

TRANSISI ENERGI UNTUK MEWUJUDKAN ENERGI YANG BERKEADILAN MELALUI PEMANFAATAN BATUBARA DENGAN TEKNOLOGI IGCC

Bambang Priambodo¹⁾

1) PT. EMKA Rekayasa Energi

E-mail: bambangpriambodomse@gmail.com

Abstrak

RUPTL PT PLN (Persero) tahun 2025-2034 berwawasan Meningkatkan Ketahanan dan Keberlanjutan Energi Nasional. Oleh karenanya masih diperlukan Pembangkit Berbahan Bakar Batubara, dengan pertimbangan bahwa batubara menyumbang kontribusi ke anggaran negara secara signifikan, sumber energi murah dan menyerap lebih dari 43.000 tenaga sehingga bisa berperan dalam mewujudkan transisi energi yang berkeadilan. Akan tetapi batubara adalah energi fosil tak-terbarukan yang buruk, terutama dari segi gangguan lingkungan, mulai dari penambangan, pemrosesan, transportasi, penyimpanan, sampai dampak dari limbah padat dan emisi ketika digunakan sebagai bahan bakar. Untuk antisipasinya, bisa dilakukan pengendalian antara lain melalui retrofitting pada PLTU batubara, untuk memperpanjang umur teknis dan ekonomis PLTU batubara, sehingga dengan demikian bauran Energi Baru & Energi Terbarukan (EBT) dapat terus meningkat melalui pemanfaatan aset eksisting yang dapat mengurangi dampak sosial penutupan PLTU batubara. Salah satu upayanya adalah retrofit eksisting PLTU batubara menjadi PLTGU batubara, yang menerapkan Teknologi Pembangkit Listrik Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC). Unit IGCC ini sekaligus juga dapat berfungsi mengimbangi intermitensi dari Variable Renewable Energy (VRE) yang sangat besar, misalnya PLTS dan PLTB. Berarti unit IGCC ini juga berperan dalam ikut mendukung Transisi Energi untuk Mewujudkan Energi yang Berkeadilan dengan tujuan pencapaian Net Zero Emissions (NZE) pada tahun 2060.

Kata kunci: RUPTL, transisi energi, EBET, Batubara, IGCC.

Pendahuluan

Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2025-2034 berwawasan: “ **Meningkatkan Ketahanan dan Keberlanjutan Energi Nasional.**”

Oleh karenanya masih diperlukan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara, dengan pertimbangan bahwa selain murah dan tersedia melimpah, batubara menyumbang kontribusi ke anggaran negara secara signifikan dan menyerap lebih dari 43.000 tenaga sehingga bisa berperan dalam mendukung perwujudan transisi energi yang berkeadilan. Akan tetapi diperhitungkan juga bahwa batubara adalah energi fosil tak-terbarukan yang buruk, terutama dari segi gangguan lingkungan, mulai dari penambangan, pemrosesan, dan penggunaannya.

Baik yang menggunakan teknologi PLTU subcritical, PLTU supercritical dan PLTU ultra supercritical, perlu pengendalian emisinya. Pengendalian bisa dilakukan antara lain melalui retrofitting pada PLTU batubara, untuk memperpanjang umur teknis dan ekonomis PLTU batubara, sehingga dengan demikian bauran Energi Baru & Energi Terbarukan EBT dapat terus meningkat melalui pemanfaatan aset eksisting yang dapat mengurangi dampak sosial penutupan PLTU batubara.

Pemanfaatan dan penambahan kapasitas pembangkit pemikul beban dasar diutamakan berupa pembangkit yang mempunyai biaya operasi murah seperti pembangkit berbahan bakar batubara, antara lain PLTGU yang bisa mengantisipasi duck curve sebagai akibat produksi PLTS dan PLTS Atap yang masif di jaringan distribusi pada siang hari.

Selain itu juga berfungsi sebagai load follower untuk mengimbangi intermitensi dari Variable Renewable Energy (VRE) yang sangat besar, seperti PLTS dan PLTB.

Jenis PLTGU yang berupa Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC), lebih unggul dalam pemanfaatan batubara secara efisien dan ramah lingkungan, ikut mendukung pencapaian Net Zero Emissions (NZE) pada tahun 2060.

Kurva Duck Tail



Gambar 1. Ilustrasi kurva *duck tail*

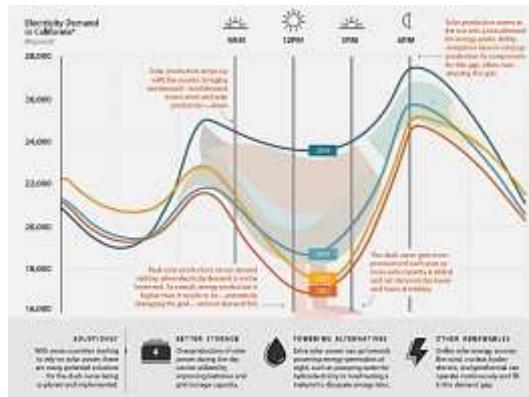
Peluang Serapan Tenaga Kerja

Sedangkan peluang tenaga kerja di sektor EBT sebagai berikut:



Gambar 2. Peluang tenaga kerja di sektor EBT

The Duck Tail Curve adalah salah satu tantangan unik transisi energi yang menggambarkan ketidaksetimbangan neraca energi. Hal ini erat kaitannya dengan konsep konsumsi dan produksi energi.



Gambar 3. Pemodelan produksi listrik PLTS

Untuk meratakan kurva *Duck Tail* ini, selain menggunakan sistem baterai, juga bisa dilakukan dengan mengintegrasikan sistem PLTS ini dengan pembangkit lain yang stabil.

Rencana Penambahan Pembangkit 69,5 GW (RUPTL Tahun 2025-2034)

Rencana total pembangkit yang akan dibangun: 69,5 Giga Watt (GW) terdiri atas: EBT 42,52 GW (61%), Storage 10,3 GW (15%), Fosil 16,6 GW (24%) dengan rincian sebagai berikut:

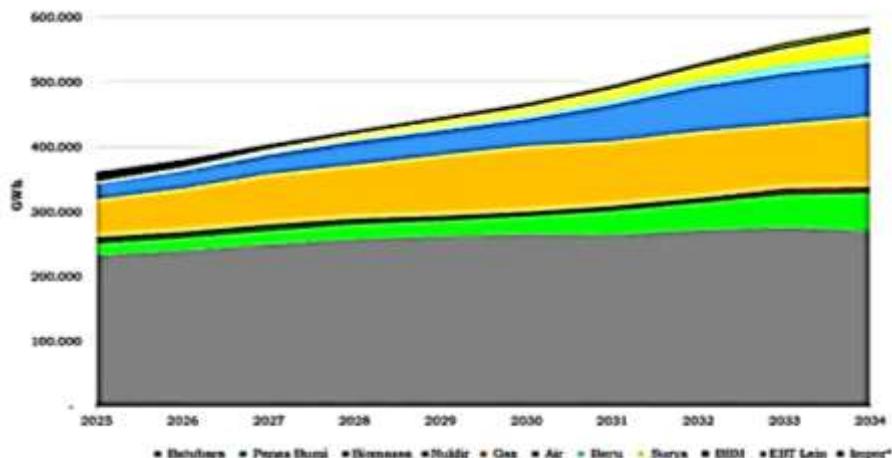
Tabel 1. Rencana Total Pembangkit

Energi Baru Terbarukan	Storage	Fosil
Surya	17,1 GW	Baterai
Air	11,7 GW	PLTA Pumped Storage
Angin	7,2 GW	
Panas Bumi	5,2 GW	Gas
Bioenergi	0,9 GW	Batubara
Nuklir	0,5 GW	

Sementara itu jumlah tenaga kerja di sektor batubara saat ini adalah 43.000 orang mulai dari penambangan, transportasi dan operasionalnya di PLTU berbahan bakar batubara.

Proyeksi Bauran Energi Indonesia 2025 – 2034

Digambarkan dengan Komposisi Bauran Energi Listrik Berdasarkan jenis bahan bakar Indonesia (GWh) skenario Accelerating Renewable Energy Development (ARED). (Sumber: RUPTL PLN 2025 – 2034). Terlihat bahwa porsi penggunaan batubara masih besar.



Gambar 4. Grafik komposisi bauran energi listrik berdasarkan jenis bahan bakar indonesia (GWh)

Pemrosesan Batubara Komersial

Dilakukan dengan berbagai sistem, antara lain:

1. Karbonisasi: Pembuatan arang batubara, kokas atau semi kokas
2. Pembakaran: Pembangkitan panas, uap dan listrik (Stoker, PC Boiler, CFB dsb.)
3. Gasifikasi: Pembuatan gas untuk energi atau bahan kimia (synthetic gas), IDCC, metanol, DME, Amonia dll
4. Likuifaksi: Pencairan batubara, bahan bakar atau bahan kimia

Arah Hilirisasi Batubara (Sumber: ESDM)

1. Indonesia memiliki sumber daya dan cadangan batubara yang besar serta potensi produksi hilirisasi batubara yang dapat mensubstitusi Bahan Bakar Minyak dan Gas (BBM dan BBG), dan bahan baku industri kimia
2. Pemerintah mendorong hilirisasi batubara untuk dapat mensubstitusi Bahan Bakar Minyak dan Gas (BBM dan BBG), dan bahan baku industri kimia, diantaranya mensubstitusi Bahan Bakar Minyak dan Gas (BBM dan BBG), dan bahan baku industri kimia Methanol dan DME. Diproyeksikan kebutuhan batubara untuk hilirisasi semakin meningkat

3. Dalam rangka mengantisipasi ancaman global terhadap batubara, maka pemanfaatan batubara ke depan harus diimbangi dengan teknologi yang ramah lingkungan (clean coal technology) untuk mengurangi emisi CO₂ sehingga dapat mendorong batubara sebagai sumber energi yang lebih ramah lingkungan.

Aspek Teknologi Batubara Bersih (Sumber: ESDM):

1. Penyempurnaan pemanfaatan konvensional
2. Pengembangan teknologi pemanfaatan
3. Pengurangan emisi CO₂
4. Pengurangan emisi SOX dan NOX

Perbaikan Efisiensi dan Penurunan Emisi CO₂ Pembangkit Listrik

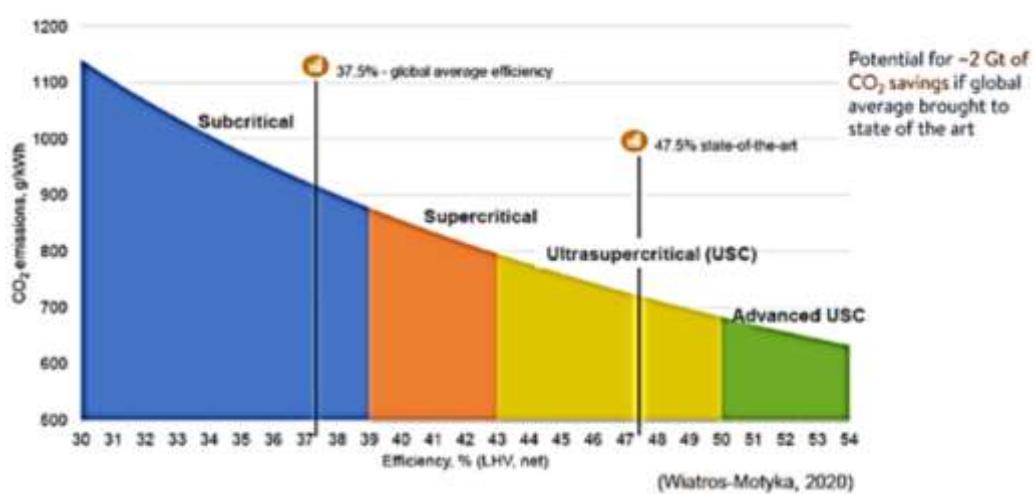
Perbaikan efisiensi dan penurunan emisi CO₂ Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dapat dilakukan dengan meningkatkan suhu dan tekanan kerja boiler PLTU, mulai dari yang rendah sampai tinggi: Subcritical, Supercritical, Ultrasupercritical (USC), dan Advanced USC.

Sumberdaya dan Cadangan Batubara Masih Cukup Melimpah

- Sumberdaya batubara sebesar 119,07 miliar ton.
- Cadangan batubara sebesar 36,30 miliar ton



Gambar 5. Sisa umur cadangan batubara 60 tahun, dengan laju produksi + 600 juta ton tiap tahun

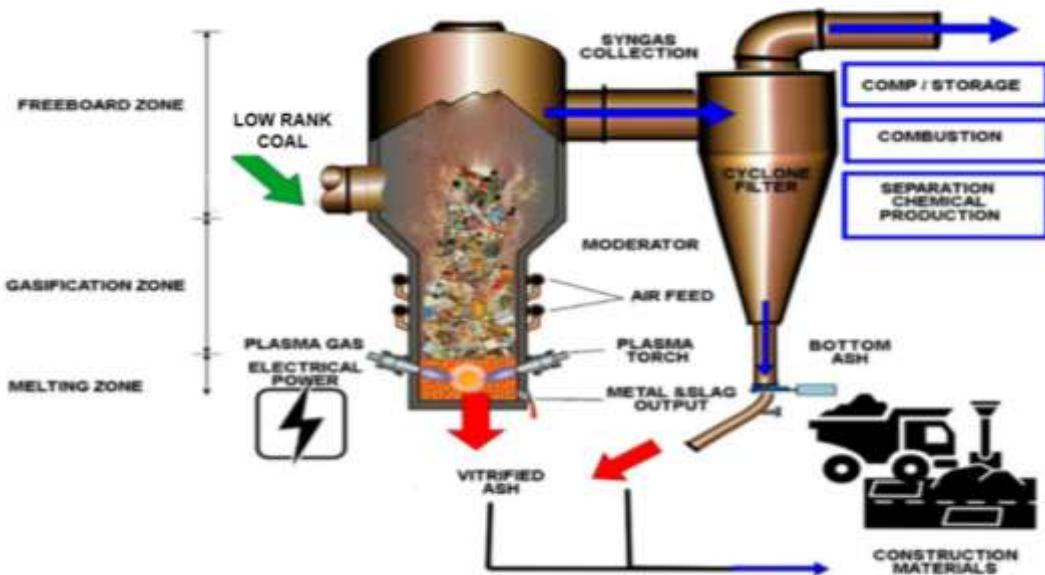


Gambar 6. Perbaikan efisiensi dan penurunan emisi CO₂ pembangkit listrik sebagai fungsi dari tekanan dan suhu boiler

Gasifikasi Batubara

Gasifikasi batubara akan menghasilkan synthetic gas, yang akan digunakan sebagai bahan bakar turbin gas dari jenis yang dapat dioperasikan menggunakan bahan bakar synthetic gas. Turbin gas ini panas buangnya digunakan untuk dikombinasikan dengan eksisting PLTU, membentuk IGCC. Sisa pembuatan synthetic gas berupa abu yang dapat digunakan untuk bahan bangunan.

Ada berbagai sistem gasifikasi batubara, diantaranya adalah Reaktor Gasifikasi Plasma Batubara. Reaktor ini dapat memproses berbagai tingkat kalori batubara, sesuai kebutuhan.



Gambar 7. Contoh reaktor gasifikasi plasma batubara

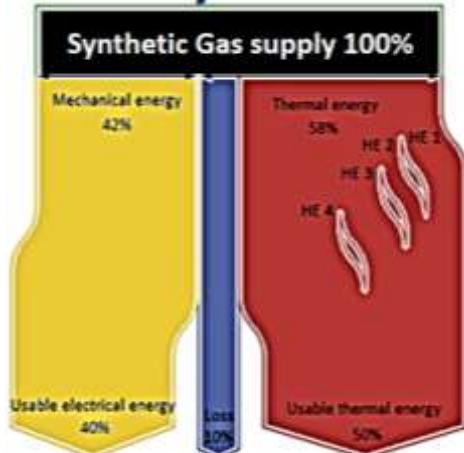
Turbin Gas

Dalam sistem IGCC, turbin gas yang dapat menggunakan bahan bakar synthetic gas batubara, digunakan untuk membangkitkan daya listrik melalui generator pembangkit listrik, dan gas buangnya digunakan untuk menghasilkan uap atau air panas untuk mendukung kerja boiler PLTU.

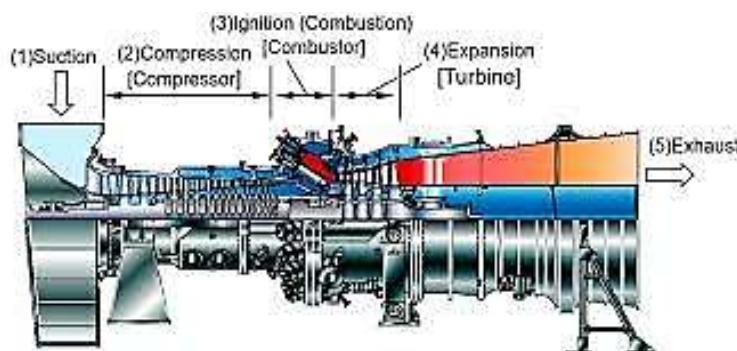
Pada turbin gas, dari pembakaran bahan bakar dalam turbin gas, yang dikonversi menjadi Mwe daya listrik hanya 40%, yang 10% merupakan rugi panas (terutama friksi) dan 50% berupa panas gas buang turbin gas sebagai MWth. Dengan adanya penghematan konsumsi batubara ini berarti akan menaikkan efisiensi total pembangkit.

Panas buang ini dapat dimanfaatkan untuk memanaskan HRSG, bisa memproduksi superheated steam atau air panas yang digunakan untuk mendukung kinerja PLTU.

Penggunaan panas buang dari Turbin Gas Synthetic Gas untuk HRSG



Gambar 8. Efisiensi pembangkit termal

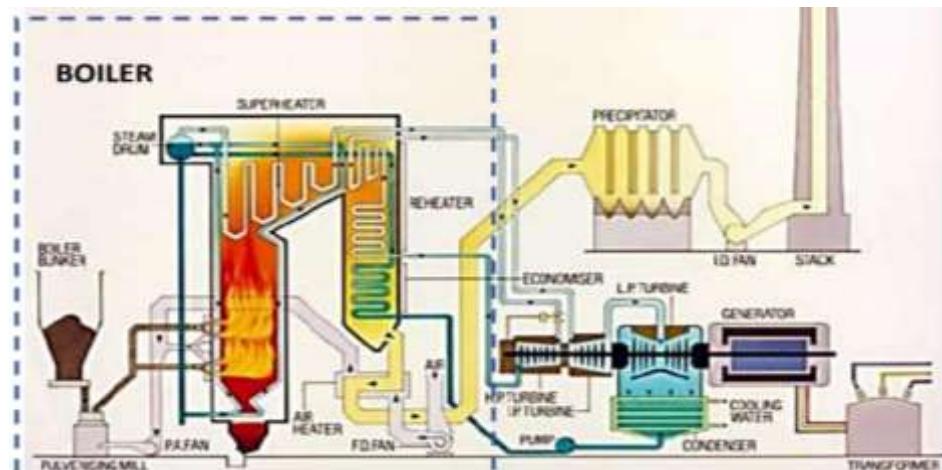


Gambar 9. konstruksi turbin gas

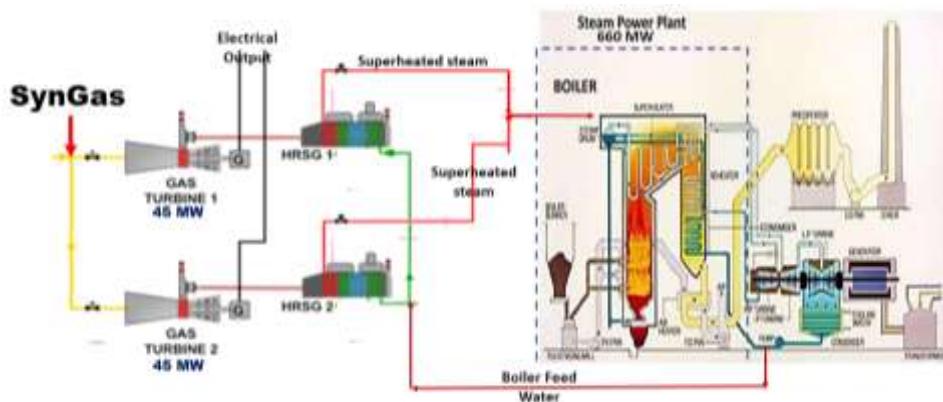
Keunggulan Teknologi Pembangkit IGCC Batubara

- Konfigurasi Pembangkit IGCC sudah banyak dikembangkan di seluruh dunia
- Menurunkan konsumsi batubara tanpa mengganggu kinerja boiler PLTU
- Menaikkan efisiensi total plant, menurunkan emisi gas rumah kaca serta lebih fleksibel mengikuti variasi perubahan beban
- Lebih fleksibel dalam mengikuti kebutuhan beban yang berfluktuasi
- Mampu mengantisipasi intermitensi jaringan akibat tersambung pada pembangkit VRE seperti PLTS dan PLTB
- Perangkat turbin gas mampu berfungsi sebagai start up unit ketika sistem IGCC akan dihidupkan kembali.
- Peluang pemberdayaan maksimum dan perpanjangan usia asset eksisting PLTU Batubara
- Retrofit menjadi IGCC hanya perlu modifikasi minor tanpa mengganggu operasional eksisting PLTU batubara
- Penambahan peralatan menjadi IGCC merupakan instalasi terpisah yang memungkinkan partisipasi investor dengan pola BOT

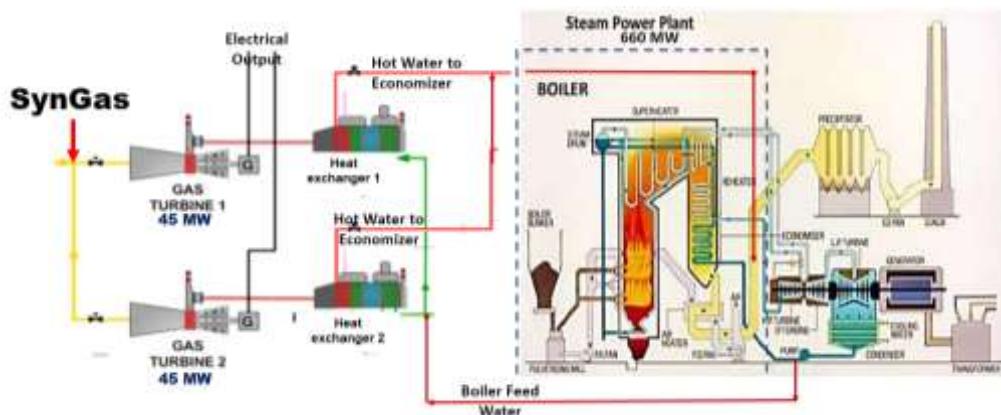
Konfigurasi IGCC



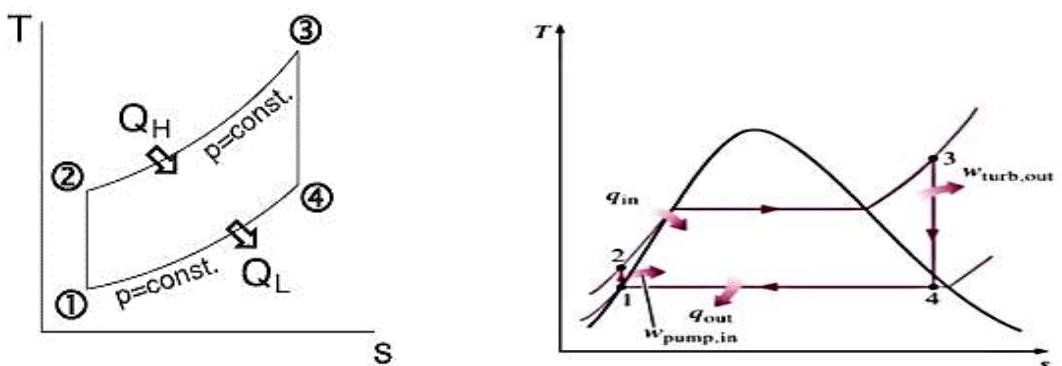
Gambar 10. Diagram PLTU Batubara sebagai induk IGCC



Gambar 11. Contoh konfigurasi parallel repowering existing PLTU batubara 660 MW dengan PLTG syngas 2 X 45 MW menjadi IGCC 750 MW. superheated steam dari HRSG 1 & 2 digabungkan ke steam header existing PLTU batubara



Gambar 12. Contoh konfigurasi boosting existing PLTU batubara 660 MW dengan PLTG Syngas 2 X 45 MW menjadi IGCC 750 MW. Air panas dari heat exchanger 1 dan 2 dimasukkan ke existing ekonomizer PLTU



Siklus Brayton pada turbin gas

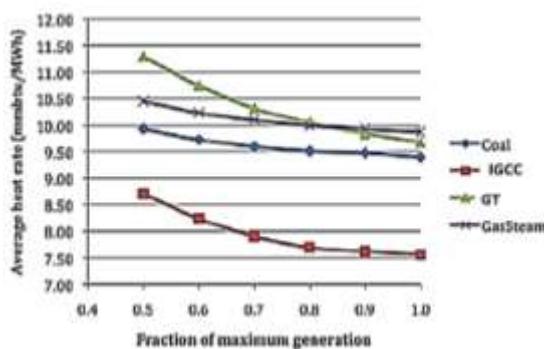
Siklus Rankine pada PLTU

Gambar 13. Siklus kombinasi terdiri atas siklus brayton dan siklus rankine



Gambar 14. Sebaran PLTU batubara di indonesia yang melakukan cofiring dengan biomassa. kalau seluruh eksisting PLTU batubara ini dimodifikasi menjadi pembangkit IGCC, berpotensi untuk memproduksi daya listrik + 20% dari 18.154 MW = + 3.600 MW tanpa bahan bakar

Penurunan Heat Rate dari Masing-masing PLTG dan PLTU Menjadi Pembangkit IGCC



Gambar 15. Grafik penurunan heat rate terhadap % output

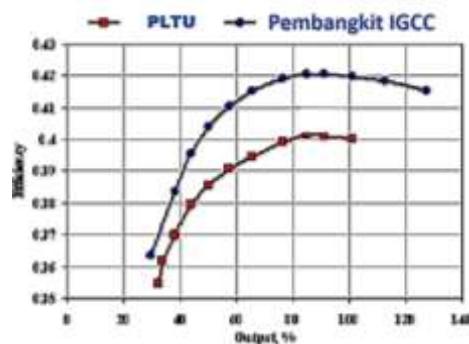
- Repowering PLTU dengan PLTG menjadi Pembangkit IGCC akan sangat menurunkan heat rate
- Memperoleh tambahan MWth dari HRSG tanpa konsumsi bahan bakar

- Efisiensi optimum dari total plant Pembangkit IGCC terjadi pada beban + 82%.
- Bisa diatur melalui pemilihan kapasitas Turbin gas dan pemilihan konfigurasi repowering

Pembangkit Listrik Batubara Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC), mengganti boiler dengan HRSG

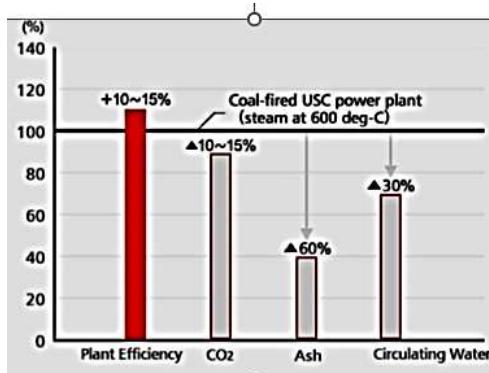
Pembangkit listrik berbahan bakar batubara IGCC merupakan sistem tenaga termal “next-generation” dengan peningkatan efisiensi dan lebih ramah lingkungan. Sistem IGCC tipe besar dapat meningkatkan pembangkitan daya sekitar efisiensi 15% dan mengurangi CO₂ dibandingkan dengan sistem PLTU batubara konvensional. Dengan peningkatan efisiensi sistem, IGCC.

Mencapai Efisiensi Optimum



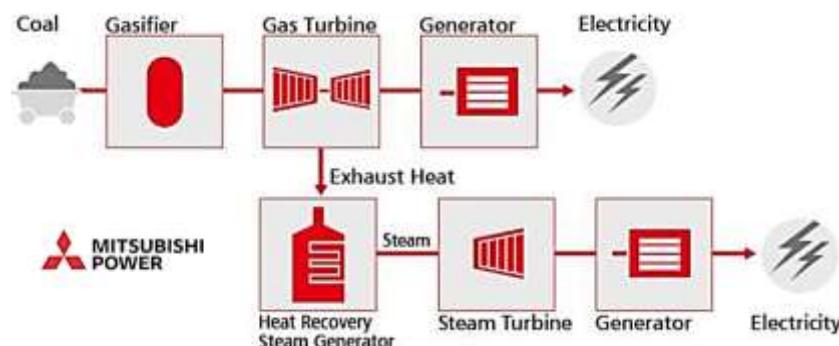
Gambar 16. Grafik efisiensi terhadap % output

Menurunkan emisi SOx, NOx, dan debu tiap kWh output dan air panas buang + 30% lebih kecil daripada PLTU batubara konvensional.

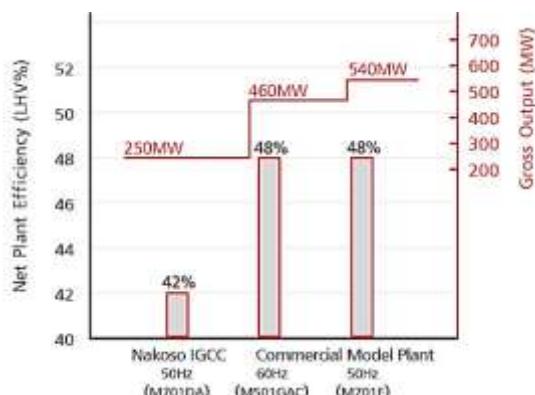


Gambar 17. Grafik keunggulan IGCC terhadap USC

Pembangkit Listrik Batubara Integrated Gasification Combined Cycle (Igcc) Next Generation, Mengganti Boiler Dengan Hrsg



Gambar 18. Diagram pembangkit listrik IGCC batubara next generation



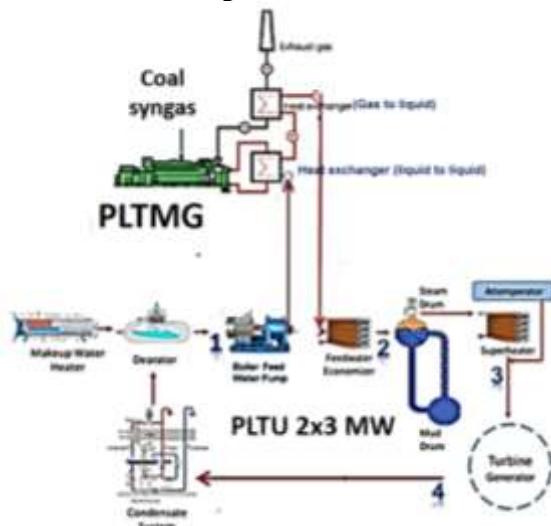
Gambat 19. Kinerja Unit IGCC Komersial

Gambar 20. Contoh Eksterior Unit IGCC Komersial

Konsep IGCC PLTMG Gas Sintetik Batubara dengan PLTU Batubara Kecil

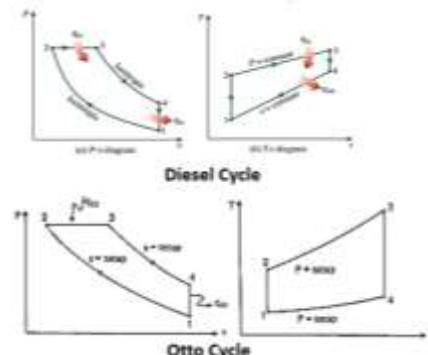


Gambar 21. Komponen IGCC yang terdiri atas PLTMRG dan eksisting PLTU



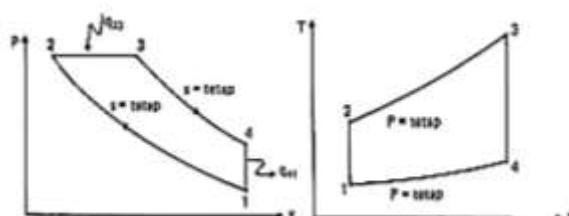
Gambar 22. Bagan Alir IGCC dari PLTGU & PLTU dengan Konfigurasi Boosting (Pemanasan Economizer)

Konsumsi batubara PLTU berkurang karena pemanasan air di economizer PLTU didukung dari PLTGU. Tidak perlu mesin baru, asalkan eksisting PLTD di lokasi atau relokasi dapat diretrofit menjadi PLTGU. Berikut ini adalah diagram perubahan siklus Diesel menjadi siklus Otto:

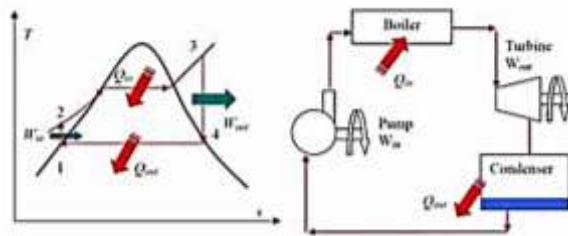


Gambar 23. Diagram siklus diesel dan siklus otto

Setelah PLTGU ini dikombinasikan dengan eksisting PLTU, siklusnya disebut Pembangkit Listrik IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle Power Plant) yang Terdiri atas Siklus Otto dan Siklus Rankine



Siklus Otto dari PLTGU



Siklus Rankine dari eksisting PLTU
Gambar 24. Diagram siklus Otto dan siklus Rankine

Manfaat Teknis IGCC PLTMG 400 kW ke PLTU 3 MW Menjadi IGCC 3,4 MW

1. IGCC + 400 kW PLTMG ke eksisting PLTU 3 MW, menjadi berkapasitas + 3,4 MW
2. Mengurangi konsumsi batubara eksisting PLTU sebesar kebutuhan enthalpy pemanasan economizer PLTU dengan memanfaatkan waste heat PLTMG
3. Waste heat PLTMG berupa + 400 kWth setara dengan kWe PLTMG dan setara dengan jumlah batubara yang tidak jadi dibakar
4. Yang berpotensi dihitung sebagai EBT adalah + 400 kWth dari PLTMG.
5. PLTMG bisa berfungsi untuk start-up PLTU dan meningkatkan kestabilan pembangkit terhadap perubahan beban sehingga PLTU hanya dibebani base load
6. Potensi pengurangan emisi CO₂ dari IGCC adalah dari batubara yang tidak jadi dibakar + 400 kWth.

Hibrida Pembangkit Listrik IGCC Dengan PLTS dan PLTB



Gambar 25. Hibrida PLTS dan PLTB

1. Bila di sekitar Pembangkit Listrik IGCC terdapat PLTS dan PLTB, maka PL IGCC akan mampu mengantisipasi intermittent daya listrik PLTS maupun PLTB yang terinterkoneksi.
2. Intermitensi daya output PLTS maupun PLTB yang terdeteksi melalui perubahan frekwensi putaran generator PL IGCCMG dengan cepat akan memberi sinyal kepada governor mesin PLTMG atau PLTG untuk menambah/mengurangi aliran bahan bakar masuk mesin PLTMG atau PLTG.
3. PLTMG atau PLTG mempu berfungsi sebagai start up unit ketika terjadi pemadaman total system.

Daftar Pustaka

- [1] Bambang Priambodo; “Effect of Coal Characteristics in Boiler Design” (Pengaruh Karakteristik Batubara terhadap Desain Ketel Uap), Science Magazine, Atmajaya University, 1995.

- [2] Bambang Priambodo, Agus Rusyana Hoetman, et al., Engineering Center Team, Agency for Strategic Industries, “Report on Feasibility Study of PT Krakatau Steel Steam Power Plant Repowering” (Laporan Studi Kelayakan Repowering Pembangkit Listrik Tenaga Uap di PT Krakatau Steel) , 1993.
- [3] Bambang Priambodo; “Combined Cycle Power Plant”(Pembangkit Listrik Siklus Kombinasi)(Indonesia Institute of Technology, science paper), 1999.
- [4] Muhammad Fikri Aufa, Menjinakkan Kurva Bebek: Mengatasi Tantangan Fluktuasi dalam Transisi Energi.
- [5] Joice, John S., ”How Gas Turbines can Improve the Operating Economy and Environmental Compatibility of New and Old Steam Turbine Generating Station”, Siemens Power Journal, December 1992.
- [6] Valenti, Michael, ”Bringing Coal into the 21st Century, Mechanical Engineering Magazine, February 1995.
- [7] <https://www.babcock.com/products/supercritical-boiler>, Supercritical Boilers, Babcock Wilcox.
- [8] <https://www.powertechnology.com/projects/yuhuancoal/>, Yuhuan 1,000 MW Ultra-Supercritical Pressure Boilers.
- [9] GE 2016-gas-power-systems-products-catalog. <https://power.mhi.com/products/igcc>, Integrated Coal Gasification Combined Cycle (IGCC) Power Plants, Mitsubishi Power.