

# Sistem Pendinginan Generator PT Indonesia Power UBP Suralaya Menggunakan Hidrogen

Didik Aribowo<sup>1</sup>, Amalia Rahmawaty<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Jl. Jenderal Sudirman Km. 3 Cilegon-Banten 42435

<sup>1</sup>aribowo82@yahoo.co.id, <sup>2</sup>amaliarrrr@gmail.com

**Abstrak** — Pembangkit listrik, dalam hal ini Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), generator merupakan salah satu komponen yang sangat penting di mana generator memiliki fungsi mengkonversi energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. Akibat arus yang mengalir melewati konduktor di dalam generator panas terjadi, agar generator tetap dapat bekerja dengan baik dibutuhkan suatu sistem pendinginan untuk menghilangkan panas tersebut. Sistem pendinginan generator menggunakan gas hidrogen ( $H_2$ ) sebagai medium jauh lebih efektif dibandingkan mendinginkan generator menggunakan udara, karena  $H_2$  memiliki konduktivitas thermal dan koefisien transfer panas yang jauh lebih tinggi dibanding udara. Kelemahan  $H_2$  bersifat eksplosif apabila tercampur dengan udara, maka dari itu dibutuhkan suatu sistem yang handal untuk mencegah  $H_2$  bocor ketika bersirkulasi di dalam rumah generator, yaitu sea oil system. Sistem ini berfungsi sebagai perapat hidrogen sekaligus pelumas shaft.

**Kata Kunci** : PLTU, Generator, Sistem Pendinginan, Hidrogen

**Abstract** — The power plant, in this case the steam power plant (power plant), the generator is one very important component which has a function generator converts the mechanical energy generated by the turbine into electrical energy. Due to the current flowing through a conductor in a heat generator, so that the generator can still work well we need a cooling system to remove the heat. Generator cooling system using hydrogen gas ( $H_2$ ) as the medium is much more effective than using air to cool generators, because  $H_2$  has a thermal conductivity and heat transfer coefficient is much higher than the air.  $H_2$  weakness is eksplosif when mixed with air, and therefore needed a robust system to prevent leaking  $H_2$  when circulating in the house generator, namely sea oil system. This system serves as well as lubricants shaft seals hydrogen.

**Keywords** : Power Plant, Generators, Cooling Systems, Hydrogen

## I. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan manusia sehari-hari tidak bisa lepas dari kebutuhan akan listrik. Energi listrik tersebut dihasilkan oleh pusat-pusat pembangkit listrik. Pada proses pembangkitan tenaga listrik tersebut dibutuhkan suatu alat untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik, yang dikenal dengan sebutan generator. Untuk menghasilkan energi listrik yang handal, generator tersebut harus bekerja sesuai dengan kapasitas dan kemampuannya.

Generator dapat menghasilkan tenaga listrik ketika medan magnet yang ada pada generator dieksitasi. Akibat arus yang mengalir pada konduktor, panas terjadi. Generator memiliki banyak konduktor dan arus yang mengalir melewati konduktor, menciptakan banyak panas. Jika panas itu tidak “dihilangkan” maka dapat menyebabkan kumparan di generator menjadi rusak (isolasi melepuh sehingga dapat terjadi *short*).

Maka dari itu dibutuhkan suatu sistem pendingin untuk “menghilangkan” panas pada generator tersebut. Mesin pendingin hidrogen mulai diproduksi dan digunakan secara besar-besaran sejak tahun 1950. Hidrogen memiliki karakteristik dimana karakteristik

tersebut akan menguntungkan apabila hidrogen digunakan sebagai medium pendingin dibandingkan mendinginkan menggunakan udara sebagai medium.

Selain memiliki karakteristik yang menguntungkan hidrogen juga memiliki sifat eksplosif jika tercampur udara dengan perbandingan hidrogen sampai dengan 76%. Maka dari itu dibutuhkan suatu sistem untuk mencegah hidrogen yang ada dalam *housing* generator bercampur dengan udara, yang dikenal dengan *seal oil system*.

Tujuan yang hendak dicapai dalam pelaksanaan kerja praktek ini adalah :

1. Mempelajari sistem pendinginan yang ada pada generator, khususnya sistem pendinginan yang menggunakan hidrogen sebagai medium.
2. Mempelajari karakteristik hidrogen, serta kelebihan dan kekurangannya sebagai medium pendingin.
3. Mengetahui secara ringkas sistem seal oil sebagai pelumas dan perapat hidrogen.

Batasan masalah dalam pelaksanaan kerja praktek ini adalah :

1. Pembahasan berfokus pada pendinginan generator menggunakan gas hidrogen ( $H_2$ ), karakteristik, siklus dan cara pengisian hidrogen.

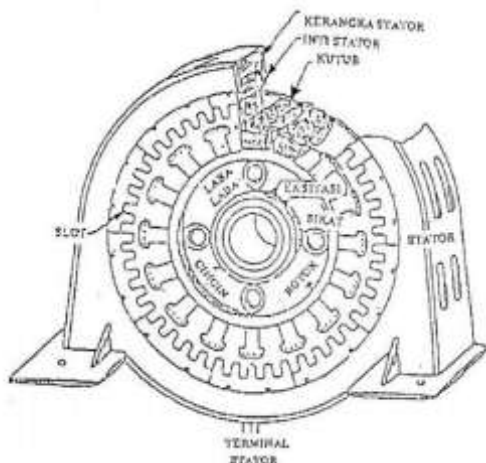
2. Sistem seal oil hanya akan dibahas secara singkat mengenai fungsinya sebagai perapat hidrogen dan *backup system* operasinya.

II. DASAR TEORI

2.1 Konstruksi Generator Sinkron

Generator terdiri dari dua bagian yang paling utama, yaitu:

1. Bagian yang diam (stator):
  - a. Inti stator berupa cincin laminasi yang diikat serapat mungkin untuk menghindari rugi-rugi arus eddy (eddy current losses), pada inti ini terdapat beberapa slot untuk menempatkan konduktor dan untuk mengatur arah medan magnetnya.
  - b. Belitan stator terdiri dari beberapa batang konduktor yang terdapat di dalam slot dan ujung kumparan. Masing-masing slot dihubungkan
  - c. untuk mendapatkan tegangan induksi.
  - d. Alur stator merupakan bagian stator yang berperan sebagai tempat belitan stator ditempatkan.
  - e. Rumah stator merupakan bagian dari stator yang umumnya terbuat dari besi tuang yang berbentuk silinder.



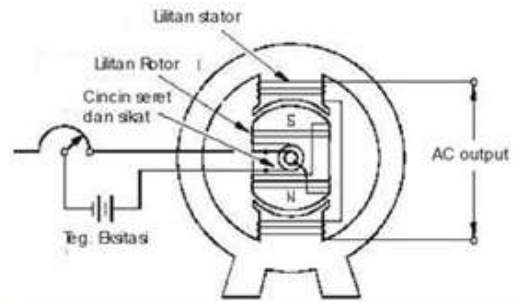
Gambar 1. Konstruksi Generator Sinkron

2. Bagian yang bergerak (rotor).

Rotor adalah bagian generator yang bergerak atau berputar, antara rotor dan stator dipisahkan oleh celah udara (*air gap*). Rotor terdiri dari dua bagian umum:

- a. Inti kutub,
- b. Kumparan medan.

Bagian inti kutub memiliki poros dan inti rotor yang memiliki fungsi sebagai jalan atau jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan. Kumparan medan juga memiliki dua bagian, yaitu bagian penghantar sebagai jalur untuk arus pemacuan dan bagian yang diisolasi. Isolasi pada bagian ini harus benar-benar baik dalam hal kekuatan mekanisnya, ketahanannya akan suhu yang tinggi dan ketahanannya terhadap gaya sentrifugal yang besar. Konstruksi rotor untuk generator yang memiliki nilai putaran relatif tinggi biasanya menggunakan konstruksi rotor dengan kutub silindris (*cylindrica poles*) dan jumlah kutubnya relatif sedikit (2, 4, 6). Konstruksi ini dirancang tahan terhadap gaya yang lebih besar akibat putaran yang tinggi.



Gambar 2. Konstruksi Rotor Silindris

2.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Adapun prinsip kerja generator sinkron secara umum adalah sebagai berikut:

1. Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan maka akan menimbulkan fluks yang besarnya terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula (*prime mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya.
3. Perputaran tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut, hal tersebut sesuai dengan persamaan:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

$$E_{eff} = Cn\phi_m \quad (2)$$

2.3 Sistem Pendingin Generator

Generator berfungsi merubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. Medan magnet yang melalui inti stator dan juga arus listrik yang melalui kumparan stator dan rotor generator akan menimbulkan panas. Agar kerusakan akibat panas pada isolasi dapat dicegah, maka panas tersebut harus dihilangkan. Untuk itu diperlukan media pendingin generator.

1. Sistem Pendinginan Generator Menggunakan Udara Langsung

Untuk mendinginkan temperatur (suhu) pada belitan stator dan rotor digunakan udara dari luar yang ditarik oleh *fan* rotor melalui *filter*, kemudian dihisap melalui celah-celah (lubang udara) baru ke atmosfer, begitu seterusnya.

Kelebihan generator jenis ini:

- a. Sistem pemeliharannya sangat mudah karena generator jenis ini lebih sederhana.
- b. Biaya pemeliharaan murah.
- c. Risiko kebakaran kecil.

Kekurangan generator jenis ini:

- a. Kondisi belitan rotor dan stator sangat kotor karena menggunakan udara langsung yang membawa berbagai jenis debu dan kotoran.
- b. Proses *heat transfer* temperatur berlangsung lambat karena menggunakan udara langsung.
- c. Kelembaban udara tinggi karena penggunaan udara langsung menyebabkan kelembaban udara tidak dapat diatur, sehingga dapat membahayakan komponen generator tersebut.
- d. *Life time* generator lebih pendek.

2. Sistem Pendinginan Generator Menggunakan Udara Tetap

Pada generator jenis ini, mendinginkan temperatur belitan stator dan rotor menggunakan udara tetap yang berada di dalam generator. Udara tersebut ditarik oleh *fan* rotor dan dihembuskan ke celah-celah belitan stator dan rotor, sehingga menimbulkan sirkulasi udara secara terus-menerus melalui alat pendingin udara.

Kelebihan generator jenis ini:

- a. Sistem pemeliharaannya mudah.
- b. Biaya pemeliharaannya murah.
- c. Risiko terjadi kebakaran relatif kecil.
- d. Relatif bersih jika dibandingkan dengan generator yang menggunakan udara langsung.

Kekurangan generator jenis ini:

- a. *Heat transfer* temperatur lebih lambat karena menggunakan udara dan proses pendinginannya juga lambat.
- b. Kelembaban udara tinggi karena generator jenis ini tidak bisa mengatur kelembaban udara di dalam generator.
- c. *Life time* generator lebih pendek.

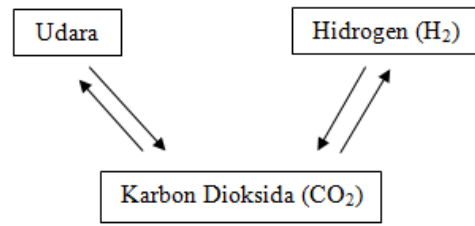
III. SISTEM PENDINGIN HIDROGEN

3.1 Sistem Pendingin Hidrogen

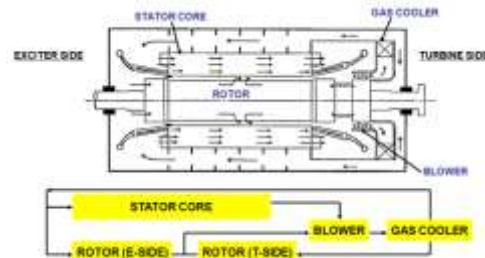
Cara lain untuk mendinginkan generator adalah dengan mensirkulasikan gas hidrogen ( $H_2$ ) di dalam rumah generator dan di sekitar rotor.  $H_2$  tujuh sampai sepuluh kali lipat lebih baik dalam menyerap dan mentransfer panas dibandingkan dengan udara. Artinya untuk ukuran generator yang sama, lebih banyak arus yang dapat dialirkan pada kumparan stator dan rotor jika didinginkan menggunakan  $H_2$ .

$H_2$  bersifat eksplosif jika tercampur dengan udara dengan perbandingan 4-76%. Pada saat *overhaul* atau pada saat-saat tertentu ketika *housing* generator harus dibuka,  $H_2$  yang berada dalam generator tidak boleh tercampur dengan udara langsung. Maka dari itu dibutuhkan suatu medium untuk memisahkan  $H_2$  dan udara. Digunakan karbon dioksida atau  $CO_2$  untuk membersihkan generator sebelum dimasuki baik oleh  $H_2$  maupun udara.

Di dalam generator terdapat *blower* yang berfungsi mengarahkan  $H_2$  ke bagian-bagian generator yang perlu didinginkan. Untuk kumparan stator, gas hidrogen masuk dari arah *exciter* dan keluar dari sisi turbin. Untuk kumparan rotor, gas masuk dari kedua ujung kumparan dan keluar dari tengah kumparan.



Gambar 3. Alur Pengisian Gas



Gambar 4. Cooling Gas Flow

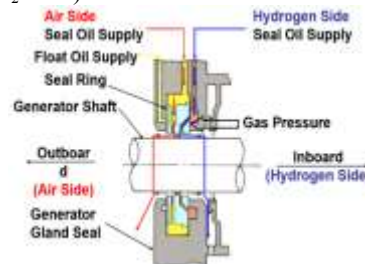
Temperatur gas hidrogen sebelum menyerap panas adalah sekitar  $45^{\circ}C$ , kemudian gas diarahkan oleh *blower* ke *gas cooler* yang berfungsi mendinginkan gas yang membawa panas generator. Gas didinginkan menggunakan air tawar yang memiliki temperatur  $35^{\circ}C$  yang dialirkan pada pipa-pipa di dalam *gas cooler*.

Kenaikan kelembaban didalam generator akan mengalami kerugian maka dari itu apabila kemurnian  $H_2$  jatuh dibawah 90%,  $H_2$  diatur agar bersirkulasi melalui *gas dryer* yang berfungsi menjaga kelembaban gas. *Dryer* terhubung pada *blower* dan mengandung 12kg *activated alumina* sebagai penyerap kelembaban.

3.2 Seal Oil System

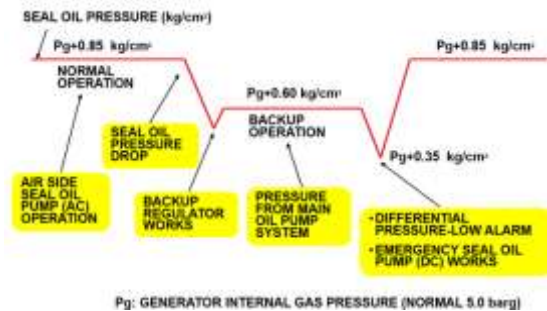
Rotor pada generator dikopel dengan poros turbin dan berputar bersama-sama dengan kecepatan yang sama, dan ujung lain rotor masuk ke *exciter house* untuk proses eksitasi. Maka dari itu pada kedua sisi di *housing* generator terdapat celah tempat poros yang menghubungkan *housing* generator, *exciter* dan turbin berputar. Agar gas hidrogen ( $H_2$ ) yang berada dalam *housing* generator tidak bocor keluar maka dibutuhkan sesuatu untuk menjaga hidrogen pada celah yang ada pada sisi *housing*.

*Seal Oil System* merupakan suatu sistem alat bantu dalam generator yang berfungsi sebagai pelumas *seal ring* sekaligus perapat hidrogen. Sistem Seal Oil ini ditopang oleh dua sisi tekanan, yakni sisi udara (*Air Side*) dan sisi hidrogen ( $H_2$  Side).



Gambar 5. Konstruksi Gland Seals

Tekanan minyak pada sistem seal oil dijaga lebih besar daripada tekanan gas hidrogen yang ada di dalam generator, sebesar  $P_g+0,85 \text{ kg/cm}^2$ , dimana  $P_g$  adalah tekanan di dalam generator sebesar  $4 \text{ kg/cm}^2$ . Untuk memastikan tidak ada kebocoran hidrogen dibutuhkan sistem seal oil yang handal dan bekerja terus menerus. Pada sistem seal oil disini terdapat *backup operation* untuk menjaga seandainya tekanan seal oil pada sisi udara menurun menjadi lebih kecil dibandingkan sisi  $H_2$  atau jika unit mati mendadak.



Gambar 6. Seal Oil Backup System

Terdapat tiga tahap operasi pada sistem seal oil, yaitu: *normal operation*, *backup operation* dan *emergency operation*.

Pada operasi normal seal oil dipompa dari *main oil tank* menggunakan motor AC yang mendapat suplai dari UST (*Unit Service Transformer*), tekanan diatur agar memenuhi standar yaitu  $P_g+0,85 \text{ kg/cm}^2$  oleh *differential pressure regulator*.

Jika motor AC yang memompa seal oil berhenti, hal itu akan menyebabkan tekanan seal oil turun menjadi  $P_g+0,6 \text{ kg/cm}^2$ . Pada saat itu minyak akan disuplai dari turbin. Ini merupakan *backup operation* pada seal oil.

Jika kondisi tidak memungkinkan untuk mensuplai minyak dari turbin ke sistem seal oil maka tekanan akan jatuh sampai  $P_g+0,35 \text{ kg/cm}^2$  yang mana merupakan batas minimum perbedaan tekanan antara hidrogen dan seal oil. Alarm akan menyala, dan *emergency motor DC* yang mendapat suplai tegangan dari baterai akan bekerja dan memompa minyak ke sistem seal oil sampai tekanan kembali pada  $P_g+0,85 \text{ kg/cm}^2$ .

IV. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Generator menghasilkan panas pada konduktor yang diakibatkan arus yang mengalir. Panas harus “dihilangkan” agar generator bisa tetap bekerja secara efisien. Maka itu dibutuhkan suatu sistem pendingin generator yang handal diantara sistem pendingin yang lainnya, yaitu sistem pendingin generator menggunakan hidrogen.
2.  $H_2$  memiliki karakteristik sebagai berikut:

Characteristic	Air	Hydrogen
Density	1.00	0.07
Thermal Conductivity	1.00	7.00
Heat Transfer Coefficient	1.00	1.25

Explosive	No	Yes
Oxidizing Agent	Yes	No

Sehingga memungkinkan generator yang menggunakan hidrogen sebagai medium pendingin memiliki kelebihan, yaitu:

- Heat transfer temperatur cepat.
- Generator menjadi lebih bersih.
- Life time generator menjadi lebih panjang.

Dan kekurangannya adalah:

- a. Pemeliharaan yang sulit.
  - b. Biaya pemeliharaan tinggi.
  - c. Hidrogen bersifat eksplosif jika bercampur dengan udara.
3. Dibutuhkan suatu sistem yang handal untuk mencegah hidrogen keluar dari rumah generator, yang dikenal dengan *seal oil system* memungkinkan hidrogen tetap tinggal di dalam rumah generator dengan cara memberikan tekanan yang telah diatur pada kedua sisi rumah, dimana poros generator berada.

4.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis diantaranya :

1. Karena generator merupakan alat yang sangat penting dalam sebuah sistem pembangkitan tenaga listrik maka sistem-sistem yang menunjang seperti sistem proteksi dan sistem pendingin harus dibuat sangat handal dan efektif.
2. Antara karyawan dan peserta PKL sebaiknya menjaga hubungan baik dan saling melengkapi ilmu pengetahuan satu sama lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mitsubishi. 1984. Suralaya Steam Power Plant Units 1 & 2 Maintenance Manual Volume TM 11 Generator.
- [2] Mitsubishi. 1984. Suralaya Steam Power Plant Units 1 & 2 Design Manual Volume TD 03 Generator & Ancillary (1).
- [3] Diktat Pusat Pelatihan dan Pendidikan PT. PLN (Persero), Pendingin Generator.
- [4] Diktat Pusat Pelatihan dan Pendidikan PT. PLN (Persero), Perapat Generator.
- [5] Lemberg, Alex. 2012. Oil Ingress in Medium GE Generators. GE Energy: Power Generation Services.
- [6] <http://www.control.com/thread/1267097548>
- [7] <http://saungpinkyku.blogspot.com/2011/12/sistem-bahan-bakar-pltu-rembang.html>
- [8] <http://tapakpakulangit.wordpress.com/2009/11/19/siklus-pltu-pembangkit-listrik-tenaga-uap/>
- [9] <http://blogs.itb.ac.id/el2244k0112211029ardinathasanjayaputra/>

Biodata Penulis

1. Didik Aribowo, ST.,MT., dilahirkan di Jambi pada 15 Februari 1982. Menamatkan studi S-1 di Jurusan Teknik Elektro bidang konsentrasi Non-Power di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Studi S-2 mengambil peminatan telekomunikasi multimedia

Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi sepuluh  
November Surabaya. Email : aribowo82@yahoo.co.id

2. Nama : Amalia Rahmawaty  
TTL : Serang, 27 Maret 1992  
NPM : 3332100301  
Jurusan : Teknik Elektro  
Konsentrasi : Power  
Email : mocc\_fame@yahoo.com