard Matrix Math*
- Giancoli. 2003. *Physics*. Jakarta : Erlangga
- Grabel, Arvin. dkk. 1981. *Dasar-Dasar Elektroteknik, Edisi Kelima, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, David. 1996. *Fisika, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Imam Syaikh Al Qurtubi.2008.Tafsir Al- Qurtubi. Jakarta: Pustaka Azzam
- Ishaq, Mohamad. 2007. *Fisika Dasar, Edisi 2*. Jakarta: Graha Ilmu
- J.R.R. Searl, *Law Of The Squares Books*.
- Kittel, Charles. 1996. *Introduction to Solid State Physics*
- Muchlis, M. dan Permana, D.P., 2014. *Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN tahun 2003 s.d 2020*.
- Serway dan Jewett. 2012. *Physics for Science and Engeenering*.
- Soedjo, Peter. 1998. *Azaz-Azaz Ilmu Fisika, Listrik Magnet, Jilid 2*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada Press.
- Soedjo, Peter. 1999. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Penerbit ANDI
- Sutrisno, Wita dan Wandy Praginda. *Penerapan Induksi Elektromagnetik*. KEMDIKBUD PPPPTK IPA
- Suyamto. 2008. *Fisika Bahan Listrik, Cetakan 1*. Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pelajar

- Syanqithi, Asy syaikh.2006.Adhwa'ul Bayan. Jakarta: Pustaka Azzam
- Telford, dkk.1976. *Applied Geophysics*. London: Cambridge University Press
- Tipler. Paul. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Tipler, Paul. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2 Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga
- Yunus.Mahmud Dr .1991.Tafsir Quran karim. Jakarta.
- Young, Hugh D. 2002. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Wardhana, Wisnu A. 2005. *Al-Quran dan Tenaga Nuklir*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar



Lampiran 1 Gambar perbandingan 8:1 dengan L= 8 cm



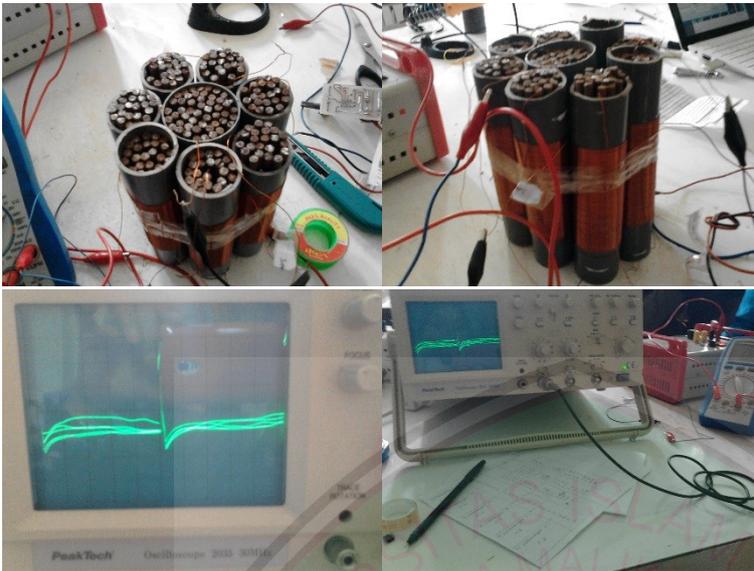
Tabel 1. Data variasi perbandingan kumparan 8:1 dengan L = 8 cm

Perbandingan / panjang	Masukan		keluaran		Efisiensi (%)	Frekuensi Hz
	V in	I in	V out	I out		
8:1 / 8	3	0,0803	0,04	0,00325	0,053964301	416,7
	6	0,1563	0,05	0,00402	0,021433141	
	9	0,1698	0,07	0,0056	0,025651093	
	12	0,1719	0,08	0,005	0,019391119	



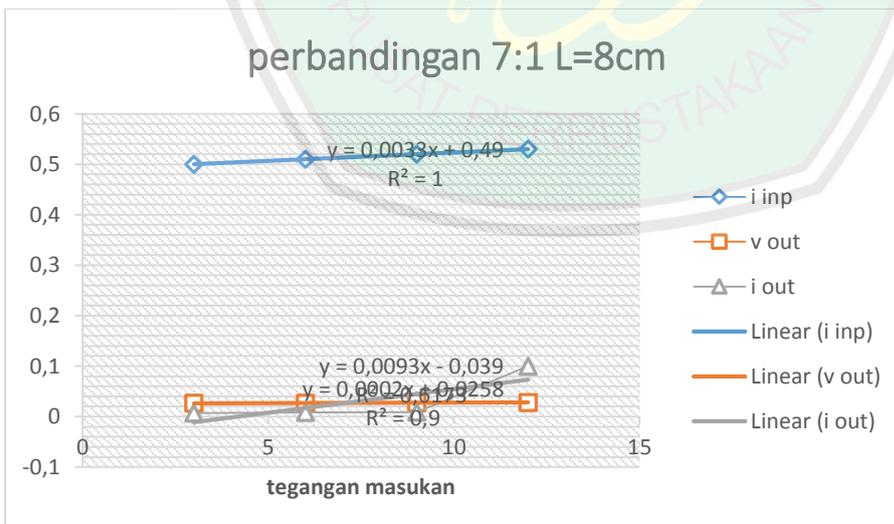
Gambar 1 Grafik hubungan tegangan masukan dan keluaran pada variasi perbandingan kumparan 8:1 dengan L = 8 cm

Lampiran 2 Gambar perbandingan 7:1 l = 8 cm



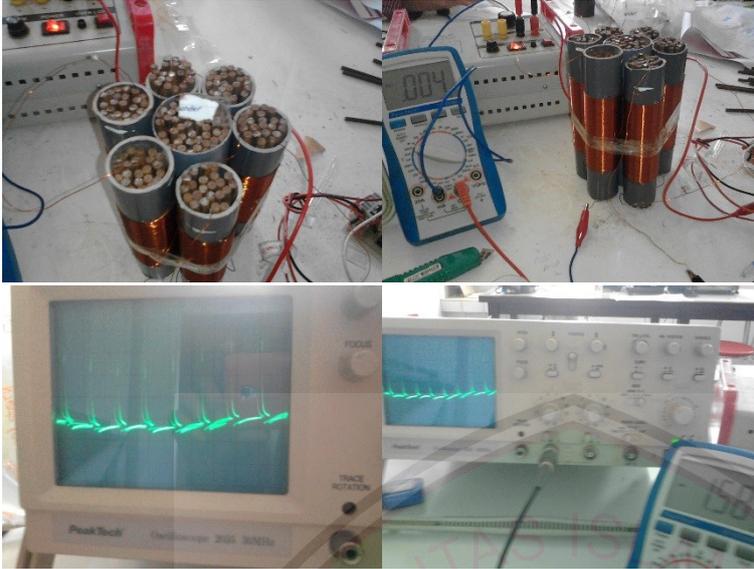
Tabel 2. Data variasi perbandingan kumparan 7:1 dengan L = 8 cm

Jumlah / panjang	Masukan		keluaran		Efisiensi (%)	Frekuensi Hz
	V in	I in	V out	I out		
7:1 / 8	3	0,5	0,0256	0,007	0,011946667	100
	6	0,51	0,0265	0,008	0,006928105	
	9	0,52	0,0274	0,009	0,005269231	
	12	0,53	0,028	0,1	0,044025157	



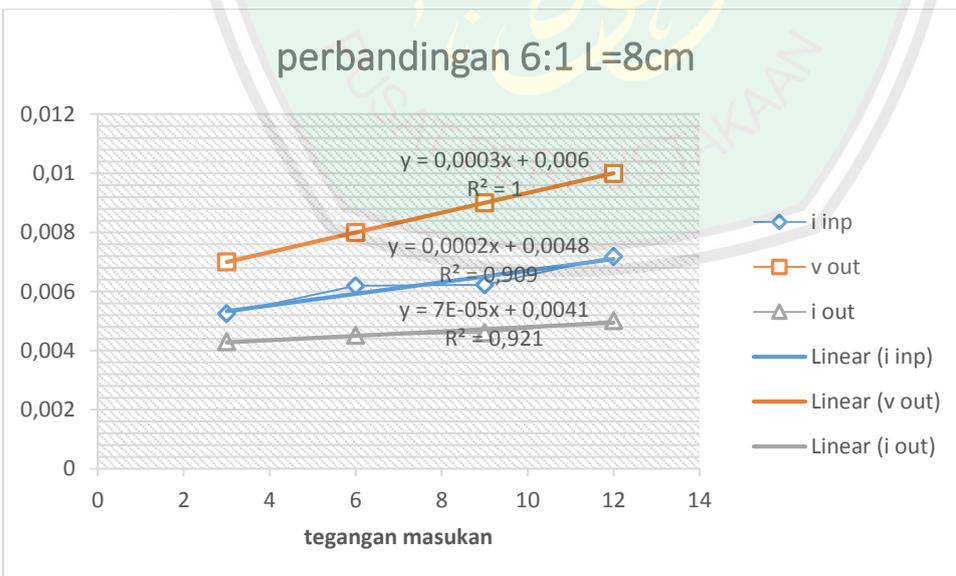
Gambar 2 Grafik hubungan tegangan masukan dan keluaran pada variasi perbandingan kumparan 7:1 dengan L = 8 cm

Lampiran 3 Gambar perbandingan 6:1 dengan l = 8 cm



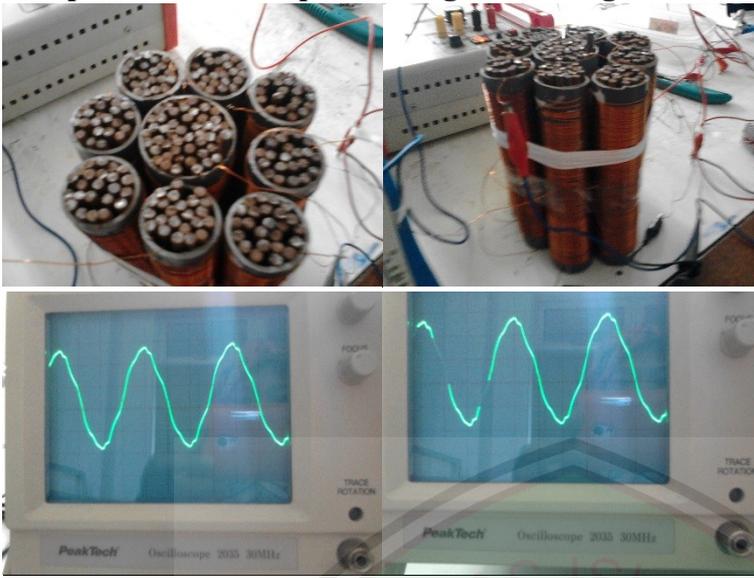
Tabel 3. Data variasi perbandingan kumparan 6:1 dengan L = 8 cm

Jumlah / panjang	Masukan		keluaran		Efisiensi (%)	Frekuensi Hz
	V in	I in	V out	I out		
6:1 / 8	3	0,00525	0,007	0,0043	0,191111111	357,14
	6	0,00619	0,008	0,00452	0,097361335	
	9	0,00622	0,009	0,0046	0,073954984	
	12	0,00719	0,01	0,00502	0,058182661	



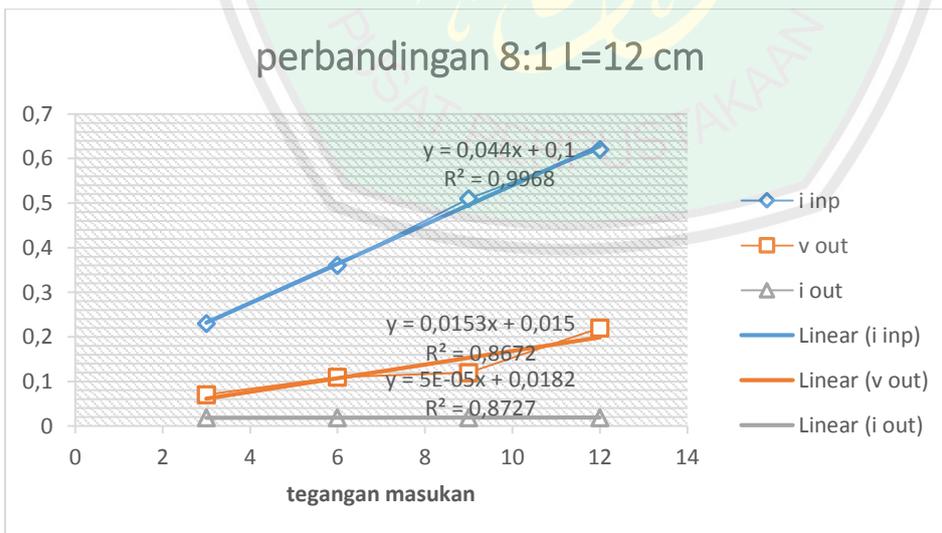
Gambar 3 Grafik hubungan tegangan masukan dan keluaran pada variasi perbandingan kumparan 6:1 dengan L = 8 cm

Lampiran 4 Gambar perbandingan 8:1 dengan l = 12 cm



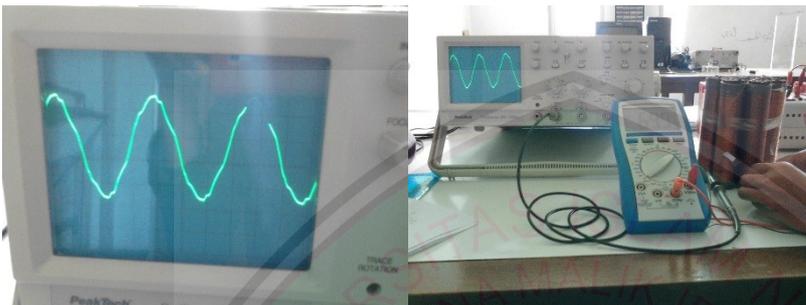
Tabel 4. Data variasi perbandingan kumparan 8:1 dengan L = 12 cm

Jumlah / panjang	Masukan		keluaran		Efisiensi (%)	Frekuensi Hz
	V in	I in	V out	I out		
8:1 / 12	3	0,23	0,07	0,01848	0,187478261	166,6
	6	0,36	0,11	0,0185	0,094212963	
	9	0,51	0,12	0,01867	0,048810458	
	12	0,62	0,22	0,01897	0,056094086	



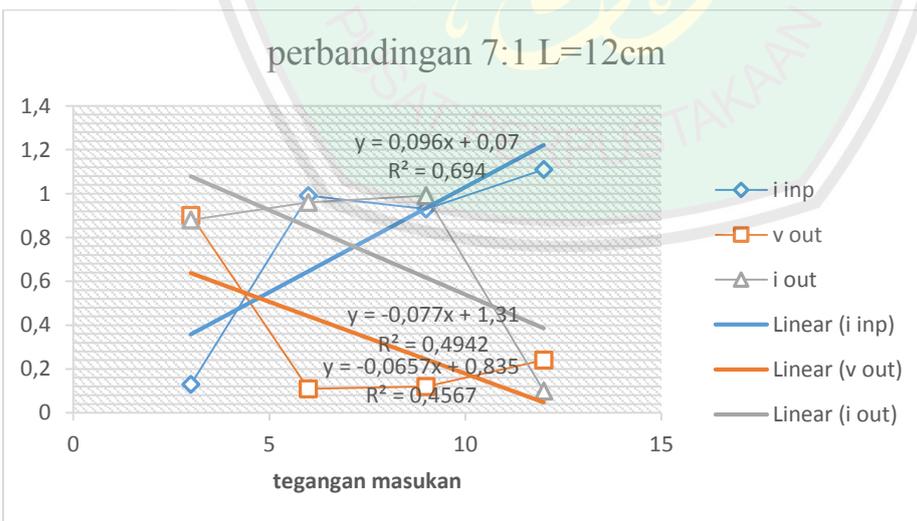
Gambar 4 Grafik hubungan tegangan masukan dan keluaran pada variasi perbandingan kumparan 8:1 dengan L = 12 cm

Lampiran 5 Gambar perbandingan 7:1 dengan l = 12



Tabel 5. Data variasi perbandingan kumparan 7:1 dengan L = 12 cm

Jumlah / panjang	Masukan		keluaran		Efisiensi (%)	Frekuensi Hz
	V in	I in	V out	I out		
8:1 / 12	3	0,13	0,9	0,88	203,0769231	125
	6	0,99	0,11	0,96	1,777777778	
	9	0,93	0,12	0,99	1,419354839	
	12	1,11	0,24	0,1	0,18018018	



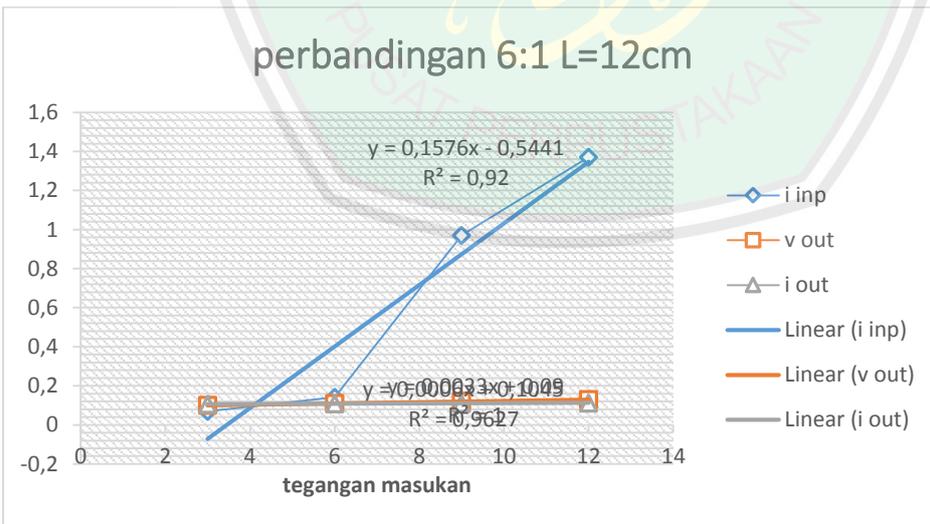
Gambar 5 Grafik hubungan tegangan masukan dan keluaran pada variasi perbandingan kumparan 7:1 dengan L = 12 cm

Lampiran 6 Gambar perbandingan 6: 1 dengan l = 12



Tabel 6. Data variasi perbandingan kumparan 6:1 dengan L = 12 cm

Jumlah / panjang	Masukan		keluaran		Efisiensi (%)	Frekuensi Hz
	V in	I in	V out	I out		
6:1 / 12	3	0,0701	0,1	0,106	5,04041845	111,11
	6	0,1417	0,11	0,109	1,41025641	
	9	0,97	0,12	0,11	0,151202749	
	12	1,37	0,13	0,112	0,088564477	



Gambar 6 Grafik hubungan tegangan masukan dan keluaran pada variasi perbandingan kumparan 6:1 dengan L = 12 cm

LAMPIRAN-LAMPIRAN

