

**LAPORAN AKHIR
HASIL PENELITIAN MANDIRI**



JUDUL PENELITIAN

**Analisis Tegangan Sinyal AC Spul Stator Terhadap Putaran Sudut
Fasa Magnet Rotor Pada Pembangkit Listrik Alternator**

PENELITI

Ir. Parlindungan P. Marpaung, MT

NIDN : 0315095902

Anggota Mahasiswa: Muhamad Fazri

NIM : 1112200007

Semester Genap Tahun Akademik 2023/2024

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
AGUSTUS 2024**



INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA

Jl. Raya Puspiptek, Tangerang Selatan - 15314
(021) 7562757

www.iti.ac.id [institutteknologiindonesia](https://www.instagram.com/institutteknologiindonesia) [@kampusITI](https://www.facebook.com/kampusITI) [Institut Teknologi Indonesia](https://www.youtube.com/channel/UC...)

SURAT TUGAS

No. : 031/ST-PLT/PRPM-PP/ITI/VI/2024

Pertimbangan : Bahwa dalam rangka melaksanakan kegiatan Penelitian bagi Dosen Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi Indonesia, perlu dikeluarkan surat tugas.

Dasar : 1. Pembebanan Tugas dosen Program Studi Teknik Elektro;
2. Surat Permohonan Tanggal 05 Juni 2024;
3. Kepentingan Institut Teknologi Indonesia.

DITUGASKAN

Kepada : Dosen Program Studi Teknik Elektro – ITI (Terlampir)

Untuk : 1. Melaksanakan kegiatan Penelitian pada Semester Genap Tahun Akademik 2023/2024;
2. Melaporkan hasil tugas kepada Kepala PRPM - ITI;
3. Dilaksanakan dengan penuh rasa tanggung jawab.

Tangerang Selatan, 06 Juni 2024
Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Kepala,



Prof. Dr. Ir. Ratnawati, M.Eng.Sc., IPM

Tembusan Yth.

1. Wakil Rektor Bid Akademik, Penelitian dan Kemahasiswaan
2. Ka. Biro SDMO
3. Ka. Prodi T.Elektro
4. Arsip

DAFTAR PENELITIAN DOSEN PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK: 2023/2024

NO	TOPIK PENELITIAN	BIDANG	SUSUNAN TIM	SUMBER DANA	JUMLAH DANA (Rp)	KETERLIBATAN PRODI/INSTITUSI LAIN	KETERLIBATAN MAHASISWA
1	Transformasi Digital dan Disrupsi di Era Industri 4.0	Engineering and Technology	Ketua: Ir. Tita Aisyah, M.T., IPM Anggota: 1. Dr. Ir. Tris Dewi Indraswati, S.T., M.T 2. Ir. Adi Setiawan, S.T., M.Eng.Sc., IPM 3. Ir. Noyy Hapsari, S.T., M.Sc	Mandiri	10.000.000	Tidak ada	Willy Syahwanaz Hadiwijaya (NRP: 1111800033)
2	Rancang Bangun Komposter Sampah Organik Kapasitas 25 Kg Berbasis IoT	Infrastruktur dan Pemukiman	Ketua: Dr. Ir. Tris Dewi Indraswati, S.T., M.T Anggota: 1. Dra. Ir. Sri Yatmani, M.Si., IPM 2. Ir. Tita Aisyah, M.T., IPM	Dana Internal	10.000.000	Pasar Modern BSD	1. Alif Lantip Timur Wicaksono (NRP: 1112000004) 2. Fady Ashari (NRP: 1112000029) 3. Zidane Putra Ramadhani (NRP: 1112000006)
3	Analisis Tegangan Sinyal AC Spul Stator Terhadap Putaran Sudut Fasa Magnet Rotor Pada Pembangkit Listrik Alternator	Engineering and Technology	Ir. Parilindungan P. Marpaung, M.T	Mandiri	10.000.000	Tidak ada	Muhamad Fazri (NRP: 1112200007)
4	Ground Contact Modification Using the Robot Assisted Training Platform (RATP)	Engineering and Technology	Ir. Ulfah Khairiyah Luthfiyani, S.T., M.Eng	Mandiri	10.000.000	Korea National University of Transportation	Tidak ada
5	Review Manajemen Penggunaan Energi Listrik	Engineering and Technology	1. Ir. Edwin Kamal, S.T., M.Eng.Sc., IPM 2. Ir. Saharudin, S.T., M.Eng.Sc., IPM 3. Dra. Ir. Ratnawati, M.Si., IPM	Mandiri	10.000.000	Tidak ada	1. Sandi Pranoto Ali (NRP: 1111700032) 2. Abdul Mu'iz (NRP: 1111800044) 3. Firgjan Lestianto (NRP: 1111900017)
6	Rancang Bangun Lab Otomation berbasis IoT Menggunakan Home Assistant	Engineering and Technology	1. Ir. Saharudin, S.T., M.Eng.Sc., IPM 2. Dra. Ir. Ratnawati, M.Si., IPM	Mandiri	10.000.000	Tidak ada	1. Tito Saputro (NRP: 1112000013) 2. Rhandie Porrie (NRP: 1112000020) 3. Hafizh A. Amrullah (NRP: 1112000031)
7	Modifikasi Robot Rehabilitasi untuk Peningkatan Kelenturan Gerak Ankle Kaki Kanan	Engineering and Technology	1. Dr. Ir. Tris Dewi Indraswati, S.T., M.T 2. Ir. Ulfah Khairiyah Luthfiyani, S.T., M.Eng 3. Dra. Ir. Ratnawati, M.Si., IPM	Mandiri	10.000.000	Tidak ada	1. Agshal Diaz Choirulliman (NRP: 1112000022) 2. Leonardus Dimas Putra Hendrianto (NRP: 1112000007) 3. Raffi Lucyana Arsyad (NRP: 1112000027)



HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Analisis Tegangan Sinyal AC Spul Stator Terhadap Putaran Sudut Fasa Magnet Rotor Pada Pembangkit Listrik Alternator.

Jenis Penelitian : Evaluasi

Bidang Fokus Penelitian : Engineering and Technology

Tujuan Sosial Ekonomi : Kualitatif

TKT (Tingkat Kesiapterapan Teknologi) : 7

Peneliti

a. Nama Lengkap : Ir. Parlindungan Pandapotan Marpaung, MT

b. NIDN : 0315095902

c. Jabatan Fungsional : Dosen Tetap

d. Program Studi : Teknik Elektro

e. Nomor HP : 08128212064

f. Alamat Surel (e-mail) : parlindungan.reni@gmail.com

Anggota Peneliti I

a. Nama Lengkap : --

b. NIDN : --

Anggota Mahasiswa

a. Nama Lengkap : Muhamad Fazri

b. NIM : 1112200007

c. Jurusan : Teknik Elektro

Institusi Sumber Dana : Mandiri

Biaya Penelitian : Rp 10.000.000

Mitra Penelitian : --

Tangerang Selatan, 6 Agustus 2024

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Ir. Saharudin, ST, M.Eng.Sc, IPM
NIDN : 0310107702

Ketua Tim,

(Ir. Parlindungan P. Marpaung, MT)
NIDN : 0315095902

Menyetujui,

Kepala
Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat



(Prof. Dr. Ir. Ratnawati, M.Eng.Sc., IPM)
NIDN : 0301036303



INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA

Jl. Raya Puspiptek, Tangerang Selatan - 15314
(021) 7562757

www.iti.ac.id [@institutteknologiindonesia](https://www.instagram.com/institutteknologiindonesia) [@Institut Teknologi Indonesia](https://www.facebook.com/InstitutTeknologiIndonesia)

SURAT KETERANGAN

No. 024/LPD-PSTK/F.2A/ VIII /2024

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa:

Telah diterima 1 (satu) eksemplar Laporan Penelitian Dosen (Mandiri) oleh **Perpustakaan Pusat ITI** pada hari **Selasa, 13 Agustus 2024** dengan keterangan sebagai berikut:

Judul Penelitian:

Analisa Tegangan Sinyal AC Spul Stator Terhadap Putaran Sudut Fasa Magnet Rotor Pada Pembangkit Listrik Alternator

TIM PENELITI :

- | | |
|--|-------------------------|
| 1. Nama : Ir. Parlindungan P. Marpaung, MT | 2. Nama : Muhamad Fazri |
| NIDN/NIM : 0315095902 | NIDN/NIM : 1112200007 |
| Jabatan : Dosen Tetap ITI | Jabatan : Mahasiswa |
| Prodi : Teknik Elektro | Prodi : Teknik Elektro |

Laporan tersebut telah menjadi koleksi perpustakaan dengan No. Registrasi: **LPD 2024 024**

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat digunakan sesuai keperluan,

Tangerang Selatan, 13 Agustus 2024

Kepala Perpustakaan Pusat ITI

Dwima Trisna Wulandari, S.IP

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL PENELITIAN	i
SURAT TUGAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT KETERANGAN PERPUSTAKAAN	iv
DAFTAR ISI	v
ABSTRAK	1
Bab I PENDAHULUAN	2
I.1. Latar belakang	2
I.2. Perumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian	3
Bab II TEORI PENDUKUNG	4
II.1. Pembangkit listrik alternator	5
II.2. Torsi poros putar magnet permanen rotor	7
Bab III METODE PENELITIAN	9
III.1. Lintasan putaran sudut fasa magnet rotor	12
III.2. Kecepatan putar sudut fasa magnet $\theta_{(\text{magnet})}$	13
III.2.1. Analisis kecepatan putar magnet rotor	14
III.3. Analisis tegangan sinyal ac pada spul stator	16
III.4. Konversi tegangan sinyal $V(t)$ terhadap sudut fasa $\theta_{(\text{magnet})}$	17
Bab IV PEMBAHASAN Dan HASIL PENELITIAN	19
Bab V KESIMPULAN	22
DAFTAR PUSTAKA	23
RINCIAN BIAYA	24

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Kawat konduktor melintasi magnet Utara (N) dan Selatan (S)	4
Gambar 2.2. Alternator memiliki tiga bidang inti spul stator dan dua kutub	5
Gambar 2.3. Tegangan sinyal ac bentuk gelombang sinusoida	6
Gambar 3.1. Jangkauan putaran magnet permanen pada bidang inti spul stator	9
Gambar 3.2 Skematik penggerak rotor magnet alternator pembangkit listrik ac	10
Gambar 3.3. Skematik alur diagram tahapan metodologi penelitian	11
Gambar 3.4. Rancang bangun motor listrik ac penggerak putaran magnet	11
Gambar 3.5. Putaran sudut fasa magnet melintasi jangkauan bidang inti spul stator	12
Gambar 3.6. Tampilan pengukuran tegangan sinyal ac pada spul stator	14
Gambar 3.7. Tegangan sinyal ac $V(t)$ fungsi perioda sinyal parameter $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$	16
Gambar 3.8. Putaran sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ menghasilkan satu perioda sinyal ac $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$	17
Gambar 4.1. Putaran sudut fasa magnet melintasi bidang inti spul stator	19
Gambar 4.2. Tegangan $V(t)$ terhadap putaran sudut fasa magnet	21

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Spesifikasi busur lingkaran bidang inti spul stator	10
Tabel 3.2. Lintasan putaran sudut fasa magnet $\theta_{(\text{magnet})}$	13
Tabel 3.3. Hasil pengukuran $V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$ dan tegangan $V(t)$	14
Tabel 3.4. Lama waktu $t_{(\theta.\text{magnet})}$ pada kecepatan putar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	15
Tabel 3.5. Lama waktu $t_{(\theta.\text{magnet})}$ terhadap kecepatan putar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	16
Tabel 3.6. Tegangan $V(t)$ terhadap lama waktu $t_{(\text{sinyal})}$	17
Tabel 3.7. Hasil konversi tegangan sinyal $V(t)$ terhadap putaran $\theta_{(\text{magnet})}$	18
Tabel 4.1. Spesifikasi busur lingkaran bidang inti spul stator	19
Tabel 4.2. Lama waktu $t_{(\theta.\text{magnet})}$ pada kecepatan putar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	19
Tabel 4.3. Lama waktu $t_{(\theta.\text{magnet})}$ terhadap kecepatan putar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	20
Tabel 4.4. Tegangan sinyal $V(t)$ fungsi perioda $\omega.t_{(\text{sinyal})}$	20
Tabel 4.5. Hasil konversi tegangan sinyal $V(t)$ terhadap putaran $\theta_{(\text{magnet})}$	21

ABSTRAK

Pembangkit listrik sinyal ac menggunakan alternator (*alternating generator*) memiliki dua bagian perangkat utama, yaitu bagian pertama lingkaran magnet permanen rotor dapat berputar dan bagian kedua spul stator yang tidak dapat bergerak. Magnet rotor membentuk jangkauan lintasan sudut putar magnet terhadap busur lingkaran bidang inti spul stator. Tujuan penelitian membuat rancang bangun peralatan pembangkit listrik menggunakan alternator menghasilkan tegangan sinyal ac output pada spul stator, ketika magnet berputar melingkar membentuk sudut putar sebesar $\Theta_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat terhadap busur lingkaran bidang inti spul stator. Metode penelitian menggerakkan magnet rotor berputar melingkar melintasi busur lingkaran bidang inti spul stator dengan kecepatan putar tertentu yang membangkitkan tegangan sinyal ac maksimum dan hasil analisis tegangan sinyal ac fungsi perioda sinyal ac pada output spul stator. Hasil pengukuran kecepatan putar sudut $\Theta_{(\text{magnet})}$ sebesar 1300 rpm diperoleh pengukuran tegangan sinyal ac maksimum sebesar $V_0(\text{spul}) = V_m = 110$ volt. Analisis tegangan sinyal ac fungsi perioda sinyal ac parameter $\omega.t_{(\text{sinyal})}$ dinyatakan $V(t) = 110 \text{ Sinus } (\omega.t_{(\text{sinyal})})$. Jangkauan perioda sinyal ac sebesar $\omega.t_{(\text{sinyal})} = 0$ derajat s/d 360 di konversikan terhadap jangkauan sudut putar $\Theta_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat. Nilai konversi putaran sudut putar pada posisi sudut $\Theta_{(\text{magnet})} = 10$ derajat ke perioda sinyal ac sebesar $\omega.t_{(\text{sinyal})} = 90$ derajat menghasilkan tegangan sinyal ac sebesar $V_1(t) = 110 \text{ Sinus } (90^0) = 110$ volt ac. Kemudian konversi sudut putar $\Theta_{(\text{magnet})} = 20$ derajat ke parameter $\omega.t_{(\text{sinyal})} = 180$ derajat menghasilkan tegangan sinyal ac sebesar $V_2(t) = 110 \text{ Sinus } (180^0) = 0$ volt. Berikutnya konversi posisi sudut putar $\Theta_{(\text{magnet})} = 30$ derajat ke parameter $\omega.t_{(\text{sinyal})} = 270$ derajat menghasilkan $V_3(t) = 110 \text{ Sinus } (270^0) = - 110$ volt ac.

Kata kunci: alternator, magnet rotor, spul stator, sudut putar

B A B I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Induksi elektromagnetik adalah peristiwa medan magnet bergerak melintasi bidang inti suatu kumparan (*coil*) terbuat dari bahan penghantar listrik dililitkan pada bidang inti kumparan yang menimbulkan perubahan fluks magnetik menghasilkan induksi ggl (gaya gerak listrik) pada kumparan tersebut. Peristiwa medan magnet bergerak melintasi bidang inti kumparan secara berulang-ulang membangkitkan perubahan induksi ggl menghasilkan tegangan sinyal output bolak-balik/ac (*alternating current*) output pada lilitan kumparan. Pada pembangkit listrik alternator (*alternating generator*) terdapat magnet permanen rotor dapat bergerak berputar melintasi bidang inti kumparan spul stator menggunakan energi mekanik putaran poros magnet permanen tersebut. Hal ini energi mekanik memutar magnet permanen melintasi bidang inti kumparan lilitan dikonversikan menjadi energi listrik. Umumnya pembangkit listrik alternator (*alternating generator*) telah digunakan pada sepeda motor untuk membangkitkan tegangan sinyal ac (*alternating current*) sebagai sumber energi listrik.[1]. Peralatan alternator dilengkapi dengan busur lingkaran bidang inti spul stator berada di dalam lingkaran magnet permanen rotor yang dapat berputar melingkar melintasi bidang inti kumparan spul stator. Latar belakang penelitian adalah putaran magnet permanen rotor melintasi bidang inti kumparan spul stator membentuk sudut putar magnet terhadap jangkauan busur lingkaran spul stator yang menentukan hasil tegangan sinyal ac fungsi waktu t detik pada kedua ujung kumparan spul stator sebagai pembangkit listrik alternator. Jangkauan sudut putar magnet membentuk sudut fasa magnet rotor terhadap jangkauan busur lingkaran bidang inti spul stator. Besarnya perubahan posisi sudut putar magnet melintasi jangkauan busur lingkaran bidang inti spul stator dapat merubah perioda sinyal ac, sehingga hasil nilai level tegangan sinyal ac berubah terhadap perioda sinyal ac tersebut. Dimana sudut putar magnet dinyatakan parameter sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ dalam satuan derajat, kemudian perioda tegangan sinyal ac fungsi perioda sinyal ac dinyatakan parameter $V(t)$ dalam satuan volt ac. Untuk itu dilakukan analisis hasil tegangan sinyal ac terhadap putaran sudut fasa magnet rotor terbentuk, ketika magnet rotor melintasi busur lingkaran bidang inti spul stator pada rancang bangun pembangkit listrik menggunakan alternator.

I.2. Perumusan Masalah

Pada penelitian ini dibuat rancang bangun peralatan pembangkit listrik menggunakan alternator (*alternating generator*) berasal dari sepeda motor yang memiliki dua bagian perangkat utama, yaitu bagian peralatan magnet permanen rotor dapat berputar melingkar dan bagian bidang inti spul stator yang tidak dapat bergerak. Magnet permanen rotor berputar melintasi bidang inti kumparan spul stator pembangkit listrik alternator dilakukan menggunakan energi mekanik putaran eksternal berasal dari motor listrik ac. Hal ini magnet permanen rotor berputar melingkar terhadap busur lingkaran bidang inti lilitan stator yang dalam kondisi diam atau tidak bergerak, sehingga magnet permanen berputar membentuk sudut putar dalam satuan derajat. Telah dilakukan penelitian pemanfaatan alternator pembangkit listrik kecepatan rpm putaran magnet permanen terendah sebesar 360 rpm (*rotation per minute*) menghasilkan tegangan sinyal ac output sebesar 5,8 volt ac yang telah di publikasikan pada jurnal ilmiah.[4],[8]. Masalahnya adalah ketika magnet permanen rotor berputar melintasi busur lingkaran bidang inti kumparan spul stator yang membentuk jangkauan sudut putar magnet terhadap sudut derajat busur lingkaran bidang spul stator dalam lingkaran stator. Perubahan level tegangan sinyal ac output spul stator yang tergantung dari posisi sudut putar magnet permanen melintasi jangkauan busur lingkaran spul stator. Metoda penelitian dilakukan analisis tegangan sinyal ac, ketika posisi lintasan sudut fasa magnet permanen rotor membentuk sudut putar pada busur lingkaran pada bidang inti spul stator terhadap perioda sinyal ac yang dapat menyebabkan perubahan hasil output tegangan sinyal ac. Analisis tegangan sinyal ac terhadap putaran sudut fasa magnet permanen rotor fungsi perioda sinyal ac dinyatakan dengan persamaan $V(t) = 170,2 \text{ Sinus } (\omega.t_{(\text{sinyal})})$. Hasil analisis jangkauan sudut putar $\Theta_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat melintasi busur lingkaran bidang inti spul stator di konversikan pada jangkauan perioda sinyal ac sebesar $\omega.t_{(\text{sinyal})} = 0$ derajat s/d 360 derajat menghasilkan level tegangan sinyal ac fungsi waktu t detik parameter $V(t)$.

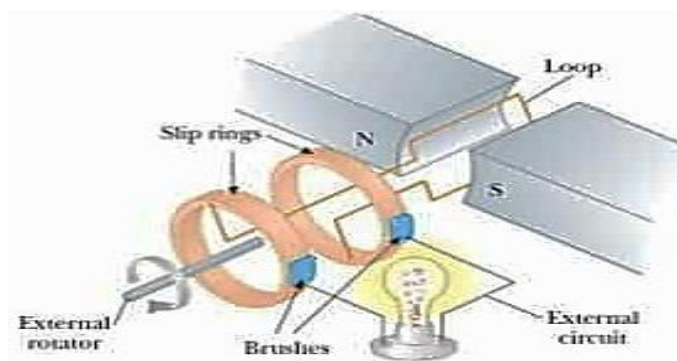
I.3. Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan menganalisis level tegangan sinyal ac output pada kumparan spul stator pembangkit listrik alternator dengan cara membuat rancang bangun penggerak putaran sudut fasa magnet permanen rotor melintasi jangkauan busur lingkaran bidang inti spul stator berdasarkan nilai sudut putar magnet yang terbentuk pada busur lingkaran bidang inti spul stator tersebut.

B A B II

TEORI PENDUKUNG

Pengoperasian suatu pembangkit listrik berdasarkan proses elektromagnetik menimbulkan induksi ggl (gaya gerak listrik) adalah gagasan dari seorang ilmuwan Jerman bernama Michael Faraday pada tahun 1821. Peristiwa proses elektromagnetik terjadi ketika loop lilitan kawat konduktor berputar melingkar melintasi kutub magnet Utara (N) dan kutub magnet Selatan (S) menimbulkan perubahan fluks medan magnet fungsi waktu satuan detik yang atau membangkitkan induksi gaya gerak listrik (ggl). Menurut hukum Faraday ketika sebuah medan magnet berputar secara terus menerus memotong kumparan maka akan membangkitkan induksi ggl pada kumparan menghasilkan tegangan sinyal ac disebut dengan generator pembangkit listrik. Prinsip kerja generator pembangkit listrik adalah lilitan (*coil*) kumparan diletakkan di antara dua buah medan magnet yang memiliki kutub selatan dan kutub utara, kemudian kumparan tersebut diputar maka akan terjadi perpotongan medan magnet yang menyebabkan terjadinya perubahan jumlah garis gaya magnet menghasilkan tegangan sinyal ac pada kedua ujung kumparan kumparan. Putaran lintasan lilitan kawat konduktor dengan jarak/gap tertentu terhadap kutub magnet Utara (N) dan kutub magnet Selatan (S) pada Gambar 2.1. Karena lilitan kumparan berputar melingkar secara berulang-ulang melintasi magnet permanen, maka terjadi perubahan jumlah garis gaya magnet disekitar konduktor kumparan yang membangkitkan induksi ggl pada kumparan pada kedua ujung lilitan kumparan. Dimana lilitan kumparan berputar terhubung dengan cincin celah geser/*slip ring* bahan karbon *bruses* bersifat sebagai penghantar listrik untuk menghindarkan gesekan terhadap kontak eksternal yang menghasilkan tegangan sinyal ac mensuplai beban eksternal lampu kondisi menyala.



Gambar 2.1. Kawat konduktor melintasi magnet Utara (N) dan Selatan (S)

Perumusan matematis induksi gaya gerak listrik (ggl) fungsi perubahan fluks magnet per satuan waktu t dirumuskan pada persamaan (2.1).

$$ggl = N \cdot d\Phi/dt \quad (2.1)$$

N = jumlah lilitan gulungan/kumparan, satuan jumlah

$d\Phi$ = perubahan fluks magnet, satuan weber

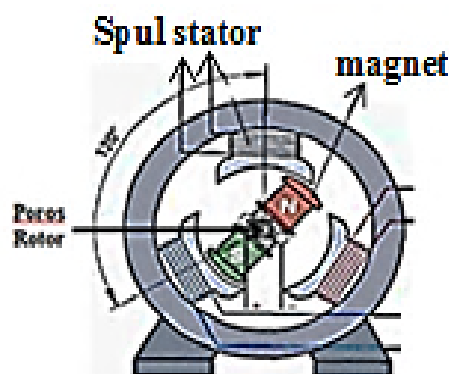
dt = perubahan waktu, satuan detik.

Menurut Michael Faraday faktor mempengaruhi besar induksi ggl menghasilkan tegangan sinyal ac antara lain adalah sbb.:

- Bila lilitan kumparan konduktor sedikit saja dilintasi oleh medan magnet, maka gaya listrik yang dihasilkan juga sedikit (kecil).
- Konduktor yang berbentuk lilitan kumparan jumlah gaya listrik yang terjadi akan semakin besar.

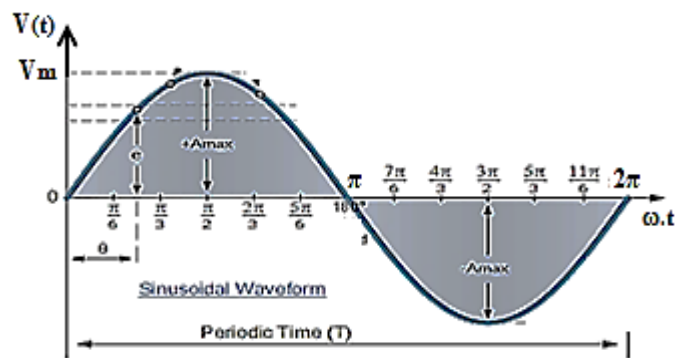
II.1. Pembangkit listrik alternator

Pembangkit listrik alternator (*alternating generator*) umumnya digunakan pada kendaraan otomotif sepeda motor yang memiliki dua bagian perangkat utama, yaitu bagian peralatan magnet permanen rotor dapat berputar melingkar dan bagian bidang inti spul stator yang tidak dapat bergerak. Alternator membangkitkan tegangan sinyal ac menerapkan peristiwa induksi elektromagnetik berdasarkan prinsip dasar hukum Faraday. Pada pembangkit listrik alternator memiliki tiga bidang inti kumparan spul stator yang dilintasi oleh putaran melingkar dua kutub magnet permanen, yaitu magnet kutub N dan magnet kutub S pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Alternator memiliki tiga bidang inti spul stator dan dua kutub. Peristiwa induksi elektromagnetik terjadi ketika energi mekanik memutar magnet permanen kutub N dan magnet kutub S melintasi lingkaran bidang inti kumparan spul stator menyebabkan terjadinya perubahan fluks magnetik yang membangkitkan induksi ggl dengan tegangan sinyal ac pada kedua ujung kumparan spul stator.

Lintasan melingkar magnet permanen kutub N dan magnet kutub S mengitari lingkaran bidang inti spul stator membentuk sudut derajat pada bidang inti kumparan spul stator. Energi mekanik memutar poros rotor magnet permanen berulang ulang secara periodik seiring dengan berputarnya magnet permanen kutub N dan magnet kutub S melintasi busur lingkaran bidang inti kumparan spul stator, sehingga membangkitkan induksi ggl pada kumparan spul stator. Periode waktu induksi ggl dalam satuan detik menghasilkan level tegangan sinyal ac. Contoh secara teoritis suatu pembangkit listrik alternator membangkitkan tegangan sinyal ac satu fasa dibutuhkan putaran poros rotor magnet sebesar parameter $n = 300 \text{ rpm} = 300 \text{ (putaran/60 detik)} = 5 \text{ putaran/detik}$. Energi mekanik memutar poros magnet permanen rotor mengitari permukaan bidang inti spul stator dikonversikan menjadi tegangan listrik ac. Adapun hasil induksi ggl dalam bentuk gelombang sinusoida dinyatakan persamaan $V(t) = V_m \sin(\omega.t)$ pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Tegangan sinyal ac bentuk gelombang sinusoida

Keterangan gambar:

$V(t)$ = level tegangan fungsi waktu, volt

V_m = level amplitudo tegangan maksimum, volt

$\omega = 2\pi.f$ = waktu perioda, radian

$f = 1/T$ = frekuensi perioda, 1 putaran/detik.

T = waktu perioda, detik.

Induksi gaya gerak listrik mengalirkan arus listrik melalui spul stator menghasilkan level tegangan listrik ac berkaitan dengan parameter, sbb.:

- 1) Kecepatan putaran melingkar (N)
- 2) Jumlah kawat pada kumparan stator yang memotong fluks medan magnet rotor
- 3) Banyaknya fluk magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet rotor
- 4) Konstruksi putaran magnet rotor terhadap bidang inti spul stator.

II.2. Torsi poros putar magnet permanen rotor

Torsi gaya putar poros puli motor listrik dengan gaya putar sentrifugal memiliki jari jari pada panjang lengan tertentu ke suatu beban eksternal dapat di hitung dengan menggunakan persamaan (2.2).

$$Tr = . r \quad (2.2)$$

Keterangan:

Tr = Torsi, satuan newton–meter (Nm)

F = Gaya tarik putaran rotor, satuan newton (N)

r = Jari-jari lingkaran magnet rotor, satuan meter (m).

Ketika magnet permanen berputar melingkar yang melintasi bidang inti kumparan spul stator pada kecepatan sudut putar melingkar parameter ω , maka induksi ggl dinyatakan parameter ε pada persamaan

$$\varepsilon = B.A.\omega.N. \sin \theta$$

Keterangan:

N = jumlah lilitan kumparan

B = medan magnet, tesla

A = luas bidang inti kumparan, (m^2)

$\omega = 2\pi.f$ = putaran magnet, radian/detik

f = $1/T$ = frekuensi putaran, 1/detik

T = waktu perioda putaran, detik

θ = sudut derajat, derajat

Perumusan matematis hubungan antara medan magnet B fungsi sudut θ derajat melintasi bidang inti kumparan di rumuskan seperti persamaan (2.3). [7].

$$\phi = B A \cos \theta \quad (2.3)$$

Keterangan:

ϕ = fluks medan magnet, (weber)

θ = sudut derajat, (derajat).

Perubahan fluks magnet per satuan waktu detik dinyatakan $d\phi/dt$ terjadi dari mulai ujung awal s/d ujung akhir bidang inti kumparan dari pada spul stator, ketika putaran sudut fasa magnet permanen rotor yang menghasilkan tegangan listrik ac dinyatakan parameter E dirumuskan seperti pada persamaan (2.4). Tanda polaritas negatif (-) tersebut menurut hukum Lenz adalah induksi magnet berlawanan arah dengan perubahan fluks magnet, [6], [7].

$$E = - N. d\phi/dt \quad (2.4)$$

Keterangan:

$d\phi/dt$ = perubahan fluks medan magnet per satuan waktu t detik

N = jumlah lilitan kumparan, jumlah.

Perumusan matematis kecepatan sudut putar melingkar pada busur lingkaran per satuan waktu detik dirumuskan pada persamaan (2.5).

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad (2.5)$$

Keterangan:

ω = kecepatan sudut putar, derajat/detik.

t = waktu sudut putar, detik.

Θ = sudut putar, derajat.

Kecepatan putaran rotor medan magnet parameter $V_{rpm(rotor)}$ terhadap sudut putar $\theta_{(magnet)}$ di rumuskan seperti persamaan (2.6).

$$V_{rpm(rotor)} = \frac{\theta_{(magnet)}}{t_{(\theta.magnet)}} \quad (2.6)$$

Dengan demikian lama waktu lintasan sudut putar magnet dinyatakan parameter $t_{(\theta.magnet)}$ menghasilkan persamaan (2.7).

$$t_{(\theta.magnet)} = \frac{\theta_{(magnet)}}{V_{rpm(rotor)}} \quad (2.7)$$

Perumusan matematik energi daya putar mekanik poros rotor magnet suatu pada pembangkit listrik alternator pada persamaan (2.8).

$$P_{mek.} = 2\pi.Vrpm \times Tr \quad (2.8)$$

Keterangan:

$P_{mek.}$ = daya mekanik, satuan watt

2π = satu perioda putar = $2 \times 3,14 = 6,28$ radian.

$Vrpm$ = kecepatan putar per menit poros, satuan rpm

Tr = torsi putaran rotor, satuan Nm.

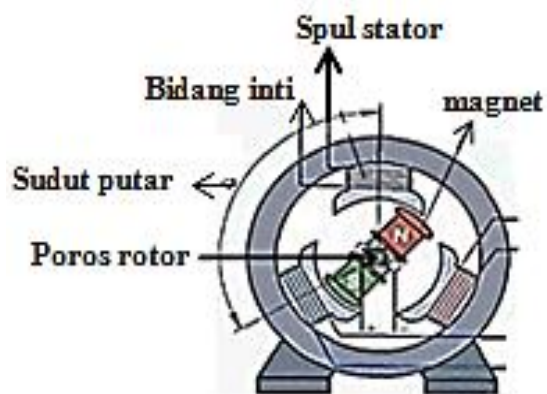
Perumusan matematis efisiensi hasil konversi daya putaran mekanik dinyatakan parameter $P_{mek.}$ yang dikonversikan menjadi daya listrik out-put parameter P_{out} pada persamaan (2.9).

$$\eta = P_{out} / P_{mek.} \times 100 \% \quad (2.9)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pembangkit listrik menggunakan alternator (*alternating generator*) memiliki dua bagian perangkat utama, yaitu perangkat magnet permanen rotor berputar melingkar dan perangkat bidang inti spul stator yang tidak dapat bergerak. Pada penelitian ini magnet permanen rotor bergerak berputar melingkar digerakkan oleh energi mekanik putaran eksternal dalam satuan rpm (*rotation per minute*). Perangkat spul stator memiliki tiga bidang inti membentuk jangkauan lintasan satu putaran melingkar pada busur lingkaran bidang inti spul stator. Rangkaian pengganti fisik jangkauan putaran magnet permanen rotor melintasi busur lingkaran bidang inti spul stator seperti pada Gambar 3.1. Gerak putar melingkar magnet permanen melintasi bidang inti kumparan spul stator membentuk sudut fasa antara magnet dengan bidang inti. Hal ini magnet permanen berputar melingkar melintasi setiap jangkauan busur lingkaran bidang inti spul stator membentuk sudut fasa magnet dinyatakan dinyatakan parameter sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ dalam satuan derajat. Untuk setiap jangkauan fisik busur lingkaran bidang inti spul stator sebesar sudut 40 derajat di konversikan sebesar 1/9 lingkaran. Dengan demikian jangkauan fisik busur lingkaran bidang inti spul stator adalah 0 derajat s/d 40 derajat yang di lintasi oleh putaran magnet permanen rotor. Diameter fisik lingkaran stator pada pembangkit listrik alternator sebesar 12,0 cm.



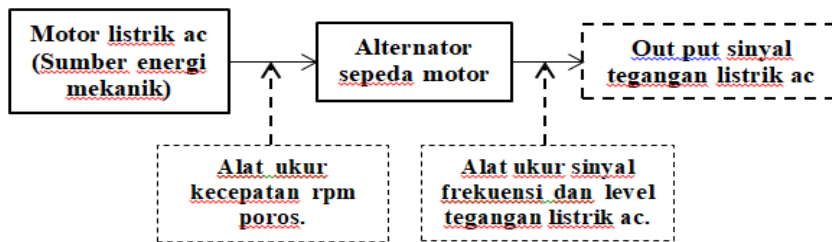
Gambar 3.1. Jangkauan putaran magnet permanen pada bidang inti spul stator

Spesifikasi fisik lingkaran stator dan busur lingkaran bidang inti spul stator pada pembangkit listrik alternator pada Tabel 3.1. Busur lingkaran stator membentuk sudut 1/9 lingkaran dinyatakan dengan jangkauan sudut sebesar sudut 40 derajat.

Tabel 3.1. Spesifikasi busur lingkaran bidang inti spul stator

Diameter fisik lingkaran stator	Busur lingkaran bidang inti	Jangkauan busur sudut bidang inti
12,0 cm	1/9 putaran	40 derajat

Skematik balok diagram rancang bangun peralatan pembangkit listrik alternator memanfaatkan alternator berasal dari sepeda motor untuk menghasilkan tegangan sinyal ac pada Gambar 3.2.

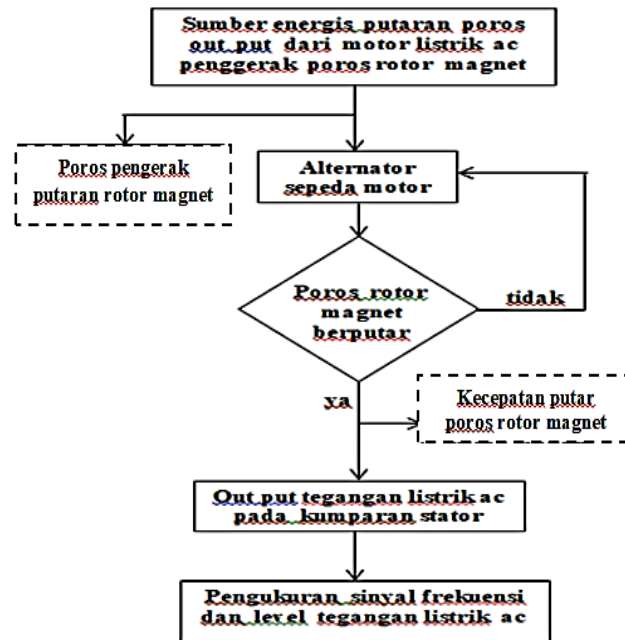


Gambar 3.2 Skematik penggerak rotor magnet alternator pembangkit listrik ac Putaran poros rotor magnet permanen menggerakkan putaran sudut fasa magnet parameter sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ dengan jangkauan lintasan sudut $\theta_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat melalui busur lingkaran bidang inti spul stator. Rancang bangun peralatan pembangkit listrik alternator menghasilkan tegangan sinyal ac output spul stator, sbb.:

- (1) Pengadaan alternator berasal dari sepeda motor dan motor listrik ac penggerak putaran magnet permanen rotor pada poros putar magnet permanen rotor.
- (2) Pengadaan puli poros out put motor listrik ac dan puli magnet permanen rotor yang saling terhubung dengan puli belt.
- (3) Menyiapkan penghubung poros output puli motor listrik ac penggerak putaran magnet permanen rotor menuju puli poros putar magnet permanen rotor.
- (4) Membuat jalur kabel penghubung output kedua ujung lilitan kumparan spul stator.
- (5) Menyiapkan alat ukur voltmeter untuk mengukur nilai tegangan listrik sinyal ac output spul stator dan alat ukur rpm meter untuk mengukur kecepatan putar magnet permanen rotor.
- (6) Menganalisis pengukuran tegangan listrik sinyal ac output spul stator dihasilkan ketika dilakukan putaran sudut fasa magnet permanen rotor melintasi bidang inti kumparan spul stator.

Metodologi penelitian dilakukan dengan merancang peralatan fisik, pengujian peralatan, pengukuran dan perhitungan matematis serta menganalisa parameter nilai parameter hasil pengukuran. Skematik diagram metode penelitian rancang bangun

peralatan pembangkit listrik menghasilkan level tegangan sinyal ac (*alternating current*) menggunakan alternator berasal dari sepeda motor pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Skematik alur diagram tahapan metodologi penelitian

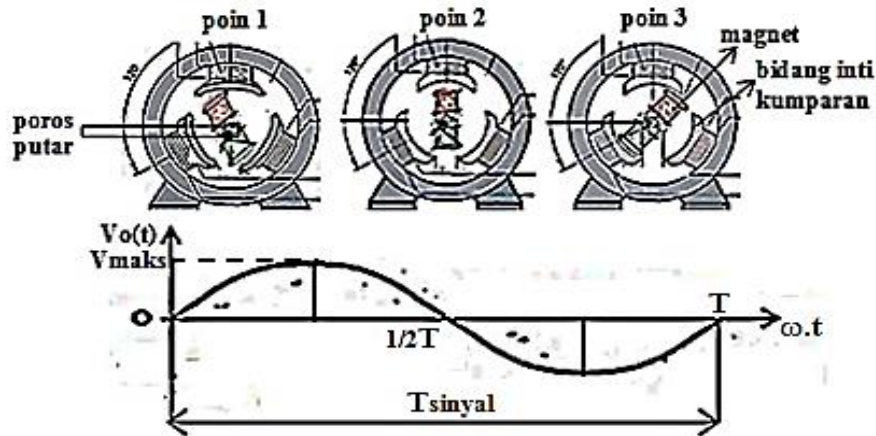
Putaran poros rotor menggunakan motor listrik ac menggerakkan putaran sudut fasa magnet parameter parameter sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ dengan jangkauan lintasan fisik sebesar 40 derajat yang dikonversikan menjadi satu perioda putaran melingkar melintasi busur lingkaran bidang inti spul stator. Rancang bangun putaran magnet permanen rotor melintasi busur lingkaran bidang inti spul stator dengan menggunakan putaran puli motor listrik ac pada pembangkit listrik alternator untuk menghasilkan tegangan sinyal ac output pada kumparan spul stator pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Rancang bangun motor listrik ac penggerak putaran magnet

Skematik diagram gerak putar melingkar sudut fasa magnet permanen dalam satu waktu perioda jangkauan lintasan putaran magnet dipresentasikan pada Gambar 3.5. Putaran sudut fasa magnet permanen rotor parameter sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ melintasi

jangkauan lintasan busur lingkaran bidang inti mulai dari titik awal sudut $\theta_{(\text{magnet})} = 0$ derajat hingga titik akhir sudut $\theta_{(\text{magnet})} = 40$ derajat dinyatakan dalam jangkauan sudut $\theta_{(\text{magnet})} = 1/9$ putaran melingkar yang menghasilkan tegangan sinyal ac dalam satu perioda sinyal ac parameter ωt_{sinyal} pada output tegangan sinyal ac.



Gambar 3.5. Putaran sudut fasa magnet melintasi jangkauan bidang inti spul stator

Tegangan sinyal ac output bernilai positif (+) satuan volt mulai dari waktu perioda sinyal ac posisi 0 s/d $1/2 T_{\text{sinyal}}$. Selanjutnya nilai level tegangan sinyal ac negatif (-) satuan volt mulai dari waktu perioda sinyal ac posisi $1/2 T_{\text{sinyal}}$ s/d T_{sinyal} . Dengan demikian capaian jangkauan lintasan putaran sudut fasa magnet permanen menghasilkan tegangan sinyal ac output dengan satu waktu perioda sinyal ac posisi 0 s/d T_{sinyal} . Rancang bangun penggerak putaran sudut fasa magnet permanen rotor pada pembangkit listrik alternator digerakkan oleh tenaga mekanik putaran puli motor listrik ac dengan kecepatan putar melingkar dinyatakan parameter $V_{rpm(\text{magnet})}$ dalam satuan rpm (*rotation per minute*). Putaran melingkar sudut fasa magnet permanen melintasi bidang inti kumparan spul stator menggunakan persamaan (2.1) menimbulkan perubahan fluks induksi medan magnet yang membangkitkan induksi ggl dalam satuan volt ac. Pada penelitian ini induksi ggl pada rancang bangun alat pembangkit listrik alternator menghasilkan tegangan listrik sinyal ac fungsi waktu $t_{(\text{sinyal})}$ detik dinyatakan parameter $V(t)$. Perumusan matematik tegangan sinyal ac fungsi waktu perioda t dalam satuan detik di rumuskan pada persamaan 3.1.

$$V(t) = V_m \text{Sinus} (\omega t_{\text{sinyal}}) \quad (3.1)$$

V_m = tegangan maksimum, volt ac

ωt_{sinyal} = perioda sinyal ac, derajat.

III.1. Lintasan perioda putaran sudut fasa magnet rotor

Lintasan jangkauan perioda putaran sudut fasa magnet rotor parameter ωt_{magnet} melalui busur lingkaran bidang inti spul stator mencapai perioda putar sebesar $\omega t_{\text{magnet}} = 40$ derajat = $1/9$ putaran dengan jangkauan lintasan sudut fasa magnet 0 derajat $\leq \omega t_{\text{magnet}} \leq 40$ derajat. Lama waktu putaran magnet dinyatakan parameter $t_{\text{(magnet)}}$ dalam satuan detik berputar menempuh jangkauan perioda putaran magnet rotor parameter $\omega \cdot t_{\text{(magnet)}}$ adalah:

(1) Untuk lintasan perioda putar sudut fasa magnet sebesar $\omega \cdot t_{\text{(magnet)}} = 40$ derajat, maka lama waktu putaran adalah:

$$\omega \cdot t_{\text{(magnet)}} = (2\pi \cdot f) \cdot t_{\text{(magnet)}} = (2\pi) \frac{t_{\text{(magnet)}}}{T}, \text{ dimana } T = \text{lama waktu perioda putar}$$

$$40 \text{ derajat} = 360^0 \times \frac{t_{\text{(magnet)}}}{T}$$

$$\frac{t_{\text{(magnet)}}}{T} = 1/9$$

$$t_{\text{(magnet)}} = 1/9 T = 1/9 \times \text{waktu perioda putar.}$$

(2) Untuk lintasan perioda putar sudut fasa magnet sebesar $\omega \cdot t_{\text{(magnet)}} = 20$ derajat, maka lama waktu putaran adalah:

$$20 \text{ derajat} = 360^0 \times \frac{t_{\text{(magnet)}}}{T}, \text{ maka } \frac{t_{\text{(magnet)}}}{T} = 1/18$$

$$t_{\text{(magnet)}} = 1/18 T = 1/18 \times \text{waktu perioda putar.}$$

(3) Untuk lintasan perioda putar magnet sebesar $\omega \cdot t_{\text{(magnet)}} = 10$ derajat, maka lama waktu putaran adalah:

$$10 \text{ derajat} = 360^0 \times \frac{t_{\text{(magnet)}}}{T}, \text{ maka } \frac{t_{\text{(magnet)}}}{T} = 1/36$$

$$t_{\text{(magnet)}} = 1/36 T = 1/36 \times \text{waktu perioda putar}$$

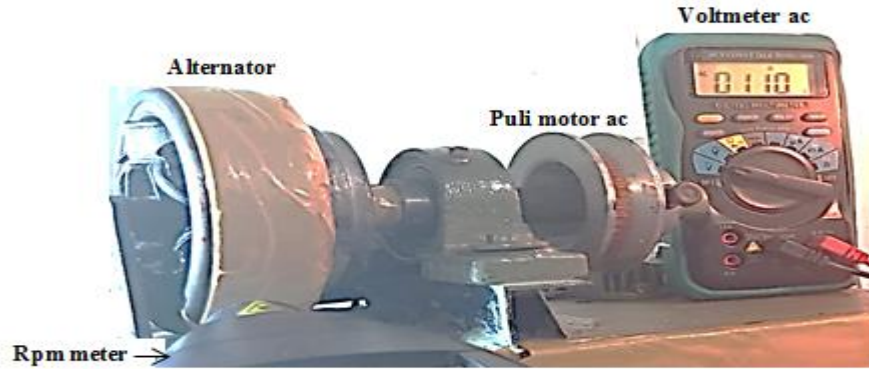
Rekapitulasi lama waktu magnet parameter $t_{\text{(magnet)}}$ dan perioda putar magnet rotor parameter $\omega \cdot t_{\text{(magnet)}}$ pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Lintasan putaran sudut fasa magnet $\theta_{\text{(magnet)}}$

Lama waktu	Perioda putar	Keterangan
$t_{\text{(magnet)}}$	$\omega \cdot t_{\text{(magnet)}}$	
$1/9 T$	40^0	$1/9$ putaran
$1/18 T$	20^0	$1/18$ putaran
$1/36 T$	10^0	$1/36$ putaran

III.2. Kecepatan putar sudut fasa magnet parameter $\theta_{\text{(magnet)}}$

Pada penelitian ini pengukuran kecepatan putar magnet permanen rotor dinyatakan parameter $V_{rpm(magnet)}$ dalam satuan rpm (*rotation per minute*) yang membentuk sudut fasa $\theta_{(magnet)}$. Pada pengukuran kecepatan putar magnet rotor sebesar $V_{rpm(magnet)} = 1300$ rpm menghasilkan pengukuran tegangan sinyal ac output maksimum pada spul stator parameter $V_{O(spul)} = V_m = 110$ volt ac seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Tampilan pengukuran tegangan sinyal ac maksimum pada spul stator Rekapitulasi pengukuran kecepatan putar magnet rotor $V_{rpm(magnet)} = 1300$ rpm dan hasil pengukuran tegangan sinyal ac output $V_{O(spul)} = 110$ volt ac pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Hasil pengukuran $V_{rpm(magnet)}$ dan tegangan $V_{O(spul)}$

$V_{rpm(magnet)}$	$V_{O(spul)}$
1300 rpm	110 volt ac

III.2.1. Analisis kecepatan putar magnet rotor

Analisis nilai hasil pengukuran kecepatan putar magnet permanen rotor parameter $V_{rpm(magnet)}$ adalah sbb.:

$$V_{rpm(magnet)} = 1300 \text{ rpm} = 1300 \left[\frac{\text{putaran}}{60 \text{ detik}} \right]$$

$$V_{rpm(magnet)} = 21,67 \left[\frac{\text{putaran}}{1 \text{ detik}} \right]$$

Perumusan matematis parameter kecepatan putar $V_{rpm(magnet)}$ terhadap jangkauan lintasan putaran sudut fasa magnet dan lama waktu putaran magnet menggunakan persamaan (2.6) pada Bab II adalah, sbb.:

$$V_{rpm(magnet)} = \frac{\theta_{(magnet)}}{t_{magnet}}$$

$$21,67 \left(\frac{\text{putaran}}{\text{detik}} \right) = \frac{\theta_{(magnet)}}{t_{magnet}}, \text{ maka:}$$

$$t_{(magnet)} = \frac{\theta_{(magnet)}}{21,67 \text{ putaran}} \times 1 \text{ detik}$$

Jangkauan lintasan putaran sudut fasa magnet parameter $\theta_{(\text{magnet})}$ terhadap parameter lama waktu tempuh lintasan melalui busur lingkaran bidang inti adalah parameter $t_{(\text{magnet})}$ adalah sbb.:

$$t_{(\text{magnet})} = \frac{\theta_{(\text{magnet})}}{21,67 \text{ putaran}} \times 1 \text{ detik}$$

Adapun spesifikasi jangkauan lintasan putaran sudut fasa magnet sebesar $\theta_{(\text{magnet})} = 40$ derajat = $\omega t_{(\text{magnet})} = 1/9$ putaran melintasi bidang inti diperoleh hasil perhitungan lama waktu putaran sudut fasa dinyatakan parameter $t_{(\text{magnet})}$, sbb.:

$$t_{(\text{magnet})} = \frac{1/9 \text{ putaran}}{21,67 \text{ putaran}} \text{ detik} = \frac{1}{195,03} \text{ detik} = 0,0051 \text{ detik.}$$

$$t_{(\text{magnet})} = 0,0051 \text{ detik.}$$

Rekapitulasi lama waktu $t_{(\text{magnet})}$ dengan jangkauan lintasan putar magnet permanen sebesar $\omega t = 1/9$ putaran pada kecepatan putar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})} = 1300$ rpm seperti pada Tabel 3.4. Jangkauan putaran sudut fasa magnet berada pada $\omega t_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat dengan lama waktu tempuh parameter $t_{(\theta, \text{magnet})} = 0,0051$ detik.

Tabel 3.4. Lama waktu $t_{(\theta, \text{magnet})}$ pada kecepatan putar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$

$V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	$t_{(\theta, \text{magnet})}$	$\omega t_{(\text{magnet})}$	$\theta_{(\text{magnet})}$
1300 rpm	0,0051 detik	1/9 putaran	0^0 s/d 40^0

Analisis perhitungan matematis lama waktu magnet parameter $t_{(\text{magnet})}$ untuk melintasi jangkauan putaran magnet parameter $\omega t_{(\text{magnet})}$ adalah, sbb.:

(1) Untuk nilai $\omega t_{(\text{magnet})} = 1/12$ putaran = 30 derajat dengan kecepatan putar sebesar 1300 rpm diperoleh hasil perhitungan lama waktu parameter $t_{(\text{magnet})}$, sbb.:

$$t_{(\text{magnet})} = \frac{\omega t_{\text{magnet}}}{21,67 \text{ putaran}} \times 1 \text{ detik}$$

$$t_{(\text{magnet})} = \frac{1/12 \text{ putaran}}{21,67 \text{ putaran}} \text{ detik} = \frac{1}{260,04} \text{ detik} = 0,0038 \text{ detik.}$$

(2) Untuk nilai $\omega t_{(\text{magnet})} = 1/18$ putaran = 20 derajat diperoleh hasil perhitungan lama waktu parameter $t_{(\text{magnet})}$, sbb.:

$$t_{(\text{magnet})} = \frac{\omega t_{\text{magnet}}}{21,67 \text{ putaran}} \times 1 \text{ detik}$$

$$t_{(\text{magnet})} = \frac{1/18 \text{ putaran}}{21,67 \text{ putaran}} \text{ detik} = \frac{1}{390,06} \text{ detik} = 0,0026 \text{ detik.}$$

(3) Untuk nilai $\omega t_{(\text{magnet})} = 1/36$ putaran = 10 derajat diperoleh hasil perhitungan lama waktu parameter $t_{(\text{magnet})}$, sbb.:

$$t_{(\text{magnet})} = \frac{\omega t_{\text{magnet}}}{21,67 \text{ putaran}} \times 1 \text{ detik.}$$

$$t_{(\text{magnet})} = \frac{1/36 \text{ putaran}}{21,67 \text{ putaran}} \text{ detik} = \frac{1}{780,12} \text{ detik} = 0,0013 \text{ detik.}$$

Rekapitulasi lintasan putaran sudut fasa magnet di mulai dari pada posisi $\omega t_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat menempuh lama waktu $t_{(\text{magnet})}$ pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Lama waktu $t_{(\theta, \text{magnet})}$ terhadap kecepatan putar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$

$V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	$t_{(\text{magnet})}$	$\omega t_{(\text{magnet})}$	$\theta_{(\text{magnet})}$
1300 rpm	0,0051 detik	1/9 putaran	40 derajat
	0,0038 detik	1/12 putaran	30 derajat
	0,0026 detik	1/18 putaran	20 derajat
	0,0013 detik	1/36 putaran	10 derajat

III.3. Analisis tegangan sinyal ac pada spul stator

Putaran magnet permanen rotor melintasi bidang inti spul stator menghasilkan tegangan sinyal ac maksimum $V_{o(\text{spul})} = V_m = 110$ volt ac. Analisis tegangan sinyal ac fungsi lama waktu t detik pada output spul stator di rumuskan pada persamaan (3.2).

$$V(t) = V_m \text{ Sinus } (\omega t) = V_m \text{ Sinus } [\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}] \quad (3.2)$$

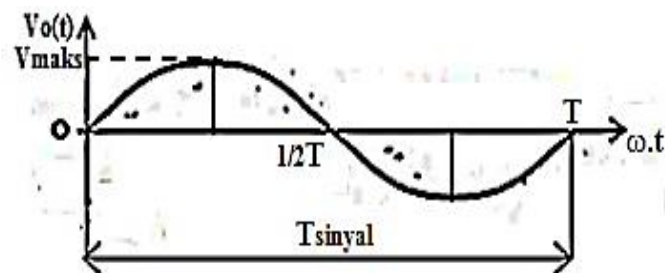
Keterangan:

$t_{(\text{sinyal})}$ = lama waktu sinyal ac, detik

$\omega_{(\text{sinyal})} = (2\pi \cdot f) = \frac{2\pi}{T}$ = kecepatan perioda sinyal ac, putaran/detik

$T_{\text{sinyal}} = 1/f$ = waktu perioda sinyal ac, detik

Tegangan sinyal ac fungsi waktu parameter $V(t)$ untuk perioda sinyal ac parameter $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$ seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Tegangan sinyal ac $V(t)$ fungsi perioda sinyal parameter $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$

Perumusan tegangan sinyal ac parameter $V(t)$ dengan perioda sinyal ac parameter $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$ adalah $V(t) = V_m \text{ Sinus } (\omega \cdot t_{(\text{sinyal})})$, dimana tegangan sinyal ac maksimum parameter $V_m = 110$ volt ac, maka persamaan tegangan sinyal ac adalah:

$$V(t_{\text{sinyal}}) = 110 \text{ Sinus } (\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}) = 110 \text{ Sinus } \left[(2\pi) \frac{t_{\text{sinyal}}}{T_{\text{sinyal}}} \right]$$

Analisis lama $t_{(\text{sinyal})} = t$ terhadap waktu perioda sinyal ac parameter T_{sinyal} , sbb.:

(1) Untuk nilai $t_{(sinyal)} = T_{sinyal}$ diperoleh hasil perhitungan tegangan sinyal ac;

$$V(t) = 110 \text{ Sinus } \left[(2\pi) \frac{T_{sinyal}}{T_{sinyal}} \right]$$

$$V(t = T) = V_m \text{ Sinus } (2\pi) = 110 \text{ Sinus } (360^0) = 0 \text{ volt}$$

(2) Nilai $t_{(sinyal)} = 1/2 T_{sinyal}$ diperoleh hasil perhitungan tegangan sinyal ac;

$$V(t) = V_m \text{ Sinus } \left[(2\pi) \frac{(1/2) T_{sinyal}}{T_{sinyal}} \right]$$

$$V(t = 1/2 T) = 110 \text{ Sinus } (\pi) = 110 \text{ Sinus } (180^0) = 0 \text{ volt}$$

(3) Nilai $t_{(sinyal)} = 1/4 T_{sinyal}$ diperoleh hasil perhitungan tegangan sinyal ac;

$$V(t) = 170,2 \text{ Sinus } \left[(2\pi) \frac{(1/4) T_{sinyal}}{T_{sinyal}} \right]$$

$$V(t = 1/4 T) = 110 \text{ Sinus } (1/2 \cdot \pi) = 110 \text{ Sinus } (90^0) = 110 \text{ volt}$$

Rekapitulasi hasil nilai level tegangan listrik sinyal ac $V(t)$ terhadap lama waktu sinyal ac parameter $t_{(sinyal)}$ pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Tegangan $V(t)$ terhadap lama waktu $t_{(sinyal)}$

$t_{(sinyal)}$	$V(t)$	$\omega \cdot t_{(sinyal)}$	Keterangan
T	0 volt	360 derajat	1 perioda
1/2 T	0 volt	180 derajat	1/2 perioda
1/4 T	110 volt	90 derajat	1/4 perioda

III.4. Konversi tegangan sinyal $V(t)$ terhadap putaran sudut fasa $\theta_{(magnet)}$

Putaran sudut fasa magnet permanen sudut $\theta_{(magnet)}$ melintasi jangkauan lintasan busur lingkaran bidang inti dengan jangkauan melingkar mulai dari sudut $\theta_{(magnet)} = 0$ derajat s/d 40 derajat yang menghasilkan tegangan sinyal ac satu perioda sinyal ac $\omega \cdot t_{(sinyal)} = 0$ derajat s/d 360 derajat pada Gambar 3.8. Konversi parameter sudut putar $\theta_{(magnet)}$ terhadap perioda sinyal ac parameter $\omega \cdot t_{(sinyal)}$ pada tegangan sinyal ac, sbb.:

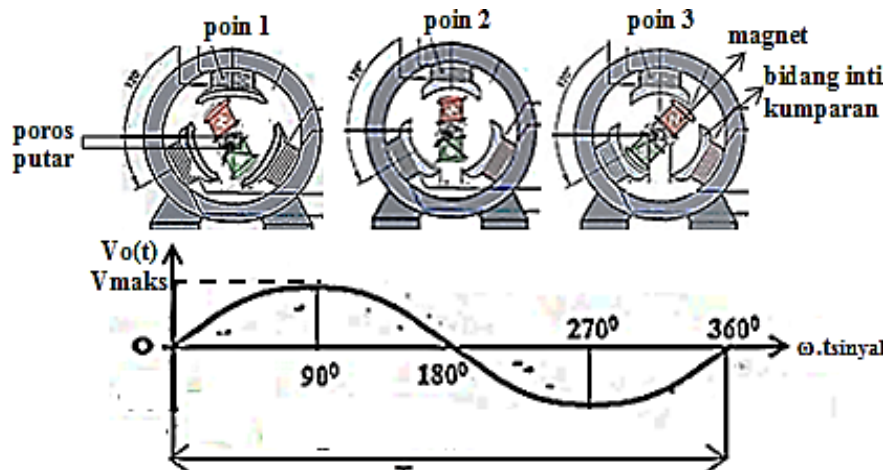
(1) Putaran magnet sebesar sudut $\theta_{(magnet)} = 1/9$ putaran = 40 derajat di konversikan ke perioda sinyal ac sebesar $\omega \cdot t_{(sinyal)} = 360$ derajat menghasilkan tegangan sinyal ac sebesar $V_1(t) = 110 \text{ Sinus } [\omega \cdot t_{(sinyal)}] = 110 \text{ Sinus } (360^0) = 0 \text{ volt ac}$.

(2) Putaran magnet sebesar sudut $\theta_{(magnet)} = 1/12$ putaran = 30 derajat di konversikan ke perioda sinyal ac parameter $\omega \cdot t_{(sinyal)} = 30/40 \times 360 \text{ derajat} = 270 \text{ derajat}$ menghasilkan tegangan sinyal ac sebesar $V_2(t) = 110 \text{ Sinus } [\omega \cdot t_{(sinyal)}] = 110 \text{ Sinus } (270^0) = -110 \text{ volt}$.

(3) Putaran sudut fasa magnet sebesar sudut putar $\theta_{(magnet)} = 1/18$ putaran = 20 derajat di konversikan ke perioda sinyal ac parameter $\omega \cdot t_{(sinyal)} = 20/40 \times 360 \text{ derajat} =$

180 derajat, maka tegangan sinyal ac sebesar $V_3(t) = 110 \text{ Sinus } [\omega.t_{(\text{sinyal})}] = 110 \text{ Sinus } (180^\circ) = 0 \text{ volt}$.

- (4) Putaran sudut fasa magnet sebesar sudut putar $\theta_{(\text{magnet})} = 1/36 \text{ putaran} = 10 \text{ derajat}$ di konversikan ke perioda sinyal ac parameter $\omega.t_{(\text{sinyal})} = 10/40 \times 360 \text{ derajat} = 90 \text{ derajat}$, maka tegangan sinyal ac sebesar $V_4(t) = 110 \text{ Sinus } [\omega.t_{(\text{sinyal})}] = 110 \text{ Sinus } (90^\circ) = 110 \text{ volt}$.



Gambar 3.8. Putaran sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ menghasilkan satu perioda sinyal ac $\omega.t_{(\text{sinyal})}$

Rekapitulasi hasil konversi putaran sudut fasa $\theta_{(\text{magnet})}$ menghasilkan tegangan sinyal ac parameter $V(t)$ pada spul stator pembangkit listrik alternator seperti Tabel 3.7.

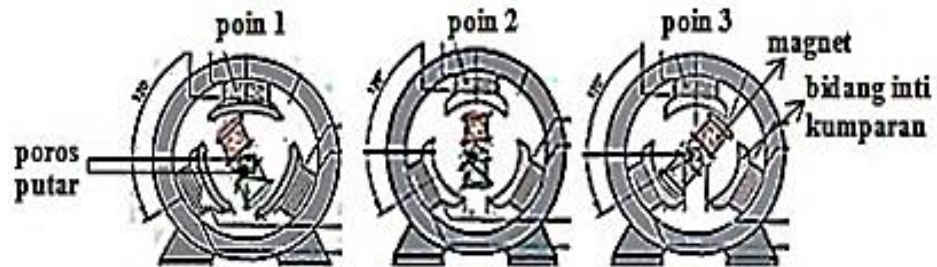
Tabel 3.7. Hasil konversi tegangan sinyal $V(t)$ terhadap putaran $\theta_{(\text{magnet})}$

Parameter putaran magnet rotor			Parameter tegangan sinyal ac		
$V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	$t_{(\text{magnet})}$	$\omega t_{(\text{magnet})}$	$\omega.t_{(\text{sinyal})}$	$t_{(\text{sinyal})}$	$V(t)$
1300	0,0051 detik	40°	360°	T_{sinyal}	0 volt
	0,0038 detik	30°	270°	$3/4 T_{\text{sinyal}}$	- 110 volt
	0,0026 detik	20°	180°	$1/2 T_{\text{sinyal}}$	0 volt
	0,0013 detik	10°	90°	$1/4 T_{\text{sinyal}}$	110 volt

B A B IV

PEMBAHASAN DAN HASIL PENELITIAN

Putaran sudut fasa magnet permanen rotor parameter sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ melintasi jangkauan lintasan busur lingkaran bidang inti mulai dari sudut $\theta_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat menghasilkan tegangan sinyal ac dalam satu perioda putar sinyal ac dinyatakan parameter ωt_{sinyal} . Jangkauan putaran sudut magnet $\theta_{(\text{magnet})}$ melintasi busur lingkaran bidang inti spul stator diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Putaran sudut fasa magnet melintasi bidang inti spul stator

Spesifikasi fisik lingkaran stator dan busur lingkaran bidang inti spul stator I lintasi oleh putaran sudut magnet pada pembangkit listrik alternator pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Spesifikasi busur lingkaran bidang inti spul stator

Diameter lingkaran spul stator	Putaran busur bidang inti	Jangkauan sudut bidang inti
12,0 cm	1/9 putaran	0^0 s/d 40^0

Pada kecepatan putar magnet permanen rotor sebesar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})} = 1300$ rpm. Jangkauan putaran sudut fasa magnet berada pada $\omega t_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat dengan lama waktu tempuh parameter $t_{(\theta.\text{magnet})} = 0,0051$ detik pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Lama waktu $t_{(\theta.\text{magnet})}$ pada kecepatan putar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$

$V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	$t_{(\theta.\text{magnet})}$	$\omega t_{(\text{magnet})}$	$\theta_{(\text{magnet})}$
1300 rpm	0,0051 detik	1/9 putaran	0^0 s/d 40^0

Hasil pengukuran kecepatan putar magnet permanen sebesar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})} = 1300$ rpm seiring lintasan putaran sudut fasa magnet dengan jangkauan sudut $\theta_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat dengan lama waktu tempuh parameter $t_{(\text{magnet})}$ pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Lama waktu $t_{(\theta, \text{magnet})}$ terhadap kecepatan putar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$

$V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	$t_{(\text{magnet})}$	$\omega t_{(\text{magnet})}$	$\theta_{(\text{magnet})}$
1300 rpm	0,0051 detik	1/9 putaran	40 derajat
	0,0038 detik	1/12 putaran	30 derajat
	0,0026 detik	1/18 putaran	20 derajat
	0,0013 detik	1/36 putaran	10 derajat

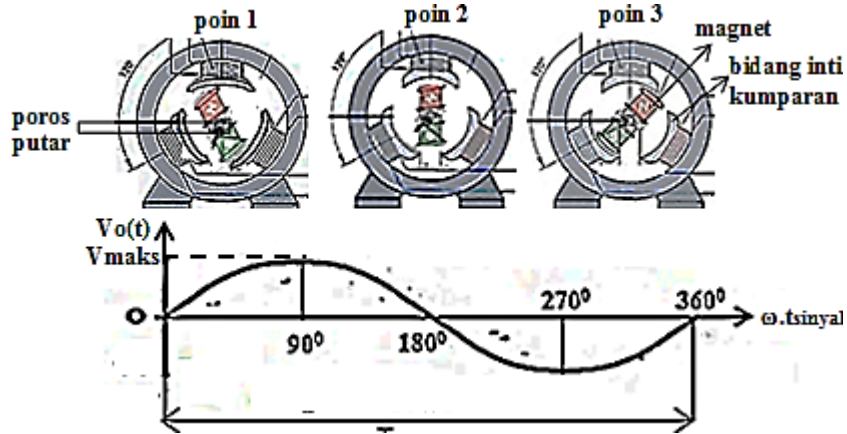
Hasil analisis penelitian ini pengukuran kecepatan putar magnet permanen sebesar $V_{\text{rpm}(\text{magnet})} = 1300$ rpm seiring dengan jangkauan putaran sudut fasa magnet mencapai sebesar 1/9 putaran menimbulkan perubahan fluks medan magnet (ϕ) per satuan waktu t parameter $d\phi/dt$ di sekitar kumparan spul stator sesuai perumusan matematis pada persamaan (3). Perubahan fluks medan magnet membangkitkan induksi ggl menghasilkan pengukuran tegangan sinyal ac pada spul stator pada pembangkit listrik alternator. Parameter hasil tegangan sinyal ac output pada spul stator terdiri dari parameter tegangan $V(t)$, tegangan V_m , waktu $t_{(\text{sinyal})}$ dan perioda sinyal ac parameter $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$. Parameter hasil tegangan sinyal ac output pada spul stator terdiri dari parameter tegangan $V(t)$, tegangan V_m dan lama sinyal ac $t_{(\text{sinyal})}$ pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Tegangan sinyal $V(t)$ fungsi perioda $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$

$t_{(\text{sinyal})}$	$V(t)$	$\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$	Keterangan
T	0 volt	360 derajat	1 perioda
1/2 T	0 volt	180 derajat	1/2 perioda
1/4 T	170,2 volt	90 derajat	1/4 perioda

Lintasan putaran sudut fasa magnet dengan jangkauan sudut $\theta_{(\text{magnet})} = 0$ derajat s/d 40 derajat menghasilkan satu perioda sinyal ac dengan jangkauan sudut derajat $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})} = 0$ derajat s/d 360 derajat. Hal ini putaran sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ di sekitar jangkauan sudut busur lingkaran bidang inti sebesar 0 derajat s/d 40 derajat di lintasi oleh magnet permanen rotor dikonversikan menghasilkan tegangan sinyal ac dengan perioda sinyal ac sebesar 0 derajat s/d 360 derajat. Hasil putaran sudut $\theta_{(\text{magnet})} = 40$ derajat melintasi busur lingkaran bidang inti di konversikan menghasilkan perioda sinyal ac sebesar $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})} = 360^0$, maka analisis besarnya nilai tegangan sinyal ac adalah $V(t) = 110 \text{ Sinus}(360^0) = 0$ volt. Dilanjutkan dengan putaran sudut $\theta_{(\text{magnet})} = 30$ derajat melintasi busur lingkaran bidang inti di konversikan menghasilkan perioda sinyal ac sebesar

$\omega \cdot t_{(\text{sinyal})} = 270^0$, maka analisis besarnya nilai tegangan sinyal ac adalah $V(t) = 110 \text{ Sinus } (270^0) = -170,2 \text{ volt}$. Analisis konversi tegangan sinyal ac satu perioda putaran sudut fasa magnet permanen rotor melintasi bidang inti spul stator pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Tegngan $V(t)$ terhadap putaran sudut fasa magnet

Posisi jangkauan putaran sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ mulai dari 0 derajat s/d 40 derajat melintasi lingkaran bidang inti spul stator di konverikan terhadap perioda sinyal ac parameter $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$ dengan jangkauan mulai dari $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})} = 0$ derajat s/d 360 derajat. Pada posisi putaran sudut $\Theta_{(\text{magnet})} = 10$ derajat di konversikan ke perioda sinyal ac sebesar $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})} = 90$ derajat, maka hasil perhitungan tegangan $V_1(t) = 110 \text{ Sinus } (90^0) = 110 \text{ volt ac}$. Kemudian pada posisi putaran sudut $\Theta_{(\text{magnet})} = 20$ derajat di konversikan ke perioda sinyal ac sebesar $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})} = 180$ derajat, maka hasil perhitungan tegangan $V_2(t) = 110 \text{ Sinus } (180^0) = 0 \text{ volt}$. Berikutnya posisi putaran sudut $\Theta_{(\text{magnet})} = 30$ derajat dikonversikan ke perioda sinyal ac mencapai $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})} = 270$ derajat hasil perhitungan tegangan $V_3(t) = 110 \text{ Sinus } (270^0) = -110 \text{ volt ac}$. Rekapitulasi konversi sudut $\theta_{(\text{magnet})}$ terhadap perioda sinyal ac parameter $\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$ menghasilkan output tegangan sinyal ac parameter $V(t)$ pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil konversi tegangan sinyal $V(t)$ terhadap putaran $\theta_{(\text{magnet})}$

Parameter putaran magnet rotor			Parameter tegangan sinyal ac		
$V_{\text{rpm}(\text{magnet})}$	$t_{(\text{magnet})}$	$\theta_{(\text{magnet})}$	$\omega \cdot t_{(\text{sinyal})}$	$t_{(\text{sinyal})}$	$V(t)$
1500,2	0,0051 detik	40^0	360^0	T_{sinyal}	0 volt
	0,0038 detik	30^0	270^0	$3/4 T_{\text{sinyal}}$	- 110 volt
	0,0026 detik	20^0	180^0	$1/2 T_{\text{sinyal}}$	0 volt
	0,0013 detik	10^0	90^0	$1/4 T_{\text{sinyal}}$	110 volt

B A B V

KESIMPULAN

- (1) Pemahaman prinsip kerja rancang bangun prinsip pembangkit listrik alternator membangkitkan tegangan sinyal ac output berdasarkan prinsip hukum Faraday adalah mengkonversikan energi mekanik putaran sudut fasa magnet permanen rotor menjadi energi listrik tegangan listrik ac pada output spul stator.
- (2) Kecepatan putar magnet rotor $V_{rpm(magnet)}$ membangkitkan fluks medan magnet per satuan waktu detik di sekitar bidang inti kumparan spul stator menghasilkan lama waktu dalam satuan detik sudut putar magnet.
- (3) Putaran sudut fasa magnet permanen rotor mencapai sebesar $V_{rpm(magnet)} = 1300$ rpm dengan jangkauan sudut $\theta_{(magnet)} = 0$ derajat s/d 40 derajat melintasi busur lingkaran bidang inti spul stator menghasilkan pengukuran tegangan sinyal ac output maksimum parameter $V_{o(spul)} = V_m = 110$ volt ac.
- (4) Tegangan sinyal ac fungsi lama waktu t detik dengan perioda sinyal ac parameter $\omega \cdot t_{(sinyal)}$ dinyatakan persamaan tegangan $V(t) = 110 \text{ Sinus } (\omega \cdot t_{(sinyal)})$.
- (5) Putaran sudut fasa magnet dengan jangkauan sudut $\theta_{(magnet)} = 0$ derajat s/d 40 derajat melintasi lingkaran bidang inti spul stator di konversikan menghasilkan jangkauan perioda sinyal ac sebesar $\omega \cdot t_{(sinyal)} = 0$ derajat s/d 360 derajat.
- (6) Putaran sudut fasa magnet jangkauan sudut $\theta_{(magnet)} = 0$ derajat s/d 40 derajat di konversikan ke perioda sinyal ac $\omega \cdot t_{(sinyal)} = 0$ derajat s/d 360 derajat.
- (7) Pada posisi putaran sudut fasa magnet jangkauan sudut putar $\theta_{(magnet)} = 0$ derajat s/d 40 derajat di konversikan pada perioda sinyal ac dengan jangkauan $\omega \cdot t_{(sinyal)} = 0$ derajat s/d 360 derajat yang membangkitkan tegangan sinyal ac fungsi waktu t detik yang mencapai tegangan maksimum diperoleh $V(t) = 110 \text{ Sinus } (\omega \cdot t_{(sinyal)})$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prinsip-kerja-alternator, tersedia di www.teknik-otomotif.com, di akses Maret 2024.
- [2] Alternator-sepeda-motor, tersedia di total-otomotif.com/, diakses Maret 2024.
- [3] C. Amelia Sitorus, Pembuatan Alternator Axial Fluks Coreless menggunakan Magnet Permanen,(2017), Jurnal Teknik ITS Vol.6, No.2 ISSN2337-3520 di akses April 2024.
- [4] Sinusoidal-waveform, tersedia di www.electronics-tutorials/ac-circuits/html
- [5] Rumus-induksi-elektromagnetik, tersedia di www.rumus-hitung.com, di akses Mei 2024.
- [6] Teknik-Tenaga-Listrik/html._Tersedia di: www.scribd.com/doc/19733941/
- [7] H. Prasetijo, & B. Dharmawan (2012). Generator as Low Speed Electric Power Plant. jurnal Dinamika Rekayasa Vol. 8 No. 2 ISSN: 1858-3075.
- [8] Prinsip-kerja-alternator, www.teknik-otomotif.com, diakses Juni 2024.

RINCIAN BIAYA PENELITIAN

1. Pembelian dan Pembuatan peralatan			
Material/bahan peralatan penelitian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
- Alternator	1 unit	600.000	600.000
- Motor listrik ac penggerak rotor magnet	1 unit	200.000	200.000
- Panel rancang bangun alat penelitian	1 unit	2.500.000	2.500.000
- Rpm meter	1 unit	500.000	500.000
Sub Total – 1			3.800.000
2. Uji Coba rancang bangun peralatan penelitian			
Material/bahan peralatan	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
- Pengoperasian peralatan	1 unit	1.500.000	1.500.000
- Uji coba dan pengukuran	1 unit	1.000.000	1.000.000
- Alat ukur multimeter	1 unit	200.000	200.000
- Material pendukung peralatan penelitian	Paket	300.000	300.000
Sub Total – 2			3.000.000
3. Perjalanan Pembelian Alat			
- Perjalanan Serpong – Glodok PP	2	150.000	300.000
- Survey peralatan	Paket	200.000	200.000
- Studi literatur dan pustaka	Paket	600.000	300.000
Sub total – 3			800.000
4. Operasional dan aktivitas penelitian			
- Pulsa internet	4	100.000	400.000
- Pelaksanaan uji cobaalat & pengukuran 2 (dua) orang.	Paket	600.000	600.000
- Penulisan data dan lap. hasil penelitian	Paket	1.500.000	1.000.000
Sub Total – 4			2.000.000
5. Belanja material non operasional			
- Kertas HVS	1 rim	70.000	70.000
- Scan dan Foto copy materi penelitian	1 paket	30.000	30.000
- Foto-copy laporan hasil akhir penelitian + Jilid soft cover.	3 exemplar	100.000	300.000
Sub Total – 5			400.000

Jumlah Total = (Sub. Total-1) + (Sub. Total-2) + (Sub. Total-3) + (Sub. Total-4) + (Sub. Total-5) = Rp 10.000.000.