

TUGAS AKHIR
ANALISA KEBOCORAN HIDROGEN PADA SISTIM PENDINGIN
ROTOR GENERATOR PLTU PANGKALAN SUSU

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas – Tugas Dan Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

ASWANDI SIREGAR

1207220052



FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISA KEBECORAN HIDROGEN PADA SISTIM PENDINGIN
ROTOR GENERATOR PLTU PANGKALAN SUSU**

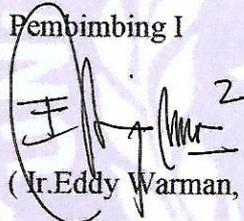
**Diajukan Guna Melempkapi Tugas-Tugas Dan Sebagai Persyaratan Untuk
Memproleh Gelar Sarja Teknik (S.T) Program Studi Tektik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara**

Disusun Oleh :

**ASWANDI SIREGAR
1207220052**

Telah Diuji Dan Disidangkan Pada Tanggal : 13 Oktober 2017

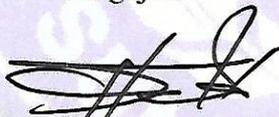
Pembimbing I


(Ir.Eddy Warman, M.T.)

Pembimbing II


(Rimbawati, S.T, M.T.)

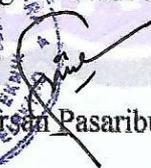
Penguji I


(Dr.Ir. Surya hardi, M.Sc)

Penguji II


(Solly Aryza, S.T, M.Eng)

Diketahui Dan Disahkan
Ketua Program Studi Teknik Elektro


(Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Aswandi Siregar

Tempat/ Tgl Lahir : Sihambeng, 03 September 1993

Fakultas : Teknik Elektro

Menyatakan Dengan Sesungguhnya Dan Sejujurnya, Bahwa Laporan Tugas Akhir (Skripsi) Saya Ini Dengan Judul :

“ ANALISA KEBOCORAN *HDROGEN* PADA SISTIM PENDINGIN ROTOR GENERATOR PLTU PANGKALAN SUSU”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya orang lain, hasil karya orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material atau non material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/sesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan Integritas Akademik di program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 Oktober 2017
Saya yang menyatakan

(ASWANDI SIREGAR)

Lembar Persembahan

Yang utama dari segalanya...

Sembah sujud serta syukur ALLAH SWT. Taburan cinta dan kasih sayang_Mu telah memberiku kekuatan, membekali dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang engkau berikan kepada hamba. Swolat dan salam selalu terlimpahi keharibaan beginda Rosullah Muhammad SAW...

Kepada ibunda "Hj. Jurminah Harahap".... Dan Ayahanda "H.Fahkruddin Siregar" Tercinta

Sebagai tanda bukti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kepada Ibu dan Ayah yang telah memberikan kasih sayang, segala dukungan dan cinta kasih yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertulisan kala cinta dan persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Ibu dan Ayah bahagia, karena sungguh kusadari selama ini belum bisa berbuat yang lebih baik. Untuk Ibu dan Ayah yang selalu membuatku selalu termotivasi dan selalu menyirami kasih sayang, selalu mendoakanku, selalu menasehatiku menjadi lebih baik, dan selalu berkorban demi anakmu ini. Terima kasih Ibu... Terima kasih Ayah...

My lovely sisters "Mahra Elita Siregar" dan My brathers "Zulfahmi Siregar"...

Untuk Adikku dan Abangku, tiada yang paling mengharukan saat kumpul bersama kalian, walaupun sering bertengkar tapi hal itu menjadi warna yang tak akan pernah tergantikan. Maaf selama ini saya belum bisa sebagai panutan seutuhnya, dan belum memberikan apa-apa sama kalian. Tapi aku akan berusaha selalu menjadi yang terbaik untuk kalian...

ABSTRAK

Kemampuan daya keluaran generator sinkron tidak lepas dari proses timbulnya panas yang disebabkan oleh rugi-rugi stator maksimum, rugi-rugi rotor maksimum, dan rugi-rugi inti. Sedangkan faktor-faktor yang memengaruhi kenaikan temperatur pada generator sinkron yang beroperasi adalah faktor yang menimbulkan panas yaitu rugi-rugi tembaga, rugi-rugi inti besi dan dan rugi-rugi gesek atau angin. Dan dipengaruhi oleh faktor pendingin yaitu ketebalan isolasi belitan. Perpindahan panas juga dilakukan secara konveksi paksa yaitu secara radial dan secara aksial. Studi ini mengkhususkan menganalisa pada efektivitas pendinginan rotor generator menggunakan gas hidrogen (studi kasus pada PLTU Pangkalan Susu), dengan membandingkan antara temperatur aktual di rotor sebelum diberikan pendingin hydrogen pada generator. Apakah kemampuan pendingin hidrogen tersebut dapat mengurangi panas pada rotor generator.

Kata kunci : PLTU, Generator, Sistem Pendinginan Hidrogen

ABSTRACT

The ability of synchronous generator output power can not be separated from the process of heat generation caused by the maximum stator losses, maximum rotor losses, and core losses. While the factors that influence the temperature rise in the operating synchronous generator are heat-generating factors, ie, copper losses, iron core losses and and frictional or wind losses. And influenced by cooling factor that is winding insulation thickness. Heat transfer is also carried out by force convection ie radial and axially. This study specializes in analyzing the effectiveness of rotor cooling generators using hydrogen gas (case study on PLTU Pangkalan Susu), by comparing the actual temperature in the rotor before hydrogen cooling in the generator. What is the ability the hydrogen coolant can reduce the heat on the generator rotor.

Key words : PLTU, Generator, Hydrogen Cooling System

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dengan sebatas ilmu dan kemampuan yang penulis miliki, sebagai tahap dalam menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dengan perjuangan dan kerja keras akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“ANALISA KEBOCORAN HIDROGEN PADA SISTIM PENDINGIN ROTOR GENERATOR PLTU PANGKALAN SUSU”**. Dalam penyusunan skripsi, penulis telah banyak menerima bantuan atau bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis dengan setulus hati berkeinginan untuk mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-NYA sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
2. Teristimewa buat Ayahanda H. Fahkrudin Siregar , Ibunda Hj. Jurminah Harahap, Abadanga Zulfahmi siregar serta Adinda Mahra Elita siregar yang telah banyak memberi suport dan do'a yang tulus sehingga penulis bisa meyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
3. Bapak Munawar Alfansury Srg, S.T, M.T, sebagai Dekan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST, MT sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. Bapak Partaonan Harahap , S.T, M.T sebagai Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Ir. Eddy Warman, M.T, Sebagai Dosen Pembimbing I
7. Rimbawati ST, MT, Sebagai Dosen Pembimbing II
8. Bapak DR.Ir. Surya Hardi. M,Sc Selaku Dosen Pembanding I
9. Bapak Solly Ariza Lubis, S.T, M.Eng Selaku Dosen Pembanding II
10. Buat seluruh teman-teman Gewa Handika, abangda Fitrianda, Abangda Heri Suparjan, Ade Haryadi, Fandi Ahmad, Arif Rahman Hrp, Andi Syaputra Hrp, Wahyu Trihutomo dan Terkhusus buat yang disayangi Anna Sari Hasibuan. Terima kasih sudah memberikan semangat untuk menyelesaikan Skripsi ini.
11. Dosen-dosen dan segenap civitas akademika Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mahammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan kerja praktek ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan laporan ini dimasa yang akan datang.

Akhirnya kepada Allah SWT penulis berserah diri semoga kita selalu dalam lindungan serta limpahan rahmat-Nya dengan kerendahan hati penulis berharap mudah-mudahan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis khususnya.

Medan, 11 November 2017

Penulis

Aswandi siregar

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penulisan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Generator Sinkron	9
2.3 Konstruksi Generator Sinkron	10
2.3.1 Rotor	11
2.3.2 Stator	15
2.4 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron	16
2.5 Prinsip Kerja	20
2.6 Kecepatan Putar Generator Sinkron	20
2.7 Generator Sinkron Tanpa Beban	21
2.8 Generator Sinkron Berbeban	22
2.9 Faktor Yang Mempengaruhi Pemanasan	24
2.9.1 Batas Rugi-Rugi Penyebab Pemanasan	25

2.9.2	Panas Pada Rotor	25
2.9.3	Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Rotor	27
2.9.4	Pengaruh Temperatur pada Belitan Rotor	28
2.10	Sistem Pendinginan Generator	29
2.11	Kerugian Bila Tidak Ada Sistem Pendingin	30
2.12	Faktor Yang Mempengaruhi Sistem Pendinginan Generator ...	32
2.13	Pendinginan Generator Dengan Gas Hidrogen	34
2.14	Resistansi	37
BAB III	METODE PENELITIAN	
3.1	Tempat Dan Waktu Penelitian	39
3.2	Alat & Bahan Penelitian	39
3.3	Jalannya Penelitian	39
3.4	Flowchart Penelitian	41
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1	Data Hasil Percobaan	42
4.2	Perhitungan Temperatur Pada Belitan Rotor	43
4.3	Perhitungan Efektifitas Pendingin Rotor Generator	47
4.4	Perhitungan Efisiensi Pendingin Rotor Generator	50
4.5	Performansi Hasil Survey Lapangan	52
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 (a) Diagram Generator AC Satu Fasa Dua Kutub	9
(b) Diagram Generator AC Tiga Fasa Dua Kutub	9
Gambar 2.2 Kontuksi Generator Sinkron Secara Umum	11
Gambar 2.3 Rotor Generator sinkron	12
Gambar 2.4 Rotor Kutup Menonjol Generator Sinkron	13
Gambar 2.5 Rotor Kutub Silinder Generator Sinkron	14
Gambar 2.6 Stator Generator Sinkron	15
Gambar 2.7 Bentuk-Bentuk Alur	16
Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron	17
Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron Tiga Fasa	18
Gambar 2.10 Rangkaian Ekuivalen Rotor Pada Generator sinkron	19
Gambar 2.11 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron Perfasa	19
Gambar 2.12 (a) Kurva Karakteristik Generator Sinkron Tanpa Beban	22
(b) Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron Tanpa Beban ...	22
Gambar 2.13 Kurva Karakteristik Generator Berbeban	23
Gambar 2.14 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron Berbeban.....	23
Gambar 2.15 Sistem Sirkulasi Hidrogen Pendingin Alternator Secara Konvensional.....	36
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian	41
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Temperatur Pada Rotor Generator	46
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efektivitas Pendingin Rotor Generator	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Karakteristik Gas Hidrogen 34
Tabel 4.1	Data Hasil Percobaan 42
Tabel 4.2	Data Percobaan Untuk Beban 50% 43
Tabel 4.3	Data Percobaan Untuk Beban 75% 44
Tabel 4.4	Data Percobaan Untuk Beban 100% 45
Tabel 4.5	Data Temperatur Beban 50% 47
Tabel 4.6	Data Temperatur Beban 75% 47
Tabel 4.7	Data Temperatur Beban 100% 48
Tabel 4.8	Data Arus dan tegangan eksitasi Untuk Beban 50% 50
Tabel 4.9	Data Arus dan tegangan eksitasi Untuk Beban 75% 50
Tabel 4.10	Data Arus dan tegangan eksitasi Untuk Beban 100% 51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan primer pada perkembangan teknologi sekarang ini. Manusia sangat bergantung pada energi listrik dan supaya energi listrik dapat digunakan dengan baik, dibutuhkan suatu sistem pembangkit energi listrik yang handal (Supian, 2013).

Generator sinkron tiga fasa adalah sumber utama pembangkit daya listrik yang sudah tidak asing lagi dalam dunia kelistrikan. Hampir seluruh sistem pembangkit tenaga listrik di dunia ini menggunakan generator sinkron sebagai sumber daya listrik, kecuali pada pembangkit dengan tujuan dan kondisi tertentu. Generator sinkron bekerja dengan merubah energi listrik tiga fasa.

Generator adalah suatu peralatan listrik yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi meknik dapat diperoleh dari motor diesel, air, gas, uap bumi, nuklir dan lain-lain.

Generator merupakan suatu peralatan utama dalam suatu sistem pembangkitan energi listrik. Pada PLTU Pangkalan Susu, generator mempunyai kapasitas 220 MW setiap unitnya. Rotor generator diputar oleh turbin uap yang berfungsi sebagai prime mover. Energi mekanik pada rotor ini dionversikan menjadi energi listrik yang nantinya digunakan untuk berbagai macam kebutuhan. Dalam penggunaannya, generator beroperasi secara terus-menerus sesuai dengan kebutuhan beban yang dilayaninya. Akibatnya generator akan

menimbulkan rugi - rugi tembaga yaitu semakin besar beban yang dikerjakan oleh sebuah motor, maka semakin besar arus yang mengalir dibelitan tembaga sehingga rugi - rugi tembaga pada motor tersebut akan menjafi besar. Panas yang ditimbulkan generator ini dapat mempengaruhi kerja dari generator sehingga dapat menurunkan efisiensi generator itu sendiri. Untuk mengatasi hal tersebut, maka generator perlu mendapatkan pendinginan sehingga panas yang dihasilkan generator itu dapat berkurang.

Generator di PLTU Pangkalan Susu menggunakan pendingin berupa gas hidrogen. Dalam penelitian ini akan menganalisis efektifitas kebocoran hidrogen pada sistim pendingim rotor generator PLTU pangkalan susu.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besarnya efektifitas hidrogen dalam mendinginkan rotor generator.
2. Bagaimana pengaruh perubahan beban terhadap efektifitas hidrogen dalam mendinginkan rotor generator.
3. Bagaimana pengaruh efesiensi generator terhadap pengaruh perubahan beban.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa berapa besarnya efektifitas hidrogen dalam mendinginkan rotor generator.
2. Untuk menganalisa pengaruh perubahan beban terhadap efektifitas hidrogen dalam mendinginkan rotor generator.

3. Untuk menganalisa bagaimana pengaruh efisiensi generator terhadap pengaruh perubahan beban.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pendingin generator dibagian rotor yang menggunakan hidrogen.
2. Generator yang digunakan adalah generator 220 MW yang terdapat di PLTU Pangkalan Susu.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi literature : membaca teori-teori yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir yang terdiri dari buku-buku referensi, baik yang dimiliki oleh penulis maupun dari perpustakaan.
2. Studi lapangan : mengambil data dan informasi dari PLTU Pangkalan Susu, dimana yang dibahas adalah tentang judul pada Tugas Akhir.
3. Studi bimbingan : konsultasi tentang topik Tugas Akhir dengan dosen pembimbing dan teman-teman sesama Jurusan Teknik Elektro.

1.6 Sistematika Penulisan

Gambaran tulisan ini secara singkat dapat diuraikan pada sistematika pembahasan sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini menguraikan tentang latar belakang penulisan, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan tentang teori hidrogen dan generator secara umum serta defenisi-defenisi hidrogen dan generotor.

BAB III : Metode Penelitian

Pada bab ini menjelaskan tentang uraian mengenai rancangan sistem secara keseluruhan.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini berisi tentang analisa data dan hasil analisa perhitungan data.

BAB V : Penutup

Bab ini berupa kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisa yang sudah dilakukan pada penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Di dalam penelitian akan dibahas beberapa metoda seperti di dalam penelitian terdahulu yaitu:

sistem pendingin generator menggunakan gas hidrogen (H_2) sebagai medium jauh lebih efektif dibandingkan mendinginkan generator menggunakan gas udara, H_2 memiliki konduktifitas thermal dan koefisien transfer panas yang jauh lebih tinggi dibandingkan udara. Kelemahan udara bersifat eksplosif apabila tercampur oleh udara, maka dari itu dibutuhkan sistem yang handal untuk mencegah H_2 bocor ketika bersirkulasi di rumah generator, yaitu sea oil system. Sistem ini berfungsi sebagai perapat hidrogen sekaligus pelumas shaft (Aribowo, 2013)

Salah satu komponen pada *gas turbine* adalah *lube oil cooler* yang berfungsi sebagai *heat exchanger* untuk mendinginkan temperatur *lube oil*. Pemasangan tiga *lube oil cooler type-Z compact heat exchanger* pada susunan seri dan paralel berdampak pada *cooling capacity lube oil cooler*. *Uniformity flow rate* pada masing-masing *tube* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi *cooling capacity* dari *lube oil cooler*. Oleh karena itu dilakukan simulasi *Computational Fluid Dynamic (CFD)* untuk mengkaji pengaruh pemasangan susunan tiga *lube oil cooler* secara seri dan paralel dengan variasi kapasitas *lube oil* terhadap *performance lube oil cooler*. Pemodelan domain dilakukan dengan 3 dimensi pada sisi eksternal dan internal. Simulasi pada sisi eksternal dilakukan

untuk memperoleh nilai koefisien *heat transfer* pada masing-masing baris *tube*. Selanjutnya, nilai koefisien *heat transfer* yang didapat pada sisi *eksternal* digunakan sebagai kondisi batas *wall convection* pada masing-masing baris *tube* untuk simulasi *internal flow* dengan variasi *flow rate lube oil* 30 gpm, 50 gpm, 74 gpm. Dari hasil simulasi, susunan *cooler* seri menghasilkan *cooling capacity* yang lebih baik dari pada susunan *cooler* paralel pada kapasitas *lube oil* yang sama. Hal tersebut terjadi karena *flow ratio lube oil* untuk masing-masing *tube* pada susunan *cooler* seri lebih seragam dari pada susunan *cooler* paralel. Keseragaman *flow rate* pada masing-masing *tube* ditunjukkan dengan kecilnya standard deviasi *flow ratio*. Kapasitas 50 gpm memiliki standard deviasi *flow ratio* sebesar 0,46 untuk susunan seri dan 0,75 untuk susunan paralel. Semakin besar kapasitas *lube oil* maka distribusi *flow rate* pada masing-masing *tube* semakin tidak seragam. Selain itu susunan *cooler* seri memiliki *pressure drop* yang lebih besar dari pada susunan *cooler* paralel. Pemasangan susunan *cooler* dengan kapasitas 30 gpm memiliki tingkat keseragaman yang paling tinggi ditunjukkan dengan standard deviasi *flow ratio* pada masing-masing *tube* yang paling kecil sebesar 0,33 (Wibowo, 2014)

Generator sinkron adalah generator Ac yang bekerja konstan. Generator sinkron di stasiun pembangkit listrik, mis. Unit I PLTU Tambak Lorok, PT Indonesia Power, Unit Bisnis Generasi (UBP) Semarang harus memasok beban dalam waktu lama tanpa harus beristirahat. Mengenai pengaturan fungsi ini, generator akan mengalami panas yang berasal dari disipasi energi akibat resistansi rotor dan belitan stator. Panas sangat tidak menguntungkan sehingga bisa mengurangi destimasi kinerja generator. Jika jumlah panas terlalu berlebihan, bisa menyebabkan kerusakan pada generator yang berkelok-kelok. Untuk alasan ini,

sistem pendingin diperlukan di generator untuk menghindari hal yang telah disebutkan sebelumnya. Salah satu sistem pendinginan yang menggunakan gas hidrogen. Keuntungan dari gas hidrogen adalah bahwa ia dapat mengikat panas di mana pun ia mengalir (Winardi, 2017)

Teknik penggunaan gas hidrogen untuk penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam air. Telah dipelajari tentang teknik penggunaan gas hidrogen untuk penurun konsentrasi oksigen dalam air. Gas hidrogen dipilih untuk keperluan tersebut karena gas hidrogen dapat bereaksi dengan oksigen terlarut membentuk air serta sisa gas hidrogen dalam proses ini akan dapat segera keluar dari sistem air sehingga tidak akan menimbulkan impuritas dalam sistem pendingin primer reaktor riset. Sarana untuk mempertemukan oksigen terlarut dalam air dengan gas hidrogen digunakan tabung gelas yang dilengkapi dengan sistem spray, sistem pipa, katup keselamatan dan katup mekan guna mengatur laju air dan laju gas hidrogen yang dipertemukan secara aliran berlawanan arah. Kondisi terbaik dari interaksi tersebut adalah : Air dialirkan dari bagian alas tabung ke bawah (debit bergantung pada kapasitas alat), sedangkan gas hidrogen dialirkan dari bagian bawah tabung keatas dengan ketentuan tekanan tabung tidak melebihi 2 atm. Ketinggian air dalam tabung dipertahankan 30% dari tinggi tabung. Aliran gas hidrogen diatur menggunakan regulator tekanan. Katup keselamatan (diatur untuk tekanan 3 atm) digunakan sebagai pengaman tekanan lebih. Katup *pering* digunakan sebagai alat pengatur/penurunan tekanan tabung. Untuk pengukuran penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam sebelum dan sesudah proses digunakan oksigen meter. Kondisi tersebut mangacu pada kondisi operasi *deairation system* Primary Loop yang ada di P2TKN yang telah teruji dalam

menurunkan kandungan konsentrasi oksigen dalam fluida kerja (Sumijanto, 2003)

Menaikan daya output turbin gas dapat dilakukan dengan mendinginkan udara masuk kedalam turbin gas tersebut, karena daya output turbin gas dapat dihitung dengan perkalian aliran masa udara dengan jatuh enthalpy pada turbinnya. Dalam PLTGU sudah tersedia uap sebagai penggerak turbin uap, namun sumber panas tersebut dapat dipergunakan sebagai penggerak mesin penyerap dingin, yang akan mendinginkan udara masuk kedalam turbin gas. Beban pendinginan udara dihitung berdasarkan data cuaca selama 24 jam pada keadaan cuaca maximum dan pola operasi PLTGU serta penggunaan Thermal Energy Storage (TES) , agar kapasitas mesin pendingin optimal, sehingga tingkat biaya mamfaat dan parameter keuangan memenuhi persyaratan perbankan. Perhitungan beban pendinginan berdasarkan udara masuk turbin gas sebesar 15 °C sesuai standar ISO dan pola operasi PLTGU selama 12 jam , sehingga 12 jam lainnya merupakan waktu operasi mesin pendingin untuk menyimpan air dingin didalam TES, yang berguna untuk memperkecil kapasitas mesin pendingin. Biaya pembangunan pemasangan sistim pendingin dan TES dihitung, agar dapat menghitung parameter financial seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) dan Benefit Cost Ratio (BCR). PLTGU Blok 1 - Priok umumnya operasi turbin gas tidak beban penuh, tetapi hanya 83 MW pada suhu operasi 33 °C, apabila udara masuk turbin gas diturunkan menjadi 15 °C, diperoleh kenaikan daya turbin gas 11 MW dan kenaikan efisiensi 4 %, namun ada penurunan daya turbin uap sebesar 3.27 MW (Subagio, 2015)

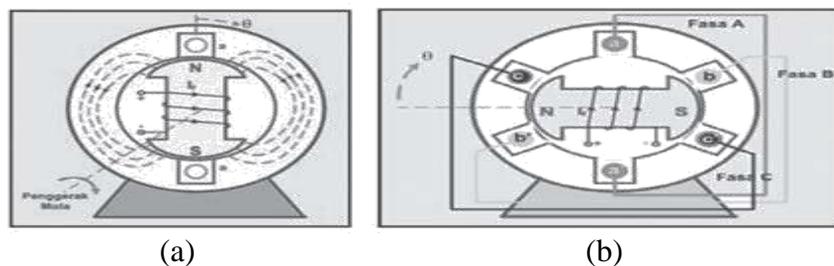
2.2 Generator Sinkron

Generator arus bolak – balik berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak – balik. Generator arus bolak – balik sering disebut juga sebagai alternator, 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 ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub – kutub rotor tidak dapat tiba – tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala – jala. Generator arus bolak – balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- a Generator arus bolak – balik 1 phasa
- b Generator arus bolak – balik 3 phasa

Gambar diagram kedua bentuk generator arus bolak – balik tersebut dapat dilihat dari gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 (a) Diagram Generator AC Satu Fasa Dua Kutub
 (b) Diagram Generator AC Tiga Fasa Dua Kutub
 Sumber : Afrins.blogspot.com

Perbedaan prinsip antara generator DC dengan generator AC adalah letak kumparan jangkar dan kumparan statornya. Pada generator DC, kumparan jangkar terletak pada bagian rotor dan kumparan medan terletak pada bagian stator. Sedangkan pada generator AC, kumparan jangkar terletak pada bagian stator dan kumparan medan terletak pada bagian rotor.

2.3 Konstruksi Generator Sinkron

Pada generator sinkron, arus DC yang dipasang ke belitan rotor akan menghasilkan medan magnet rotor. Kemudian rotor akan diputar dengan suatu kecepatan tertentu oleh sebuah penggerak mula, memutar medan magnet didalam mesin dan menginduksikan tegangan pada belitan stator. Rotor dari generator ini, pada dasarnya merupakan elektromagnet yang besar, dimana konstruksi kutub-kutubnya dapat berupa kutub menonjol dari permukaan rotor, dan bentuknya seperti tapak sepatu sehingga sering juga disebut dengan rotor bentuk kutub sepatu. Bentuk kutub tidak menonjol adalah konstruksi kutub-kutubnya sama tinggi dengan permukaan rotor yang berbentuk silinder, sehingga bentuk ini sering juga disebut dengan rotor silinder.

Rotor-rotor ini sifatnya untuk menghasilkan medan magnet, maka laminasinya perlu dibuat sedemikian rupa untuk menghasilkan rugi-rugi eddy sekecil mungkin.

Dalam hal ini, arus searah harus disuplai ke rangkaian medan di rotor, yang pada dasarnya dapat dilakukan dengan dua metode yaitu :

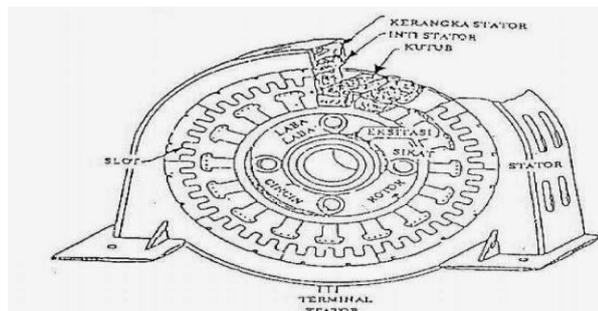
1. Suplai arus searah berasal dari sumber tegangan eksternal dengan cara menghubungkannya ke terminal belitan medan melalui

slipring dan sikat.

2. Suplai arus searah berasal dari sumber daya khusus yang terpasang langsung pada poros generator tersebut.

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.

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat konstruksi sederhana dari sebuah generator sinkron secara umum :



Gambar 2.2 Konstruksi Generator Sinkron Secara Umum
Sumber : Teori Generator Sinkron

2.3.1 Rotor

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.

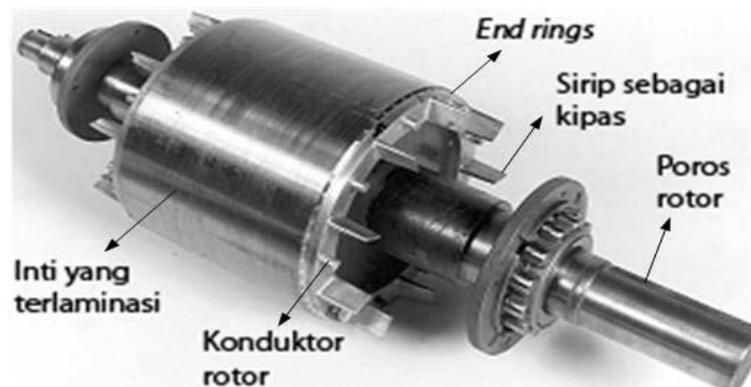
2. Sikat
3. Sebagian dari generator sinkron ada yang memiliki sikat ada juga yang tidak memiliki sikat. Sikat pada generator sinkron berfungsi sebagai saklar putar untuk mengalirkan arus DC ke-kumparan medan pada rotor generator sinkron. Sikat terbuat dari bahan karbon tertentu. Kumparan Rotor (Kumparan 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 rotor tersebut telah dibentuk slot-slot secara parallel terhadap poros rotor.

Bentuk suatu rotor dari generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut:



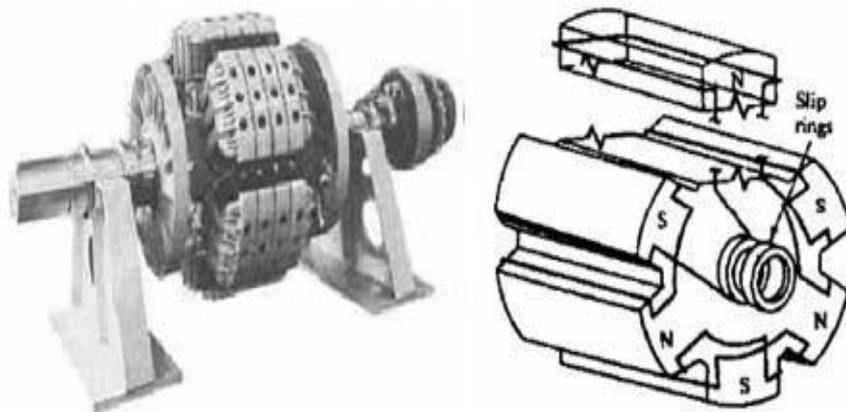
Gambar 2.3 Rotor Generator Sinkron
Sumber : Motor Induksi Tiga Fasa

Rotor pada generator sinkron pada dasarnya sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa salient pole (kutub menonjol) dan non salient pole (kutub selinder atau tak menonjol).

1. Rotor Kutub Menonjol (*Salient Pole Rotor*)

Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak. Kumputan dibelitan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus Eddy, kumputan-kumputan medannya terjadi dari bilah tembaga persegi. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbu pendek.

Selain itu jenis kutub salient pole, kutub magnetnya menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medan dihubungkan 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 2.4 berikut :



Gambar 2.4 Rotor Kutub Menonjol Generator Sinkron
Sumber : Kontruksi Generator Sinkron (Alternator)

Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan

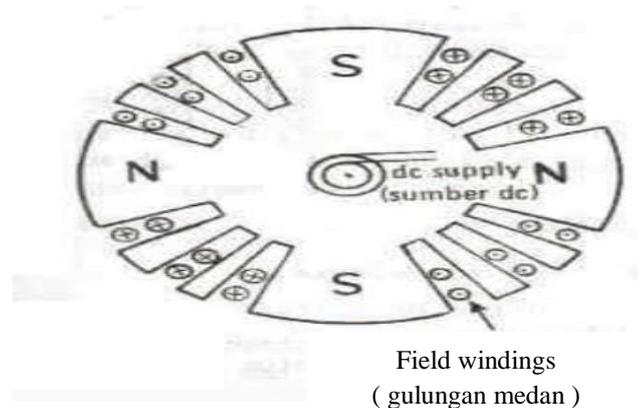
kecepatan putaran rendah dan sedang (120-400 rpm). Generator sinkron tipe seperti ini biasanya dikopel oleh mesin diesel atau turbin air pada sistem pembangkit listrik. Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena :

- Konstruksi kutub menonjol tidak terlalu kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.
- 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 disisi luarnya dan terhubung seri yang dienerjais oleh eksiter.

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*). Gambar bentuk kutub silinder generator sinkron tampak seperti pada Gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Rotor Kutub Silinder Generator Sinkron

Sumber : Artikel Genset dan ACOS

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 :

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

2.3.2 Stator

Stator (armature) adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak (Winardi, 2017)

Bentuk suatu stator dari generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.6 Stator Generator Sinkron
Sumber : Makalah Teknik Listrik Dan Elektronika

Stator terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Rangka stator

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menyangga intijangkar

generator.

2. Inti Stator

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus terpasang ke rangka stator.

3. Alur (slot) dan Gigi

Alur dan gigi merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada 3(tiga) bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup seperti pada gambar 2.7 berikut :



Gambar 2.7 Bentuk-bentuk Alur

Sumber : Komponen-komponen Pembangkit Listrik Tenaga Uap

4. Kumparan Stator (Kumparan Jangkar)

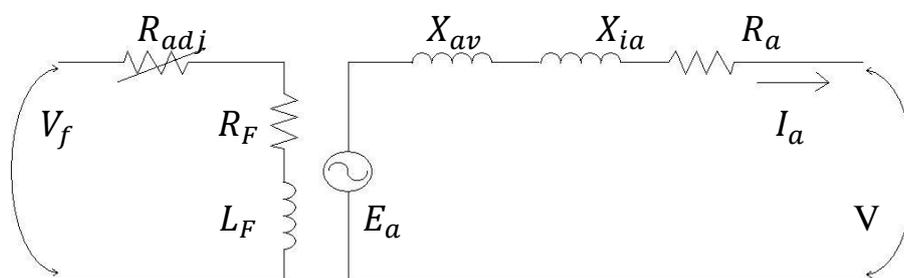
Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi.

2.4 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Tegangan induksi E_a dibangkitkan pada fasa generator sinkron. Tegangan ini biasanya tidak sama dengan tegangan yang muncul pada terminal generator. Tegangan induksi sama dengan tegangan output terminal hanya ketika tidak ada arus jangkar yang mengalir pada mesin. Beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan antara tegangan induksi dengan tegangan terminal adalah :

1. Distorsi medan magnet pada celah udara oleh mengalirnya arus pada stator, disebut reaksi jangkar.
2. Induktansi sendiri kumparan jangkar.
3. Resistansi kumparan jangkar.
4. Efek permukaan rotor kutub sepatu.

Stator terdiri dari belitan-belitan. Suatu belitan konduktor akan terdiri dari tahanan R_a dan induktansi X_{Ia} maka rangkaian ekivalen suatu generator sinkron dapat dibuat seperti Gambar 2.8



Gambar 2.8 Rangkaian Ekivalen Generator Sinkron
 Sumber : Teori generator sinkron

Dengan melihat Gambar 2.14 maka dapat ditulis Persamaan tegangan generator sinkron sebagai berikut :

$$E_a = V + j X_{ar} \cdot I_a + j X_{Ia} \cdot I_a + R_a \cdot I_a \dots\dots\dots (2.1)$$

Dan persamaan terminal generator sinkron dapat ditulis

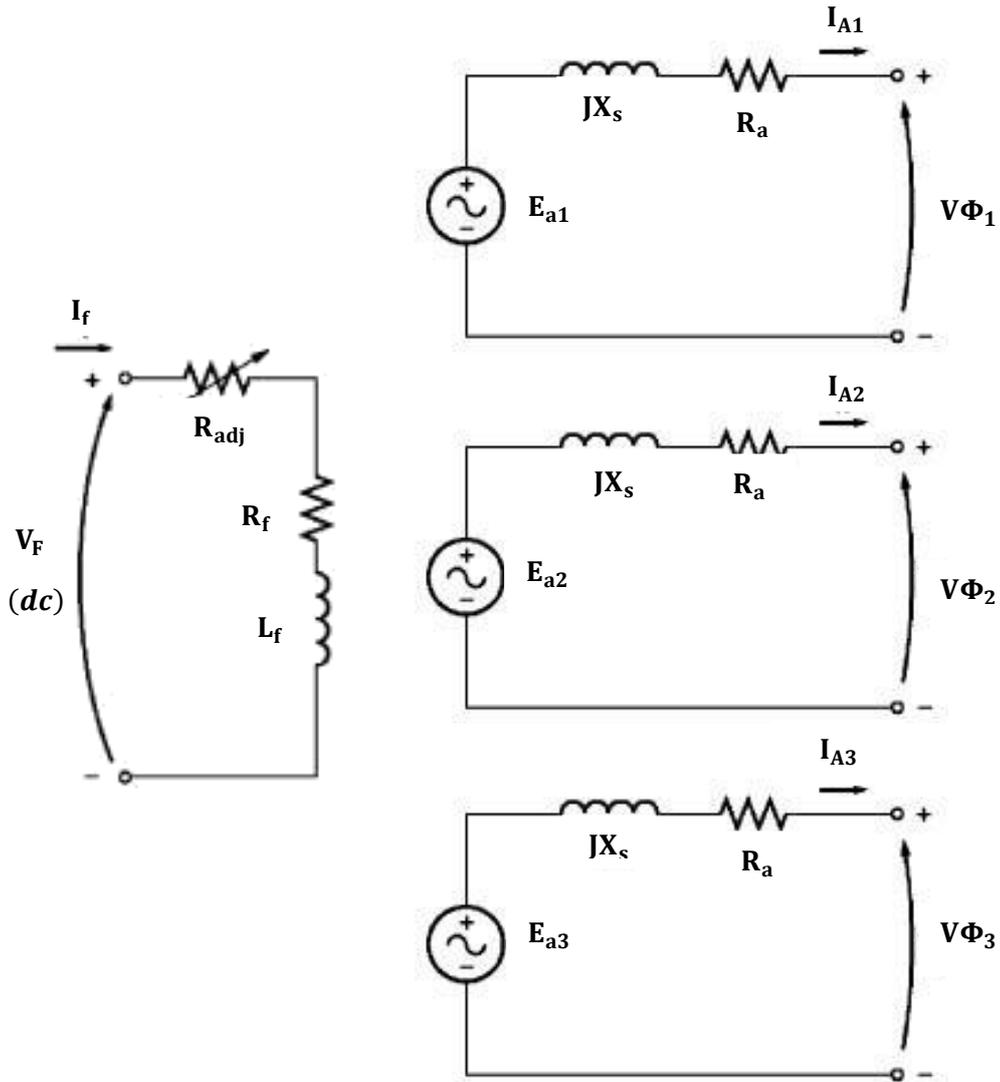
$$V = E_a = - j X_{ar} \cdot I_a - j X_{Ia} \cdot I_a - R_a \cdot I_a \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan menyatakan reaktansi reaksi jangkar dan reaktansi fluks bocor sebagai reaktansi sinkron, atau $X_a = X_{ar} + X_{Ia}$ dapat dilihat pada Gambar 2.15 maka

$$V = E_a - j X_s \cdot I_a - R_a \cdot I_a \text{ (Volt)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Sehingga rangkaian ekivalen generator sinkron tiga fasa dapat digambarkan. Gambar di bawah ini menunjukkan rangkaian penuh dari suatu generator sinkron

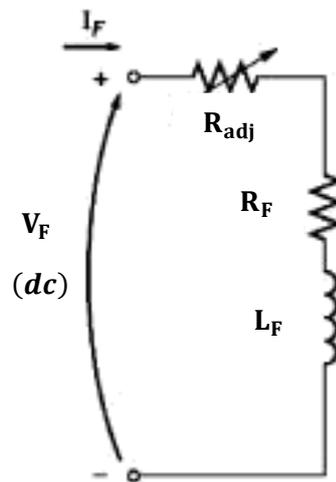
tiga fasa :



Gambar 2.9 Rangkaian Ekivalen Generator Sinkron Tiga Fasa
Sumber : Teori generator sinkron

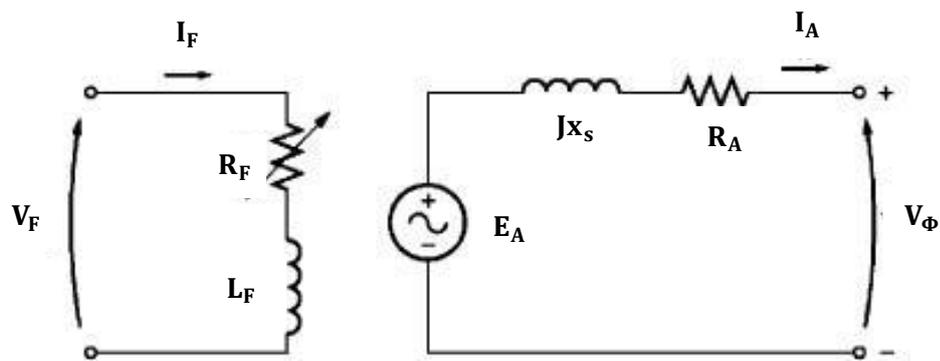
Gambar di atas menunjukkan suatu sumber DC (V_f) yang disuplai ke rangkaian medan rotor (yang ditunjukkan oleh induktansi dan resistansi yang terhubung seri). Resistor (R_f) dihubungkan secara seri dengan resistor yang dapat di atur (R_{adj}), dimana R_{adj} dapat mengontrol besarnya nilai arus medan (I_f).

Sehingga rangkaian ekivalen dari rotor suatu generator sinkron ditunjukkan oleh Gambar berikut:



Gambar 2.10 Rangkaian Ekivalen Rotor pada Generator Sinkron
Sumber : Teori generator sinkron

Jika ketiga fasa generator sinkron identik semua nilainya (kecuali sudut fasanya), maka dapat digunakan rangkaian ekivalen generator untuk tiap fasa seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 2.11 Rangkaian Ekivalen Generator Sinkron Perfasa
Sumber : Teori generator sinkron

Hal yang harus diperhatikan ketika menggunakan rangkaian ekivalen perfasa adalah : ketiga fasa mempunyai tegangan dan arus yang sama hanya ketika beban yang dilayani olehnya seimbang. Jika beban generator tidak seimbang, maka rangkaian ekivalen perfasa ini tidak dapat digunakan.

2.5 Prinsip Kerja

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh *prime mover*, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks yang bersifat bolak – balik atau fluks putar. Fluks putar ini akan memotong – motong kumparan stator sehingga pada ujung – ujung kumparan stator timbul gaya geraklistrik karena pengaruh induksi dari fluks putar tersebut. Gaya gerak listrik (ggl) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak – balik, atau berputar dengankecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.

2.6 Kecepatan Putar Generator Sinkron

Frekuensi listrik yang dihasilkan generator sinkron adalah sinkron dengan kecepatan putar generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC. Medan magnet rotor bergerak pada arah putaran rotor. Hubungan antara kecepatan putar medan magnet pada mesin dengan frekuensi elektrik pada stator adalah:

$$f = \frac{n}{60} \times \frac{p}{2} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

f = frekuensi listrik (Hz)

n = kecepatan putar rotor (rpm)

p = jumlah kutub magnet

P/2 = jumlah pasang kutub

Oleh karena rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnet, persamaan diatas juga menunjukkan hubungan antara kecepatan putar

rotor dengan frekuensi listrik yang dihasilkan. Agar daya listrik dibangkitkan tetap pada frekuensi 50Hz atau 60 Hz, maka generator harus berputar pada kecepatan tetap dengan jumlah kutub mesin yang telah ditentukan. Sebagai contoh untuk membangkitkan 60 Hz pada mesin dua kutub, rotor arus berputardengan kecepatan 3600 rpm. Untuk membangkitkan daya 50 Hz pada mesin empat kutub, rotor harus berputar pada 1500 rpm.

Tegangan Internal Generator Sinkron

Besarnya tegangan induksi yang dibangkitkan pada stator sesuai dengan Hukum Faraday yang menyatakan bahwa :

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

e : Gaya gerak listrik induksi

N : Jumlah kumparan

$\frac{d\phi}{dt}$: Laju fluks magnet

2.7 Generator Sinkron Tanpa Beban

Dengan memutar generator sinkron diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (I_f), maka tegangan (E_0) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator. Bentuk hubungannya diperlihatkan pada persamaan berikut.

$$E_0 = c.n.\Phi \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

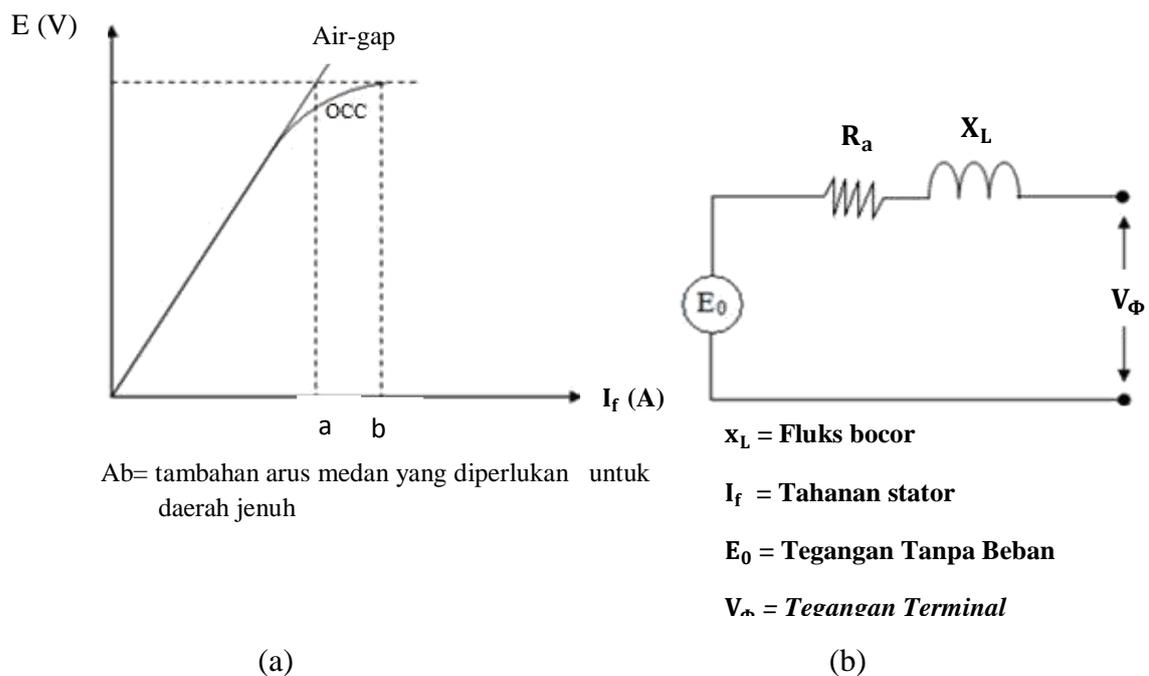
c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

Φ = fluks yang dihasilkan oleh

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Apabila arus medan (I_f) diubah-ubah harganya, akan diperoleh harga E_0 seperti yang terlihat pada kurva sebagai berikut.

Bila besarnya arus medan dinaikkan, maka tegangan output juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh) seperti diperlihatkan pada gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12 (a) Kurva Karakteristik Generator Sinkron Tanpa Beban
 (b) Rangkaian ekivalen Generator Sinkron Tanpa Beban
 Sumber : Electrical Zone

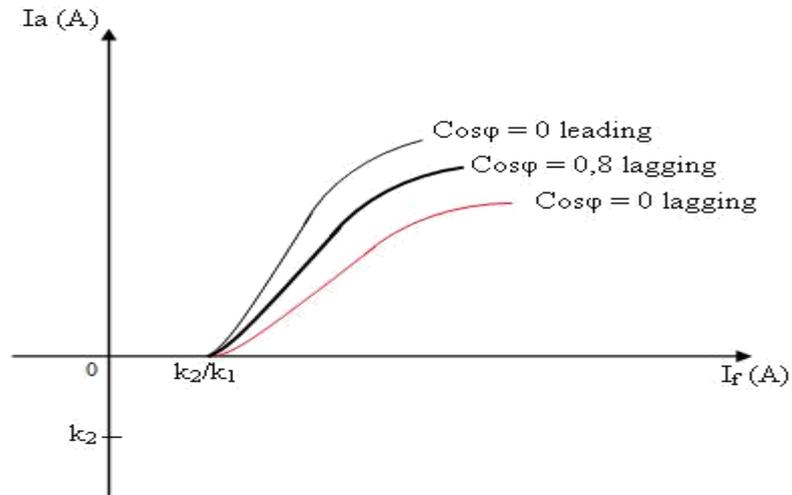
2.8 Generator Sinkron Berbeban

Bila generator diberi beban yang berubah – ubah maka besarnya tegangan terminal V_t akan berubah – ubah pula. Hal ini disebabkan adanya :

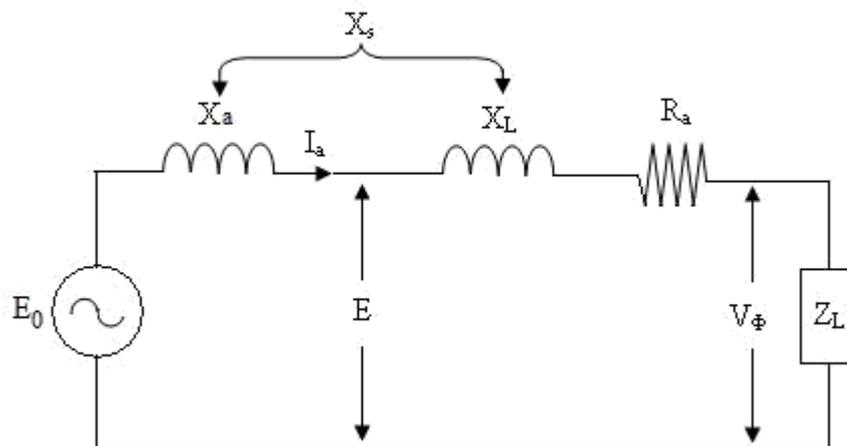
- Jatuh tegangan karena resistansi jangkar (R_a)
- Jatuh tegangan karena reaktansi bocor jangkar (X_L)

- Jatuh tegangan karena reaksi Jangkar

Gambar rangkaian dan karakteristik generator sinkron berbeban diperlihatkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2.13 Kurva Karakteristik Generator Berbeban
 Sumber : teori generator sinkron



Gambar 2.14 Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron Berbeban.
 Sumber : teori generator sinkron

Persamaan tegangan pada generator berbeban adalah:

$$E_a = V\Phi + I_a \cdot R_a + jI_a \cdot X_s \dots\dots\dots (2.7)$$

$$X_s = X_L + X_a \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

E_a = tegangan induksi pada jangkar per fasa (Volt)

$V\Phi$ = tegangan terminal output per fasa (Volt)

R_a = resistansi jangkar per fasa (ohm)

X_s = reaktansi sinkron per fasa (ohm)

X_L = reaktansi bocor per fasa (ohm)

X_a = reaktansi reaksi jangkar per fasa (ohm)

2.9 Faktor yang Mempengaruhi Pemanasan

Suhu kerja dari suatu generator sangat erat hubungannya dengan usia, karena keausan dari isolasinya merupakan fungsi waktu dan suhu. Keausan merupakan gejala kimiawi yang melibatkan adanya oksidasi lambat dan pengerapuhan yang menyebabkan terjadinya penyusutan mekanis dan kekuatan listrik. Kenaikan suhu juga disebabkan oleh rugi – rugi yang merupakan faktor utama dalam menentukan usia pada generator. Oleh sebab itu pemanasan pada generator harus dibatasi, dan tidak boleh melampaui batas – batas yang telah ditentukan agar usia generator menjadi panjang.

Secara garis besar faktor yang mempengaruhi pemanasan atau kenaikan temperatur pada generator sinkron yang sedang beroperasi dapat dipisahkan menjadi tiga bagian adalah:

- a Faktor yang menimbulkan panas, diantaranya rugi – rugi tembaga, rugi – rugi besi dan rugi – rugi gesek (angin)
- b Faktor pendingin, yang mampu mengurangi panas yang timbul
- c Faktor perpindahan panas antara lain ketebalan isolasi belitan terselubung

dan belitan akhir serta konduktivitasnya.

2.9.1 Batas Rugi – Rugi Penyebab Pemanasan

Pertimbangan terhadap rugi – rugi mesin merupakan hal yang sangat penting, karena rugi – rugi dapat menentukan :

- Rugi – rugi dapat menentukan efisiensi mesin dan cukup berpengaruh terhadap biaya pemakaiannya.
- Rugi – rugi menentukan pemanasan mesin sehingga menentukan keluaran daya atau ukuran yang dapat diperoleh tanpa mempercepat keausan isolasi.
- Jatuhnya tegangan atau komponen arus yang bersangkutan dengan rugi – rugi yang dihasilkan harus diperhitungkan dengan semestinya dalam penampilan mesin.

Dengan mengetahui batas temperatur maksimum suatu isolasi yang digunakan dalam sebuah generator sinkron akhirnya dapat diketahui pengaruh yang terjadi pada saat rotor generator diberikan pendingin hidrogen.

2.9.2 Panas Pada Rotor

Generator sinkron terdiri dari kumparan jangkar yang terdapat pada stator dan kumparan medan yang terdapat pada rotor. Rotor merupakan bagian yang berputar di dalam generator, yang biasanya dalam bentuk penghantar yang terletak di tengah stator. pada dasarnya rotor terdapat kumparan rotor (rotor coil) yang berfungsi untuk membangkitkan kemagnetan. Kuku – kuku yang terdapat pada rotor berfungsi sebagai kutub – kutub magnet, dua slip ring yang terdapat pada generator berfungsi sebagai penyalur listrik kekumparan rotor Yang berasal

dari trafo eksitasi yang mengalirkan arus DC.

Jika penghantar di aliri arus, maka akan timbul medan magnet sebagaimana fungsi dari kumparan rotor. Selain itu ada produk lain yang menjadi losses berupa panas (rumusnya adalah I^2Rt , dimana I = arus, R = tahanan kumparan, t = waktu). Biasa disebut sebagai rugi – rugi kumparan medan sebesar sekitar 20 sampai 30% dari rugi beban penuh.

Losses yang lain adalah pada inti rotor dimana pada inti rotor akan timbul arus eddy. Kembali lagi, ada arus (arus eddy) ada tahanan di inti rotor maka akan timbul losses berupa panas. Biasanya terjadi pada sepatu kutub atau permukaan besi medan, besar rugi besi adalah sekitar 20 sampai 30% dari rugi total pada beban penuh. Selain itu ada juga panas yang disebabkan oleh gesekan angin karena adanya jarak udara antara stator dan rotor. Biasanya rugi ini disebut sebagai rugi buta (stray loss), besar rugi mekanik sekitar 10 sampai 20% dari rugi total pada beban penuh. Diketahui besar efisiensi generator sebesar 98,654% maka dapat kita cari besar rugi – rugi penyebab panas pada rotor dengan menggunakan rumus, yaitu :

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Sigma \text{rugi}} = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{\text{daya masuk}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

$$\Sigma \text{rugi} = P_{cu} + P_{in}$$

Efisiensi generator pada rotor, yaitu :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$98,645\% = \frac{220 \text{ MW}}{P_{in}}$$

$$P_{in} = \frac{220 \text{ MW}}{98,645\%}$$

$$P_{in} = 223 \text{ MW}$$

Maka di dapat nilai rugi - rugi total :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi-rugi}$$

$$P_{rugi-rugi} = P_{in} - P_{out}$$

$$= 223 - 220$$

$$= 3 \text{ MW}$$

Maka panas pada rotor kita dapat :

- Rugi listrik : 20% x 3 = 0,6 MW
- Rugi Mekanik : 10% x 3 = 0,3 MW

Karena adanya losses (panas) yang terjadi pada rotor, walaupun itu kecil. Tapi jika di biarkan tanpa ada penetralnya maka dalam jangka waktu tertentu akan menyebabkan kerusakan isolasi (penuaan isolasi). Jika terjadi peristiwa penuaan isolasi akan berakibat kerusakan pada rotor.

Jika terjadi kerusakan di rotor maka harus di lakukan pembongkaran mesin generator. Sehingga butuh waktu dan biaya yang mahal untuk melakukannya. Selain itu, terdapat kesulitan yang tinggi dalam membongkar mesin tersebut. Jadi untuk menghindarinya, diberikanlah pendingin hidrogen pada generator tersebut.

2.9.3 Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Rotor

Generator sinkron tiga fasa adalah sumber utama pembangkit daya listrik yang sudah tidak asing lagi dalam dunia kelistrikan. Hampir seluruh sistem pembangkit tenaga listrik di dunia ini menggunakan generator sinkron sebagai sumber daya listrik.

Dalam penggunaannya, generator beroperasi secara terus-menerus sesuai dengan kebutuhan beban yang dilayaninya. Akibatnya generator akan menimbulkan rugi-rugi panas akibat eddy current pada belitan stator/rotor. Panas yang ditimbulkan generator ini dapat mempengaruhi kerja dari generator sehingga dapat menurunkan efisiensi generator itu sendiri.

Beban yang dilayani generator sangat berpengaruh terhadap panas yang timbul pada rotor. Semakin besar beban yang di layani generator maka panas pada rotor akan semakin besar juga. Hal ini karena arus yang di butuhkan semakin besar, agar daya yang di butuhkan tercapai. Sehingga pada trafo eksitasi di atur suplay arusnya. Sesuai dengan rumusnya, yaitu :

$$PCU \text{ rotor} = I_f^2 \cdot R_f \dots\dots\dots (2.10)$$

$$PCU \text{ rotor} = I_f \cdot V_f \dots\dots\dots (2.11)$$

2.9.4 Pengaruh Temperatur pada Belitan Rotor

Berdasarkan besarnya nilai arus dan tegangan eksitasi, temperatur rata-rata pada belitan rotor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{T+t}{T+t_0} = \frac{R_F}{R_0} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\frac{235+t}{235+t_0} = \frac{R_F}{R_0} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$233 + t = \frac{R_F}{R_0} (235 + t_0) \dots\dots\dots (2.14)$$

$$233 + t = \frac{1}{R_0} (235 + t_0) \times R_F \dots\dots\dots (2.15)$$

$$233 + t = \frac{1}{R_0} (235 + t_0) \times \frac{V_F}{I_F} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$t = \left(\frac{1}{R_0} (235 + t_0) \times \frac{V_F}{I_F} \right) - 235 \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

t : Temperatur pada belitan rotor ($^{\circ}\text{C}$)

R_0 : Tahanan DC pada belitan rotor saat t_0 (Ω)

R_F : Tahanan medan pada rotor saat t (Ω)

V_F : Tegangan eksitasi (Volt)

I_F : Arus eksitasi (Ampere)

2.10 Sistem Pendinginan Generator

Operasi generator selama proses pembangkitan tidak hanya menghasilkan energi listrik, hal ini juga menghasilkan panas di dalam generator. Kenaikan temperatur tidak dapat dihindari karena adanya arus pusar (eddy current) merupakan efek dari proses konversi energi. Sistem pendinginan generator dibutuhkan untuk hal-hal sebagai berikut:

1. Menyerap panas yang timbul di dalam generator.
2. Melindungi isolasi, hal ini karena panas yang lebih dapat merusak isolasi, tetapi dengan adanya sistem pendingin, panas didalam generator dapat diserap.
3. Menaikkan efisiensi generator karena output generator akan lebih besar saat sistem pendingin digunakan.

2.11 Kerugian Bila Tidak Ada Sistem Pendingin

Peralatan-peralatan yang terdapat pada PLTU membutuhkan perawatan yang ekstra. Hal ini dikarenakan pada PLTU hampir semua peralatan berhubungan dengan suhu tinggi, baik secara langsung maupun tidak langsung. Sehingga, diperlukan suatu sistem pendingin agar suhu peralatan dapat terjaga dari kondisi overheating.

Dalam menjaga peralatan dari kondisi overheating, sistem pendingin peralatan juga harus memiliki kemampuan yang tinggi dalam mempertahankan keadaan konstan baik untuk tekanan maupun suhu. Dikarenakan, keadaan yang tidak stabil dapat mengakibatkan peralatan otomatis shutdown. Apabila sistem pendingin tidak bekerja dengan baik, maka rugi-rugi yang timbul akan semakin besar. Kerugian yang dapat ditimbulkan oleh panas di dalam generator meliputi:

1. Penurunan kualitas isolator

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi penurunan isolasi antara lain kelembaban, vibrasi, keasaman, oksidasi, temperatur, dan waktu. Faktor-faktor tersebut dapat mengakibatkan suatu isolasi menjadi keras dan rapuh. Kondisi tersebut menyebabkan retaknya isolator, dimana *cracking* tersebut dapat mengurangi kualitas isolator dan bahkan menyebabkan gangguan hubung singkat.

2. Kerugian tembaga listrik

Nilai tahanan suatu bahan bergantung pada hambatan jenisnya, dapat dirumuskan:

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

R = hambatan (Ω)

ρ = hambatan jenis ($\Omega.m$)

L = panjang (m)

A = luas penampang (m^2)

Hambatan jenis suatu penghantar dipengaruhi oleh temperatur/ suhu pada bahan tersebut. Semakin tinggi temperatur, maka nilai hambatannya semakin besar. Hal ini dapat dirumuskan, sebagai berikut:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t) \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:

ρ = hambatan jenis pada suhu t ρ_0 = hambatan jenis pada

α = koefisien resistansi temperatur pada $0^\circ C$

t = temperatur dengan adanya peningkatan nilai tahanan, maka nilai rugi-rugi (I^2R) akan semakin besar.

3. Kerugian gesekan (*friction loss*)

Operasi dalam generator dalam waktu yang lama dan kontinyu pada ruang tertutup dapat menimbulkan kerugian gesekan. Biasanya, rugi-rugi gesekan terjadi pada bantalan-bantalan (*bearing*) sehingga kondisi bearing tidak dalam kondisi yang optimal, seperti pada awal operasi. Pemanasan atau peningkatan suhu akan mempermudah bantalan tersebut aus.

4. Penurunan *life expectancy* pada peralatan elektrik

Di luar kesalahan elektrik maupun mekanik, waktu hidup dari suatu peralatan listrik dibatasi oleh temperatur dari isolasinya. Semakin tinggi temperatur, maka *life time* peralatan listrik semakin pendek. Dalam pengujian pada beberapa

material, diketahui bahwa waktu masa hidup suatu peralatan listrik berkurang sekitar 50% setiap kenaikan 10° suhu operasinya. Jumlah kerugian yang telah disebutkan di atas tidak boleh besar, dimana nilainya tidak boleh melebihi 2% dari output generator.

Oleh karena itu, sistem pendingin harus dapat mencegah kenaikan temperatur melebihi batas operasinya. Selain beberapa kerugian yang dijelaskan di atas, alasan dibutuhkannya sistem pendinginan agar suhu ambient sekitar tidak melebihi nilai kelas isolasinya. Dalam standar IEEE, ditetapkan beberapa kelas yang memiliki batas maksimum nilai suhu ambient. Setiap jenis bahan digolongkan pada kelas yang berbeda sesuai dengan batas maksimum suhu ambient yang dapat diterima oleh bahan tersebut.

2.12 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sistem Pendinginan Generator

Pendinginan pada generator dilakukan melalui dua proses yaitu proses konveksi aliran udara yang mendinginkan stator dan rotor generator dan yang kedua adalah proses konduksi aliran udara yang didinginkan oleh cooler generator.

Faktor-faktor yang mempengaruhi sistem pendinginan generator :

1. Udara ambient

Udara ambient sangat mempengaruhi sistem pendinginan generator, karena sistem pendinginan utama yaitu cooling tower dipengaruhi oleh udara sekitar. Semakin dingin udara ambient semakin baik efisiensi pendinginan cooling tower. Medium air yang digunakan untuk pendinginan cooler generator menggunakan air siklus *open loop* yang merupakan air hasil pendinginan

langsung melalui *cooling tower*.

2. Kualitas air pendingin

Medium yang digunakan untuk mendinginkan generator adalah air siklus *open loop*. Sehingga kualitas air sangat mempengaruhi proses pendinginan pada cooler generator. Dengan konduktivitas air yang tinggi akan meningkatkan transfer panas sehingga meningkatkan efisiensi pendinginan cooler.

3. Kondisi kebersihan dari cooler generator

Salah satu penyebab utama kualitas pendinginan turun adalah kondisi cooler generator yang kotor. Sehingga secara periodik harus dilakukan pembersihan cooler untuk menaikkan efisiensi pendinginan cooler generator.

4. *Unbalance Voltage* pada generator

Kondisi tegangan yang tidak sama untuk masing-masing fase akan menyebabkan panas yang ditimbulkan oleh generator akan lebih besar. Sehingga kondisi ini harus diperhatikan, karena kondisi ini selain dipengaruhi oleh tahanan dari belitan stator juga dipengaruhi oleh pembebanan sistem, maka diperlukan koordinasi secara menyeluruh dari pembangkit transmisi hingga distribusi.

5. Kebersihan pada *Cooling Tower*

Kebersihan pada *cooling tower* sangat berpengaruh karena media air yang digunakan adalah air *open loop* yaitu air yang sama digunakan pada kondenser.

6. Operasional *ball tube cleaning* pada kondenser

Pada pengoperasian *ball tube cleaning*, bola-bola pembersih kondenser akan ditangkap oleh separator, akan tetapi ada beberapa dari bola-bola pembersih

akan lolos pada saluran *open loop*.

2.13 Pendinginan Generator dengan Gas Hidrogen

Pendinginan alternator dengan gas hidrogen adalah yang paling efektif dibanding dengan udara. Tetapi Hidrogen sangat rentan terhadap bahaya ledakan bila bercampur dengan udara pada kondisi 4% s.d 75%, maka penanganannya harus berhati-hati. Adapun kelebihan gas hidrogen dibanding dengan udara dapat dilihat pada karakteristik seperti Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Karakteristik Gas Hidrogen

Tekanan ATM Hidrogen	Spesifik Panas	Kerapatan	Daya Hantar Paanas	Koefisien Perpindahan panas
	1.0	1.0	1.0	1.0
0.34	14.35	0.07	6.69	1.55
1.0	14.35	0.14	6.69	1.65
2.0	14.35	0.22	6.69	2.65
3.0	14.35	0.30	6.69	4.4
4.0	14.35	0.30	6.69	4.85

Sumber : Sistem Pendingin Generator

Seperti pada Tabel 2.1 dinyatakan bahwa kerapatan udara biasa dibanding hidrogen adalah 1:0.14, daya hantar panas 1:7, maka gas hidrogen dapat digunakan untuk pendinginan alternator dengan efektifitas cukup baik. Dari kelebihan tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut :

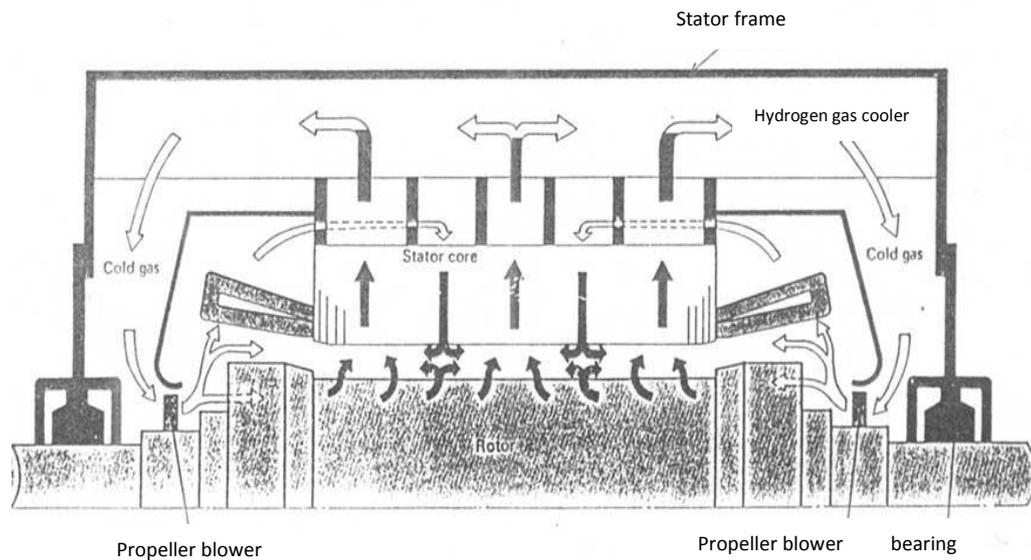
1. Kerapatan rendah sehingga kerugian gesekan, kebisingan berkurang dan daya fan untuk mensirkulasikannya juga rendah

2. Koefisien perpindahan panas tinggi dibanding udara sehingga dapat menyerap panas lebih banyak.
3. Daya Hantar panas tinggi dibanding udara, sehingga dapat menghantarkan panas lebih banyak.
4. Tidak bersifat korosif.
5. Resiko kebakaran rendah, hidrogen murni tidak membantu terjadinya kebakaran.
6. Biaya pemeliharaan rendah, hal ini karena siklus gas tertutup sehingga kebisingannya terjaga.

Untuk menjaga agar temperatur media pendingin tidak meningkat terus, maka setelah menyerap panas, media pendingin ini harus didinginkan untuk membuang panas yang di kandungannya. Oleh karena itu media pendingin harus didinginkan dan disirkulasikan.

Sebagai media pendingin hidrogen biasanya dengan menggunakan air dengan melalui box cooler atau pipa-pipa air yang diletakkan didalam kerangka stator. Sebagaimana untuk melewati gas hidrogen ke cooler box dan celah-celah kumparan stator dan rotor maka perlu adanya sirkulasi dengan tekanan cukup. Untuk mensirkulasi hidrogen dengan menggunakan blower atau rotor maka perlu adanya sirkulasi dengan tekanan cukup. Untuk mensirkulasi hidrogen dengan menggunakan blower atau rotor blade yang terpasang pada poros alternator.

Sistem sirkulasi hidrogen didalam alternator secara konvensional (conventional hydrogen cooled) dengan menggunakan dua unit blower yang masing-masing dipasang pada bagian ujung-ujung seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.15 Sistem Sirkulasi Hidrogen Pendingin Alternator Secar Konvensional
Sumber : sistem pendingi generator

Proses pendinginan generator dengan menggunakan gas hidrogen sebagai media pendingin, langsung mengenai bagian dalam generator / kontak langsung dengan generator. Gas hidrogen masuk melewati sebuah *valve* ke body generator yang kemudian disirkulasikan oleh fan yang ada di dalam generator. Selama generator bekerja, dalam melakukan pendinginan, suhu gas hidrogen akan meningkat.

Di dalam generator tersebut, terdapat pula *hydrogen cooling* yang berfungsi untuk menjaga suhu gas hidrogen agar tetap dingin sehingga dapat menjalankan fungsinya secara optimal. Apabila tidak beroperasi, gas hidrogen akan terus terjaga didalam generator, tetapi tidak memerlukan pendinginan oleh *hydrogen cooling*. Untuk proses pendinginan, gas hidrogen tetap berada di dalam generator dengan tekanan 30 psi. Apabila dibawah settingan tersebut, maka gas hidrogen akan dialirkan dari tangki untuk mempertahankan tekanan 30 psi dalam generator.

Toleransi yang diberikan adalah 28 psi pada awal pengoperasian, dahulu.

Namun, karena ada masalah pada *H2 Plant*, saat ini nilai settingan *alarm pressure* adalah 25 psi. Apabila dibawah 25 psi, sistem akan *shut down*.

Cara Pendinginan Dengan Hidrogen

Pengisian dan Pengosongan Hidrogen, Sebelum melakukan pengisian atau pengeluaran hidrogen dari generator, maka diperlukan peralatan :

Hal yang perlu selalu diingat dalam pengisian dan pengeluaran gas hidrogen ke dan dari generator adalah gas hidrogen tidak boleh bertemu langsung dengan udara. Persediaan gas antara (inert) harus cukup sehingga tercapai % CO₂ in H₂ yang disyaratkan. Sebelum ini dilakukan, sistem minyak perapat harus sudah dioperasikan dan beroperasi dengan baik. Anggap kondisi generator habis di overhoul atau dilakukan pemeliharaan, maka urutan pengisian hidrogen adalah sebagai berikut :

1. Mengeluarkan udara dari alternator dengan CO₂
2. Mengosongkan CO₂ dengan hidrogen
3. Menaikkan tekanan hidrogen

Sementara urutan pengeluaran hidrogen dari generator adalah :

1. Mengeluarkan hidrogen dengan CO₂
2. Mengeluarkan CO₂ dengan udara kering

2.14 Efektifitas

Menurut Prasetyo Budi Saksono (1984) Efektifitas adalah seberapa besar tingkat kelekatan output yang dicapai dengan output yang diharapkan dari sejumlah input.

Hal ini dapat dirumuskan dengan sebagai berikut :

$$\text{Efektifitas Generator} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.20$$

Dimana :

Output : Temperatur Perhitungan ($^{\circ}\text{C}$).

Input : Temperatur Aktual ($^{\circ}\text{C}$).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat & Waktu

Pengambilan data dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di PLTU Pangkalan Susu Sumatera Utara pada tanggal 27-30 Agustus 2017.

3.2 Alat & Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Generator Sinkron 3 Fasa
2. Alat Ukur
 - Thermometer Data Logger Pocket (untuk mengukur temperatur suhu pada rotor generator).
 - Electric Meter (untuk mengukur tegangan keluaran generator).

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data Generator.
2. Data beban yang di peroleh generator.
3. Data temperature pada bagian rotor generator.

3.3 Jalanya Penelitian

Dalam penelitian ini, pertama sekali mempersiapkan alat-alat yang akan digunakan untuk melakukan pengambilan data dari PLTU Pangkalan Susu. Dan berikut spesifikasi generator nya :

- Generator sinkron 258,8 MVA, 3 Fasa

- Rating Tegangan 15,75 KV
- Rating Arus 3,953 A

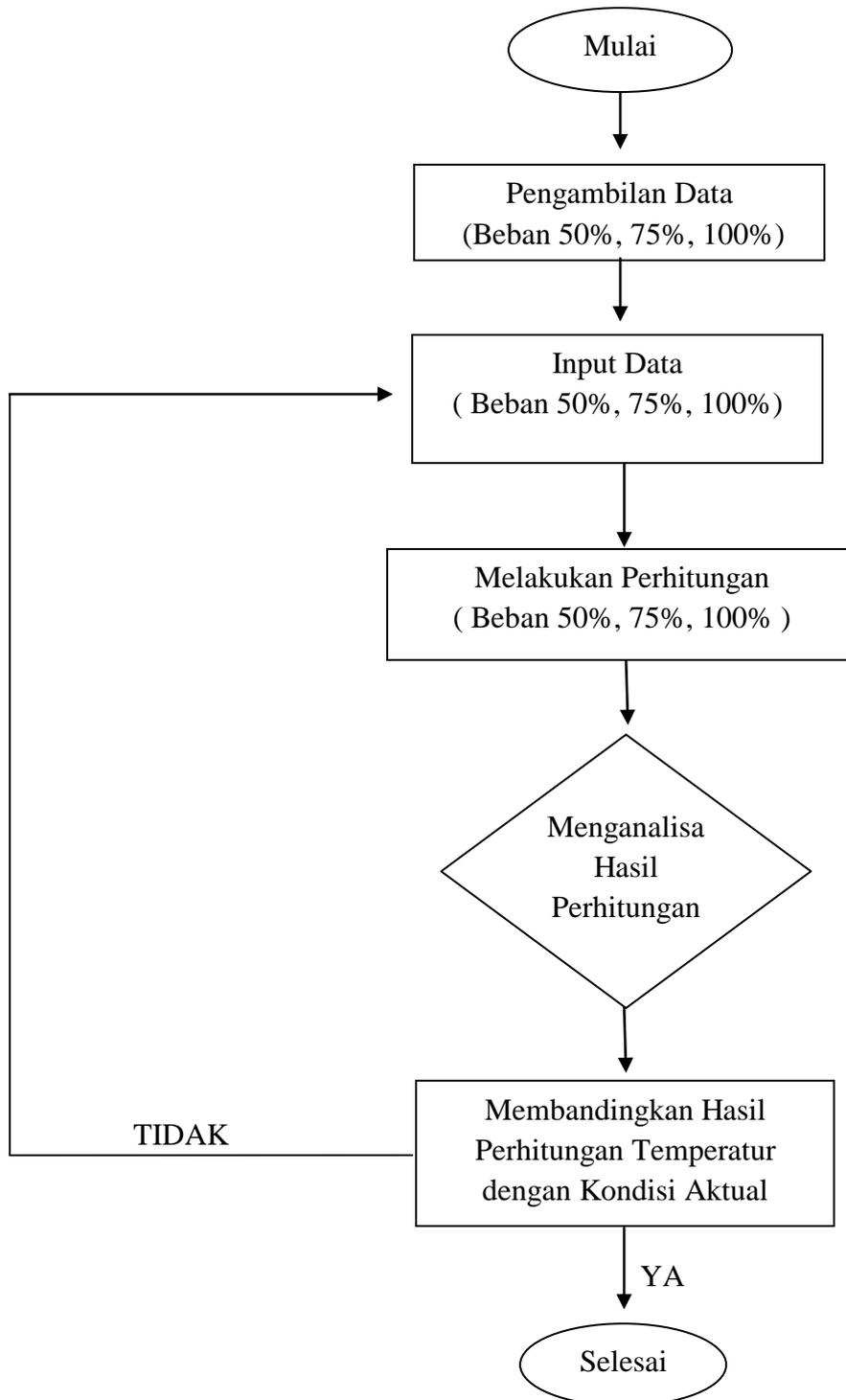
Berikut juga data-data yang dibutuhkan dalam penelitian :

- Tingkat kemurnian & Tekanan Hidrogen.
- Temperatur pada rotor generator (Keadaan aktual).
- Rugi-rugi pada generator.
- Daya output yang dihasilkan generator.
- Tegangan & arus eksitasi.
- Tahanan DC pada belitan rotor.

Selanjutnya memasukkan data-data yang telah diperoleh dari penelitian tersebut, lalu dilakukan perhitungan berdasarkan rumus (Pers.2.12 – 2.17). Data-data yang dibutuhkan tersebut telah diuraikan pada poin “Pengambilan Data” diatas. Setelah mendapatkan data lalu melakukan Perhitungan berdasarkan data-data tersebut untuk mencari temperatur pada bagian rotor generator untuk berbagai keadaan, yaitu saat generator berbeban 50%, 70% dan 100%. Setelah mendapatkan hasilnya kemudian Menganalisa Hasil Perhitungannya. Data-data hasil perhitungan perlu dilakukan analisa setiap perubahan beban pada generator. Setelah itu kemudian membandingkan hasil perhitungan dengan hasil yang diperoleh dalam keadaan aktual, maka dapat ditentukan besarnya nilai efektifitas hidrogen dalam mendinginkan rotor generator. Kemudian penelitian selesai.

3.4 Flowchart Penelitian

Adapun Flowchart Penelitian yang akan digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

Generator PLTU Pangkalan Susu menggunakan pendingin berupa gas hidrogen. Dalam bab ini, akan menganalisa pengaruh-pengaruh yang terjadi pada saat generator didinginkan oleh hidrogen juga berapa efektivitas dari pendingin generator tersebut dalam setiap perubahan beban.

4.1 Data Generaator

Adapun Data Pada Generator dapat dilihat pada karakteristik seperti Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Data Pada Generator

No	Nama Percobaan	Hasil Percobaan
1	Rating generator	220 MW
2	Rating tegangan	15,75 kV
3	Rating arus	9488 A
4	Frekuensi	50 Hz
5	Faktor daya	0,85
6	Phasa	3
7	Kecepatan putar	3000 rpm
8	Tahanan rotor (R_F) saat 75° C	0,23216 Ω
9	Tahanan stator (R_A)saat 55° C per fasa	0,00199 Ω

4.2 Perhitungan Temperatur pada Belitan Rotor

Berdasarkan besarnya nilai arus dan tegangan eksitasi yang diukur, temperatur rata-rata pada belitan rotor adalah sebagai berikut :

Untuk beban 50%

Untuk data beban 50% terdapat pada Tabel 4.2 dibawah ini :

Tabel 4.2 Data untuk beban 50%

	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Faktor Daya	Arus Eksitasi (A)	Tegangan Eksitas (V)	Temperatur Aktual Rotor (°C)
G_1	112,37	147,26	0,61	1608,59	332,25	60,67
G_2	116,51	150,48	0,63	1632,90	344,05	62,11

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi DC pada belitan di rotor, didapatkan nilai

$$R_0 = 0,1872 \Omega \text{ pada saat } t_0 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Untuk menghitung temperatur pada data generator (1) bisa menggunakan persamaan 2.17 Sebagai berikut :

$$t_1 = \left(\frac{1}{0,1872} (235+15) \times \frac{332,25}{1608,59} \right) - 235$$

$$t_1 = 40,838 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Untuk menghitung temperatur pada data generator (2) bisa menggunakan persamaan 2.17 Sebagai berikut :

$$t_2 = \left(\frac{1}{0,1872} (235+15) \times \frac{344,05}{1632,90} \right) - 235$$

$$t_2 = 46,381 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur rata- rata (untuk beban 50%)

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{40,838 + 46,381}{2} = 43,609 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Untuk beban 75%

Untuk data beban 75% terdapat pada Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Data untuk beban 75%

	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Faktor Daya	Arus Eksitasi (A)	Tegangan Eksitas (V)	Temperatur Aktual Rotor (°C)
G_1	160,593	165,663	0,70	1813,72	389,83	70,34
G_2	162,491	106,368	0,73	1786,91	382,86	71,60

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi DC pada belitan dirotor, didapatkan nilai

$$R_0 = 0,1872 \text{ } \Omega \text{ pada saat } t_0 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Untuk menghitung temperatur pada data generator (1) bisa menggunakan persamaan 2.17 Sebagai berikut :

$$t_1 = \left(\frac{1}{0,1872} (235+15) \times \frac{389,83}{1813,72} \right) - 235$$

$$t_1 = 52,038 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Untuk menghitung temperatur pada data generator (2) bisa menggunakan persamaan 2.17 Sebagai berikut :

$$t_2 = \left(\frac{1}{0,1872} (235+15) \times \frac{382,86}{1786,91} \right) - 235$$

$$t_2 = 51,135 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur rata- rata (untuk beban 75%)

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{52,038 + 51,135}{2} = 51,59 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Untuk beban 100%

Untuk data beban 100% terdapat pada Tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4 Data untuk beban 100%

	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Faktor Daya	Arus Eksitasi (A)	Tegangan Eksitas (V)	Temperatur Aktual Rotor (°C)
G_1	219,084	135,718	0,85	1839,15	397,47	73,2
G_2	218,585	137,142	0,86	1843,04	403,26	74,2

Berdasarkan hasil pengukuran resistansi DC pada belitan dirotor, didapatkan nilai

$$R_0 = 0,1872 \text{ } \Omega \text{ pada saat } t_0 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Untuk menghitung temperatur pada data generator (1) bisa menggunakan persamaan 2.17 Sebagai berikut :

$$t_1 = \left(\frac{1}{0,1872} (235+15) \times \frac{397,47}{1839,15} \right) - 235$$

$$t_1 = 53,617 \text{ } ^\circ\text{C}$$

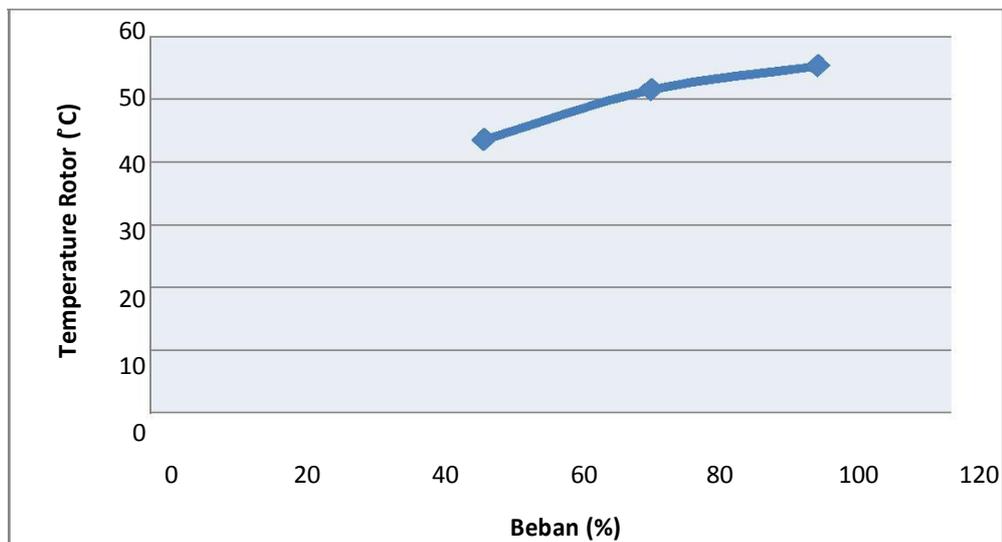
- Untuk menghitung temperatur pada data generator (2) bisa menggunakan persamaan 2.17 Sebagai berikut :

$$t_2 = \left(\frac{1}{0,1872} (235+15) \times \frac{403,26}{1843,04} \right) - 235$$

$$t_2 = 57,202 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur rata- rata (untuk beban 100%)

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{53,617 + 57,202}{2} = 55,409 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Temperatur pada Rotor Generator

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa setiap kenaikan beban maka temperatur pada generator meningkat secara signifikan. Pada beban 50% temperatur rata – rata 43,609 ⁰C, pada beban 75% temperatur rata – rata 51,59 ⁰C, pada beban 100% temperatur rata – rata 55,409 ⁰C. Hal ini disebabkan karena beban besar pada

generator dapat menyebabkan vibrasi yang tinggi. Besarnya beban yang dikeluarkan oleh generator, maka kinerja generator semakin meningkat sehingga terjadinya panas. Dan suhu temperatur pada bagian rotor generator akan meningkat.

4.3 Perhitungan Efektivitas Pendingin Rotor Generator

Berdasarkan perhitungan temperatur pada rotor generator, maka dapat ditentukan efektivitas dari pendingin rotor generator dalam setiap keadaan beban, seperti berikut :

Untuk beban 50%

Untuk data temperatur beban 50% terdapat pada Tabel 4.5 dibawah ini :

Tabel 4.5 Data temperatur untuk beban 50%

No	Temperatur Aktual ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur Perhitungan ($^{\circ}\text{C}$)
G_1	60,67	40,838
G_2	62,11	46,381
Rata-rata	61,39	43,609

Maka efektivitas pendingin rotor generator saat berbeban 50%, dapat dihitung

Menggunakan persamaan 2.20 adalah sebagai berikut :

$$Efektifitas G_1 = \frac{43,609}{61,39} \times 100\%$$

$$Efektifitas G_1 = 71,03\%$$

Untuk beban 75%

Untuk data temperatur beban 75% terdapat pada Tabel 4.6 dibawah ini :

Tabel 4.6 Data temperatur beban 75%

No	Temperatur Aktual (°C)	Temperatur Perhitungan (°C)
G_1	70,34	52,038
G_2	71,60	51,135
Rata-rata	70,97	51,59

Maka efektivitas pendingin rotor generator saat berbeban 75%, dapat dihitung

Menggunakan persamaan 2.20 adalah sebagai berikut :

$$Efektifitas G_2 = \frac{51,59}{70,97} \times 100\%$$

$$Efektifitas G_2 = 72,69\%$$

Untuk beban 100%

Untuk data temperatur beban 100% terdapat pada Tabel 4.7 dibawah ini :

Tabel 4.7 Data temperatur beban 100%

No	Temperatur Aktual (°C)	Temperatur Perhitungan (°C)
G_1	73,2	53,617
G_2	74,2	57,202
Rata-rata	73,7	55,409

Maka efektivitas pendingin rotor generator saat berbeban 100%, dapat dihitung

Menggunakan persamaan 2.20 adalah sebagai berikut :

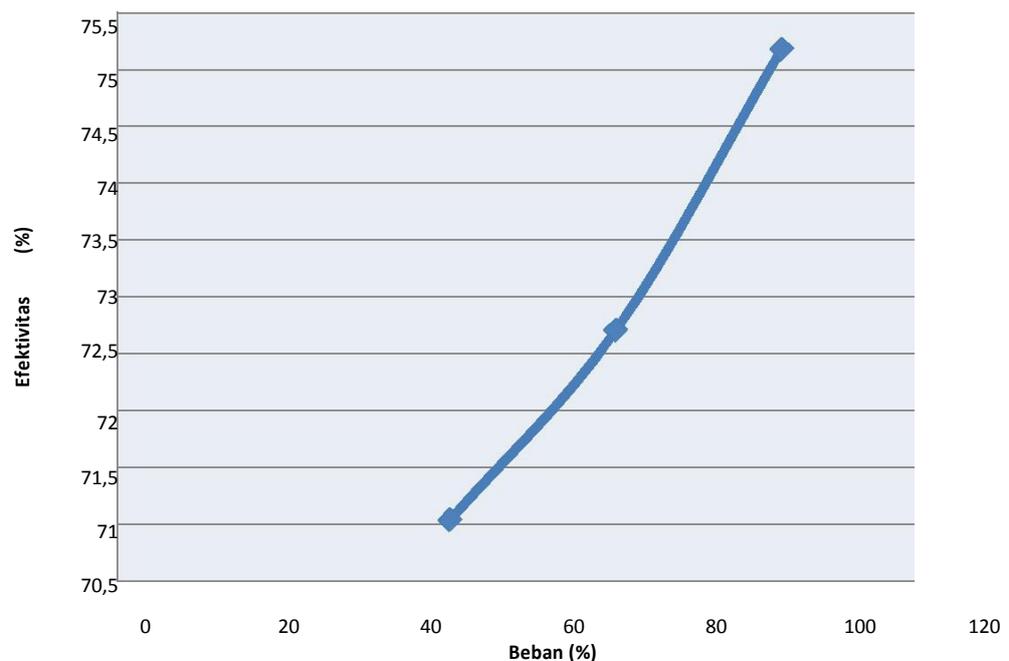
$$Efektifitas G_3 = \frac{55,409}{73,7} \times 100\%$$

$$Efektifitas G_3 = 75,18\%$$

Sehingga didapatkan efektifitas rata-rata dari pendingin rotor generator, yaitu :

$$Efektifitas Generator = \frac{Efektifitas G_1 + Efektifitas G_2 + Efektifitas G_3}{3}$$

$$Efektifitas Generator = \frac{71,03 + 72,69 + 75,18}{3} = 72,96\%$$



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Efektifitas Pendingin Rotor Generator

Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa semakin besar beban yang dilayani generator maka semakin besar juga efektifitas pendinginan untuk mengamankan kinerja generator dari temperatur yang meningkat. Pada beban 50% efektifitas sebesar 71,03%, pada beban 75% efektifitas sebesar 72,69%, pada beban 100% efektifitas sebesar 75,18%. Hal ini disebabkan gesekan pada rotor terhadap stator yang menghasilkan panas berpengaruh terhadap kenaikan efektifitas temperatur

dari generator tersebut. Semakin besar beban yang diterima, maka efektifitas temperatur juga akan semakin tinggi. Maka dari itu menjaga efektifitas temperatur sangat penting untuk menjaga kestabilan kinerja pada generator tersebut.

4.4 Perhitungan Efisiensi Pendingin Rotor Generator

Berdasarkan besarnya nilai arus dan tegangan eksitasi yang diukur, maka dapat ditentukan efisiensi dari pendingin rotor generator dalam setiap keadaan beban, adalah sebagai berikut :

Untuk beban 50%

Untuk data beban 50% terdapat pada Tabel 4.8 dibawah ini :

Tabel 4.8 Data Arus dan tegangan eksitasi untuk beban 50%

No	Arus eksitasi (A)	Tegangan eksitasi (V)
G_1	1608,59	332,25
G_2	1632,90	344,05
Rata rata	1620,74	338,15

Untuk beban 50%, dapat dihitung Menggunakan persamaan 2.11 adalah sebagai berikut :

$$P_{cu \text{ rotor } 1} = 1620,74 \times 338,15$$

$$P_{cu \text{ rotor } 1} = 0,548 \text{ MW}$$

Untuk beban 75%

Untuk data beban 75% terdapat pada Tabel 4.9 dibawah ini :

Tabel 4.9 Data Arus dan tegangan eksitasi untuk beban 75%

No	Arus eksitasi (A)	Tegangan eksitasi (V)
G_1	1813,72	389,83
G_2	1786,91	382,86
Rata rata	1800.31	386,34

Untuk beban 75%, dapat dihitung Menggunakan persamaan 2.11 adalah sebagai berikut :

$$P_{cu} \text{ rotor } 2 = 1800.31 \times 386,34$$

$$P_{cu} \text{ rotor } 2 = 0,695 \text{ MW}$$

Untuk beban 100%

Untuk data beban 100% terdapat pada Tabel 4.10 dibawah ini :

Tabel 4.10 Data Arus dan tegangan eksitasi untuk beban 100%

No	Arus eksitasi (A)	Tegangan eksitasi (V)
G_1	1839,15	397,47
G_2	1843,04	403,26
Rata rata	1841.09	400.36

Untuk beban 100%, dapat dihitung Menggunakan persamaan 2.11 adalah sebagai berikut :

$$P_{cu} \text{ rotor } 3 = 1841.09 \times 400.36$$

$$P_{cu} \text{ rotor } 3 = 0,737 \text{ MW}$$

Di dapatlah PCU rotor rata-rata dari pendingin rotor generator , yaitu :

$$P_{cu \text{ rotor}} = \frac{P_{cu \text{ rotor } 1} + P_{cu \text{ rotor } 2} + P_{cu \text{ rotor } 3}}{3}$$

$$P_{cu \text{ rotor}} = \frac{0,548 + 0,695 + 0,737}{3} = 0.66 \text{ MW}$$

Sehingga didapatkan efisiensi generator terhadap beban, dapat dihitung menggunakan persamaan 2.9 yaitu :

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} = 98,645\% = \frac{220 \text{ MW}}{P_{in}}$$

$$P_{in} = \frac{220 \text{ MW}}{98,645\%} = 223 \text{ MW}$$

$$\Sigma \text{ rugi} = P_{cu} + P_{in} = 0.66 + 223 = 223,66 \text{ MW}$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Sigma \text{ rugi}} = \frac{220}{220 + 223,66} = 224,66\%$$

4.5 Performansi Hasil Survey Lapangan

Krisis listrik di Sumatera Utara (Sumut), dapat dikurangi setelah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu 2x200 megawatt (MW) beroperasi. Sebelumnya pembangkit ini tidak bisa menyalurkan listrik setelah beberapa tower distribusinya ambruk akibat besi-besinya dicuri.

"Percepatan penyelesaian pembangunan PLTU Pangkalan Susu 2x200 mega watt (MW) unit No.2, dan saat ini sedang dalam proses pengujian untuk unit No.1 adalah upaya PT PLN (Persero) untuk mengatasi krisis listrik di Sumatera Utara. Saat ini, PLN Wilayah Sumatera Utara memiliki daya mampu sebesar 1.431 MW dan beban puncak mencapai 1.868 MW, sehingga menyebabkan terjadinya defisit listrik. Apalagi krisis listrik makin diperparah, di mana pada tanggal 17 Februari 2015 pengoperasian PLTU Pangkalan Susu mengalami kendala tidak bisa melayani energi listrik kepada masyarakat Sumatera Utara,

karena adanya pengerusakan (penggergajian) member tower oleh orang tak dikenal (OTK) yang menyebabkan tower nomor 214, 215 dan 216 (total 3 tower) yang berada di desa Tanjung Pasir Kecamatan Pangkalan Susu. Upaya PLN pun segera memasang tower emergency sebanyak 4 (empat) unit walaupun mengalami kendala karena lokasi medan yang sangat sulit di tengah-tengah rawa bakau dan tambak di lokasi kejadian. Ulah pencurian member tower ini telah membuat Sumatera Utara menderita kegelapan karena terjadinya defisit sekitar 160-200 MW yang seyogianya bisa dipasok oleh PLTU Pangkalan Susu. Pada 7 April 2015 PLTU Pangkalan Susu unit No. 2 sudah *energize*. Sementara tanggal 2 April 2015, PLTU Pangkalan Susu (Unit No.1) juga telah beroperasi dalam kondisi commissioning dengan transmisi 1 line, karena proses pembangunan tower yang roboh masih dalam pengerjaan penggantian.

Selain itu hal – hal yang membuat operasi PLTU Pangkalan Susu terhenti adalah terjadinya kebocoran pada pendingin hidrogen sehingga generator tidak efektif untuk beroperasi. Karena panas mesin terlalu tinggi sehingga dapat menyebabkan kerusakan jika di biarkan sehingga perlu dilakukan perbaikan lagi. Yang menyebabkan kebocoran adalah seal oilnya bocor (merembes). Pernah juga terjadi vibrasi bearingnya terlalu besar, sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada rotor generator. Karena kerusakan – kerusakan ini maka sering dilakukan perbaikan dan pengujian yang memakan waktu yang lama. Sehingga operasi PLTU pun sering berhenti. Kejadian – kejadian ini dapat diatasi dengan menggunakan ilmu rekayasa perencanaan. Dimana ilmu ini merupakan suatu proses untuk menentukan tindakan masa depan yang tepat melalui serangkaian pilihan. Definisi lain menyatakan bahwa: Perencanaan adalah proses, pembuatan,

cara perencanaan/cara membuat. Sedangkan rekayasa adalah Usaha yang terorganisasi secara sistematis dan mengaplikasikan suatu teknik yang telah diakui, yaitu teknik mengidentifikasi fungsi produk atau jasa yang bertujuan memenuhi fungsi yang diperlukan dengan harga yang terendah. Dalam pelajaran ini kita mempelajari metode V Sharp dan Value Engineering sebagai pengendali operasi dan pemeliharaan. Dimana dalam metode ini kita dapat mencapai tujuan yang optimal dengan perencanaan yang terukur secara time line. Value engineering adalah cabang baru dari manajemen teknologi, merupakan metode yang efektif untuk mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi ekonomi. Mengacu pada analisis fungsi produk atau pekerjaan sebagai inti, dalam rangka meningkatkan nilai produk atau operasi.

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan beban yang dilayani generator akan mempengaruhi perubahan temperatur pada belitan di rotor generator. Semakin besar beban yang dilayani generator, maka semakin tinggi pula temperatur pada rotor generator tersebut. Sehingga dapat dilihat data percobaan bahwa, pada beban 50% temperatur sebesar 43,609 °C, pada beban 75% temperatur sebesar 51,59 °C, pada beban 100% temperatur sebesar 55,409 °C.
2. Perubahan beban yang dilayani generator juga akan mempengaruhi perubahan efektivitas pendingin belitan di rotor generator. Semakin besar beban yang dilayani generator, maka semakin tinggi pula efektivitas pendingin rotor generator tersebut. Sehingga dapat dilihat data percobaan bahwa, pada beban 50% efektivitas sebesar 71,03%, pada beban 75% efektivitas sebesar 72,69 %, pada beban 100% efektivitas sebesar 75,18%.
3. Dari penelitian ini, di dapat efektivitas rata – rata sebesar 72,96%. Sehingga cukup baik untuk mendinginkan generator.
4. Dari penelitian ini, di dapat efisiensi terhadap perubahan pada beban 50%, beban 75%, dan beban 100% sebesar 224,66%. Sehingga cukup bagus efisiensi terhadap setiap perubahan beban.

5.2 Saran

Dari penelitian ini, ada beberapa saran yang diajukan penulis, yaitu sebagai berikut :

1. Perubahan beban yang dilayani generator akan mempengaruhi perubahan temperatur pada belitan di rotor generator. Semakin besar beban yang dilayani generator, maka semakin tinggi pula temperatur pada rotor generator tersebut. Kita lihat di data percobaan bahwa, pada beban 50% temperatur sebesar $43,609^{\circ}\text{C}$, pada beban 75% temperatur sebesar $51,59^{\circ}\text{C}$, pada beban 100% temperatur sebesar $55,409^{\circ}\text{C}$.
2. Perubahan beban yang dilayani generator juga akan mempengaruhi perubahan efektivitas pendingin belitan di rotor generator. Semakin besar beban yang dilayani generator, maka semakin tinggi pula efektivitas pendingin rotor generator tersebut. Kita lihat di data percobaan bahwa, pada beban 50% efektivitas sebesar 71,03%, pada beban 75% efektivitas sebesar 72,69 %, pada beban 100% efektivitas sebesar 75,18%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, 2013, ***“Sistem Pendingin Generator PT. Indonesia Power UBP Suralaya Menggunakan Hidrogen”***, Jurnal Setrum Vol. 2 No. 1 ISSN 2301-4652. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Gopinath, 2009, ***“Effectiveness Of Auxiliary System Monitoring & Continuous Hydrogen Scevenging Operation On Hidrogen-Cooled Generator At Power Plant”***, IEEE.
- Sumijanto, 2003, ***“Teknik Penggunaan Gas Hidrogen Untuk Penuurunan Konsentrasi Oksigen Terlarut Dalam Air”***, Jurnal Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir VIII ISSN No.1410-0533, Serpong.
- Stevenson, 1983 ***“Analisis Sistem Tenaga Listrik”***, handbook, Penerbit Erlangga, Bandung.
- Subagio, 2015, ***“Perancaan Sistem Pendingin Udara Masuk Gas Turbin 15⁰C Menggunakan Absorption Chiller di PLTGU UBP PRIOK”***, Jurnal Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV), Universitas Indonesia.
- Wibowo, 2014, ***“Studi Numerik Peningkatan Cooling Performance Pada Lube Oil Cooler Gas Turbine Yang Disusun Secara Seri Dan Paralel Dengan Variasi Kapasitas Aliran Lube Oil”***, Jurnal Teknik Pomits Vol.3, No.2 ISSN 2301-9271 Hal B 169-173.
- Wijaya, 2001, ***“Dasar-Dasar Mesin Listrik”***, handbook, Djamban, Jakarta.
- Widiasanti, 2012, ***“Operasi HMXT-200 Generator sebagai penghasil Hidrogen Pada H₂ Plant PLTGU PT. Indonesia Power UBG Semarang”***.

Winardi, 2007, "*Pemakaian Hidrogen Cooling Sistem Pada Generator Unit 1 PLTU Tambak Lorok PT. Indonesia Power UBP Semarang*", Jurnal Transmisi Jilid 9 No.1, Hal. 46-51, Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.

Zuhal, 1998, "*Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*", handbook, Penerbit Gramedia, Jakarta.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website: <http://teknik.umsu.ac.id> E-mail: teknik@umsu.ac.id

Unggul, Cerdas & Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

Nomor : 1219 / II.3-AU/UMSU-07/F/2017
Lamp : 1 Lembar
Hal : **Izin Riset**
Kepada : Yth. Bapak / Ibu Pimpinan
PT. PLTU Pangkalan Susu

Medan, 03 Dzulhijjah 1438 H
25 Agustus 2017 M

Di : Tj. Pasir Pangkalan Susu
Kab. Langkat

Bismillahirrohmanirrohim
Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan hormat,
Kami memohon kesediaan Bapak untuk menerima dan memberikan izin bagi Mahasiswa kami yang akan melakukan riset di PT. PLTU Pangkalan Susu, untuk penulisan Tugas Akhir, guna menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S-1) di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Nama : Aswandi Siregar
NPM : 1207220052
Semester : XI (Sebelas)
Jurus : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : **Analisa Kebocoran Hidrogen Pada Sistem Pendingin Rotor Generator PLTU Pangkalan Susu**

Pembimbing- I : Ir. Eddy Warman, M.T
Pembimbing- II : Rimbawati, S.T.,M.T

Adapun data yang mau diambil Sebagai Berikut :

1. Data Generator
2. Data Beban Yang Diperoleh
3. Data Temperatur Pada Bagian Rotor Generator

Demikian harapan kami atas bantuan dan kerjasama yang Bapak /Ibu berikan kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

An. Dekan,
Wakil Dekan I

Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : Aswandi Siregar
Npm : 1207220052
Fak/ Jur : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Analisa Kebocoran Hidrogen Pada Sistem Pendingin Rotor Generator PLTU Pangkalan Susu

No	Tanggal	Deskripsi bimbingan tugas akhir	Paraf
1	27/06/2017	- Diskusi outline / Daftar pustaka	[Signature]
2.	30/06/2017	- Campuran diskusi	[Signature]
3	10/08/2017	- Diskusi Bab I / Bab II	[Signature]
4.	14/08/2017	- Campuran disk Bab II	[Signature]
5.	23/08/2017	- Diskusi Bab III	[Signature]
6.	25/08/2017	- Diskusi Campuran Bab III	[Signature]
7.	31/08/2017	- Diskusi Bab IV	[Signature]
8.	05/09/2017	- Diskusi Campuran Bab IV	[Signature]
9.	09/09/2017	- Diskusi Bab I & Bab IV	[Signature]
10.	12/09/2017	- Diskusi Bab V	[Signature]
11	14/09/2017	ACC PTH Seminar	[Signature]

Mengetahui,
Pembimbing I
[Signature]
(Ir. Eddy Warman, MT)



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRONIKA

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : Aswandi Siregar
Npm : 1207220052
Fak/ Jur : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Analisa Kebocoran Hidrogen Pada Sistem Pendingin Rotor Generator PLTU Pangkalan Susu

No	Tanggal	Deskripsi bimbingan tugas akhir	Paraf
1	19/06/2017	Perbaiki rumusan masalah, Tujuan Penelitian, dan batasan masalah.	
2	26/06/2017	Periksa kembali rumusan masalah, dan Tujuan Penelitian.	
3	07/08/2017	Perbaiki Tinjauan pustaka selaluan dan gambar pada bagian teori	
4	11/08/2017	Perbaiki kutipan jalannya penelitian dan bahan bahan, alat yg akan digunakan pada penelitian.	
5	14/08/2017	Perbaiki prosedur penelitian harus menjalar pada proses yg diteliti	
6	21/08/2017	Perbaiki pembahasan, berikan penjelasan pengujian hipotesis.	
7	30/08/2017	Perhitungan pada analisa data, sesuaikan dengan rumus kesimpulan dan saran, perbaiki daftar pustaka.	
8	09/09/2017	Periksa kembali perhitungan pada analisa data, kesimpulan dan saran	
9	11/09/2017	Siap diperiksa dan Acc Lanjutkan konsultasi ke Pembimbing I	

Mengetahui,
pembimbing II

(Rimbawati, ST, MT)



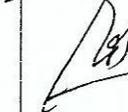
MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRTO

Jl. Kabten Mukhtar Basri N0.3 (061) 6624567 Medan 20238

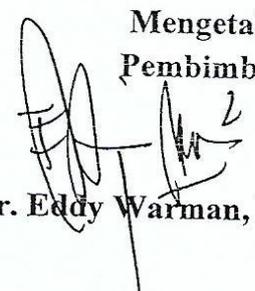
Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skipsi)

Nama : Aswandi Siregar
Npm : 1207220052
Fak/ Jur : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Analisa Kebocoran Hidrogen Pada Sistim Pendingin Rotor Generator PLTU Pangkalan Susu

No	Tanggal	Deskripsi bimbingan tugas akhir	Paraf
1	04/10/2017	Diskusikan hasil seminar hasil.	
2	06/10/2017	Diskusikan GWT & GWT setelah A'Pensi	

Medan, 6 Oktober 2017

Mengetahui,
Pembimbing I


(Ir. Eddy Warman, MT)



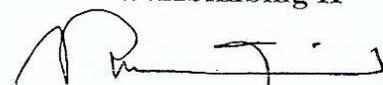
Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : Aswandi Siregar
Npm : 1207220052
Fak/ Jur : Teknik / Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Analisa Kebocoran Hidrogen Pada Sistim Pendingin Rotor Generator PLTU Pangkalan Susu

No	Tanggal	Deskripsi bimbingan tugas akhir	Paraf
1.	03/10/2017	Revisi seluruh TA untuk sidang Sarjana	
2.	05/10/2017	Ace sidang Tugas Akhir	

Medan, 6 Oktober 2017

Mengetahui,
Pembimbing II



(Rimbawati, S.T, M.T)

BIODATA

Pend. Terakhir : S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah

Sumatera Utara



Nama : ASWANDI SIREGAR

Npm : 1207220052

Telp/Hp : 085370975744

Email : AswandiSiregar04@gmail.com

I. Data Pribadi

Nama : Aswandi Siregar

Tempat/Tgl. Lahir : Sihambeng, 03 September 1993

Jenis Kelamin : Laki-Laki

Agama : Islam

Nama Ayah : H. Fakhruddin Siregar S.pd

Ibu : Hj. Jurminah Harahap S.pd

II. Pendidikan

SDN 105620 Sihambeng 2000 s/d 2006

MTS Swata Darularafah 2006 s/d 2009

MAS Swasta Darularafah 2009 s/d 2012

S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik UMSU 2012 s/d 2017

Medan, 11 November 2017

Aswandi Siregar

Jurnal Tugas Akhir

ANALISA KEBOCORAN HIDROGEN PADA SISTIM PENDINGIN ROTOR
GENERATOR PLTU PANGKALAN SUSU

Aswandi Siregar.^[1], Ir. Eddy Warman, M. T.^[2], Rimbawati, S. T, M. T.^[3]

Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro^[1], Dosen Pembimbing^[2], Dosen Pembimbing^[3]

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Medan, Indonesia

Jl.Kapten Mughtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp (061) 6622400

E-mail : Aswandisiregar04@gmail.com

ABSTRAK

Kemampuan daya keluaran generator sinkron tidak lepas dari proses timbulnya panas yang disebabkan oleh rugi-rugi stator maksimum, rugi-rugi rotor maksimum, dan rugi-rugi inti. Sedangkan faktor-faktor yang memengaruhi kenaikan temperatur pada generator sinkron yang beroperasi adalah faktor yang menimbulkan panas yaitu rugi-rugi tembaga, rugi-rugi inti besi dan dan rugi-rugi gesek atau angin. Dan dipengaruhi oleh faktor pendingin yaitu ketebalan isolasi belitan. Perpindahan panas juga dilakukan secara konveksi paksa yaitu secara radial dan secara aksial. Studi ini mengkhususkan menganalisa pada efektivitas pendinginan rotor generator menggunakan gas hidrogen (studi kasus pada PLTU Pangkalan Susu), dengan membandingkan antara temperatur aktual di rotor sebelum diberikan pendingin hydrogen pada generator. Apakah kemampuan pendingin hidrogen tersebut dapat mengurangi panas pada rotor generator.

Kata kunci : PLTU, Generator, Sistem Pendinginan Hidrogen

ABSTRACT

The ability of synchronous generator output power can not be separated from the process of heat generation caused by the maximum stator losses, maximum rotor losses, and core losses. While the factors that influence the temperature rise in the operating synchronous generator are heat-generating factors, ie, copper losses, iron core losses and and frictional or wind losses. And influenced by cooling factor that is winding insulation thickness. Heat transfer is also carried out by force convection ie radial and axially. This study specializes in analyzing the effectiveness of rotor cooling generators using hydrogen gas (case study on PLTU Pangkalan Susu), by comparing the actual temperature in the rotor before hydrogen cooling in the generator. What is the ability the hydrogen coolant can reduce the heat on the generator rotor.

Key words : PLTU, Generator, Hydrogen Cooling System

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan primer pada perkembangan teknologi sekarang ini. Manusia sangat bergantung pada energi listrik dan supaya energi listrik dapat digunakan dengan baik, dibutuhkan suatu sistem pembangkit energi listrik yang handal (Supian, 2013).

Generator sinkron tiga fasa adalah sumber utama pembangkit daya listrik yang sudah tidak asing lagi dalam dunia kelistrikan. Hampir seluruh sistem pembangkit tenaga listrik di dunia ini menggunakan generator sinkron sebagai sumber daya listrik, kecuali pada pembangkit dengan tujuan dan kondisi tertentu. Generator sinkron bekerja dengan merubah energi listrik tiga fasa.

Generator adalah suatu peralatan listrik yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi mekanik dapat diperoleh dari motor diesel, air, gas, uap bumi, nuklir dan lain-lain.

Generator merupakan suatu peralatan utama dalam suatu sistem pembangkitan energi listrik. Pada PLTU Pangkalan Susu, generator mempunyai kapasitas 220 MW setiap unitnya. Rotor generator diputar oleh turbin uap yang berfungsi sebagai prime mover. Energi mekanik pada rotor ini dikonversikan menjadi energi listrik yang nantinya digunakan untuk berbagai macam kebutuhan. Dalam penggunaannya, generator beroperasi secara terus-menerus sesuai dengan kebutuhan beban yang dilayaninya. Akibatnya generator akan menimbulkan rugi-rugi tembaga yaitu semakin besar beban yang dikerjakan oleh sebuah motor, maka semakin besar arus yang mengalir dibelitan tembaga sehingga rugi-rugi tembaga pada motor tersebut akan menjafi besar. Panas yang ditimbulkan generator ini dapat mempengaruhi kerja dari generator sehingga dapat menurunkan efisiensi generator itu sendiri. Untuk mengatasi hal tersebut, maka generator perlu mendapatkan pendinginan sehingga panas yang dihasilkan generator itu dapat berkurang.

Generator di PLTU Pangkalan Susu menggunakan pendingin berupa gas hidrogen. Dalam penelitian ini akan menganalisis efektifitas kebocoran hidrogen pada sistim pendingin rotor generator PLTU pangkalan susu.

1.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa berapa besarnya efektifitas hidrogen dalam mendinginkan rotor generator.
2. Untuk menganalisa pengaruh perubahan beban terhadap efektifitas hidrogen dalam mendinginkan rotor generator.
3. Untuk menganalisa bagaimana pengaruh efisiensi generator terhadap pengaruh perubahan beban.

1.2 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pendingin generator dibagian rotor yang menggunakan hidrogen.
2. Generator yang digunakan adalah generator 220 MW yang terdapat di PLTU Pangkalan Susu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator Sinkron

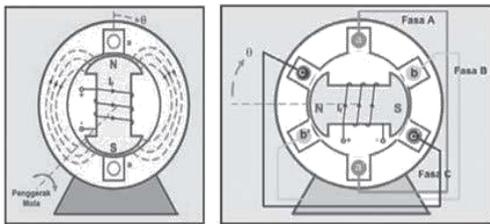
Generator arus bolak – balik berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak – balik. Generator arus bolak – balik sering disebut juga sebagai alternator, generator AC (*alternating current*), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama

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 ini tidak dapat dijalankan sendiri karena kutub – kutub rotor tidak dapat tiba – tiba mengikuti kecepatan medan putar pada waktu sakelar terhubung dengan jala – jala. Generator arus bolak – balik dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- a Generator arus bolak – balik 1 phasa.
- b Generator arus bolak – balik 3 phasa.

Gambar diagram kedua bentuk generator arus bolak – balik tersebut dapat dilihat dari gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 (a) Diagram Generator AC Satu Fasa Dua Kutub
(b) Diagram Generator AC Tiga Fasa Dua Kutub

Perbedaan prinsip antara generator DC dengan generator AC adalah letak kumparan jangkar dan kumparan statornya. Pada generator DC, kumparan jangkar terletak pada bagian rotor dan kumparan medan terletak pada bagian stator. Sedangkan pada generator AC, kumparan jangkar terletak pada bagian stator dan kumparan medan terletak pada bagian rotor.

2.2 Konstruksi Generator Sinkron

Pada generator sinkron, arus DC yang dipasang ke belitan rotor akan menghasilkan medan magnet rotor. Kemudian rotor akan diputar dengan suatu kecepatan tertentu oleh sebuah penggerak mula, memutar medan magnet didalam

mesin dan menginduksikan tegangan pada belitan stator. Rotor dari generator ini, pada dasarnya merupakan elektromagnet yang besar, dimana konstruksi kutub-kutubnya dapat berupa kutub menonjol dari permukaan rotor, dan bentuknya seperti tapak sepatu sehingga sering juga disebut dengan rotor bentuk kutub sepatu. Bentuk kutub tidak menonjol adalah konstruksi kutub-kutubnya sama tinggi dengan permukaan rotor yang berbentuk silinder, sehingga bentuk ini sering juga disebut dengan rotor silinder.

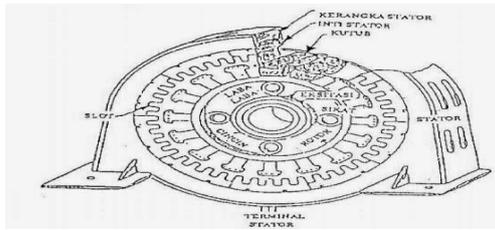
Rotor-rotor ini sifatnya untuk menghasilkan medan magnet, maka laminasinya perlu dibuat sedemikian rupa untuk menghasilkan rugi-rugi eddy sekecil mungkin.

Dalam hal ini, arus searah harus disuplai ke rangkaian medan di rotor, yang pada dasarnya dapat dilakukan dengan dua metode yaitu :

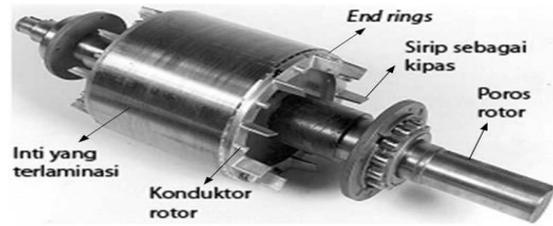
1. Suplai arus searah berasal dari sumber tegangan eksternal dengan cara menghubungkannya ke terminal belitan medan melalui slipring dan sikat.
2. Suplai arus searah berasal dari sumber daya khusus yang terpasang langsung pada poros generator tersebut.

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.

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat konstruksi sederhana dari sebuah generator sinkron secara umum :



Gambar 2.2 Konstruksi Generator Sinkron Secara Umum



Gambar 2.3 Rotor Generator Sinkron

2.2.1 Rotor

Rotor terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. Poros Rotor

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

Bentuk suatu rotor dari generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut:

2.2.2 Stator

Stator (armature) adalah bagian yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator. Komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak (Winardi, 2017)

Bentuk suatu stator dari generator sinkron dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.6 Stator Generator Sinkron

2.4 Prinsip Kerja

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh *prime mover*, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks yang bersifat bolak – balik atau fluks putar. Fluks putar ini akan memotong – motong kumparan stator sehingga pada ujung – ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena pengaruh induksi dari fluks putar tersebut. Gaya gerak listrik (ggl) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak – balik, atau berputar

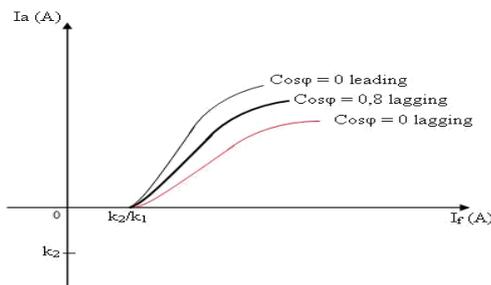
dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.

2.5 Generator Sinkron Berbeban

Bila generator diberi beban yang berubah – ubah maka besarnya tegangan terminal V_t akan berubah – ubah pula. Hal ini disebabkan adanya :

- Jatuh tegangan karena resistansi jangkar (R_a)
- Jatuh tegangan karena reaktansi bocor jangkar (X_L)
- Jatuh tegangan karena reaksi Jangkar

Gambar rangkaian dan karakteristik generator sinkron berbeban diperlihatkan pada gambar berikut ini :



Gambar 2.7 Kurva Karakteristik Generator Berbeban

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Pemanasan

Secara garis besar faktor yang mempengaruhi pemanasan atau kenaikan temperatur pada generator sinkron yang sedang beroperasi dapat dipisahkan menjadi tiga bagian adalah:

- Faktor yang menimbulkan panas, diantaranya rugi – rugi tembaga, rugi – rugi besi dan rugi – rugi gesek (angin)
- Faktor pendingin, yang mampu mengurangi panas yang timbul
- Faktor perpindahan panas antara lain ketebalan isolasi belitan terselubung dan belitan akhir serta konduktifitasnya.

2.7 Panas Pada Rotor

Generator sinkron terdiri dari kumparan jangkar yang terdapat pada stator dan kumparan medan yang terdapat pada rotor. Rotor merupakan bagian yang berputar di dalam generator, yang biasanya dalam bentuk penghantar yang terletak di tengah stator. pada dasarnya rotor terdapat kumparan rotor (rotor coil) yang berfungsi untuk membangkitkan kemagnetan. Kuku – kuku yang terdapat pada rotor berfungsi sebagai kutub – kutub magnet, dua slip ring yang terdapat pada generator berfungsi sebagai penyalur listrik kekumparan rotor Yang berasal dari trafo eksitasi yang mengalirkan arus DC.

Jika penghantar di aliri arus, maka akan timbul medan magnet sebagaimana fungsi dari kumparan rotor. Selain itu ada produk lain yang menjadi losses berupa panas (rumusnya adalah $I^2 R t$, dimana I = arus, R = tahanan kumparan, t = waktu). Biasa disebut sebagai rugi – rugi kumparan medan sebesar sekitar 20 sampai 30% dari rugi beban penuh.

Losses yang lain adalah pada inti rotor dimana pada inti rotor akan timbul arus eddy. Kembali lagi, ada arus (arus eddy) ada tahanan di inti rotor maka akan timbul losses berupa panas. Biasanya terjadi pada sepatu kutub atau permukaan besi medan, besar rugi besi adalah sekitar 20 sampai 30% dari rugi total pada beban penuh. Selain itu ada juga panas yang disebabkan oleh gesekan angin karena adanya jarak udara antara stator dan rotor. Biasanya rugi ini disebut sebagai rugi buta (stray loss), besar rugi mekanik sekitar 10 sampai 20% dari rugi total pada beban penuh. Diketahui besar efisiensi generator sebesar 98,654% maka dapat kita cari besar rugi – rugi penyebab panas pada rotor dengan menggunakan rumus, yaitu :

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi}}$$

Dimana :

$$\sum \text{rugi} = P_{cu} + P_{in}$$

2.8 Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Rotor

Generator sinkron tiga fasa adalah sumber utama pembangkit daya listrik yang sudah tidak asing lagi dalam dunia kelistrikan. Hampir seluruh sistem pembangkit tenaga listrik di dunia ini menggunakan generator sinkron sebagai sumber daya listrik.

Dalam penggunaannya, generator beroperasi secara terus-menerus sesuai dengan kebutuhan beban yang dilayaninya. Akibatnya generator akan menimbulkan rugi-rugi panas akibat eddy current pada belitan stator/rotor. Panas yang ditimbulkan generator ini dapat mempengaruhi kerja dari generator sehingga dapat menurunkan efisiensi generator itu sendiri.

Beban yang dilayani generator sangat berpengaruh terhadap panas yang timbul pada rotor. Semakin besar beban yang di layani generator maka panas pada rotor akan semakin besar juga. Hal ini karena arus yang di butuhkan semakin besar, agar daya yang di butuhkan tercapai. Sehingga pada trafo eksitasi di atur suplay arusnya. Sesuai dengan rumusnya, yaitu :

$$P_{cu \text{ rotor}} = I_f \cdot V_f$$

2.9 Pengaruh Temperatur pada Belitan Rotor

Berdasarkan besarnya nilai arus dan tegangan eksitasi, temperatur rata-rata pada belitan rotor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$t = \left(\frac{1}{R_0} (235 + t_0) \times \frac{V_F}{I_F} \right) - 235$$

Dimana:

t : Temperatur pada belitan rotor ($^{\circ}\text{C}$)

R_0 : Tahanan DC pada belitan rotor saat t_0 (Ω)

R_F : Tahanan medan pada rotor saat t (Ω)

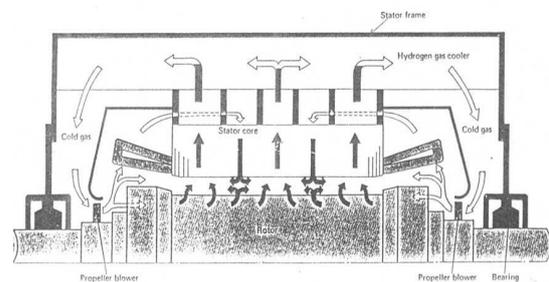
V_F : Tegangan eksitasi (Volt)

I_F : Arus eksitasi (Ampere)

2.9 Pendinginan Generator dengan Gas Hidrogen

Pendinginan alternator dengan gas hidrogen adalah yang paling efektif dibanding dengan udara. Tetapi Hidrogen sangat rentan terhadap bahaya ledakan bila bercampur dengan udara pada kondisi 4% s.d 75%, maka penanganannya harus berhati-hati.

Sistem sirkulasi hidrogen didalam alternator secara konvensional (conventional hydrogen cooled) dengan menggunakan dua unit blower yang masing-masing dipasang pada bagian ujung-ujung seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.8 Sistem Sirkulasi Hidrogen Pendingin Alternator Secara Konvensional

Proses pendinginan generator dengan menggunakan gas hidrogen sebagai media pendingin, langsung mengenai bagian dalam generator / kontak langsung dengan generator. Gas hidrogen masuk melewati sebuah *valve* ke body generator yang kemudian disirkulasikan oleh fan yang ada di dalam generator. Selama generator bekerja, dalam melakukan pendinginan, suhu gas hidrogen akan meningkat. Di dalam generator tersebut, terdapat pula *hydrogen cooling* yang berfungsi untuk menjaga suhu gas hidrogen agar tetap dingin sehingga dapat menjalankan fungsinya secara optimal. Apabila tidak beroperasi, gas hidrogen akan terus terjaga didalam generator, tetapi tidak memerlukan pendinginan oleh *hydrogen cooling*. Untuk

proses pendinginan, gas hidrogen tetap berada di dalam generator dengan tekanan 30 psi. Apabila dibawah settingan tersebut, maka gas hidrogen akan dialirkan dari tangki untuk mempertahankan tekanan 30 psi dalam generator. Toleransi yang diberikan adalah 28 psi pada awal pengoperasian, dahulu. Namun, karena ada masalah pada *H2 Plant*, saat ini nilai settingan *alarm pressure* adalah 25 psi. Apabila dibawah 25 psi, sistem akan *shut down*.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Alat & Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3. Generator Sinkron 3 Fasa
4. Alat Ukur
 - Thermometer Data Logger Pocket (untuk mengukur terperatur suhu pada rotor generator).
 - Electric Meter (untuk mengukur tegangan keluaran generator).

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

4. Data Generator.
5. Data beban yang di peroleh generator.
6. Data temperature pada bagian rotor generator.

3.2 Jalanya Penelitian

Dalam penelitian ini, pertama sekali mempersiapkan alat-alat yang akan digunakan untuk melakukan pengambilan data dari PLTU Pangkalan Susu. Dan berikut spesifikasi generator nya :

- Generator sinkron 258,8 MVA, 3 Fasa
- Rating Tegangan 15,75 KV
- Rating Arus 3,953 A

Berikut juga data-data yang dibutuhkan dalam penelitian :

- Tingkat kemurnian & Tekanan Hidrogen.

- Temperatur pada rotor generator (Keadaan aktual).
- Rugi-rugi pada generator.
- Daya output yang dihasilkan generator.
- Tegangan & arus eksitasi.
- Tahanan DC pada belitan rotor.

Selanjutnya memasukkan data-data yang telah diperoleh dari penelitian tersebut, lalu dilakukan perhitungan berdasarkan rumus. Data-data yang dibutuhkan tersebut telah diuraikan pada poin “Pengambilan Data” diatas. Setelah mendapatkan data lalu melakukan Perhitungan berdasarkan data-data tersebut untuk mencari temperatur pada bagian rotor generator untuk berbagai keadaan, yaitu saat generator berbeban 50%, 70% dan 100%. Setelah mendapatkan hasilnya kemudian Menganalisa Hasil Perhitungannya. Data-data hasil perhitungan perlu dilakukan analisa setiap perubahan beban pada generator. Setelah itu kemudian membandingkan hasil perhitungan dengan hasil yang diperoleh dalam keadaan aktual, maka dapat ditentukan besarnya nilai efektifitas hidrogen dalam mendinginkan rotor generator. Kemudian penelitian selesai.

3.3 Flowchart Penelitian

Adapun Flowchart Penelitian yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

4 HASIL DAN ANALISA

4.1 Data Generaator

Adapun Data Pada Generator dapat dilihat pada karakteristik seperti Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Data Pada Generator

No	Nama Percobaan	Hasil Percobaan
1	Rating generator	220 MW
2	Rating tegangan	15,75 kV
3	Rating arus	9488 A
4	Frekuensi	50 Hz
5	Faktor daya	0,85
6	Phasa	3
7	Kecepatan putar	3000 rpm
8	Tahanan rotor (RF) saat 75° C	0,23216 Ω
9	Tahanan stator (RA)saat 55° C per fasa	0,00199 Ω

4.2 Perhitungan Temperatur pada Belitan Rotor

Berdasarkan besarnya nilai arus dan tegangan eksitasi yang diukur, temperatur rata-rata pada belitan rotor adalah sebagai berikut :

Untuk beban 50%

Untuk data beban 50% terdapat pada Tabel 4.2 dibawah ini :

Tabel 4.2 Data untuk beban 50%

	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Faktor Daya	Arus Eksitasi (A)	Tegangan Eksitas (V)	Temperatur Aktual Rotor (°C)
G_1	112,37	147,26	0,61	1608,59	332,25	60,67
G_2	116,51	150,48	0,63	1632,90	344,05	62,11

$R_0 = 0,1872 \Omega$ pada saat $t_0 = 15^\circ C$

Untuk beban 75%

Untuk data beban 75% terdapat pada Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Data untuk beban 75%

	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Faktor Daya	Arus Eksitasi (A)	Tegangan Eksitas (V)	Temperatur Aktual Rotor (°C)
G_1	160,593	165,663	0,70	1813,72	389,83	70,34
G_2	162,491	106,368	0,73	1786,91	382,86	71,60

$R_0 = 0,1872 \Omega$ pada saat $t_0 = 15^\circ C$

Untuk beban 100%

Untuk data beban 100% terdapat pada Tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4 Data untuk beban 100%

	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Faktor Daya	Arus Eksitasi (A)	Tegangan Eksitas (V)	Temperatur Aktual Rotor (°C)
G_1	219,084	135,718	0,85	1839,15	397,47	73,2
G_2	218,585	137,142	0,86	1843,04	403,26	74,2

$R_0 = 0,1872 \Omega$ pada saat $t_0 = 15^\circ C$

Tabel 4.5 Hasil Analisa Data Perhitungan Tempetur Pada Belitan Rotor

Beban	Temperatur Rata-rata
Beban 50%	43,609 °C
Beban 75%	51,59 °C
Beban 100%	55,409 °C

4.3 Perhitungan Efektivitas Pendingin Rotor Generator

Berdasarkan perhitungan tempetur pada rotor generator, maka dapat ditentukan efektivitas dari pendingin rotor generator dalam setiap keadaan beban, seperti berikut :

Untuk beban 50%

Untuk data temperatur beban 50% terdapat pada Tabel 4.6 dibawah ini :

Tabel 4.6 Data temperatur untuk beban 50%

No	Temperatur Aktual (°C)	Temperatur Perhitungan (°C)
G_1	60,67	40,838
G_2	62,11	46,381
Rata-rata	61,39	43,609

Untuk beban 75%

Untuk data temperatur beban 75% terdapat pada Tabel 4.7 dibawah ini :

Tabel 4.7 Data temperatur beban 75%

No	Temperatur Aktual (°C)	Temperatur Perhitungan (°C)
G ₁	70,34	52,038
G ₂	71,60	51,135
Rata-rata	70,97	51,59

Untuk beban 100%

Untuk data temperatur beban 100% terdapat pada Tabel 4.8 dibawah ini :
Tabel 4.8 Data temperatur beban 100%

No	Temperatur Aktual (°C)	Temperatur Perhitungan (°C)
G ₁	73,2	53,617
G ₂	74,2	57,202
Rata-rata	73,7	55,409

Tabel 4.9 Hasil Analisa Data Perhitungan Efektivitas Pendingin Rotor Generator

Beban	Hasil
Beban 50%	71,03%
Beban 75%	72,69%
Beban 100%	75,18%
Efektifitas Rata- rata	72,96%

4.4 Perhitungan Efisiensi Pendingin Rotor Generator

Berdasarkan besarnya nilai arus dan tegangan eksitasi yang diukur, maka dapat ditentukan efisiensi dari pendingin rotor generator dalam setiap keadaan beban, adalah sebagai berikut :

Untuk beban 50%

Untuk data beban 50% terdapat pada Tabel 4.10 dibawah ini :
Tabel 4.10 Data Arus dan tegangan eksitasi untuk beban 50%

No	Arus eksitasi (A)	Tegangan eksitasi (V)
G ₁	1608,59	332,25
G ₂	1632,90	344,05
Rata rata	1620,74	338,15

Untuk beban 75%

Untuk data beban 75% terdapat pada Tabel 4.11 dibawah ini :
Tabel 4.11 Data Arus dan tegangan eksitasi untuk beban 75%

No	Arus eksitasi (A)	Tegangan eksitasi (V)
G ₁	1813,72	389,83
G ₂	1786,91	382,86
Rata rata	1800,31	386,34

Untuk beban 100%

Untuk data beban 100% terdapat pada Tabel 4.12 dibawah ini :
Tabel 4.12 Data Arus dan tegangan eksitasi untuk beban 100%

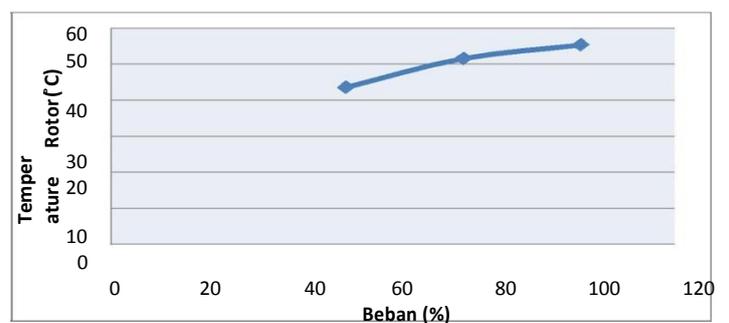
No	Arus eksitasi (A)	Tegangan eksitasi (V)
G ₁	1839,15	397,47
G ₂	1843,04	403,26
Rata rata	1841,09	400,36

Tabel 4.13 Hasil Analisa Data Perhitungan Efisiensi Pendingin Rotor Generator

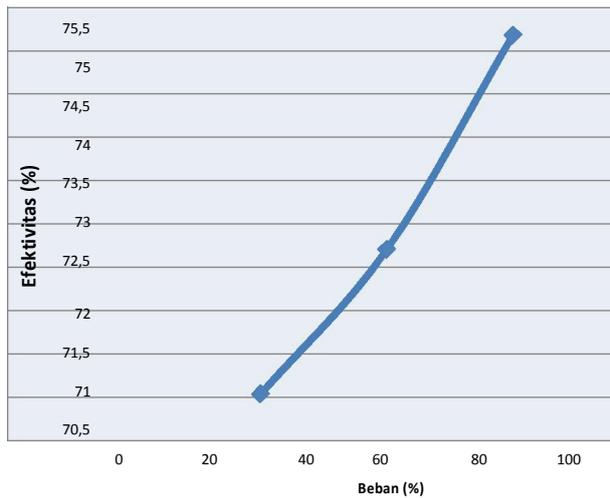
Beban	Efisiensi Generator Beban
Beban 50%,75%,100%	224,66%

4.5 Grafik Perhitungan Temperatur pada Belitan Rotor dan Perhitungan Efektivitas Pendingin Rotor Generator.

- Grafik Perhitungan Temperatur pada Belitan Rotor



➤ Grafik Perhitungan Efektivitas Pendingin Rotor Generator.



5. Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Perubahan beban yang dilayani generator akan mempengaruhi perubahan temperatur pada belitan di rotor generator. Semakin besar beban yang dilayani generator, maka semakin tinggi pula temperatur pada rotor generator tersebut. Sehingga dapat dilihat data percobaan bahwa, pada beban 50% temperatur sebesar $43,609^{\circ}\text{C}$, pada beban 75% temperatur sebesar $51,59^{\circ}\text{C}$, pada beban 100% temperatur sebesar $55,409^{\circ}\text{C}$.
- Perubahan beban yang dilayani generator juga akan mempengaruhi perubahan efektivitas pendingin belitan di rotor generator. Semakin besar beban yang dilayani generator, maka semakin tinggi pula efektivitas pendingin rotor generator tersebut. Sehingga dapat dilihat data percobaan bahwa, pada beban 50% efektivitas sebesar 71,03%, pada beban 75% efektivitas sebesar 72,69 %, pada beban 100% efektivitas sebesar 75,18%.

beban 100% efektivitas sebesar 75,18%.

- Dari penelitian ini, di dapat efektivitas rata – rata sebesar 72,96%. Sehingga cukup baik untuk mendinginkan generator.
- Dari penelitian ini, di dapat efisiensi terhadap perubahan pada beban 50%, beban 75%, dan beban 100% sebesar 224,66%. Sehingga cukup bagus efisiensi terhadap setiap perubahan beban.

5.2 Saran

Dari penelitian ini, ada beberapa saran yang diajukan penulis, yaitu sebagai berikut :

- Perubahan beban yang dilayani generator akan mempengaruhi perubahan temperatur pada belitan di rotor generator. Semakin besar beban yang dilayani generator, maka semakin tinggi pula temperatur pada rotor generator tersebut. Kita lihat di data percobaan bahwa, pada beban 50% temperatur sebesar $43,609^{\circ}\text{C}$, pada beban 75% temperatur sebesar $51,59^{\circ}\text{C}$, pada beban 100% temperatur sebesar $55,409^{\circ}\text{C}$.
- Perubahan beban yang dilayani generator juga akan mempengaruhi perubahan efektivitas pendingin belitan di rotor generator. Semakin besar beban yang dilayani generator, maka semakin tinggi pula efektivitas pendingin rotor generator tersebut. Kita lihat di data percobaan bahwa, pada beban 50% efektivitas sebesar 71,03%, pada beban 75% efektivitas sebesar 72,69 %, pada beban 100% efektivitas sebesar 75,18%.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, 2013, **“Sistem Pendingin Generator PT. Indonesia Power UBP Suralaya Menggunakan Hidrogen”**, Jurnal Setrum Vol. 2 No. 1 ISSN 2301-4652. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Gopinath, 2009, **“Effectiveness Of Auxiliary System Monitoring & Continuous Hydrogen Scavenging Operation On Hydrogen-Cooled Generator At Power Plant”**, IEEE.
- Sumijanto, 2003, **“Teknik Penggunaan Gas Hidrogen Untuk Penuurunan Konsentrasi Oksigen Terlarut Dalam Air”**, Jurnal Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir VIII ISSN No.1410-0533, Serpong.
- Stevenson, 1983 **“Analisis Sistem Tenaga Listrik”**, handbook, Penerbit Erlangga, Bandung.
- Subagio, 2015, **“Perancaan Sistem Pendingin Udara Masuk Gas Turbin 15 °C Menggunakan Absorption Chiller di PLTGU UBP PRIOK”**, Jurnal Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV), Universitas Indonesia.
- Wibowo, 2014, **“Studi Numerik Peningkatan Cooling Performance Pada Lube Oil Cooler Gas Turbine Yang Disusun Secara Seri Dan Paralel Dengan Variasi Kapasitas Aliran Lube Oil”**, Jurnal Teknik Pomits Vol.3, No.2 ISSN 2301-9271 Hal B 169-173.
- Wijaya, 2001, **“Dasar-Dasar Mesin Listrik”**, handbook, Djamban, Jakarta.
- Widiasanti, 2012, **“Operasi HMXT-200 Generator sebagai penghasil Hidrogen Pada H₂ Plant PLTGU PT. Indonesia Power UBG Semarang”**.
- Winardi, 2007, **“Pemakaian Hidrogen Cooling Sistem Pada Generator Unit 1 PLTU Tambak Lorok PT. Indonesia Power UBP Semarang”**, Jurnal Transmisi Jilid 9 No.1, Hal. 46-51, Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Zuhal, 1998, **“Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya”**, handbook, Penerbit Gramedia, Jakarta.

BIODATA



I. Data Pribadi

- Nama : Aswandi Siregar
T/Tgl : Sihambeng, 03 September 1993
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Nama Ayah : H. Fakhruddin Siregar
Ibu : Hj. Jurminah Harahap

II. Pendidikan

SDN 105620 Sihambeng 2000 s/d 2006

MTS Swata Darularafah 2006 s/d 2009

MAS Swasta Darularafah 2009 s/d 2012

S1 Teknik Elektro

Fakultas Teknik UMSU 2012 s/d 2017

Pembimbing 1 : **Ir. Eddy Warman M.T**

Pembimbing 2 : **Rimbawati S.T, M.T**

Penguji 1 : **Dr.Ir. Surya Hardi M.Sc**

Penguji 2 : **Solly Ariza S.T, M.T**