

ANALISIS PRESTASI KETEL UAP DENGAN SUMBER PANAS GAS BUANG MOTOR BAKAR TORAK YANG MENUNAKAN BAHAN BAKAR GAS ALAM

Bambang Hermani*, Wibowo Paryatmo
Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945*,
Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila**
Email : bang2hermani@gmail.com, wibowo_paryatmo@yahoo.com

ABSTRACT

This study aims to review the handling of public electricity network black out disorder that is very damaging Lactam melting processing, the performance analysis of boiler flue gas to decrease the burden of periodic power piston combustion of natural gas generator sets in the utility industry, in which hot exhaust gas removed from cycle through the exhaust pipe is recovered as a heat source exhaust gas boiler. In this research several search methods approach the task with the analysis of technical specifications of data collection, data operator exhaust gas boiler, and re-search methods on the results of the calculation of the design parameters of thermal exhaust gas boiler so as to produce comparable data on the thermal design calculations of thermal design manufacturer's thermal design as a form of correction, to then do data processing - raw data record of performance test parameters exhaust gas boiler, from this treatment obtained the highest performance values performance exhaust gas boiler. The result that the parameter values performance exhaust gas boiler at periodic load down; interpretation of exhaust gas heat transfer power to a secondary fluid, wide field of heat transfer, the overall heat transfer coefficient, steam pressure, steam temperature, steam capacity.

Keywords: analysis, parameters, performance.

PENDAHULUAN

Gangguan padam jaringan listrik umum (*Black-Out*) sering terjadi tanpa pemberitahuan bersifat rugi waktu, dan proses produksi tanpa putus, jadi sangat terganggu serta berdampak pada kerusakan sistem produksi, antara lain pada kenaikan biaya produksi dan biaya perawatan atau perbaikan besar mesin produksi, dampak tersebut adalah *lactam* cair beku, proses produksi *PE chip* rusak dan terbuang.

Untuk menekan dampak kerugian bidang produksi dan perawatan mesin dan biaya bahan bakar gas alam dan ketersediaan asupan energi listrik serta energi uap jenuh dalam batas kecukupan dan aman tanpa padam selama proses produksi berlangsung juga tujuan kajian tentang karakteristik prestasi ketel uap.

Instalasi pembangkit energi listrik swadaya dengan pilihan unit motor bakar torak gas alam set generator (*Natural Gas reciprocating Engine Generating Set*), adalah pilihan dalam tanggulangi hal tersebut, dimana energi panas yang tersedia dalam aliran gas buang pada rentang suhu 400°C hingga 600°C, cukup syarat efektif dan ekonomis untuk dimanfaatkan kembali, pada pengolahan konversi gas buang panas sebagai bahan bakar utama perangkat Keras Ketel Uap Gas Buang (KUGB) atau *Exhaust Gas Boiler* (EGB).

Penelitian ini mengarah pada kajian Analisis rancang termal dan uji prestasi KUGB,

dengan sumber panas gas buang motor bakar torak set generator dengan bahan bakar gas alam, diharapkan mampu menekan dampak kerugian biaya pemakaian bahan bakar gas alam dan ketersediaan asupan energi listrik serta energi uap jenuh dalam batas kecukupan serta aman tanpa padam selama proses produksi berlangsung juga mempelajari karakteristik prestasi ketel uap.

Tujuan penelitian ini, adalah untuk mengetahui hubungan prestasi ketel uap gas buang terhadap potensi panas gas buang yang dihasilkan dari sejumlah operasi motor bakar torak gas alam set generator dengan penurunan beban berkala pada daya keluaran generator. Pengujian dilakukan dengan pendekatan metode analisis rancang termal dan uji prestasi, berikut:

1. Rancang termal ketel uap gas buang
2. Analisis uji prestasi ketel uap gas buang

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah model tanya jawab dan diskusi langsung dengan kepala bagian, dan kepala regu utiliti *engineering* beserta karyawan operator *boiler exhaust*. Pengamatan data secara kasat mata langsung pada papan baca alat – alat ukur dari Temperatur, Tekanan, Volume, pemakaian Daya generator listrik, dan konsumsi bahan bakar gas alam.

Pembacaan dan perekaman data teknik setiap jam kerja, pada shift I dilakukan bersama operator sedangkan pada shift II dan III dibaca dan direkam sepenuhnya oleh operator, data rekam teknik tersebut dipungut, dalam rentang hari 90 hari kerja atau selama kurun waktu 1800 jam operasi kilang tenaga.

Ada dua cara yang dilakukan untuk pengolahan data, yaitu:

- a. Rekam data teknik harian operator *Boiler Exhaust* atas dasar alat pungut (*Pick-Up*) perangkat ukur yang sudah terpasang pada, Kilang pembangkit tenaga (*power plant*) dalam skala utiliti industri, setiap jam operasi normal dari unit ketel uap gas buang.
- b. Analisis data rekam teknik sebagai bentuk data awal penelitian untuk diolah menjadi parameter pengujian utiliti industri, dengan tujuan untuk diperoleh gambaran, karakteristik prestasi ketel uap gas buang.

PERSAMAAN DASAR RANCANG TERMAL KETEL UAP GAS BUANG

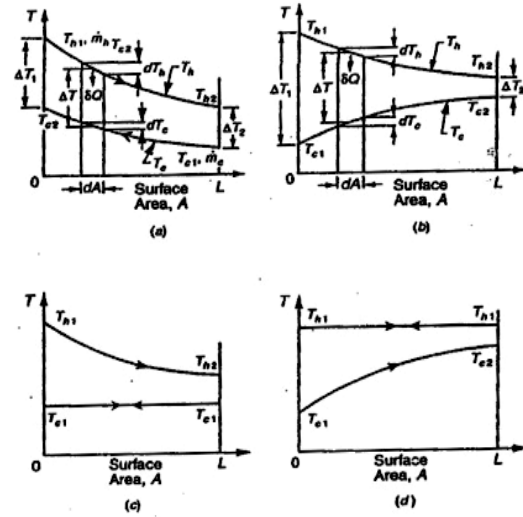
Persamaan dasar perpindahan panas akan diuraikan untuk analisis termal (ukuran dan peringkat) perhitungan alat ketel uap penukar panas tersebut. Tujuan dari analisis termal yang diberikan di sini akan dapat untuk menentukan luas permukaan perpindahan panas dari alat penukar panas (masalah pengukuran). Perhitungan kinerja penukar panas (penilaian masalah) dilakukan ketika penukar panas tersedia, namun perlu untuk menentukan jumlah panas yang ditransfer, kerugian tekanan, dan suhu keluar (*outlet*) kedua cairan. Dari hukum pertama termodinamika untuk sistem terbuka, di bawah keadaan tunak, kondisi aliran tunak, dengan diabaikan perubahan energi potensial dan kinetik, perubahan entalpi dari salah satu aliran fluida ditulis dalam persamaan berikut [2]:

$$\delta Q = \dot{m} di \quad (1)$$

Dimana \dot{m} adalah laju aliran massa, i adalah entalpi spesifik, dan δQ adalah tingkat perpindahan panas ke fluida yang bersangkutan terkait dengan perubahan negara infinitesimal. Integrasi dari persamaan (2.4) memberikan persamaan :

$$Q = m (i_2 - i_1) \quad (2)$$

Dimana i_1 dan i_2 mewakili entalpi inlet dan *outlet* dari aliran fluida. Persamaan (2.2) dan berlaku bagi semua proses dari gambar (1).



Gambar 1. Profil perbedaan suhu

Dicatat bahwa δQ adalah negatif untuk fluida panas, Jika ada perpindahan panas yang diabaikan antara penukar dan sekitarnya (proses adiabatik) integral Persamaan (3). untuk fluida panas dan dingin diperoleh persamaan berikut ini

$$Q = m_h (i_{h2} - i_{h1}) \quad (3)$$

$$Q = m_c (i_{c2} - i_{c1}) \quad (4)$$

Subscript h dan *c* mengacu pada fluida panas dan dingin, sedangkan angka 1 dan 2 menunjuk ke kondisi sisi masuk dan sisi keluar fluida. Jika cairan sekunder keluar tidak ada perubahan fasa dan memiliki panas jenis spesifik (C_p) konstan dengan $di = C_p dT$ dan persamaan (3) dan (4) dapat ditulis menjadi persamaan daya perpindahan-panas total:

$$Q = (m C_p)_h (T_{h1} - T_{h2}) \quad (5)$$

$$Q = (m C_p)_c (T_{c1} - T_{c2}) \quad (6)$$

Perbedaan suhu ΔT

Pernyataan hukum Newton tentang pendinginan bahwa laju perpindahan panas berkaitan dengan perbedaan suhu sesaat antara panas dan media dingin, dalam proses perpindahan bahang, perbedaan suhu akan berubah-ubah baik dengan posisi atau waktu persamaan umum perpindahan panas.

$$\Delta T_{AM} = [(T_{Hi} + T_{Ho})/2] - [(T_{Ci} + T_{Co})/2] \quad (7)$$

Dimana T_{p1} = Temperatur primer fluida masuk, T_{p2} = Temperatur primer fluida keluar, T_{s1} = Temperatur sekunder fluida masuk,

T_{s2} =Temperatur sekunder fluida keluar , T_s = Temperatur Uap, T_1 = Temperatur sekunder fluida masuk, T_2 = Temperatur sekunder fluida keluar

Kapasitas Panas Spesifik Gas Buang

Entalpi gas adalah produk dari massa, $C_{p_{mean}}$ dan perbedaan suhu. Jadi, jika memiliki C_p untuk dua temperatur yang dipertimbangkan, maka $C_{p_{rata-rata}}$ gas buang dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut [3]:

$$Entalpi = C_{p_{mean}}(T_2 - T_1) = C_{p_2}T_2 - C_{p_1}T_1 \quad (8)$$

$$C_{p_{(mean)}} = \frac{[C_{p_2}T_2 - C_{p_1}T_1]}{(T_2 - T_1)} \quad (9)$$

Koefisien Perpindahan Bahang seluruh

Koefisien perpindahan bahang seluruh U didasarkan atas luas bagian dalam dan bagian luar pembuluh (*tubes*) dapat disesuaikan dengan cara itu dan diturunkan melalui persamaan perpindahan bahang seluruh Q antara dua fluida dapat ditentukan dengan persamaan:

$$Q = U A \Delta T_{AM} \quad (10)$$

Luas penampang pembuluh:

$$A = \pi d_i L N_T \quad (11)$$

Jumlah pembuluh api :

$$N_T = \frac{Q_H}{(\pi d_i L) U F \Delta T_{AM}} \quad (12)$$

Untuk persamaan U adalah:

$$U = \frac{Q_H}{(\pi d_i L) N_T F \Delta T_{AM}} \quad (13)$$

Kecepatan torak rata-rata[1]:

$$V_p = S.N / 30000 \quad (\text{m/s}) \quad (14)$$

Kecepatan gas buang rata-rata:

$$V_g = S.N / 30000.(D/d)^2 (\text{m/s}) \quad (15)$$

Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{\rho v d_i}{\mu} \quad (16)$$

Korelasi Nuselt-Graetz [6]:

$$Nu_H = 1.953x \left[Re Pr x \left(\frac{d_i}{L} \right) \right]^{1/3} \quad (17)$$

Koefisien Perpindahan Bahan Konveksi:

$$h_i = \frac{Nu_H k}{d_i N_T} \quad (18)$$

Penurunan Tekanan Aliran Gas Buang

$$\Delta P_f = 4 f \frac{L}{d_i} + \frac{\rho V}{2} N_p \quad (19)$$

Koefisien factor gesekan

$$f = [1.58 \ln Re - 3.28] \quad (20)$$

Asumsi laju aliran masa gas buang konstan dan fluida panas sebagai fluida minimum persamaan efektivitas KUGB :

$$C = \frac{Q}{Q_{maks}} \quad (21)$$

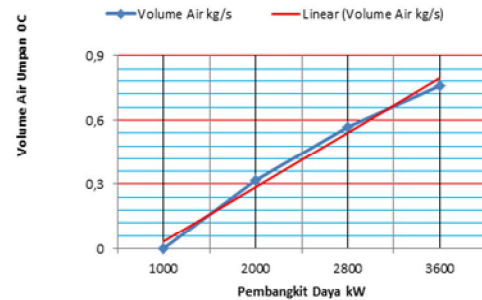
Efisiensi termal ketel uap gas buang didefinisikan sebagai perbandingan antara laju energi yang dibutuhkan air dijadikan uap jenuh dengan laju aliran energi panas yang tersedia dalam gas buang :

$$\eta_K = [Q_C \cdot C] / Q_H \quad (22)$$

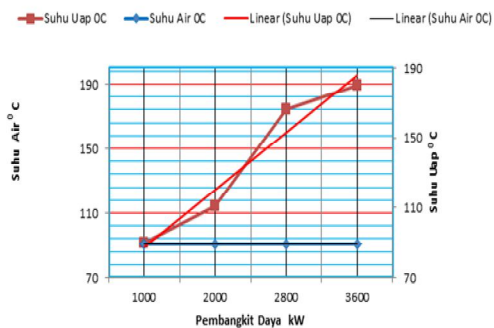
Efisiensi termal siklus gabungan seluruh didefinisikan sebagai perbandingan antara laju energi yang dibutuhkan air dijadikan uap dengan daya rata – rata pembangkit :

$$\Sigma \eta_{spg} = Q_C / P \quad (23)$$

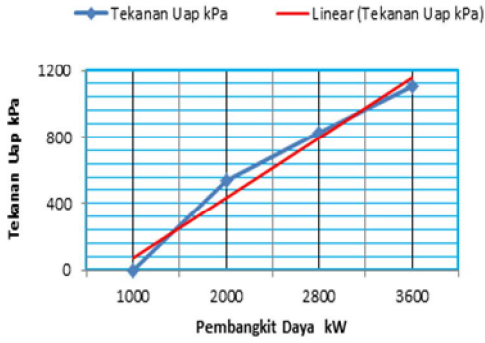
HASIL DAN PEMBAHASAN



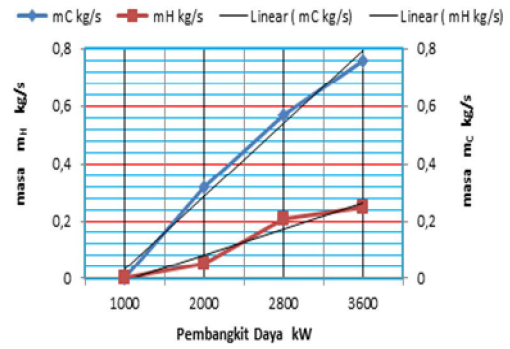
Grafik1. Prestasi rata-rata volume air



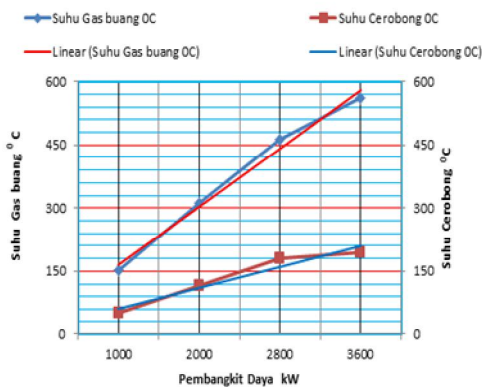
Grafik.2. Prestasi rata-rata Suhu Air & Uap



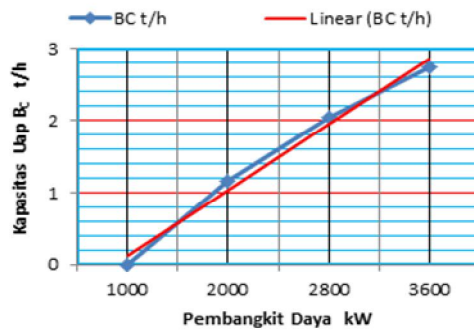
Grafik.3. Prestasi rata-rata tekanan uap



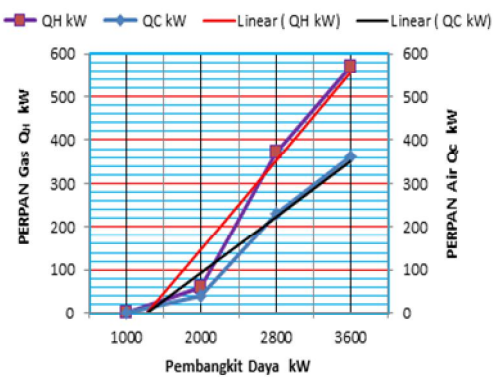
Grafik.6. Prestasi masa gas buang dan masa air



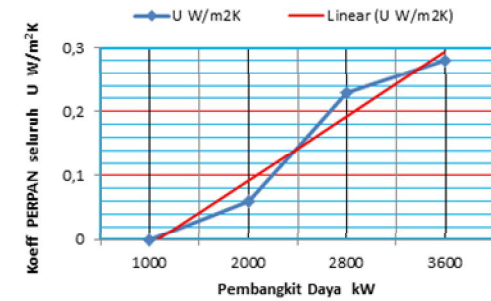
Grafik.4. Prestasi rata-rata suhu gas buang dan suhu cerobong



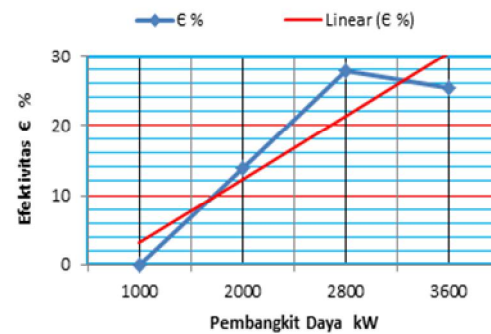
Grafik.7. Prestasi kapasitas ketel uap



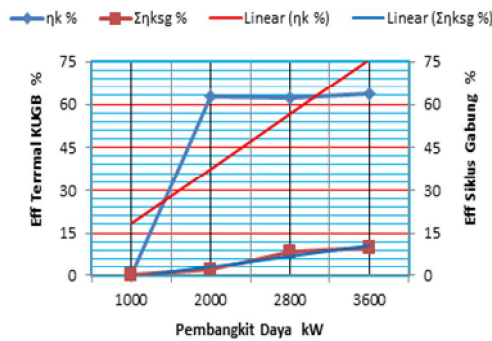
Grafik.5. Prestasi perpindahan panas gas buang & air



Grafik.8. Prestasi Koeff perpindahan panas seluruh U W/m²K



Grafik.9. Prestasi efektivitas ketel uap gas buang



Grafik.10. Prestasi efisiensi termal ketel uap gas buang dan efisiensi pembangkit siklus gabungan

Data rancangan ketel uap gas buang dengan sumber panas gas buang motor bakar torak set generator listrik menggunakan bahan bakar gas alam :

- Massa air ketel uap (mC) = 6090 kg
- Kapasitas panas spesifik air (CpA)=4.190kJ/kg⁰C
- Temperatur air masuk (TI)= 103⁰C
- Temperatur air jenuh (TA)= 195⁰C
- Temperatur gas buang masuk ketel uap (THi)= 600⁰C
- Temperatur gas buang keluar ketel uap (THo)= 200⁰C
- Massa uap (mU) = 3500kg
- Kapasitas panas spesifik uap (CpU) =10.049kJ/kg⁰C
- Temperatur uap Jenuh (Tu)= 195⁰C

Enthalpi air ketel uap keadaan jenuh

$$hf = ma \times Cpa \times \Delta T$$

$$hf = 6090 \times 4.190 \times (195 - 103) = 2347573.2 \text{ kJ}$$

Enthalpi penguapan jenuh

$$hfg = mu \times Cpu \times Tu$$

$$hfg = 3500 \times 10.049 \times 195 = 6858442.5 \text{ kJ}$$

Enthalpi energi uap jenuh

$$hg = hf + hfg$$

$$hg = 2347573.2 + 6858442.5 = 9206015.7 \text{ kJ}$$

Dari data PGN, daerah jejaringan operasi wilayah III. Nilai kalori gas (GCV) = 8939 kcal/m³ kandungan komposisi gas alam terbesar (CH₄)= 82.45 %, C= 70.18 %, O= 3.376 %, H= 22.7 % .

Rancang Termal Ketel Uap Gas Buang

Daya panas yang tersedia dalam gas buang motor bakar gas alam set generator, dinyatakan dengan laju perpindahan panas total yang tersedia dalam gas buang, dikalkulasi dari laju aliran masa udara masuk di dalam motor bakar gas, ditambah tingkat konsumsi bahan bakar gas alam. Dengan asumsi mengikuti hukum kekekalan masa yang menyatakan bahwa masa zat tidak berubah selama proses reaksi kimia.

Maka laju aliran masa asap buang keluar sistim sama dengan laju aliran masa campuran udara + gas alam masuk kedalam sistim. Alat penukar panas, dari sifat pertukaran panas gas buang ke fluida dingin (air ketel) maka luas bidang perpindahan panas harus mencukupi karena koefisien konveksi gas dari dinding pipa ke air lebih kecil dari zat cair.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan hasil perhitungan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Keuntungan penggunaan KUGB yang paling prinsip dibanding ketel uap dengan kepala pembakar, adalah peningkatan efisiensi siklus, karena gas buang panas dimanfaatkan sebagai sumber panas sehingga tidak memerlukan bahan bakar sejenis.
2. Prestasi KUGB sangat tergantung pada potensi panas gas buang yang dihasilkan motor bakar torak gas alam set generator yang dioperasikan.
3. Grafik prestasi rata-rata dari tekanan uap dan grafik prestasi suhu uap dan grafik gas buang panas, cenderung mendekati tetap, hal ini menunjukkan prestasi maksimum yang mampu dicapai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Advanced engine technology Heinz H The College of North West London Willesden Centre London UK.
- [2] Basic Heat Transfer Frank Kreith.W.Z.Black H & row publishers New York
- [3] Heat Exchanger, selection, rating, and, thermal design ,Sadik K, Hongtan L 2nd edition crc press.
- [4] Internal Combustion Engine Fundamental Jhon B.Heywood.Mc Graw Hill Publishing Company. USA.

- [5] John H.L.IV.A Heat Transfer.Third Edition Philogiston press
- [6] Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap) Syamsul A.M. CV. Rajawali Jakarta.
- [7] Steam,Air,and Gas Power, William H. Sevens,MS,
- [8] Perpindahan kalor, JP Holman, Air langga jakarta.
- [9] V.Ganapathy Industrial boiler and Heat Recovery Steam Generators, Design, Aplication and Calculation ABCO Industris Abilene,Texas USA, gogle-ebook.com.