

**ANALISIS PERBANDINGAN GENERATOR SINKRON TIGA FASA
DAYA KECIL DENGAN EKSITASI SENDIRI DAN EKSITASI
TERPISAH**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk menyelesaikan Strata Satu (S1)
Program Studi Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektro

Oleh :

AHMAD RAMADHAN
105 82 00451 10

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2017

Skripsi

**ANALISIS PERBANDINGAN GENERATOR SINKRON TIGA FASA
DAYA KECIL DENGAN EKSITASI SENDIRI DAN EKSITASI
TERPISAH**



Oleh :

AHMAD RAMADHAN
105 82 00451 10

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2017



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

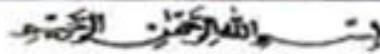
FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>



PENGESAHAN

Skripsi atas nama Ahmad Ramadhan dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 00451 10, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 510/05/A.4-II/VI/38/2017, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari kamis tanggal 31 Agustus 2017

Makassar, 16 Jumadil Akhir 1438 H
02 Oktober 2017 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, SE., MM.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr. -Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.

2. Penguji

a. Ketua : Umar Katu, ST., M.T.

b. Sekertaris : Rahmania, ST., MT.

3. Anggota : 1. Dr. Ir. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Sc. M.Eng

2. Andi Abd. Halik Lateko, S.T., M.T.

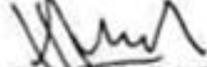
3. Mutmainna, S.T., M.T.

Mengetahui :

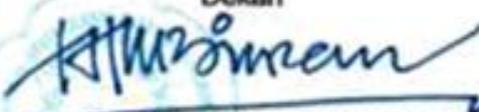
Pembimbing I


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.

Pembimbing II


Ir. AbdUl Hafid, M.T.

Dekan


Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT.

NBM : 855 500



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS PERANCANGAN GENERATOR SINKRON TIGA FASA DAYA KECIL DENGAN EKSITASI SENDIRI**

Nama : AHMAD RAMADHAN

Stambuk : 105 82 00451 10

Makassar, 10 September 2017

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.


Ir. Abdul Hafid, M.T.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro




Umar Katu, ST., M.T.

NBM : 990 410

ANALISIS PERBANDINGAN GENERATOR SINKRON TIGA FASA DAYA KECIL DENGAN EKSTIASI SENDIRI DAN EKSTIASI TERPISAH

Ahmad Ramadhan

*Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Unismuh Makassar,
ramadhanahmad15@yahoo.co.id*

ABSTRAK

Analisis Perbandingan Generator Sinkron Tiga Fasa Daya Kecil Dengan Eksitasi Sendiri dan Eksitasi Terpisah. Dibimbing oleh Zahir Zainuddin dan Abdul Hapid. Generator Sinkron adalah suatu peralatan listrik dengan menggunakan 2 generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik dapat diperoleh di sekitar lingkungan kita. Dalam perancangan ini generator sinkron akan eksitasi terpisah dan eksitasi sendiri dengan menggunakan timer dan kontaktor. tujuan dalam perancangan ini adalah untuk mengetahui perbandingan energi listrik dengan eksitasi sendiri dan ekstasi terpisah yang menggunakan timer dan kontaktor, agar kelak bisa diaplikasikan pada perancangan selanjutnya dan masyarakat. Hasil pengujian Generator 3 fasa eksitasi terpisah menghasilkan putaran 1435 rpm dengan frekuensi 47,83 Hz dan pada saat berbeban frekuensi turun menjadi 47,66 Hz. Sedangkan pada saat generator diberi beban putaran generator turun menjadi 1430 rpm. tegangan keluaran yang dihasilkan generator 7,6 volt sampai 7,8 volt. Tegangan generator setelah dinaikkan menggunakan transformator menjadi 220 volt sampai 229 volt. Sedangkan hasil pengujian Generator 3 fasa yang eksitasi sendiri menghasilkan putaran 1430 rpm dengan frekuensi 47,66 Hz dan pada saat berbeban frekuensi turun menjadi 44,23 Hz. Tegangan keluaran yang dihasilkan generator 7,5 volt sampai 7,7 volt. Tegangan generator setelah dinaikkan menggunakan transformator menjadi 220 volt sampai 226 volt.

Kata Kunci : Generator Sinkron, Eksitasi Sendiri, Eksitasi Terpisah.

ABSTRACT

Synthetic Generation Three-phase Sync Comparison Analysis With Own Excitation and Separate Excitation. Guided by Zahir Zainuddin and Abdul Hapid. Sync generator is an electrical equipment using 2 generators that convert mechanical energy into electrical energy. Mechanical energy can be obtained around our environment. In this design the synchronous generator will excitation separately and excitation itself by using timer and contactor. the purpose of this design is to know the comparison of electrical energy with its own excitation and separate ecstasy using timer and contactor, so that later can be applied to the next design and society. The result of testing of Generator 3 separate excitation phase resulted in 1435 rpm rotation with frequency 47,83 Hz and when load frequency dropped to 47,66 Hz. While at the time of the generator is given the load generator rotation down to 1430 rpm. output voltage generated from 7.7 volts to 7.8 volts. Voltage generator after raised using a transformer to 220 volts to 229 volts. While the results of testing the 3 phase generator excitation itself produces a round of 1430 rpm with a frequency of 47.66 Hz and when the load frequency drops to 44.23 Hz. The output voltage generated from 7.5 volts to 7.7 volts. The generator voltage after being upgraded uses a transformer to 220 volts to 226 volts.

Keywords: Synchronator Generator, Own Excitation, Separate Excitation.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan program studi pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir ini adalah : “ *Analisis perbandingan generator sinkron tiga fasa daya kecil dengan eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah* ”.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan, sebab itu penulis sebagai manusia biasa tidak lupuk dari kesalahan dan kekurangan baik dari segi teknik penulisan maupun dari segi perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan lapang dada atas segala koreksi serta perbaikan guna menyempurnakan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat buat kita semua.

Skripsi ini dapat terwujud atas berkat bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ibunda dan saudara-saudara yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan.

2. Bapak Hamzah Al Imran, ST.,MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Umar Katu, ST.,MT. sebagai Ketua Jurusan dan Ibu Adriani, ST.,MT. sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc. selaku Pembimbing I dan Bapak Ir. Abd. Hapid, MT. selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam bimbingan kami.
5. Bapak dan Ibu dosen serta staf pegawai pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar atas segala waktunya yang telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar terkhusus angkatan 2010 yang dengan keakraban dan persaudaran banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, 20 Oktober 2017

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Batasan Masalah	2
E. Manfaat Penelitian	3
F. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Generator	5
B. Kontruksi Generator Sinkron.....	5
B.1 Rotor	6

B.2 Stator	11
C. Prinsip Kerja Generator	15
D. Frekuensi Pada Generator Sinkron	19
E. Kontraktor dan Prinsip Kerjanya	21
F. TDR/Timer (Time Delay Relay)	25
G. Arus Stator dan Rotor	26
G.1 Arus Stator	26
G.2 Arus Rotor	27
H. Daya Keluaran Sinkron	28
H.1 Hubungan Bintang (Y)	28
H.2 Hubungan Delta (Δ).....	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	30
B. Tahapan Penelitian	30
C. Alat dan Bahan Perancangan.....	31
D. Diagram Alir (Flowchart).....	33

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

A. Umum.....	34
B. Generator Sinkron Tiga Fasa dengan Eksitasi terpisah	35
C. Generator Sinkron Tiga Fasa dengan Eksitasi Sendiri	38
D. Pengujian Alat	42
D.1 Percobaan Generator Sinkron dengan Eksitasi Terpisah.....	42

D.2 Percobaan Generator Sinkron dengan Eksitasi Terpisah.....	44
E. Perhitungan Frekuensi Generator	46
E.1 Pada saat eksitasi terpisah	46
E.2 Pada saat eksitasi sendiri.....	47

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	48
B. Saran	48

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Kontruksi Sederhana Generator Sinkron.....	6
Gambar 2.2	Rotor <i>salient</i> (Kutub Menonjol) Generator Sinkron	8
Gambar 2.3	Rotor Kutub Silinder Generator Sinkron	9
Gambar 2.4	Penampang rotor kutup silindris	9
Gambar 2.5	Konstruksi generator kutup silindris dengan sistem pemasukan arus medan	10
Gambar 2.6	Bentuk kontruksi stator pada generator sinkron.....	12
Gambar 2.7	Inti Stator dan Alur Pada Stator	13
Gambar 2.8	Belitan Satu Lapis Generator Sinkron Tiga Fasa.....	14
Gambar 2.9	Konfigurasi kumparan jangkar & kumparan medan	14
Gambar 2.10	Belitan Berlapis Ganda Generator Sinkron Tiga Fasa	15
Gambar 2.11	Kumparan jangkar pada rotor berputar di sekitar medan magnet yang dihasilkan stator.....	16
Gambar 2.12	Proses terbentuknya gelombang AC pada generator Sinkron	16
Gambar 2.13	Kontraktor	22
Gambar 2.14	Proses Pebentukan Kontaktor.....	25
Gambar 2.15	Rangka Kaki Pada Timer	26
Gambar 3.1	Blok Diagram Alat	31
Gambar 3.2	Flowchart Penelitian.....	33
Gambar 4.1	Rangkaian Alat Secara fisik	35

Gambar 4.2	Rangkaian Generator Sinkron	35
Gambar 4.3	Alternator Mobil.....	36
Gambar 4.4	Motor Kapasitor	37
Gambar 4.5	Transformator.....	37
Gambar 4.6	Power supply	38
Gambar 4.7	Rangkaian alat kontrol eksitasi sendiri.....	39
Gambar 4.8	Rangkaian kontrol	39
Gambar 4.9	Rangkaian daya	39
Gambar 4.10	Kontaktor Tipe S-N10.....	40
Gambar 4.11	Timer Omron Tipe H3BA	41
Gambar 4.12	Power Supply	41
Gambar 4.13	Rangkaian Generator Sinkron Eksitasi Terpisah	42
Gambar 4.14	Grafik hubungan tegangan awal dan tegangan setelah dinaikkan pada Eksitasi Terpisah.....	43
Gambar 4.15	Rangkaian Daya Generator Sinkron Eksitasi Sendiri dan Eksitasi Terpisah.....	44
Gambar 4.16	Grafik hubungan tegangan awal dan tegangan setelah dinaikkan pada eksitasi sendiri.....	46

DAFTAR TABEL

Nomor	Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Simbol-simbol pada Kontaktor	23
Tabel 3.1	Alat Yang Digunakan Dalam Penelitian	32
Tabel 3.2	Bahan Yang Di Gunakan Dalam Penelitian	32
Tabel 4.1	Data Hasil Percobaan Fasa ke Netral pada Eksitasi Terpisah.....	42
Tabel 4.2	Data Hasil Percobaan Tegangan Dinaikkan Fasa ke Netral pada Eksitasi Terpisah	43
Tabel 4.1	Data Hasil Percobaan Fasa ke Netral pada Eksitasi Sendiri	45
Tabel 4.2	Data Hasil Percobaan Tegangan Dinaikkan Fasa ke Netral pada Eksitasi Sendiri.....	44

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Listrik merupakan kebutuhan primer pada perkembangan teknologi . Manusia sangat bergantung pada energi listrik dan supaya energi listrik dapat digunakan dengan baik, di butuhkan suatu sistem pembangkit energi listrik yang handal.

Generator sinkron tiga fasa merupakan sumber utama pembangkit daya listrik yang tidak asing lagi dalam dunia kelistrikan. Hampir seluruh sistem pembangkit tenaga listrik di dunia menggunakan generator sinkron sebagai sumber daya listrik, kecuali pada pembangkit dengan tujuan dan kondisi tertentu. generator sinkron bekerja dengan mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa.

Generator sinkron tiga fasa dengan eksitasi sendiri maupun eksitasi terpisah adalah suatu peralatan listrik yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanis dapat diperoleh dari motor diesel, air, gas, uap, panas bumi dan lain – lain.

Sistem pengoperasian generator tiga fasa ini adalah kontinu dan dengan beban tertentu, yang perlu diperhatikan adalah kemampuan generator tersebut dalam catu daya. Besar daya yang di catu tentunya harus selalu berada dibawah kemampuan catu daya generator tersebut, bila pengoperasian berada diatas kemampuan generator atau kapasitas beban melebihi pada generator tersebut maka akan mengakibatkan pemanasan yang berlebihan pada generator tersebut.

Pemanasan yang berlebihan ini dapat mengakibatkan kerusakan isolasi pada belitan – belitan rotor dan stator generator tersebut. dari pemanasan tersebut akan menentukan rugi daya, rugi pada kumparan medan, dan Rugi kumparan jangkar.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan batasan masalah, dapat di tarik rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan kelayakan dan hasil pengujian terhadap rancangan generator tiga fasa daya kecil dengan eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah.
2. Bagaimana perbandingan tegangan pada generator yang eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah.

C. Tujuan Penelitian

Pembuatan tugas akhir ini mempunyai tujuan yaitu:

1. Untuk mengetahui kinerja rancangan generator sinkron tiga fasa daya kecil dengan eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah.
2. Untuk mengetahui perbandingan alat eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah pada generator sinkron tiga fasa daya kecil.

D. Batasan Masalah

Untuk menghindari ruang lingkup pembahasan yang terlalu luas dan jauh dari sasaran yang ingin dicapai, maka dipandang perlu menbatasi permasalahan yang akan dibahas adalah :

1. Pembahasan ini di khususkan menganalisis perbandingan rancangan generator sinkron tiga fasadengan eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah.
2. Menaikkan tegangan menggunakan transformator.
3. Beban yang digunakan bereksitasi sendiri dan bereksitasi terpisah.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan ialah :

1. Meningkatkan wawasan mahasiswa tentang generator sinkron.
2. Dengan mengetahui perbandingan eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah generator sinkron tiga fasa diharapkan dapat mengaplikasikan ilmu yang telah didapat dibangku perkuliahan.
3. Untuk dapat memperluas ilmu pengetahuan dan wawasan penulis khususnya dalam bidang mesin – mesin listrik.

F. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran umum dari keseluruhan penelitian ini, maka kami membuat dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penelitian serta sistematika.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang pokok pembahasan teori atau materi yang mendasari dalam pelaksanaan penelitian ini.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang tempat pelaksanaan penelitian serta metode yang diterapkan dalam tugas akhir ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas tentang perancangan dan hasil perancangan dari alat tersebut, serta hasil pengujian yang telah penulis lakukan.

BAB V. PENUTUP

Dalam bagian ini akan dibahas penjelasan atau kesimpulan dan saran akhir dari hasil perakitan dan pengujian alat yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Generator

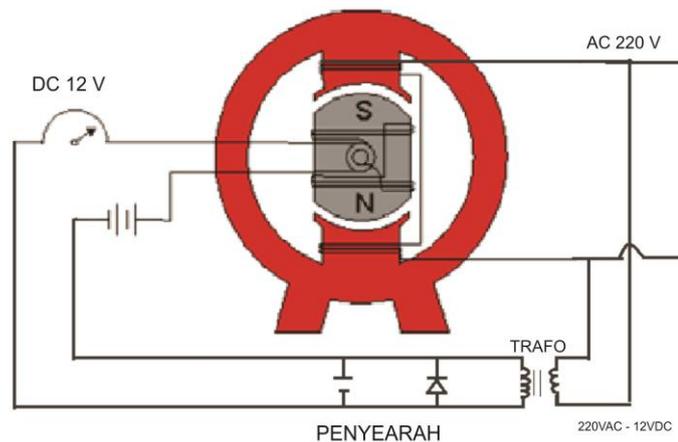
Hampir semua energi listrik dibangkitkan dengan menggunakan generator sinkron. Oleh sebab itu generator sinkron memegang peranan penting dalam sebuah pusat pembangkit listrik. Generator sinkron (sering disebut alternator) merupakan sebuah mesin sinkron yang berfungsi mengubah energi mekanik berupa putaran menjadi energi listrik bolak-balik (AC).

Generator AC (*alternating current*), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Mesin sinkron tidak dapat start sendiri karena kutub-kutub tidak dapat tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala-jala. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron tiga fasa atau generator sinkron satu fasa.

B. Konstruksi Generator Sinkron

Pada prinsipnya, konstruksi Generator sinkron sama dengan motor sinkron. Secara umum, konstruksi generator sinkron terdiri dari stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang

berbentuk simetris dan silindris. Selain itu generator sinkron memiliki celah udara ruang antara stator dan rotor yang berfungsi sebagai tempat terjadinya fluksi atau induksi energi listrik dari rotor ke-stator.



Gambar 2.1 Kontruksi sederhana generator sinkron

B.1 Rotor

Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet yang kemudian tegangan dihasilkan dan akan di induksikan ke stator.

Rotor terdiri dari beberapa komponen utama yaitu :

1. Slip Ring

Slip ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasang ke-slip ring ini kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat (brush) yang letaknya menempel pada slip ring.

2. Sikat

Sebagian dari generator sinkron ada yang memiliki sikat ada juga yang tidak memiliki sikat. Sikat pada generator sinkron berfungsi sebagai saklar putar untuk mengalirkan arus DC ke-kumparan medan pada rotor generator sinkron. Sikat terbuat dari bahan karbon tertentu.

3. Kumparan rotor (kumparan medan)

Kumparan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

4. Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat meletakkan kumparan medan, dimana pada poros tersebut telah terbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor.

Generator sinkron memiliki dua tipe rotor, yaitu :

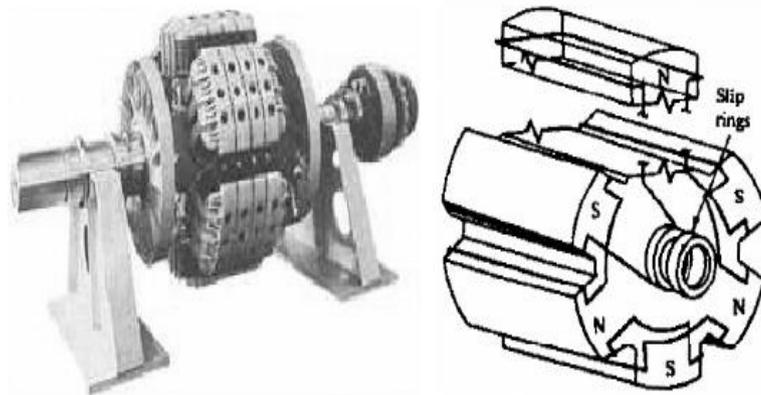
1. Rotor berbentuk kutub sepatu (*salient pole*)
2. Rotor berbentuk kutub dengan celah udara sama rata (*cylindrical*)

1. Rotor kutub menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak. Kumparan dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus *Eddy*, kumparan-kumparan

medannya terdiri dari bilah tembaga persegi. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek.

Selain itu jenis kutub salient pole, kutub magnetnya menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medan dihubung seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan membentuk kutub yang berlawanan. Bentuk kutub menonjol generator sinkron tampak seperti Gambar berikut :



Gambar 2.2 Rotor *salient* (Kutub Menonjol) Generator Sinkron

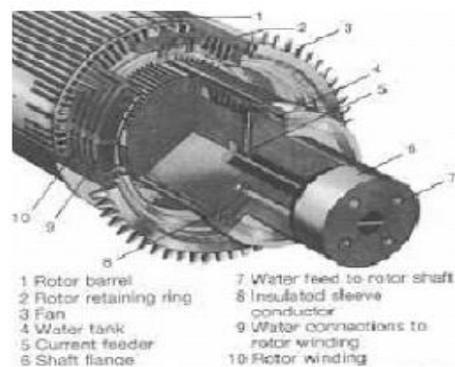
Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena :

1. Konstruksi kutub menonjol tidak terlalu kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.

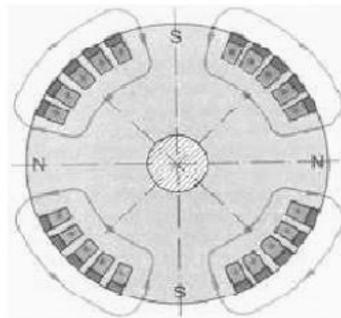
2. Kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi.

2. Rotor kutub tak menonjol (Rotor Silinder)

Rotor tipe ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan juga kumparan medan yang terletak pada rotor maka jumlah kutub pun sedikit yang dapat dibuat. Belitan-belitan medan dipasang pada alur-alur di sisi luarnya dan terhubung seri yang dienerjais oleh eksiter. Gambar bentuk kutub silinder generator sinkron tampak seperti pada Gambar berikut:



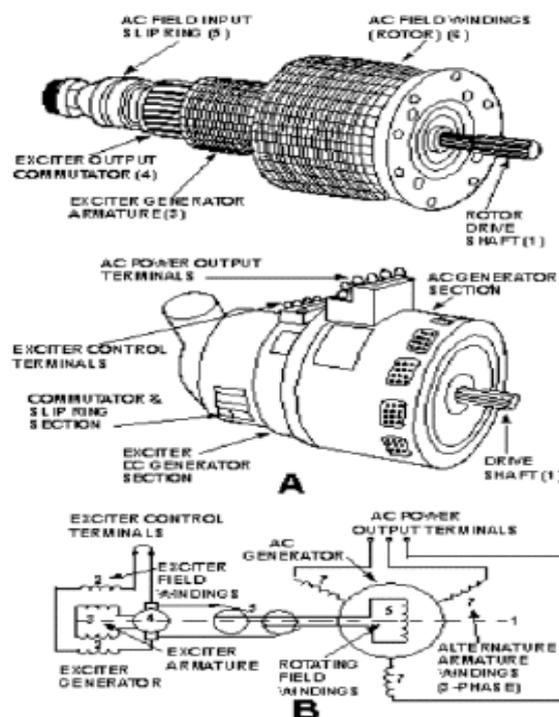
Gambar 2.3 Rotor Kutub Silinder Generator Sinkron



Gambar 2.4 Penampang rotor kutub silindris

Rotor ini biasanya berdiameter kecil dan sumbunya sangat panjang. Konstruksi ini memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol (*salient pole rotor*). Rotor silinder umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran tinggi (1500 atau 3000 rpm) biasanya digunakan untuk pembangkit listrik berkapasitas besar misalnya pembangkit listrik tenaga uap dan gas. Rotor silinder baik digunakan pada kecepatan tinggi karena:

1. Distribusi disekeliling rotor mendekati bentuk gelombang sinus sehingga lebih baik dari kutub menonjol.
2. Konstruksinya memiliki kekuatan mekanik pada kecepatan putar tinggi



Gambar 2.5 Konstruksi generator kutup silindris dengan sistem pemasukan arus medannya

Ada 2 cara pemasukan Arus DC (sebagai arus medan) ke rangkaian medan rotor untuk membentuk medan magnet pada kumparan rotor, yaitu:

- 1) Menyuplai daya DC ke rangkaian rotor dari sumber DC eksternal (biasanya berupa batere dari luar) dengan sarana *slip ring* dan sikat. Bila generator ini hanya menerima sumber DC dari luar untuk *start* awal saja, maka sumber DC sebagai penguat kumparan medan selanjutnya diambil dari keluaran generator itu sendiri (setelah sumber dari batere dilepas) dengan cara merubah keluaran AC generator ini menjadi DC (disearahkan sebelum dimasukkan ke kumparan medan pada rotor)
- 2) Menyuplai daya DC dari sumber DC khusus yang ditempelkan langsung pada batang rotor generator sinkron. Sumber DC ini biasanya dari generator DC yang ditempel pada rotor generator sinkron.

B.2 Stator

Stator atau armatur adalah bagian generator yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui armatur, komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder. dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak. Armatur selalu diam (tidak bergerak). Oleh karena itu, komponen ini juga disebut dengan stator. Lilitan armatur generator dalam wye dan titik netral dihubungkan ke tanah. Lilitan dalam wye dipilih karena:

1. Meningkatkan daya output.

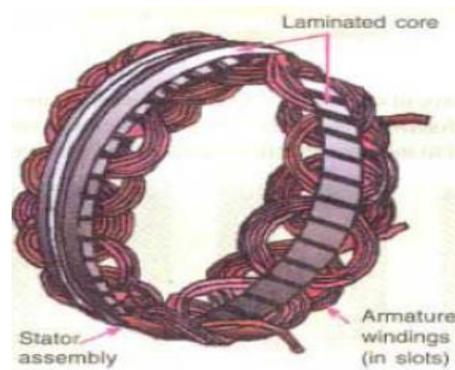
2. Menghindari tegangan harmonik, sehingga tegangan line tetap sinusoidal dalam kondisi beban apapun. Dalam lilitan wye tegangan harmonik ketiga

masing-masing fasa saling meniadakan, sedangkan dalam lilitan delta tegangan harmonik ditambahkan. Karena hubungan delta tertutup, sehingga membuat sirkulasi arus harmonik ketiga yang meningkatkan rugi-rugi.



Gambar 2.6 Bentuk konstruksi stator pada generator sinkron

Stator dari mesin sinkron terbuat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk laminasi untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Dengan inti ferromagnetik yang bagus berarti permeabilitas dan resistivitas dari bahan tinggi. Gambar berikut memperlihatkan alur stator tempat kumparan jangkar.



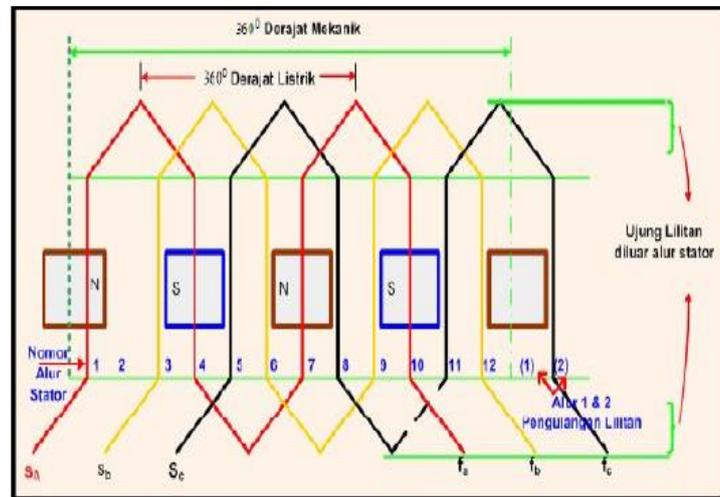
Gambar 2.7 Inti Stator dan Alur Pada Stator

Ada dua jenis belitan stator yang banyak digunakan untuk generator sinkron 3 fasa, yaitu:

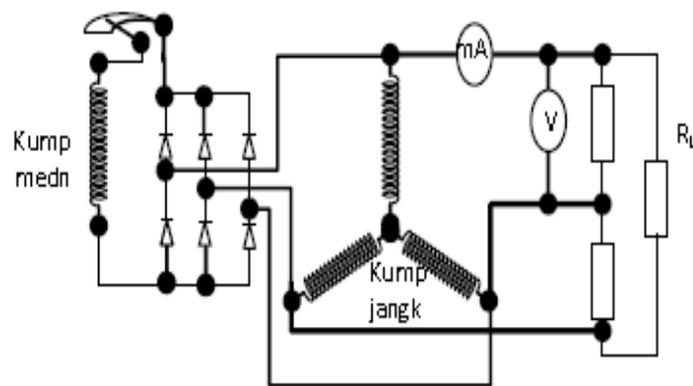
1. Belitan satu lapis (*Single Layer Winding*).
2. Belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*).

1. Belitan satu lapis (*Single Layer Winding*).

Memperlihatkan belitan satu lapis karena hanya ada satu sisi lilitan di dalam masing - masing alur. Bila kumparan tiga fasa dimulai pada S_a , S_b , dan S_c dan berakhir di F_a , F_b , dan F_c bisa disatukan dalam dua cara, yaitu hubungan bintang dan segitiga. Antar kumparan fasa dipisahkan sebesar 120 derajat listrik atau 60 derajat mekanik, satu siklus ggl penuh akan dihasilkan bila rotor dengan 4 kutub berputar 180 derajat mekanis. Satu siklus ggl penuh menunjukkan 360 derajat listrik.



Gambar 2.8 Belitan Satu Lapis Generator Sinkron Tiga Fasa

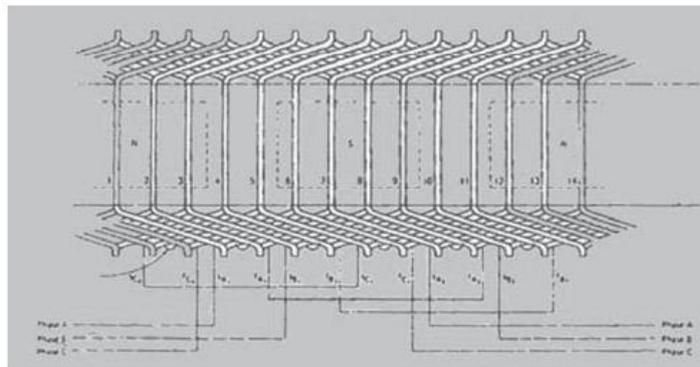


Gambar 2.9 Konfigurasi kumparan jangkar & kumparan medan

2. Belitan berlapis ganda (*Double Layer Winding*).

Kumparan jangkar yang diperlihatkan pada belitan satu lapis hanya mempunyai satu lilitan per kutub per fasa, akibatnya masing – masing kumparan hanya dua lilitan secara seri. Bila alur-alur tidak terlalu lebar, masing-masing penghantar yang berada dalam alur akan membangkitkan tegangan yang sama. Masing – masing tegangan fasa akan sama untuk menghasilkan tegangan per penghantar dan jumlah total dari penghantar per fasa.

Dalam kenyataannya cara seperti ini tidak menghasilkan cara yang efektif dalam penggunaan inti stator, karena variasi kerapatan fluks dalam inti dan juga melokalisir pengaruh panas dalam daerah alur dan menimbulkan harmonik. Untuk mengatasi masalah ini, generator praktisnya mempunyai kumparan terdistribusi dalam beberapa alur per kutub per fasa. Memerlihatkan bagian dari sebuah kumparan jangkar yang secara umum banyak digunakan.



Gambar 2.10 Belitan Berlapis Ganda Generator Sinkron Tiga Fasa

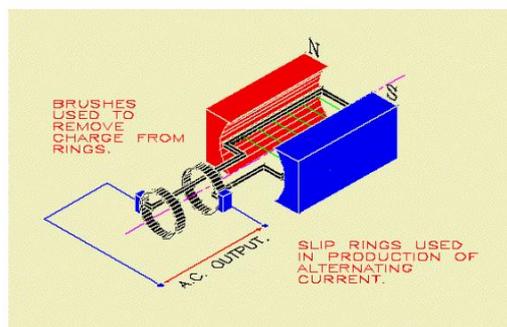
Pada masing masing alur ada dua sisi lilitan dan masing – masing lilitan memiliki lebih dari satu putaran. Bagian dari lilitan yang tidak terletak ke dalam alur biasanya disebut *winding overhang*, sehingga tidak ada tegangan dalam *winding overhang*.

C. Prinsip Kerja Generator

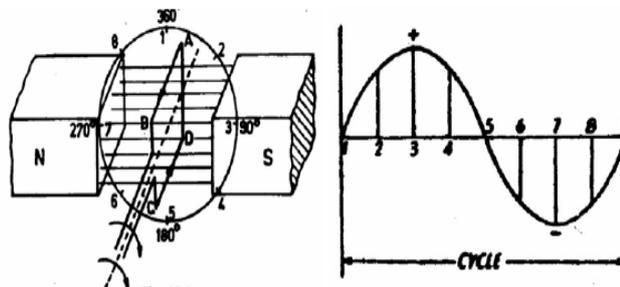
Generator dapat menghasilkan energi listrik karena adanya pergerakan relatif antaran medan magnet homogen terhadap kumparan jangkar pada generator (magnet yang bergerak dan kumpran jangkar diam, atau sebaliknya magnet diam sedangkan kumparan jangkar bergerak). Jadi, jika sebuah kumparan diputar pada

kecepatan konstan pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut. Medan magnet homogen ini bisa dihasilkan oleh kumparan yang dialiri arus DC atau oleh magnet tetap. Contoh bentuk gambaran sederhana proses pembangkitan energi listrik pada generator sinkron dapat diperlihatkan seperti pada gambar

Pada gambar diperlihatkan contoh sederhana sebuah kumparan rotor berputar di sekitar medan magnet homogen yang dihasilkan stator, kemudian tegangan keluaran pada rotor diambil/dilewatkan melalui sepasang *slip ring* (cincin sikat) yang bisa dihubungkan ke beban. Proses terbentuknya gelombang AC yang dihasilkan pada keluaran rotor ini lebih jelasnya diperlihatkan pada gambar



Gambar 2.11 Kumparan jangkar pada rotor berputar di sekitar medan magnet yang dihasilkan stator



Gambar 2.12 Proses terbentuknya gelombang AC pada generator sinkron

Dengan memperhatikan gambar diatas, proses timbulnya GGL induksi pada generator dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Kumparan tembaga berputar diantara magnet permanen N-S.
2. Kedua ujung kumparan dihubungkan dengan Slip Ring (cincin sikat).
3. GGL induksi akan menghasilkan arus (karena adanya beban pada generator) yang mengalir melalui sikat-sikat arang ke beban yang tersambung dengan generator

Ketika kumparan diputar ke kanan, satu sisi kumparan dari kutup warna merah (kita anggap sisi kumparan warna merah) bergerak ke atas sedang sisi lainnya (kumparan dari sisi kutup warna biru, dianggap kumparan warna biru) bergerak ke bawah. Kumparan mengalami perubahan garis gaya nagnet yang makin sedikit, sehingga pada kedua sisi kumparan akan dibangkitkan tegangan yang semakin sedikit pula. Bila alternator diberi beban, maka akan mengalir pula arus listrik yang semakin mengecil mengitari kumparan hingga mencapai posisi kumparan vertical dengan arus menjadi nol karena tegangan yang dibangkitkan juga nol. Pada posisi vertikal kumparan tidak mengalami perubahan garis gaya magnet sehingga tidak ada listrik yang mengalir pada kumparan (gelombang listrik AC beroda pada posisi no 1)

Untuk generator berkapasitas kecil, medan magnet dapat diletakkan pada stator (disebut generator kutub eksternal / *external pole generator*) yang mana energi listrik dibangkitkan pada kumparan rotor. Jika cara ini digunakan untuk generator berdaya besar, maka hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada slip

ring dan karbon sikat. Untuk mengatasi permasalahan ini, maka pada generator berkapasitas besar digunakan tipe generator dengan kutub internal (*internal pole generator*), yang mana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian stator. Bagian dari kumparan generator yang membangkitkan tegangan disebut kumparan jangkar, sedangkan bagian dari kumparan generator yang membangkitkan medan magnet disebut kumparan medan.

Adapun prinsip kerja dari suatu generator sinkron adalah:

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

n = Kecepatan putar rotor (rpm)

p = Jumlah kutub rotor

f = frekuensi (Hz)

3. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

Untuk generator sinkron tiga fasa, digunakan tiga kumparan jangkar yang ditempatkan di stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang besarnya sama tapi berbeda fasa 120° satu sama lain. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

D. Frekuensi pada Generator Sinkron

Kecepatan perputaran generator sinkron akan mempengaruhi frekuensi listrik yang dihasilkan generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC untuk membentuk medan magnet pada rotor. Medan magnet rotor ini bergerak pada searah putaran rotor. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada rotor dengan frekuensi listrik pada stator adalah

$$f_e = \frac{NrP}{120} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

f_e = frekuensi listrik (Hz)

N_r = kecepatan putar rotor (rpm)

p = jumlah kutub magnet pada rotor

Dari rumus di atas terlihat bahwa frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran rotor dan jumlah kutub magnet pada generator. Jika beban generator berubah, akan mempengaruhi kecepatan rotor generator. Perubahan kecepatan rotor ini secara langsung akan mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan generator.

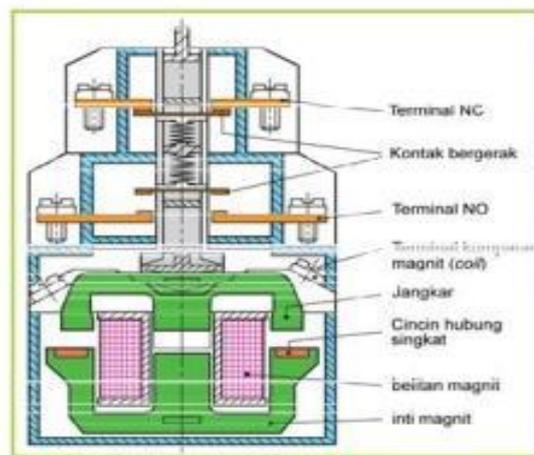
Kecepatan perputaran rotor pada generator sinkron akan sama dengan kecepatan medan magnet generator. Oleh karena rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnetnya, maka generator ini disebut generator sinkron atau lebih dikenal dengan nama *Alternator*. Agar daya listrik dibangkitkan tetap pada frekuensi 50 Hz atau 60 Hz (sesuai standard suatu negara, di Indonesia adalah 50 Hz), maka generator harus berputar pada kecepatan tetap dengan jumlah kutub magnet yang telah ditentukan yang dapat dihitung melalui rumus tersebut Sebagai contoh untuk membangkitkan frekuensi 50 Hz pada generator dua kutub, maka rotor harus berputar dengan kecepatan 3000 rpm, atau untuk membangkitkan frekuensi 50 Hz pada generator empat kutub, maka rotor harus berputar pada kecepatan 1500 rpm.

E. Kontaktor dan Prinsip Kerjanya

Motor-motor listrik yang mempunyai daya besar harus dapat dioperasikan dengan momen kontak yang cepat agar tidak menimbulkan loncatan bunga api pada alat penghubungnya. Selain itu, dalam pengoperasian yang dapat dilengkapi dengan beberapa alat otomatis dan alat penghubung yang paling mudah adalah dengan menggunakan sakelar magnet yang biasa dikenal dengan kontaktor magnet. Kontaktor magnet yaitu suatu alat penghubung listrik yang bekerja atas dasar magnet yang dapat menghubungkan antara sumber arus dengan muatan. Bila inti koil pada kontaktor diberikan arus, maka koil akan menjadi magnet dan menarik kontak sehingga kontaknya menjadi terhubung dan dapat mengalirkan arus listrik.

Kontaktor magnet atau saklar magnet merupakan saklar yang bekerja berdasarkan prinsip kemagnetan. Artinya sakelar ini bekerja jika ada gaya kemagnetan pada penarik kontakannya. Magnet berfungsi sebagai penarik dan sebagai pelepas kontak-kontaknya dengan bantuan pegas pendorong. Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan dan memutuskan arus dalam keadaan kerja normal. Arus kerja normal ialah arus yang mengalir selama pemutusan tidak terjadi. Sebuah kontaktor dapat memiliki koil yang bekerja pada tegangan DC atau AC. Pada tegangan AC, tegangan minimal adalah 85% tegangan kerja, apabila kurang maka kontaktor akan bergetar. Ukuran dari kontaktor ditentukan oleh batas kemampuan arusnya. Biasanya pada kontaktor terdapat beberapa kontak, yaitu kontak normal membuka (*Normally Open* = NO) dan kontak normal

menutup (*Normally Close* = NC). Kontak NO berarti saat kontaktor magnet belum bekerja kedudukannya membuka dan bila kontaktor bekerja kontak itu menutup/menghubung. Sedangkan kontak NC berarti saat kontaktor belum bekerja kedudukan kontakannya menutup dan bila kontaktor bekerja kontak itu membuka. Jadi fungsi kerja kontak NO dan NC berlawanan. Kontak NO dan NC bekerja membuka sesaat lebih cepat sebelum kontak NO menutup.



Gambar 2.13 Kontaktor

Pada gambar diatas, kontak 3 dan 4 adalah NC sedangkan kontak 1 dan 2 adalah NO. Apabila tidak ada arus maka kontak akan tetap diam. Tetapi apabila arus dialirkan dengan menutup *switch* maka kontak 3 dan 4 akan menjai NO sedangkan kontak 1 dan 2 menjadi NC. Fungsi dari kontak-kontak dibuat untuk kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama terdiri dari kontak NO dan kontak bantu terdiri dan kontak NO dan NC. Konstruksi dari kontak utama berbeda dengan kontak bantu, yang kontak utamanya mempunyai luas permukaan yang luas dan tebal. Kontak bantu luas permukaannya kecil dan tipis. Kotaktor pada umumnya memiliki kontak utama untuk aliran 3 fasa. Dan juga

memiliki beberapa kontak bantu untuk berbagai keperluan. Kontak utama digunakan untuk mengalirkan arus utama, yaitu arus yang diperlukan untuk beban, misalnya motor listrik, pesawat pemanas dan sebagainya. Sedangkan kontak bantu digunakan untuk mengalirkan arus bantu yaitu arus yang diperlukan untuk kumparan magnet, alat bantu rangkaian, lampu lampu indikator, dan lain-lain. Notasi dan penomoran kontak-kontak kontaktor sebagai berikut:

Tabel 2.1 Simbol-simbol pada Kontaktor

Kontak	Notasi		Jenis Kontak	Penggunaan
	Huruf	Angka		
Utama	L ₁ L ₂ L ₃	1 3 5	NO	Ke Jala-jala
	R S			
	T	2 4 6	NO	Ke Motor
	U V			
	W			
Bantu	-	13 14	NO	Pengunci
		19 20	NO	Fungsi Lain
		31 32		
		Dsb		
		21 22 41 42 dsb	NC	Pengaman dan Fungsi lain
Kumparan Magnet (COIL)	Notasi Huruf		a - b A ₁ - A ₂	

Dewasa ini kontaktor magnet lebih banyak digunakan di bidang industri dan laboratonium. Hal ini karena kontaktor mudah dikendalikan dari jarak jauh. Selain itu, dengan perlengkapan elektronik dapat mengamankan rangkaian listrik. Keuntungan menggunakan kontaktor ialah:

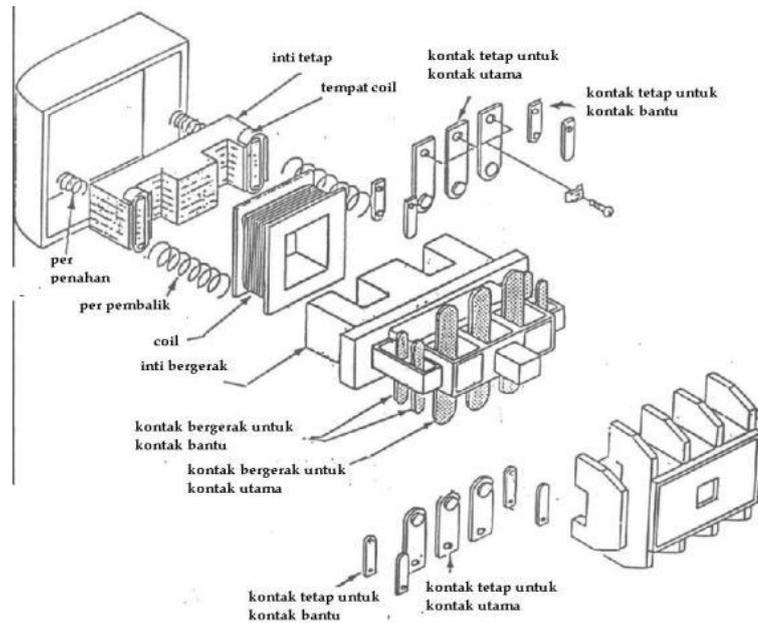
1. Pelayanannya mudah
2. Momen kontak cepat

Sedangkan Kerugiannya:

1. Mahal harganya,
2. Perawatannya cukup sukar,
 1. Jika saklar putus sedangkan kontaktor dalam keadaan bekerja, maka kontaktor akan lepas dengan sendirinya. Kontaktor tidak akan bekerja lagi walaupun sakelar induk telah disambung kembali sebelum tombol start ditekan lagi.

Tidak seperti sakelar mekanis, dalam merakit dan menggunakan kontaktor harus dipahami rangkaian pengendali (control) dan rangkaian utama. Rangkaian pengendali ialah rangkaian yang hanya menggambarkan bekerjanya kontaktor dengan kontak-kontak bantuannya. Sedangkan rangkaian utama ialah rangkaian yang khusus memberikan hubungan beban dengan sumber tegangan (jalar-jala) 1 fasa atau 3 fasa.

Bila kedua rangkaian itu dipadu akan menjadi rangkaian pengawatan (circuit diagram).



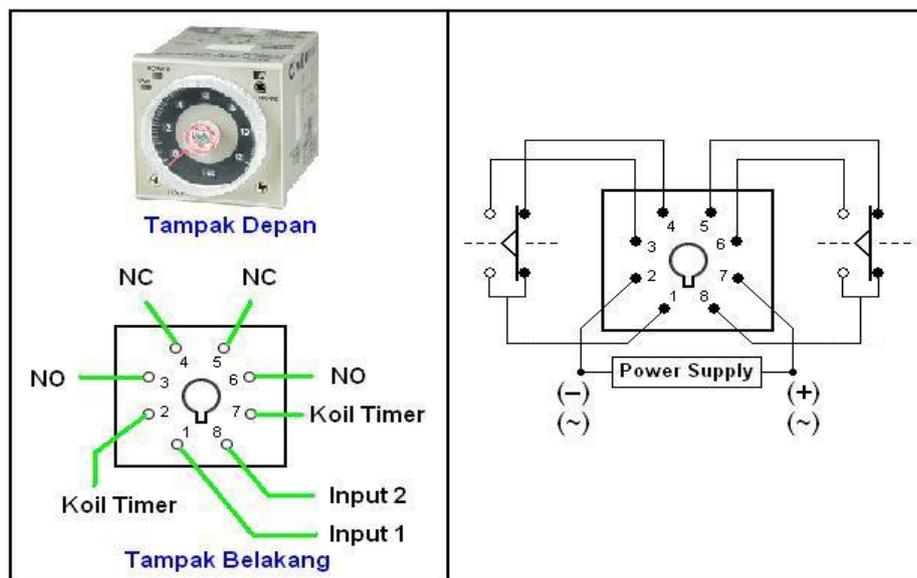
Gambar 2.14 Proses Pembentukan Kontaktor

F. TDR/Timer (Time Delay Relay)

TDR (Time Delay Relay) sering disebut juga relay timer atau relay penunda batas waktu banyak digunakan dalam instalasi motor terutama instalasi yang membutuhkan pengaturan waktu secara otomatis. Peralatan kontrol ini dapat dikombinasikan dengan peralatan kontrol lain, contohnya dengan MC (Magnetic Contactor), Thermal Over Load Relay, dan lain-lain.

Fungsi dari peralatan kontrol ini adalah sebagai pengatur waktu bagi peralatan yang dikendalikannya. Timer ini dimaksudkan untuk mengatur waktu hidup atau mati dari kontaktor atau untuk merubah sistem bintang ke segitiga dalam delay waktu tertentu. Timer dapat dibedakan dari cara kerjanya yaitu timer yang bekerja menggunakan induksi Magnet dan menggunakan rangkaian

elektronik. Timer yang bekerja dengan prinsip induksi motor listrik akan bekerja bila motor listrik mendapat tegangan AC sehingga memutar gigi mekanis dan menarik serta menutup kontak secara mekanis dalam jangka waktu tertentu. Sedangkan relay yang menggunakan prinsip elektronik, terdiri dari rangkaian R dan C yang dihubungkan seri atau paralel. Bila tegangan sinyal telah mengisi penuh kapasitor, maka relay akan terhubung. Lamanya waktu tunda diatur berdasarkan besarnya pengisian kapasitor. Bagian input timer biasanya dinyatakan sebagai kumparan dan bagian outputnya sebagai kontak NO atau NC.



Gambar 2.15 Rangkaian Kaki Pada Timer

Pada umumnya timer memiliki 8 buah kaki yang 2 diantaranya merupakan kaki koil sebagai contoh pada gambar yaitu kaki 2 dan 7, sedangkan kaki yang lain akan berpasangan NO dan NC, kaki 1 akan NC dengan kaki 4 dan NO dengan kaki 3. Sedangkan kaki 8 akan NC dengan kaki 5 dan NO dengan kaki 6. Kaki kaki tersebut akan berbeda tergantung dari jenis relay timernya.

G. Arus Stator dan Rotor

G.1 Arus Stator

Rugi – rugi pada belitan akhir dan belitan terselubung persatuan volumee didapatkan besaran rugi – rugi maksimum tembaga :

$$P_{cu} = 3 I_s^2 \times R_s \dots\dots\dots (3)$$

$$I_s^2 = \frac{P_{cu}}{3.R_s} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

$$P_{cu} = \text{Rugi – rugi tembaga stator (Watt)}$$

$$I_s = \text{Arus stator maksimum (Ampere)}$$

$$R_s = \text{Resistansi belitan stator (Ohm)}$$

G.2 Arus Rotor

Oleh karena pemanasan rotor sama dengan pemanasan stator maka persamaan pembatasnya pun mempunyai bentuk yang sama dimana:

$$P_{cu} = I_r^2 \times R_r \dots\dots\dots (5)$$

$$I_r^2 = \frac{P_{cu}}{R_r} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

$$P_{cu} = \text{Rugi – rugi belitan maksimum belitan rotor (watt)}$$

$$I_r^2 = \text{Arus rotor maksimum (ampere)}$$

$$R_r = \text{Resistansi belitan rotor (Ohm)}$$

H. Daya Keluaran Generator Sinkron

Bila ketiga kumparan armetur tidak dihubungkan atau saling terpisah maka tiap fasa atau rangkain membutuhkan dua konduktor sehingga jumlah konduktor enam, artinya setiap kabel transmisi enam konduktor. Sistem ini menjadi rumit dan mahal tidak sesuai dengan keadaan untuk penhematan konduktor. Metode penhubung kumparan ini meliputi antara lain :

H.1 Hubungan Bintang (Y)

Pada hubungan ini ujung coil dihubungkan bersama ketitik netral. Tagangan yang diinduksikan tiap belitan disebut tegangan fasa dan arusnya arus fasa . sedangkan antara dua terminal disebut tegangan line (V_L). Dan arus yang mengalir adalah arus line (I_L), maka daya keluaran generator adalah :

$$\text{Daya Total (P}_t\text{)} = 3 \times \text{daya fasa} \dots\dots\dots (7)$$

$$P_{\text{fasa}} = V_{\text{ph}} \times I_L \cos \phi \dots\dots\dots (8)$$

$$P_t = 3 \times V_{\text{ph}} \times I_L \cos \phi \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

$$V_{\text{ph}} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (10)$$

Maka daya total menjadi :

$$P_t = 3 \times \frac{V_L}{\sqrt{3}} \times I_L \cos \phi \dots\dots\dots (11)$$

$$P_t = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \cos \phi \dots\dots\dots (12)$$

H.2 Hubungan Delta (Δ)

$$\text{Daya Total (P}_t\text{)} = 3 \times V_L \times I_{ph} \cos \phi \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{Daya Perphasa} = V_L \times I_{ph} \cos \phi \dots\dots\dots (14)$$

Diman :

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (15)$$

$$I_{ph} = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \times V_L \times \cos \phi \dots\dots\dots (16)$$

$$P_t = \sqrt{3} \times I_L \times V_L \dots\dots\dots (17)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Waktu yang ingin dicapai pada penelitian ini selama 2 bulan untuk menganalisis Perbandingan Generator Sinkron Tiga Fasa Daya Kecil dengan Eksitasi Sendiri dan Eksitasi Terpisah.

2. Tempat penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di laboratorium teknik elektro Universitas Muhammadiyah Makassar

B. Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian analisis perancangan generator sinkron tiga fasa daya kecil dengan eksitasi sendiri, yaitu :

1. Studi pendahuluan

Mengadakan bimbingan dengan dosen pembimbing mengenai judul dan topik pembahasan yang diarahkan untuk dapat menganalisis perancangan generator sinkron tiga fasa daya kecil dengan eksitasi sendiri.

2. Data kepustakaan

Pengumpulan data-data dengan jalan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, tulisan-tulisan, dan bahan-bahan kuliah yang

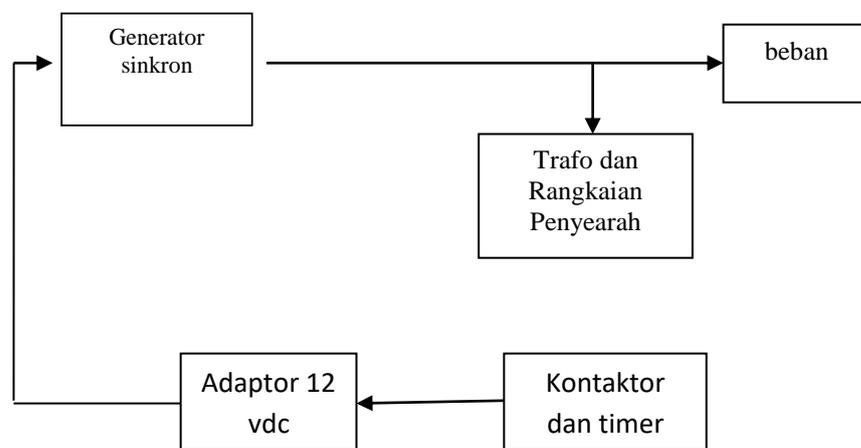
diperoleh selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penulisan tugas akhir ini.

3. Penelitian Lapangan (*field research*)

Penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap objek penelitian yaitu analisis perbandingan generator tiga fasa dengan eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah.

4. Tahap Perancangan

Dalam perancangan alat tugas akhir yang berjudul “Analisis pembangkit listrik tenaga kincir magnet dengan daya kecil”.maka dibuat blok diagram ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini :



Gambar 3.1 Blok diagram alat

C. Alat dan Bahan Perancangan

Adapun alat-alat yang sangat penting pada analisis perbandingan

generator sinkron tiga fasa daya kecil dengan eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah adalah sebagai berikut :

a. Alat

Tabel 3.1 Alat yang di gunakan dalam penelitian

No	Alat	Jumlah
1	Obeng	1 buah
2	Tang kombinasi	1 buah
3	Fiber	1x1 Meter
4	Bor	1 buah
5	Mistar	1 buh
6	Gergaji kayu	1 buah
7	Gergaji besi	1 buah

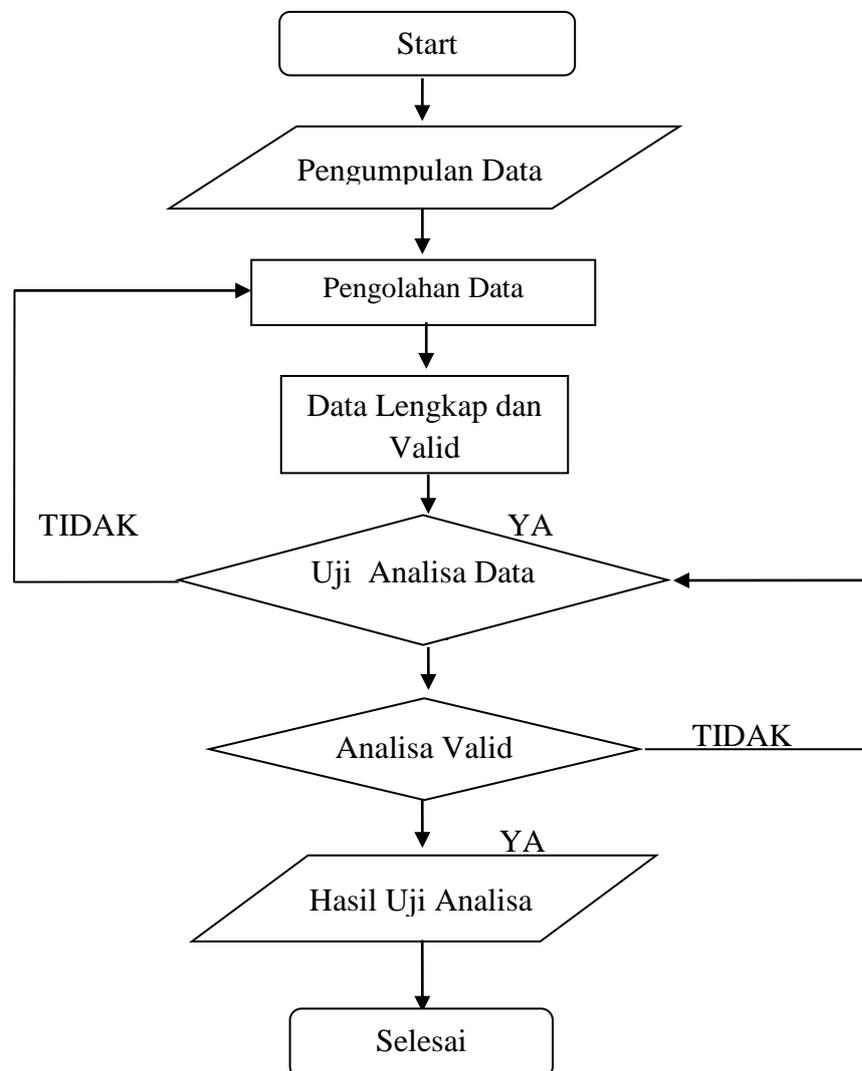
b. Bahan

Tabel 3.2 Bahan yang di gunakan dalam penelitian

No	Bahan	Jumlah
1	Generator Sinkron	2 buah
2	Kontaktor	1 Buah
3	Timer Omron	1 Buah
4	Transformator	4 Buah
5	Power Supply IC 7812	1 Buah
6	Pusbotten	2 Buah
7	Kabel	Secukupnya
8	Terminal	2 Buah

D. Diagram alir (Flowchart)

Flowchart adalah suatu metode untuk menggambarkan tahap– tahap pemecahan masalah dengan mempresentasikan simbol – simbol tertentu yang mudah dimengerti. Tujuan utama dari penggunaan flowchart adalah untuk menggambarkan suatu tahapan penyelesaian masalah secara sederhana , terurai dan jelas menggunakan symbol – symbol yang standart.



Gambar 3.2 Flowchart Penelitian

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

A. Umum

Langkah awal dilakukan dalam menganalisis rancangan generator sinkron tiga fasa daya kecil dengan eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah, adalah merancang generator sinkron tiga fasa dan merancang sistem kontrol eksitasi pada generator agar terjadi eksitasi sendiri pada generator. Selanjutnya melakukan pengujian generator eksitasi terpisah dan pada saat eksitasi sendiri.

1. Percobaan Rangkaian Generator Sinkron dengan Eksitasi terpisah

Pada percobaan generator sinkron dengan eksitasi sendiri, rotor di putar dengan oleh mesin penggerak. kumparan medan diberi arus searah, sedangkan timer dan kontaktor akan bekerja dengan waktu yang telah ditentukan. Pada percobaan ini mesin sinkron akan bekerja sebagai generator dan mesin penggerak mulanya digunakan motor AC. Dengan memberikan putaran pada rotor generator sinkron dan rotor diberi arus I, maka tegangan akan terinduksikan dengan kumparan jangkar yang terdapat di stator. Bila generator sinkron dalam keadaan berputar maka arus pada generator 3 fasa akan mengalir pada timer dan kontaktor. Oleh karena itu dalam keadaan beberapa detik generator sinkron akan eksitasi sendiri.

2. Percobaan Rangkaian Generator Sinkron dengan Eksitasi Sendiri

Pada percobaan eksitasi sendiri dilakukan bertujuan untuk menentukan, menggambarkan arus dan tegangan generator 3 fasa yang berputar pada

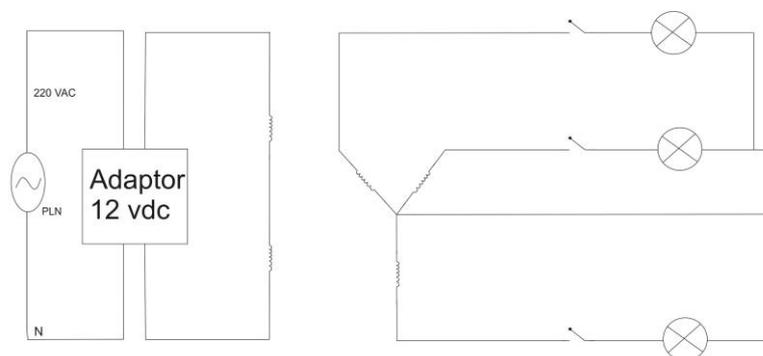
putaran nominal dalam keadaan eksitasi sendiri dan cara kerja sistem kontrol eksitasi sendiri yang menggunakan kontaktor dan timer.

B. Generator Sinkron Tiga Fasa dengan Eksitasi Terpisah

Untuk menganalisis rancangan generator sinkron tiga pаса daya kecil dengan eksitasi terpisah yaitu melakukan memodifikasi sebuah alternator. Memodifikasi sebuah alternator menggunakan alat seperti alternator mobil, Motor kapasitor, Transformator dan , Power supply.



Gambar 4.1 Rangkaian alat secara fisik



Gambar 4.2 Rangkaian Generator Sinkron dengan Eksitasi Terpisah

Pada gambar 4.2 diatas yaitu rangkaian generator sinkron dengan eksitasi terpisah menjelaskan bahwa yang dimaksud disini eksitasi terpisah pada generator tiga fasa menggunakan generator kecil sebagai pembangkit arus DC untuk generator utama rotor dari generator kecil disearahkan ke rotor generator utama sehingga pada lilitan stator generator utama menghasilkan tegangan listrik. Tegangan yang dibutuhkan untuk generator kecil yaitu tegangan dari PLN yang kemudian diubah ketegangan dc dengan menggunakan adaptor 12 vdc.

Alat untuk memodifikasi alternator DC menjadi generator tiga fasa antara lain

1. Alternator mobil

Alternator mobil merupakan salah satu aplikasi dari generator dc. Alternator sendiri terdiri dari komponen-komponen seperti gabungan kutub magnet yang dinamakan rotor, yang didalamnya terdapat kumparan kawat magnet yang dinamakan stator.



Gambar 4.3 Alternator mobil

2. Motor kapasitor

Motor ini memiliki kapasitor mulai ketik seri dengan bantu berliku seperti motor mulai kapasitor untuk tinggi mulai torsi.juga memiliki tipe menjalankan kapasitor yang ada di seri dengan tambahan berliku setelah kapasitor mulai diaktifkan keluar dari sirkuit.



Gambar 4.4 Motor Kapasitor

3. Transformator

Komponen yang berfungsi untuk mentransfer sumber energy atau tenaga dari suatu rangkaian AC ke rangkaian lainnya. Perpindahan/transfer energy tersebut bisa menaikkan atau menurunkan energy yang ditransfer, hal ini disesuaikan dengan kebutuhan. Untuk menaikkan tegangan dibutuhkan trafo step-up sedangkan untuk menurunkan tegangan dibutuhkan trafo step-down.



Gambar 4.5 Transformator

4. Power supply

Power supply yang digunakan dalam perancangan generator sinkron adalah :

Model : LTC-96W

Input : 110 V – 240 Volt AC

: 50/60 Hz 1,5 A MAX

Output : 12/15/16/18/19 /20/22/24 Volt DC

: 4,5 A MAX



Gambar 4.6 Power Supply

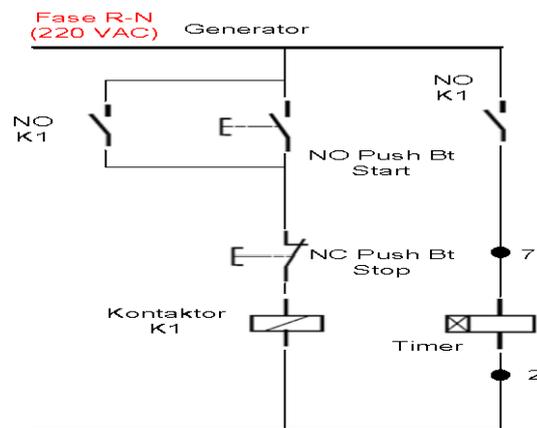
power supply ini sebenarnya menggunakan prinsip penyearah tegangan AC dari 220 Volt ke tegangan DC 12 Volt, Prinsip penyearah power supply banyaksama dengan charger HP.

C. Generator Sinkron Tiga Fasa dengan Eksitasi Sendiri

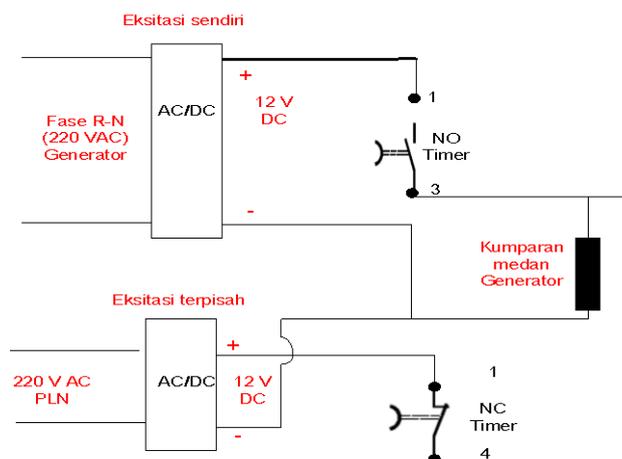
Untuk analisis rancangan generator sinkron tiga fasa daya kecil dengan eksitasi sendiri yaitu menggunakan alat-alat kontrol. Memodifikasi sebuah kontrol generator sinkron eksitasi sendiri menggunakan alat seperti Kontaktor (Magnetik Contactor), Timer (*Time Delay Relay*), transformator, dan Power supply.



Gambar 4.7 Rangkaian alat kontrol eksitasi sendiri



Gambar 4.8 Rangkaian kontrol



Gambar 4.9 Rangkaian daya

Alat untuk memodifikasi kontrol menjadi generator tiga fasa dengan eksitasi sendiri antara lain

1. Kontaktor (Magnetik Contactor)

Kontaktor adalah sebuah alat pengontrol dengan prinsip kerja mekanis magnetik(dasar NO dan NC) dengan cara membuat magnet untuk menggerakkan penutup dan pembuka saklar internal didalamnya. kontaktor standar merk Mitsubishi (SN-10) yang terdiri dari 8 buah terminal. 6 buah terminal utama (3 input dan 3 output), 2 buah terminal input dan output NO, 2 buah terminal koil (lilitan) A1 dan A2.



Gambar 4.10 Kontaktor Tipe S-N10

2. Timer /TDR (*Time Delay Relay*)

Timer Pada umumnya memiliki 8 buah kaki yang 2 diantaranya merupakan kaki coil sebagai contoh adalah TDR type H3BA dengan 8 kaki yaitu kaki 2 dan 7 adalah kaki coil, sedangkan kaki yang lain akan berpasangan NO dan NC, kaki 1 akan NC dengan kaki 4 dan NO dengan kaki 3. Sedangkan kaki 8 akan NC

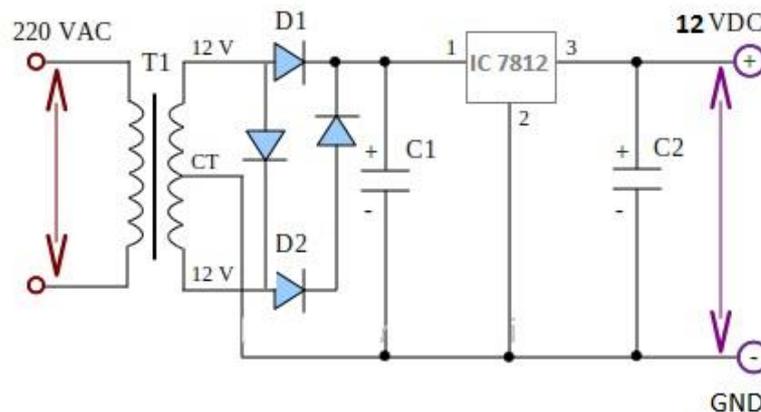
dengan kaki 5 dan NO dengan kaki 6. Kaki kaki tersebut akan berbeda tergantung dari jenis relay timernya.



Gambar 4.11 Timer Omron Tipe H3BA

3. Power supply

Power supply yang digunakan dalam perancangan ini adalah rangkaian power supply dengan menggunakan ic 7812 dengan tambahan beberapa komponen seperti dioda, kapasitor dan transformator.



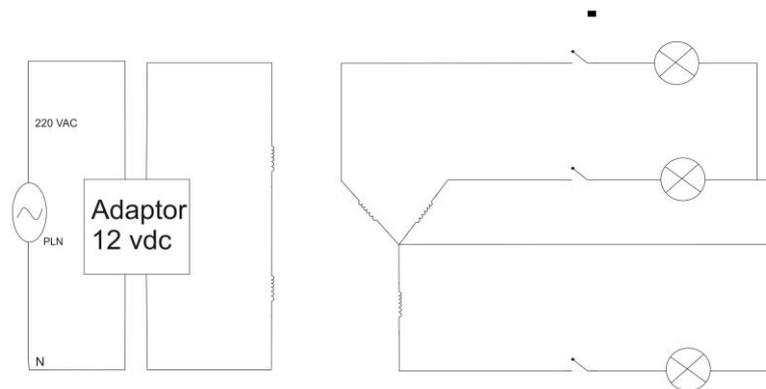
Gambar 4.12 Power Supply

power supply menggunakan prinsip penyearah tegangan AC dari 220 Volt ke tegangan DC 12 Volt.

D. Pengujian Alat

D.1 Percobaan Generator Sinkron Dengan Eksitasi Terpisah

Pengujian eksitasi terpisah generator 3 fasa dengan sesuai prosedur dan data hasil percobaan.



Gambar 4.13 Rangkaian Generator Sinkron Eksitasi Terpisah

Pengujian ini menghasilkan data keluaran tegangan keluaran fasa ke netral dengan tegangan beban sampai 36 watt seperti tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil percobaan fasa ke netral pada eksitasi terpisah

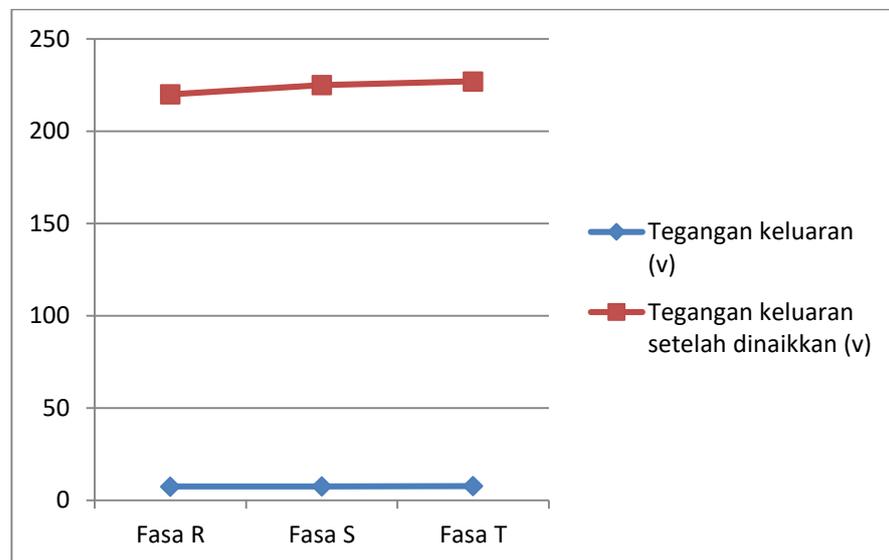
Putaran (rpm)	Tegangan keluaran (v)		
	R-N	S-N	T-N
1430	7,6	7,7	7,8

Setelah dinaikkan menggunakan transformator maka dihasilkan data keluaran tegangan keluaran fasa ke netral adalah seperti ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hasil percobaan tegangan di naikkan fasa ke netral pada eksitasi terpisah

Putaran (rpm)	Tegangan keluaran (v)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1430	220	227	229

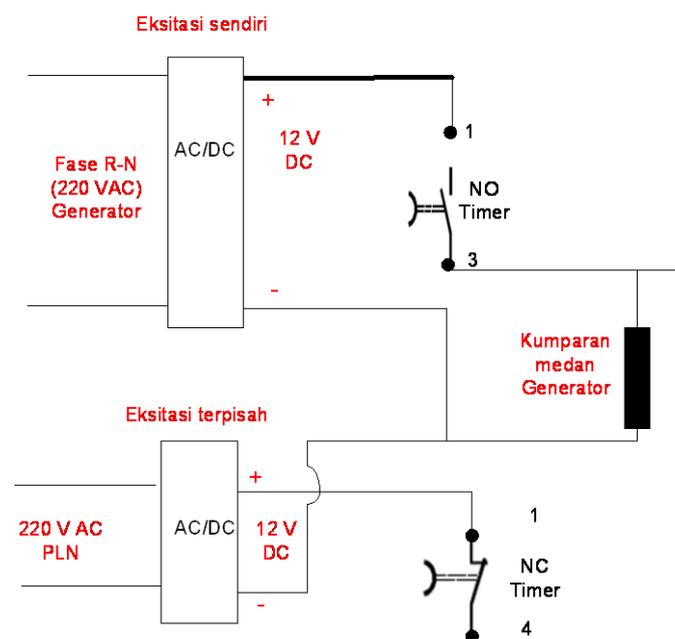
Dari hasil percobaan generator 3 fasa eksitasi terpisah menunjukkan kecepatan putaran generator menghasilkan 1430 rpm dengan tegangan keluaran awal fasa R 7,6 volt, fasa S 7,7 volt, dan fasa T 7,8 volt. Setelah dinaikkan tegangan menggunakan transformator menghasilkan tegangan keluaran fasa R 220 volt, fasa S 227 volt, dan fasa T 229 volt.



Gambar 4.14 Grafik hubungan tegangan awal dan tegangan setelah dinaikkan pada eksitasi terpisah

D.2 Percobaan Generator Sinkron Dengan Eksitasi Sendiri

Setelah terjadinya eksitasi terpisah generator 3 fasa berfungsi sehingga tegangan generator sudah ada, untuk terjadinya eksitasi sendiri kita menggunakan timer.waktu yang kita butuhkan agar generator sinkron 3 fasa terjadi eksitasi sendiri sekitar 20 detik.



Gambar 4.15 Rangkaian Daya Generator Sinkron Eksitasi Sendiri dan Eksitasi Terpisah

Setelah 20 detik terjadinya eksitasi terpisah pada generator sinkron timer berfungsi untuk memutus tegangan dari PLN sedangkan tegangan dari generator sinkron berfungsi untuk kembali menjalankan generator sinkron. Kaki yang digunakan ditimer 8 dan 6 sedangkan kaki kontaktor yaitu kaki 21 dan 22.

Ketika adanya tegangan generator 3 fasa mengalir ketimer dan kontaktor yang membuat kaki timer dan kontaktor ketika eksitasi terpisah NO. Setelah waktu yg telah dibutuhkan telah habis maka kaki pada timer dan kontaktor yang di aliri tegangan generator 3 fasa menjadi NC. Sehingga membuat generator sinkron 3 fasa eksitasi sendiri.

Pengujian ini menghasilkan data keluaran tegangan keluaran fasa ke netral seperti tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data hasil percobaan fasa ke netral pada eksitasi sendiri

Putaran (rpm)	Tegangan keluaran (v)		
	R-N	S-N	T-N
1430	7,5	7,6	7,7

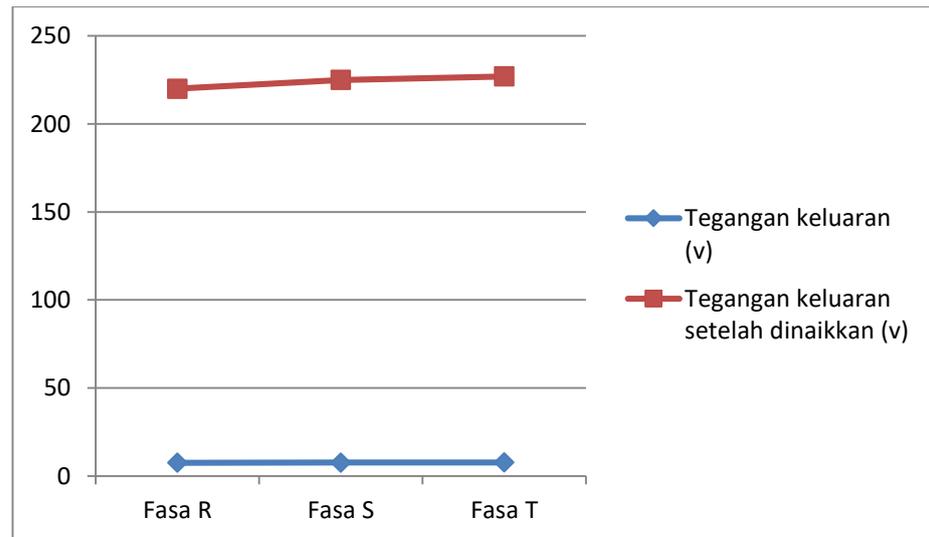
Setelah dinaikkan menggunakan transformator maka dihasilkan data keluaran tegangan keluaran fasa ke netral adalah seperti ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data hasil percobaan tagangan di naikkan fasa ke netral pada eksitasi sendiri

Putaran (rpm)	Tegangan keluaran (v)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
1430	220	225	227

Dari hasil percobaan generator 3 fasa eksitasi sendiri menunjukkan kecepatan putaran generator menghasilkan 1430 rpm

dengan tegangan keluaran awal menghasilkan fasa R 7,5 volt, fasa S 7,6 volt, dan fasa T 7,7 volt. Setelah dinaikkan tegangan menggunakan transformator menghasilkan tegangan keluaran fasa R 220 volt, fasa S 225 volt, dan fasa T 227 volt.



Gambar 4.16 Grafik hubungan tegangan awal dan tegangan setelah dinaikkan pada eksitasi sendiri

E. Perhitungan Frekuensi generator

E.1 Pada saat eksitasi terpisah

Diketahui kecepatan generator :1430 rpm

Jumlah kutub : 4 kutub

Maka :

$$n = \frac{120 \times f}{P}$$

$$1430 = \frac{120 \times f}{4}$$

$$f = \frac{1430 \times 4}{120}$$

$$f = \frac{5720}{120}$$

$$f = 47,66 \text{ Hz}$$

E.2 Frekuensi pada saat eksitasi sendiri

Kecepatan putar generator (n) = 1430 rpm

Jumlah kutub (p) = 4 kutub

Maka :

$$n = \frac{120 \times f}{P}$$

$$1430 = \frac{120 \times f}{P}$$

$$f = \frac{1430 \times 4}{120}$$

$$f = 47,66 \text{ Hz}$$

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang diambil pada analisis perbandingan generator sinkron tiga fasa daya kecil dengan eksitasi sendiri dan eksitasi terpisah, setelah pengujian adalah:

1. Untuk generator 3 fasa dengan eksitasi sendiri menghasilkan tegangan tanpa beban sampai 227 volt, sedangkan generator 3 fasa dengan eksitasi terpisah menghasilkan tegangan beban sampai 229 volt dengan frekuensi generator sama-sama 47,66 Hz.
2. Untuk Generator 3 fasa dengan eksitasi terpisah memerlukan biaya lebih sedikit ketimbang generator 3 fasa dengan eksitasi sendiri dan untuk terjadinya eksitasi sendiri memerlukan waktu 20 detik pada timer.
3. Generator 3 fasa eksitasi sendiri maupun eksitasi terpisah bisa menjadi pembangkit alternatif.

B. Saran

Setelah melakukan penelitian diperoleh beberapa hal yang dapat dijadikan untuk melakukan penelitian lebih lanjut, yaitu:

1. Penelitian mengenai analisis perbandingan generator sinkron tiga fasa daya kecil dengan eksitasi ini dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai contoh dengan mensinkronkan dua generator.

2. Sebaiknya untuk pemutar awal generator menggunakan motor DC agar putaran generator bisa mencapai 1500 rpm.
3. Pada saat terjadinya eksitasi sendiri maupun eksitasi terpisah sebaiknya menggunakan aki 12 vdc agar generator sinkron bekerja lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

Hasyim Asy'ari, Jatmiko, Aziz Ardiyatmoko. 2012. *Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (PLTB)*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Margana, Oong Iban S. 2009. *Perancangan dan Pembuatan Generator Aksial Putaran Rendah dengan Kontrol Switch Proses Charging*. Universitas Muhammadiyah Malang

Sumanto, DRS. 1993. *Motor Listrik Arus Bolak- Balik*, Edisi Pertama, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.

Suyoso. 2003. *Common Textbook Listrik Magnet*. Jakarta: JICA IMSTEP