

# POWERPLANT

Roswati Nurhasanah  
Jasmid Edy  
Eza Brian Pradana

Arief Suardi  
Vendy Antono  
Al Asyi

Arisma Chairul Syarif  
Iman Kartolaksono R  
Jalu Eko Harjono

Nofirman  
Yusuf Rasyid

Win Alfalah  
Eko Sulistyio  
Rahmat Ikhsan

Utami Wahyuningsih  
Halim Rusjdi  
Eko Sulistiyo

Sahlan

Jumiati  
Intan Ratna Sari Yanti  
Sri Yayi

Perancangan Boiler Dengan Memanfaatkan Sampah Kering Untuk Bahan Bakar PLTU Mini 3 kW STT-PLN

Analisis Perbandingan Penggunaan *Big Oil Gun* dan *Tiny Oil Gun* terhadap Kosumsi Bahan Bakar Pada Saat *Strat Up Unit* di PLTU Banten Lontar

Uji Prestasi dan Emisi Diesel Berbahan Bakar Minyak Nabati Murni untuk Pembangkitan Daya di Daerah Terpencil

Pengukuran Suhu Pembakaran di Dalam Boiler : Pirometer Akustik VS Pirometer Infrared

Pengaruh Pemeliharaan *Overhaul Turbo Charger* Terhadap Kinerja Mesin Unit VII PLTD Ampenan

Penanggulangan Korosi Pada Pipa Gas Dengan Metode *Catodic Protection* (Anoda Karbon) PT PGN Solution Area Cengkareng

Analisis Strategi Teknologi PLTS Fotovoltik di Indonesia Terhadap Nilai Ekvivalensi dan Pemanfaatan Per Wilayah

Pengembangan Model Pembelajaran Berbasis Tutorial Bagi Mahasiswa Teknik Mesin STT PLN



9 772356 151002

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

JURNAL POWERPLANT

VOL. 5

NO. 1

HAL. 1 - 63

NOVEMBER 2017

ISSN No :2356-1513

## PENGUKURAN SUHU PEMBAKARAN DI DALAM BOILER: PIROMETER AKUISTIK VS PIROMETER INFARED

Nofirman<sup>1</sup>. Yusuf Rasyid<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknologi Industri, STT-PLN

Email: nofirman@sttpln.ac.id

yusfrasyid@gmail.com

### Abstract

*Pirometer akustik adalah salah satu jenis alat ukur suhu yang non-intrusive dan andal untuk digunakan didaerah yang memiliki temperatur yang tinggi, korosif dan kotor dibandingkan dengan alat ukur jenis contact measurement. Dalam tulisan ini akan dibandingkan hasil pengukuran temperatur di daerah furnace exit gas temperatur (FEGT) dengan menggunakan pirometer akustik (PA) dan pirometer infrared (IR) di boiler unit # 4 PLTU Suralaya. Hasil komparasi menunjukkan bahwa perbedaan pengukuran temperatur dengan menggunakan PA adalah 56°C atau 5%,*

### 1. PENDAHULUAN

Mengetahui temperatur pembakaran didalam boiler merupakan salah satu indikator yang sangat penting untuk mengetahui kinerja pembakaran dan boiler baik dari sisi ekonomi maupun dari sisi lingkungan. Oleh sebab itu pengukuran temperatur yang akurat dan andal sangat penting dalam sektor pembangkit tenaga listrik khususnya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

Untuk mengukur suhu didalam boiler terdapat beberapa macam alat ukur yang bisa digunakan yang secara garis besar dibagi dalam dua kategori. Pertama adalah kategori contact measurement, contohnya adalah termokopel, termometer resistor (RTD) dan termometer HVT (High velocity thermometer). Yang kedua adalah tipe non-intrusive measurement, contohnya adalah termometer radiasi (pirometer infrared) dan pirometer akustik (Acoustic pyrometer).

Penggunaan alat ukur temperatur di dalam boiler dengan metode *contact measurement* memiliki beberapa kelemahan. Tingginya suhu didalam boiler disertai dengan karakteristik lingkungan yang sangat korosif dan berdebu menyebabkan aplikasi contact thermometer memiliki keandalan yang rendah karena memiliki respon pengukuran yang lama dan seringkali tertutup oleh debu atau kotoran hasil pembakaran [1]. Thermal shock

yang terjadi pada saat startup dan shutdown boiler menyebabkan alat ukur mengalami kerusakan dan harus sering dilakukan penggantian alat ukur [1]

Dalam hal ini termometer HVT lebih tahan dibandingkan jenis termometer yang lainnya dan juga lebih akurat dalam pengukuran suhu karena tidak terpengaruh oleh efek radiasi didalam boiler. Termometer HVT memiliki beberapa kekurangan yaitu tidak dapat beroperasi terus menerus dan juga memerlukan air untuk mendinginkan komponen termometer HVT.

Dalam aplikasi termometer infrared, emisiviti dan kondisi lingkungan sangat mempengaruhi hasil pengukuran [2]. Khususnya ketika suhu lingkungan jauh berbeda dengan suhu obyek yang diukur, hasil pengukuran akan jauh berbeda dengan suhu yang sebenarnya. Sedangkan pirometer akustik merupakan teknologi yang lebih baru dan mulai dikembangkan di pertengahan tahun 1980-an dan telah digunakan secara permanen di beberapa PLTU di Amerika Serikat sejak tahun 1990-an. Akustik Pirometer (AP) menggunakan sifat dari gas pembakaran dalam pengukuran suhu dan hasil pengukuran tidak dipengaruhi oleh efek radiasi didalam boiler. Karena sifat pengukuran yang dilakukan adalah non-intrusive, AP lebih andal untuk pengukuran suhu gas hasil pembakaran didalam boiler [1].

Oleh karena sangat bermanfaatnya aplikasi pirometer akustik di boiler PLTU, kami melakukan penelitian keakuratan hasil pengukuran pirometer akustik di PLTU Suralaya unit # 4. Penelitian dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran temperatur didalam boiler dengan menggunakan pirometer akustik dan termometer infrared. Instalasi

akustik pirometer di Suralaya merupakan yang pertama di Indonesia.

## 2. PIROMETER AKUISTIK (PA)

Pirometer akustik dapat beroperasi dengan menggunakan minimal dua sensor. Sensor pertama berfungsi sebagai pemberi sinyal suara (Transmitter) dan sensor kedua berfungsi sebagai penerima sinyal (Receiver), Lihat Gbr. Sinyal suara diproduksi dengan menggunakan udara bertekanan (Compressed air service), kemudian gelombang suara akan diterima oleh receiver. Dengan diketahui jarak (D) antara transmitter dan receiver dalam m, serta waktu tempuh suara atau time of flight (TOF) dari transmitter dan receiver dapat diukur dalam satuan ms, maka temperatur rata-rata (T) dalam satuan °C sepanjang lintasan antara transmitter dan receiver dapat hitung dengan persamaan (1) [Kleppe]:

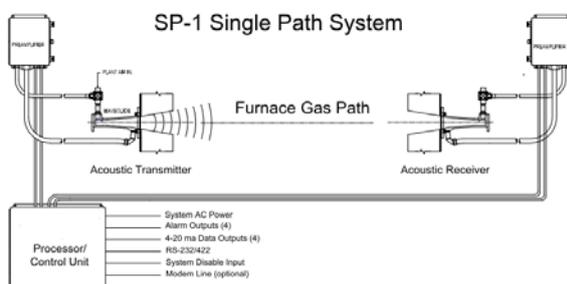
$$T = \frac{D^2}{B \cdot TOF} \cdot 10^6 - 273,16 \quad (1)$$

B adalah konstanta akustik;

$$B = \kappa \cdot R/M \quad (m^2/s^2 \cdot K)$$

Dimana  $\kappa$  = rasio panas spesifik, R = Konstanta gas universal, dan M = berat molekul.

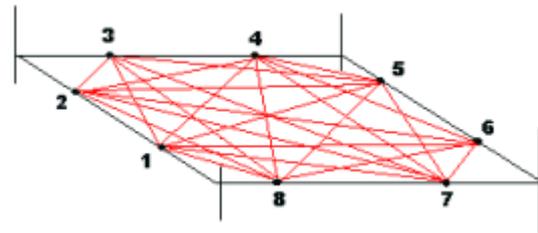
Jika sensor terdiri dari 8 unit (Gbr 2) dimana masing-masing unit bisa berfungsi sebagai transmitter dan receiver maka akan terdapat 24 lintasan suara yang merepresentasikan suhu rata-rata untuk masing-masing lintasan. Dengan menggunakan software TMSIS dengan algoritma tertentu maka akan di buat kontur distribusi temperatur dalam dua dimensi seperti yang terlihat pada Gbr.3.



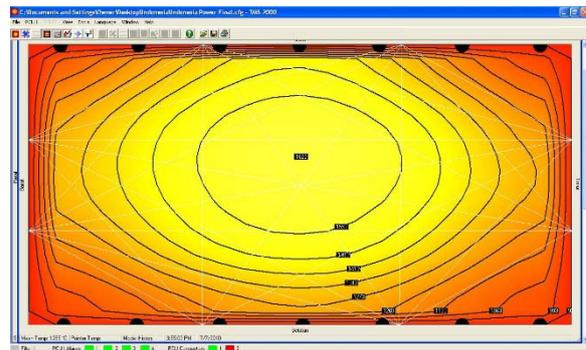
Gambar 1. Skematik PA untuk lintasan tunggal

Untuk membuat kontur distribusi temperatur yang akurat dibutuhkan setidaknya delapan sensor dan biasanya yang paling optimal penggunaannya dipasang didaerah furnace exit gas temperature (FEGT), lihat Gbr 4.

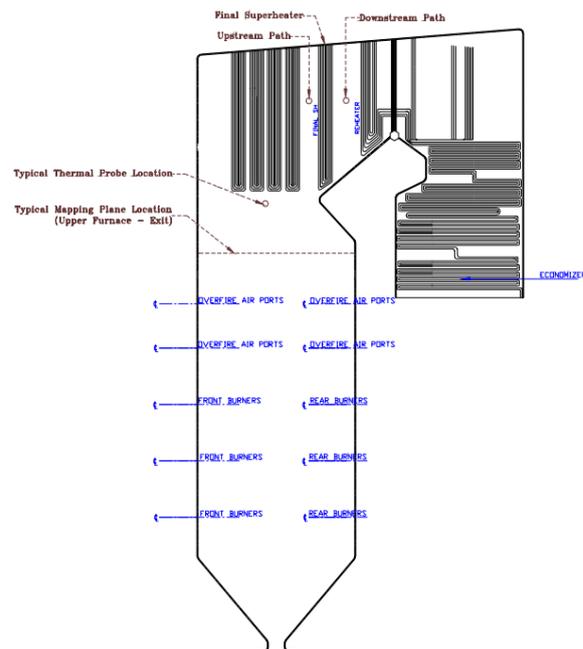
Mengetahui temperatur di daerah FEGT merupakan hal yang sangat berguna untuk mengetahui kinerja dari Boiler.



Gambar 2. Layout PA untuk 8 sensor dan 24 lintasan



Gambar 3. Distribusi temperatur di FEGT



Gambar 4. Lokasi pengukuran di FEGT

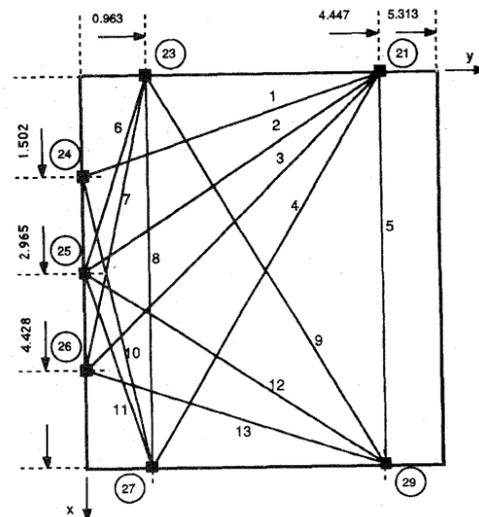
## 3. STUDI LITERATUR

Terdapat beberapa studi yang pernah membandingkan hasil pengukuran pirometer akustik dengan alat ukur lainnya, khususnya untuk pengukuran temperatur didalam ruang bakar boiler [3,4,5].

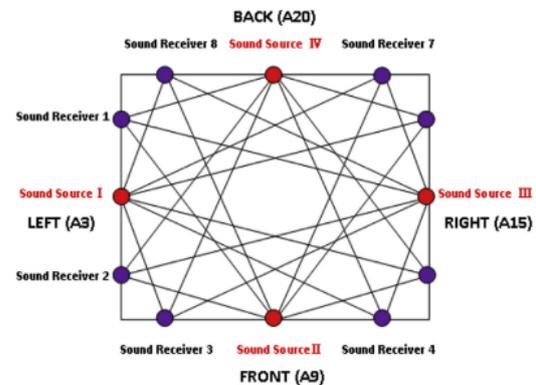
Tennessee valley authority (TVA) salah satu perusahaan pembangkit listrik terbesar di Amerika Serikat melakukan uji keakuratan penggunaan pirometer akustik di PLTU Gallatin berkapasitas 240 MW [3]. Pirometer akustik terdiri dari dua buah sensor yang menghasilkan suhu rata-rata pada lintasan tunggal (Single path) yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan menggunakan termometer HVT (High velocity thermocouple) di daerah superheater dan reheater. Pengukuran dengan HVT dilakukan pada kedalaman 2ft sampai dengan 14 ft. Hasil komparasi menunjukkan bahwa pengukuran dengan menggunakan pirometer akustik cukup akurat, dimana perbedaan dengan hasil pengukuran HVT antara -6% sampai dengan +3% [3].

Selain TVA, Bramanti juga melakukan riset untuk membandingkan hasil pengukuran PA dan suction pyrometer (SP) [4]. Pengukuran dengan SP dilakukan pada tiga lokasi port yaitu port 24,25 dan 26 (Gbr.5) dengan perbedaan kedalaman pada masing-masing lokasi port mulai dari kedalaman 0,35 m sampai dengan 2,35 m. Hasil pengukuran dengan SP dibandingkan dengan hasil pengukuran PA. Hasil pengukuran dengan menggunakan PA dipetakan dalam bentuk distribusi temperatur dengan menggunakan dua metode yaitu metode Fourier dan section-interpolation [4]. Hasil perbandingan antara PA dan SP memberikan maksimum perbedaan temperatur sebesar 6%. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran dengan PA cukup akurat. Bramanti juga berpendapat bahwa semakin banyak lintasan gelombang suara akan semakin akurat pembuatan peta dua dimensi distribusi temperatur didalam boiler.

Perbandingan hasil pengukuran pirometer akustik dengan alat ukur lainnya juga dilakukan oleh Zhang (5). Zhang melakukan percobaan di unit PLTU berkapasitas 600 MW. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan termokopel pada dua lokasi dengan kedalaman 2 m dan 3 m. Sedangkan pengukuran dengan pirometer akustik menggunakan masing-masing tiga sensor pada setiap dinding boiler dengan jumlah total 8 sensor receiver dan 4 sensor transmitter (Gbr.6). Hasil perbandingan pengukuran dengan pirometer akustik menunjukkan perbedaan maksimum -4,3% dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan termokopel [5].



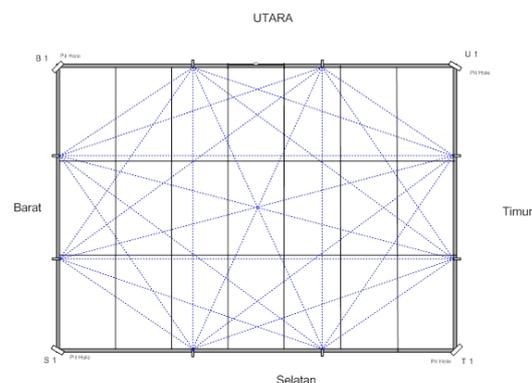
Gambar 5. Layout percobaan oleh Bramanti [4].



Gambar 6. Layout pengukuran oleh Zhang [5]

#### 4. METODE PENELITIAN

Penelitian bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran temperatur dengan menggunakan pirometer akustik (PA) dan pirometer infrared (IR). Dimana hasil pengukuran IR dijadikan nilai acuan. Alat ukur IR merupakan tipe DSH-60 (Gbr 8) yang mampu mengukur suhu sampai jarak 5 meter.



Gambar 7. Layout PA di FEGT di unit # 4 Suralaya

Pengukuran suhu dengan alat ukur IR dilakukan pada empat lokasi yang berbeda (Lihat Gbr). Dari masing-masing lokasi (U,S,B, dan T) akan dilakukan pengukuran dengan kedalaman 1 m, 3m, dan 5 m.

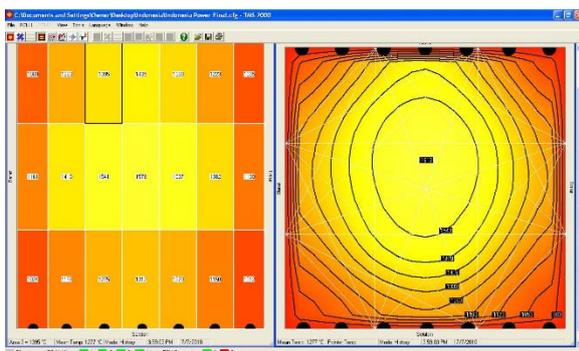
Sedangkan output dari pengukuran temperatur dengan menggunakan PA dibuat tabulasi pada jarak pengukuran yang sama dari empat lokasi pengukuran dengan menggunakan IR. Kemudian hasil pengukuran PA akan dibandingkan dengan hasil pengukuran IR pada lokasi dan kedalaman yang sama.



Gambar 8. Pirometer infrared DSH-60

### 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran suhu di daerah FEGT dalam bentuk dua dimensi bisa dilihat di Gbr.9 baik dalam bentuk thermal mapping ataupun kontur dua dimensi. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan menggunakan IR pada kedalaman yang sama. Tabulasi perbandingan pengukuran bisa dilihat di Tabel 1.



Gambar 9. Kontur temperatur di FEGT Suralaya

Perbandingan pengukuran pada empat lokasi (U,B,S,dan T) menunjukkan bahwa semakin kedalam boiler, pengukuran dengan menggunakan pirometer akustik menunjukkan peningkatan dan perbaikan akurasi. Perbedaan

hasil pengukuran dengan pirometer infrared adalah -5% (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil perbandingan: PA vs IR

| No | Lokasi | Jarak | IR (°C) | PA (°C) | Δ (°C) | %    |
|----|--------|-------|---------|---------|--------|------|
| 1  | U      | 1 m   | 1,276   | 1,053   | -223   | -17% |
| 2  | U      | 3 m   | 1,291   | 1,193   | -98    | -8%  |
| 3  | U      | 5 m   | 1,311   | 1,263   | -48    | -4%  |
| 4  | B      | 1 m   | 1,256   | 1,044   | -212   | -17% |
| 5  | B      | 3 m   | 1,266   | 1,251   | -15    | -1%  |
| 6  | B      | 5 m   | 1,318   | 1,320   | 2      | 0%   |
| 7  | S      | 1 m   | 1,275   | 1,053   | -222   | -17% |
| 8  | S      | 3 m   | 1,288   | 1,189   | -99    | -8%  |
| 9  | S      | 5 m   | 1,319   | 1,257   | -62    | -5%  |
| 10 | T      | 1 m   | 1,277   | 985     | -292   | -23% |
| 11 | T      | 3 m   | 1,285   | 1,113   | -172   | -13% |
| 12 | T      | 5 m   | 1,308   | 1,252   | -56    | -4%  |

Besarnya perbedaan pengukuran PA pada kedalaman 1 m dan 3 m disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, lokasi pengukuran IR berada di masing-masing sudut boiler (Gbr 7). Lokasi di tiap sudut sampai dengan kedalaman 3.5 meter berada diluar lintasan gelombang suara yang ada. Sehingga dari jarak < 3,5 meter dari masing-masing pit hole merupakan hasil interpolasi antara lintasan terluar dengan suhu dinding boiler (Kondisi batas). Dalam proses perhitungan distribusi temperatur, terdapat tiga pilihan asumsi dalam menentukan suhu pada dinding; (1) Suhu dinding boiler ditentukan fixed (Tetap) (2) Presentase dari suhu rata-rata dan (3) Presentase dari suhu lintasan yang minimum. Karena faktor diluar lintasan dan suhu dinding bukan didapat dari pengukuran langsung, maka daerah “dead zone” ini akan memiliki kesalahan nilai temperatur yang cukup besar.

Hal yang berbeda akan terjadi untuk kedalaman > 5 meter. Didaerah ini perbedaan nilai temperatur dengan hasil pengukuran masih dalam batas-batas yang lazim digunakan dalam dunia pembangkit listrik. Karena hal ini maka hasil pengukuran dengan menggunakan pirometer akustik cukup akurat untuk daerah-daerah yang berada > 5 meter karena masih berada dalam temperature lintasan (Path temperature) yang ada pada boiler #4 Suralaya, dan jumlah temperatur lintasan yang ada untuk delapan sensor adalah 24 temperatur lintasan, angka ini jauh lebih banyak dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan Bramanti [4] yang hanya memiliki 13

temperatur lintasan. Bramanti juga berpendapat untuk mendapatkan distribusi temperatur yang lebih akurat maka diperlukan lebih banyak temperatur lintasan atau jumlah TOF yang lebih banyak.

## 6. KESIMPULAN

Keakuratan pengukuran dengan menggunakan pirometer akustik dipengaruhi oleh banyaknya lintasan PA dan luasnya daerah lintasan PA yang ada. Hasil perhitungan dua dimensi lebih akurat jika masih didalam temperatur yang ada. Pada daerah yang masih didalam lintasan akustik, perbedaan pengukuran dengan menggunakan pirometer akustik adalah -5%. Dengan nilai perbedaan sebesar ini maka hasil pengukuran dengan menggunakan pirometer akustik cukup akurat dan masih didalam standard alat ukur suhu di dalam boiler. Hasil ini juga sesuai dengan riset yang pernah dilakukan beberapa peneliti [3,4,5].

## 7. REFERENSI

- [1] Kychakoff, G. Hollingshead, AF, Boyd, SP. "Use of acoustic temperature measurements in the cement manufacturing pyroprocess". Cement Industry Technical Conference, IEEE. 2005
- [2] VDE/VDI 3511 Technical temperature measurements. 1993
- [3] Tennessee valley authority (TVA). "Furnace Exit Gas Temperature (FEGT) Measurement Acoustic Pyrometer Test Report: Gallatin Fossil Plant". 2001
- [4] Bramanti, Mauro, Salerno, EA. Tonazzini, Anna. Pasini, Sauro. Gray, Antonio. "An Acoustic Pyrometer System for Tomographic Thermal Imaging in Power Plant Boilers". IEEE Transactions on instrumentation and measurement, Vol 45, No 1, 1996.
- [5] Zhang, Shiping. Shen, Guoqing. An, Liansuo. Niu, Yuguang. "Online monitoring of the two-dimensional temperature field in a boiler furnace based on acoustic computed tomography". Applied thermal engineering, No 75. 2015