

PENENTUAN KINERJA BOILER MELALUI PENGUJIAN

Oleh :
(Rahmat)*

Abstract

Decreasing boiler performance is the periodic plant problem that need improvement at any rate, because that have direct correlation concerning the operational and maintenance cost. In order to determining the energy defficiency, measuring the efficiency using the right methods are very important.

Choosing the right instrument specification and then follow the right measurement procedure, are two main factor to obtain the efficiency with minimizing error. From theoritical study and text review, there are two measurement method that have resulting a good level of accuracy on the efficiency value. The two measurement methods avaiable in this peper are direct-method and indirect method. There are smplest but effectvelly used in the plant, because simultaneously avaiable to searching the locations of defficiency sources.

Key word : Boiler, Performance, Testing

PENDAHULUAN

Boiler dalam perannya sebagai salah satu komponen mesin kalor, memiliki fungsi penting untuk kelangsungan proses industri, baik sebagai mesin penunjang proses maupun sebagai bagian mesin pembangkit tenaga . Mesin tersebut bekerja secara kontinyu dengan jumlah tenaga dan kebutuhan bahan bakar yang relatif besar. Oleh karenanya kinerja mesin harus terkontrol dengan sebaik baiknya, sehingga efisiensi mesin dapat dipertahankan seoptimal mungkin atau biaya operasi dan perawatan dapat ditekan seminimal mungkin.

Untuk mengetahui kinerja mesin pada sembarang waktu dan pembebanan, diperlukan informasi data hasil pengukuran langsung menggunakan instrumen yang tersedia. Data diolah menggunakan proses analisa yang benar agar menghasilkan kesimpulan yang dapat dipertanggung jawabkan.

Spesifikasi instrumen yang sesuai, teknik pengukuran yang benar, dan prosedur pengolahan data yang tepat, diharapkan akan mampu menghasilkan kesimpulan dengan tingkat kesalahan yang seminimal mungkin, sehingga nilai efisiensi boiler merupakan nilai riil yang benar benar mampu digunakan sebagai pedoman bagi pengambil keputusan.

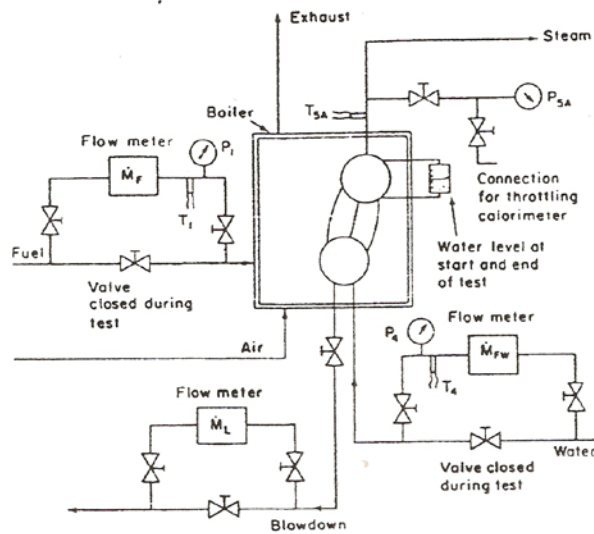
Dari kajian pustaka terdapat dua metoda pengukuran yang cocok digunakan sebagai pegangan di lapangan. Kedua metoda yang dimaksud adalah metode pengukuran langsung dan metode pengukuran tidak langsung. Masing-masing memiliki keunggulan satu dengan lainnya, namun demikian keduanya memiliki sifat yang praktis, simpel, mudah difahami oleh para teknisi atau operator. Dengan metode tersebut nilai efisiensi dapat ditentukan dengan tingkat ketelitian yang tinggi sekaligus mampu untuk melacak lokasi yang menjadi sumber penyebab menurunnya efisiensi boiler dan mampu untuk mengidentifikasi komponen boiler yang harus diperbaiki yang berbasis teknologi.

Metode Pengujian Secara Langsung

Pengukuran yang Diperlukan

Efisiensi Boiler (pada Metode Langsung) di definisikan sebagai : bagian dari HHV sejumlah bahan bakar yang diberikan kepada air untuk menghasilkan uap.

* Penulis adalah Staf Pengajar PSD III Teknik Mesin FT. UNDIP



Gambar 1 : Pengukuran yang diperlukan untuk menghitung Efisiensi Boiler.

Besar efisiensi dapat disajikan dalam bentuk persamaan termodinamika sebagai berikut :

$$\eta_b = M_s (h_{5A} - h_4) / M_F \text{ HHV}$$

pada persamaan di atas,:

HHV = nilai kalor tertinggi bahan bakar ,
Joule/kg

h_4 = enthalpy air masuk boiler, Joule/kg

h_{5A} = enthalpy uap meninggalkan boiler,
Joule/kg

M_F = laju aliran massa bahan bakar,
kg/det

M_s = laju aliran massa uap meninggalkan
boiler, kg/det

η_b = efisiensi boiler

Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan hasil dari sebagian pengukuran yaitu laju aliran bahan bakar, laju aliran uap, enthalpi uap meninggalkan boiler, suhu air umpan dan nilai kalor tertinggi bahan bakar. Efisiensi boiler tidak menunjukkan sejauh mana pengaruh beberapa factor (seperti halnya kesempurnaan pembakaran dan adanya kerak) yang dapat memberikan kontribusi terjadinya penurunan efisiensi.

Pengukuran yang diperlukan untuk menghitung efisiensi boiler ditunjukkan pada Gambar 1.

Dengan tanpa blowdown ($M_s = M_{FW}$) yang harus diukur adalah besaran sebagai berikut: Untuk aliran masuk boiler : laju aliran masuk M_{FW} , suhu T_4 dan tekanan P_4 . Untuk uap meninggalkan boiler : suhu T_{5A} dan tekanan P_{5A} (atau quality X_{5A} , apabila uap tidak jenuh). Untuk bahan bakar : laju aliran M_F , suhu T_1 , tekanan P_1 dan HHV.

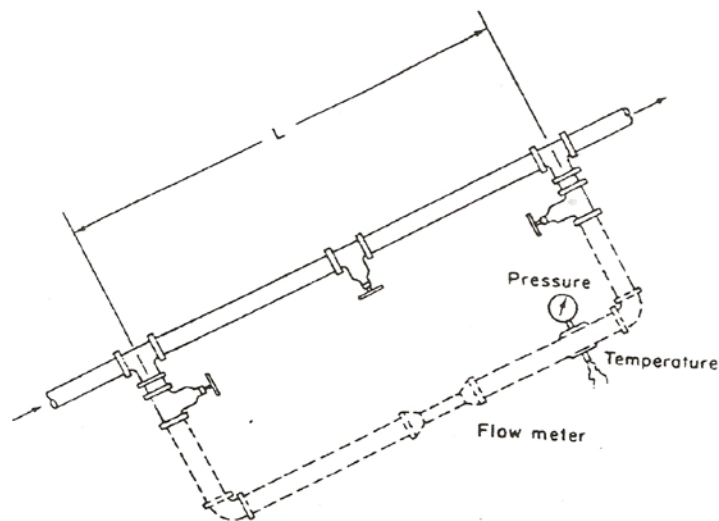
HHV bahan bakar biasanya diperoleh menganalisa sampel bahan bakar di laboratorium. Sample bahan bakar harus didapatkan dan dikumpulkan dengan cara yang sesuai dengan prosedur analisa laboratorium yang dianjurkan untuk menjamin hasil yang teliti. Perhitungan efisiensi secara detail dan perhitungan sampel, tidak disajikan dalam makalah ini, melainkan pada makalah lain yang secara khusus membahas tentang itu.

Prosedur Pengujian

Boiler harus di test pada laju aliran uap yang berbeda pada daerah dimana boiler bekerja karena efisiensi boiler bervariasi terhadap beban. Dianjurkan variasi aliran uap berkisar di antara 10 % terhadap kapasitas rated.

Prosedur pengujian yang dianjurkan adalah sebagai berikut :

1. Memasang instrumen yang telah di kalibrasi. Sebagai ilustrasi suatu instalasi instrumen yang tak memerlukan shut down disajikan pada Gambar 2.
2. Atur boiler pada posisi "Manual Fire".
3. Mengoperasikan boiler terlebih dahulu selama 1 jam pada beban yang dikehendaki sebelum memulai pengujian.
4. Memberi tanda ketinggian / level air pada boiler.
5. Melakukan pengujian kurang lebih selama 1 jam, untuk membaca suhu setiap 10 menit, tekanan setiap 10 menit dan laju aliran setiap 15 menit atau laju aliran total selama 1 jam pengetesan.
6. Menghentikan pengujian apabila level air dalam boiler pada posisi yang sama seperti pada awal pengujian.



Gambar 2. : Rangkaian bypass dengan Instrumen Flow-Meter, Tekanan dan Suhu.

Tabel 1.
Pengukuran Boiler Secara Langsung

Air masuk	Uap	Bahan Bakar
Laju aliran	Suhu	Laju aliran
Suhu	Tekanan	Suhu
Tekanan	Kualitas Uap (jika uap tidak jenuh)	Tekanan
		HHV

Pada dasarnya laju aliran, suhu dan tekanan harus selalu konstan selama pengujian. Hal ini diperlukan untuk mengurangi letak ketidak-tentuan dalam mengevaluasi hasil pengujian. Pengukuran yang diperlukan untuk menentukan efisiensi boiler diberikan pada Tabel 1

Ketelitian Alat Ukur

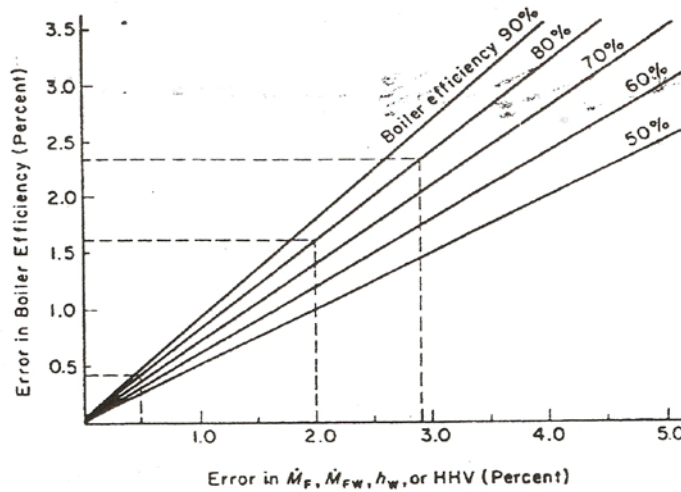
Setiap pembacaan pengukuran mempunyai tingkat kesalahan. Karena kesalahan itu tergabung apabila diperlukan beberapa pembacaan, sejumlah kesalahan individu yang kecil dapat menghasilkan gabungan kesalahan yang besar. Oleh karena itu memperkecil kesalahan pengukuran individu merupakan hal yang penting. Materi berikut menguraikan tata cara menghitung probabilitas kesalahan dalam perhitungan efisiensi boiler yang diperoleh dari data eksperimen.

Akumulasi Kesalahan Pengukuran dan Pengaruhnya

Diperlukan empat parameter (M_{FW} , M_F , HHV, dan $\Delta h_w = h_{5A} - h_A$) untuk menghitung efisiensi boiler.

Efisiensi boiler dihitung menggunakan persamaan seperti sebelumnya:

$$\eta_b = M_S (h_{5A} - h_4) / M_F \text{ HHV}$$



Gambar 3. Pengaruh kesalahan pengukuran M_F , M_{FW} , h_w , dan HHV Pada Efisiensi Boiler

Gambar 3 menunjukkan bagaimana kesalahan pada salah satu parameter mempengaruhi efisiensi, dengan menganggap 3 parameter lainnya mempunyai ketepatan sempurna. Sebagai contoh, apabila nilai HHV mempunyai akurasi 2 % dan tanpa ada kesalahan pada pengukuran yang lain, efisiensi boiler diperoleh sebesar $80 \pm 1,6$ %. Grafik yang sama dapat digunakan apabila pengukuran lain tidak akurat. Prosen RMS kesalahan total yang dihasilkan dari akumulasi kesalahan individu ditentukan dengan persamaan :

Prosen kesalahan RMS =

$$[(\epsilon M_{fw})^2 + (\epsilon M_f)^2 + (\epsilon \Delta h_w)^2 + (\epsilon HHV)^2]^{1/2}$$

Pada persamaan di atas, ϵ = prosen kesalahan pengukuran.

Kemudian gambar 3 dapat digunakan berdasarkan % kesalahan RMS untuk menentukan kesalahan pada efisiensi boiler.

Kesalahan Individu

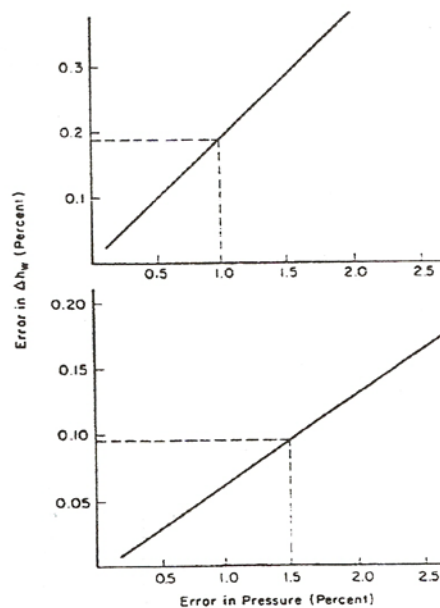
Gambar 3 menunjukkan efek signifikan dari ketidaktepatan masing – masing data yang berdampak pada efisiensi boiler.

Dalam hal ini akan diperhatikan terhadap ketepatan piranti pengukuran.

a Laju aliran Massa

Ketepatan instrumen pengukuran aliran massa biasanya dinyatakan dalam prosen terhadap aliran nyata atau prosen terhadap aliran skala penuh. Alat ukur yang mempunyai kesalahan yang didasarkan pada laju aliran nyata hasilnya lebih teliti dibanding alat ukur yang mempunyai kesalahan tetap (fixed error) yang tidak tergantung laju aliran nyata. Dengan demikian, apabila ketepatan instrument dinyatakan sebagai prosentase laju aliran nyata, dapat digunakan gambar 3 secara langsung dan dapat menaksir besar kesalahan efisiensi untuk nilai efisiensi boiler yang diberikan.

Akan tetapi apabila pengukur aliran mempunyai fixed error yang didasarkan pada laju aliran maksimal, maka dapat menggunakan gambar 4 untuk menentukan prosentase kesalahan. Garis pada gambar menunjukkan aliran nyata sebagai prosentase terhadap kapasitas aliran penuh.



Gambar 4. Pengaruh kesalahan pengukuran Suhu dan tekanan pada Enthalpy Uap

b. Perubahan Enthalpy (Δh_w)

Enthalpy air yang masuk dan uap yang keluar merupakan fungsi dari suhu dan tekanan pada setiap keadaan. Dengan mengetahui dua parameter itu, enthalpy cairan dan uap dapat diperoleh dari Tabel Uap.

Enthalpy air masuk ketel uap dianggap cair jenuh berdasarkan suhu, sehingga tekanan bukanlah factor penentu pada industri ketel. Kesalahan yang didapat dari pengukuran suhu air masuk ketel biasanya menyebabkan kesalahan enthalpy yang kecil

Enthalpy uap meninggalkan boiler biasanya sekurang kurangnya lima kali enthalpy air masuk boiler. Keadaan uap keluar, baik suhu dan tekanan diperlukan untuk menentukan enthalpy, apabila uap dalam keadaan superheat (kering).

Apabila uap meninggalkan boiler dalam keadaan jenuh, maka diperlukan throttling calorimeter untuk menentukan enthalpy. Kesalahan pada Δh_w ($h_{5A} - h_4$) oleh prosentase kesalahan pada pengukuran tekanan dan suhu di tunjukkan pada

gambar 4. Pada gambar itu secara jelas menunjukkan ketelitian biasa yang terjadi dari hasil pengukuran tekanan dan suhu yang mempunyai efek minor pada Δh_w

c. Nilai Kalor Tertinggi (HHV)

Sample bahan bakar dianalisa di laboratorium untuk menentukan Nilai Kalor Tertinggi, HHV. Dengan cara ini, dapat diperoleh HHV dengan akurasi tertentu dari test laboratorium. Nilai HHV beberapa bahan bakar yang ditetapkan oleh supplier biasanya tidak cukup teliti untuk keperluan perhitungan efisiensi boiler dengan ketepatan tinggi yang dikehendaki.

Instrumen yang dipergunakan

Berikut ini adalah beberapa instrumen yang dianjurkan untuk digunakan pada pengujian boiler. Dengan instrumen tersebut diharapkan dapat menghasilkan angka pengukuran dengan ketepatan yang sebaik – baiknya.

Tabel 2.
Instrumen yang disarankan pada metode langsung

Instrument	Keterangan	Error max. yang dibolehkan	Penggunaan
Pengukur Aliran	Type : Turbin 4" - turbin gas 1 1/2" - turbin cair	0,25 % laju aliran	Mengukur aliran Bahan bakar dan Feed water
Thermocouple	Type : K Chrom - aluminium	$\pm 4^\circ$ F	Mengukur suhu Bahan bakar dan Feed water
Thermocouple Read out	Meter	0,25 %	Read mv output Thermocouple
Pressure gauge	Hiess gauge	1/2 % skala penuh	Mengukur tekanan Bahan bakar, Feed water

Metode Pengujian Secara Tidak Langsung

Pengukuran yang diperlukan

Efisiensi pembakaran ditentukan dengan persamaan :

$$\eta = \{ |h_3| - |h_1 - h_2| \} / \text{HHV}$$

Pada persamaan di atas, garis vertikal menunjukkan Nilai Absolut,

h_3 : enthalpy hasil pembakaran tiap satuan massa bahan bakar, Joule/kg

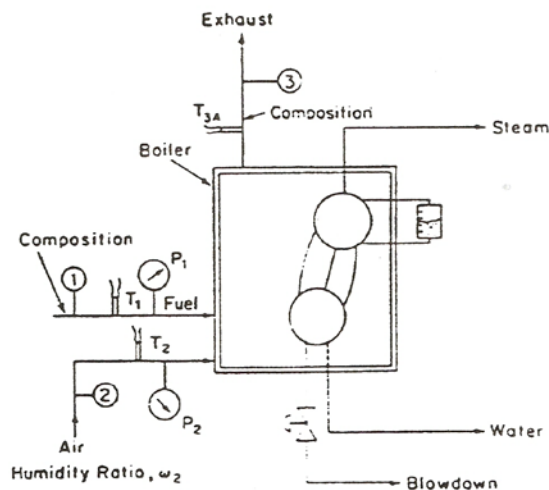
$h_1 + h_2$: enthalpy dari reaktan tiap satuan massa bahan bakar, Joule/kg

Pengukuran yang diperlukan untuk menghitung efisiensi yang disajikan pada gambar 5 adalah sebagai berikut :

Untuk udara masuk : suhu T_2 , kelembaban relatif ω_2 dan tekanan P_2 .

Untuk gas buang : suhu T_{3A} dan komposisi gas buang.

Untuk bahan bakar : suhu T_1 , komposisi bahan bakar, HHV dan tekanan (apabila berbentuk gas)



Gambar 5. Pengukuran yang digunakan untuk menentukan Efisiensi Pembakaran

Prosedur pengukuran pada Metode tak langsung

Boiler harus diuji pada beberapa kondisi pembebanan, karena efisiensi merupakan fungsi beban.

Prosedur pengujian yang dianjurkan adalah sebagai berikut :

- Memasang instrumen yang telah dikalibrasi, seperti pada Gambar 5
- Mengoperasikan boiler pada bahan tertentu selama satu jam
- Buat analisa Orsat dari produk sebagaimana yang di rekomendasikan oleh Pabrik pembuat Orsat Analyser.
- Mengambil sample bahan bakar dan ukur suhu dan tekanan bahan bakar (jika dalam bentuk gas). Ikuti prosedur yang direkomendasikan oleh laboratorium mengenai cara pengambilan sample. Gunakan laboratorium untuk mendapatkan komposisi bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar.

- Mengukur kelembaban spesifik, suhu dan tekanan dari udara pembakaran. Kelembaban spesifik dapat ditentukan dengan mengukur suhu kering dan suhu basah dengan menggunakan psychometric chart.

Prosedur di atas adalah untuk pengujian efisiensi pembakaran yang sempurna.

Sedangkan pengujian lain juga dapat dilakukan, misalnya prosentase O₂ dan prosentase CO pada gas buang dan suhu gas buang dapat diperoleh dari hasil pengukuran.

Apabila prosentase CO pada gas buang diabaikan, tabel pada lampiran dapat digunakan untuk menentukan efisiensi pembakaran secara langsung.

Pengujian tersebut dilakukan untuk monitoring efisiensi harian, sedangkan untuk melacak lokasi kerusakan diperlukan data pengujian menyeluruh.

Ringkasan pengukuran yang menyangkut data yang diperlukan untuk uji efisiensi pembakaran secara lengkap disajikan pada tabel 3 berikut :

Tabel 3.
Pengukuran pada metode tak langsung

Udara Pembakaran	Gas Buang	Sifat Bahan bakar
Suhu, °C Tekanan, kPa Kelembaban %	Komposisi (% volume) CO ₂ , CO, O ₂ , dan lainnya ; Suhu °C	Komposisi (% volume) C _A H _B , α ₁ , α ₂ , α ₃ , α ₄ , α ₅ α ₆ , α ₇ ; HHV, Joule/kg Suhu °C, Hydrocarbon, Komposisi, A dan B

Analisa Tingkat Kesalahan

Data yang dipertimbangkan pada analisa ini adalah prosentase CO₂, CO dan O₂ pada gas buang kering dan suhu gas buang. Hasil analisa disajikan dalam bentuk grafik. Pada dasarnya analisa mencakup asumsi bermacam – macam kesalahan pada beberapa variable yang muncul pada persamaan efisiensi pembakaran berikut :

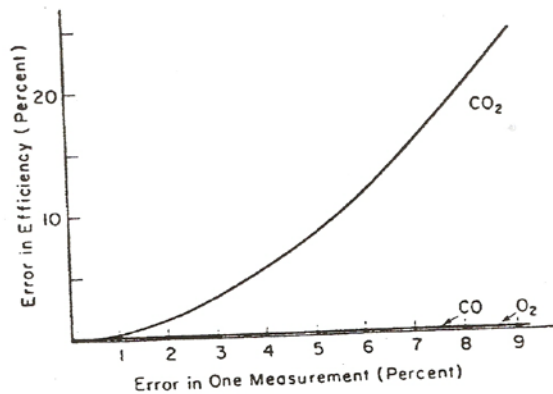
$$\eta = \{ |h_3| - |h_1 - h_2| \} / HHV$$

Gambar 6 memperlihatkan besar tingkat kesalahan pada perhitungan efisiensi pembakaran, kesalahan pengukuran terjadi pada salah satu komposisi dengan menggunakan Orsat, menganggap bahwa komposisi lain dan suhu gas buang di ukur secara sempurna.

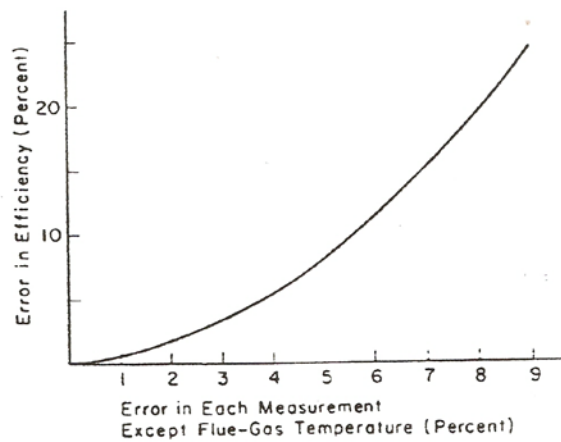
Komposisi CO₂ mempunyai efek dominan karena jumlah karbon yang teroksidasi menjadi CO₂ merupakan variable utama dalam menentukan energy yang dihasilkan dari pembakaran.

Gambar 7 memperlihatkan kesalahan terhadap besar efisiensi pembakaran apabila komposisi dari semua spesies diukur dengan prosentase kesalahan yang sama. Suhu gas buang dianggap terukur dengan sempurna. Kurva ini sedikit mendekati kurva CO₂ pada gambar 6 karena kesalahan pada komposisi .

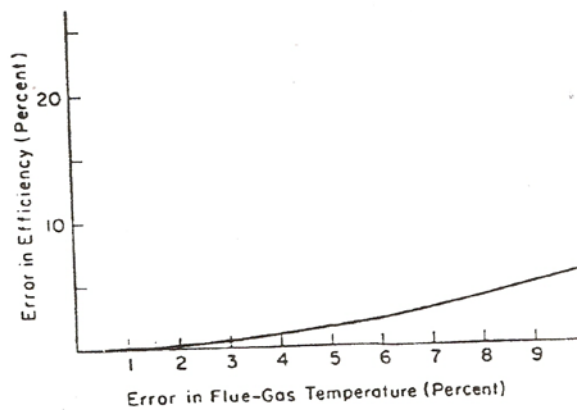
CO₂, dominan dalam menentukan efisiensi pembakaran.



Gambar 6. Pengaruh kesalahan pada pengukuran tunggal Terhadap Efisiensi



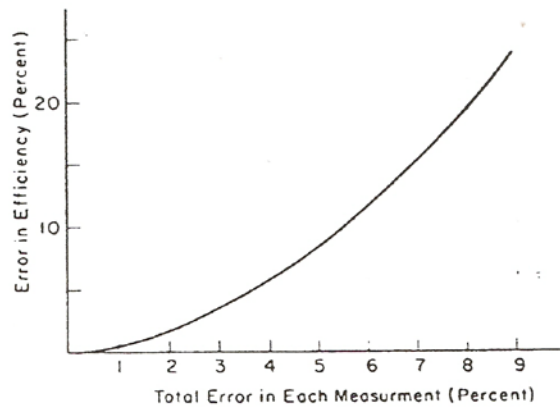
Gambar 7. Pengaruh kombinasi kesalahan beberapa pengukuran terhadap efisiensi (kecuali pengukuran gas buang)



Gambar 8. Pengaruh kesalahan pengukuran suhu gas buang terhadap efisiensi

Gambar 8 menunjukkan kesalahan pada besar efisiensi pembakaran sebagai fungsi prosentase kesalahan pada suhu gas buang apabila semua variable yang lain dianggap terukur secara sempurna. Suhu gas buang dapat secara mudah terukur dibawah 1 % dan oleh karena itu tentu memberikan pengaruh yang sangat kecil pada ketepatan efisiensi. Akhirnya gambar 9 menunjukkan kesalahan pada besar efisiensi pembakaran sebagai fungsi prosentase kesalahan masing – masing pengukuran dengan asumsi

bahwa semua komposisi dan suhu diukur dengan prosen kesalahan yang sama, Secara ringkas dapat dikatakan, bahwa kesalahan besar efisiensi pembakaran cenderung untuk menaikkan secara exponential terhadap kesalahan pengukuran beberapa variable. Apabila suhu dan prosentase CO₂ diukur dibawah 1 %, kesalahan pada besar efisiensi akan mendekati 1 %. Pengaruh kesalahan akan meningkat dengan meningkatnya suhu flue gas.



Gambar 9. Pengaruh kombinasi kesalahan pengukuran terhadap efisiensi

Peralatan untuk Pengujian Efisiensi

Pembakaran

Table 4 untuk memberikan daftar instrumen pokok yang diperlukan untuk pengujian efisiensi pembakaran termasuk model angka yang telah digunakan secara baik.

Disarankan agar konsultasi dan mengikuti instruksi pabrik pembuat untuk mengoperasikan instrumen dalam upaya mendapatkan ketepatan hasil pengukuran yang lebih terjamin.

Tabel 4.
Instrumen yang digunakan pada pengukuran tidak langsung

Instrumen	Keterangan	Kesalahan max Yang diujikan	Penggunaan
Flue gas Analysis	Orsat Analysis	0,1 % vol penuh	Pengukur CO ₂ , CO, O ₂ pada flue gas
Oxygen Analysis		± 4 % volume nyata	Mengukur O ₂ pada Flue gas

Penutup

Kesimpulan

- a Efisiensi boiler merupakan parameter kinerja yang dapat ditentukan dengan menganalisa data hasil pengukuran
- b Untuk mendapatkan hasil yang tepat dengan tingkat ketelitian yang optimal, pemilihan metode analisa berikut instrumen yang benar merupakan persyaratan yang harus terpenuhi.
- c Direkomendasikan untuk menggunakan metode langsung, karena proses analisisnya lebih sederhana dan lebih aplikatif.
- d Kedua metode mampu digunakan untuk melacak lokasi kerusakan yang menjadi sumber penurunan kinerja, sebelum dilakukan shut-down guna pemeriksaan secara fisik.

Saran

- a Perlu konsultasi dengan pabrik pembuat instrumen tentang nilai ketepatan pengukuran dan metode penerapannya.
- b Karena ketidak telitian setiap instrumen menghasilkan akumulasi kesalahan hasil analisis, maka diharapkan tingkat ketelitian setiap instrumen perlu menjadi pertimbangan agar kinerja terukur dapat dipertanggung jawabkan.

Daftar Pustaka

- Albert Thumann, P.E., CEM., 1988, *Guide to Improving Efficiency of Combustion Systems*, The Fairmont Press, Inc.
- Alex Higgins, 1995, *Boiler Room – Question and Answers*, Mc.Graw Hill Book Company Inc., New York
- Douglas C. Montgomery, 1976, *Design and Analysis Experiment*, John Wiley & Sons, New York
- Garg H.P, 1976, *Industrials Maintenance*, S.Chand & Company Ltd
- Holman J. P., 1980, *Thermodynamics*, Mc.Graw Hill Company Inc., New York
- John Geadstone, 1970, *Mechanical Estimating Guide Book*, Mc.Graw Hill Book Company, New York
- Kazantsev E.I., 1977, *Industrial Furnace*, Mir Publisher, Moscow
- Lindley R. Higgins, 1995, *Maintenance Engineering Hand Book*, 5 th Edn., Mc.Graw Hill Company Inc.
- Robert C. Rosaler, 1977, *Plant Equipment Reference Guide*, Mc.Graw Hill Book Company, New York