

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Penelitian ini mengacu pada beberapa studi terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan sistem *sootblowing*, khususnya penggunaan *water cannon* pada PLTU. Penelitian-penelitian ini menjadi dasar perbandingan dan pembandingan terhadap sistem yang dianalisis dalam tugas akhir ini.

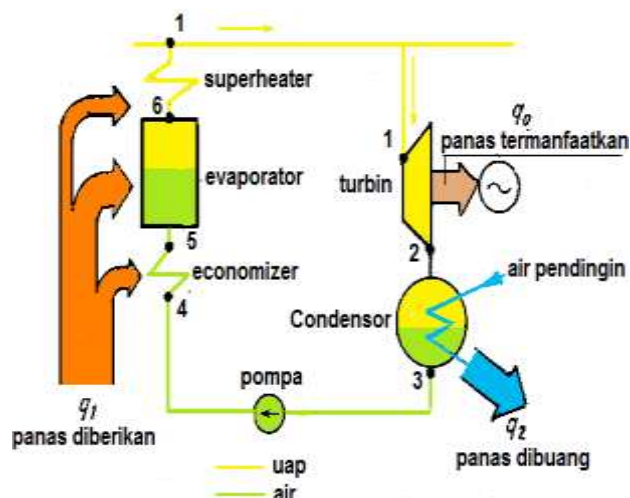
- a. Indonesia Re. (2020). *Steam Power Plant (PLTU)*. Artikel ini menjelaskan prinsip dasar pembangkit listrik tenaga uap termasuk penggunaan batu bara untuk menghasilkan uap yang memutar turbin pada PLTU.
- b. Global Energy Monitor. (2025). *Asam-Asam power station*. Sumber ini merinci unit-unit pembangkit PLTU Asam-Asam termasuk Unit 5 dan Unit 6 dengan kapasitas masing-masing 100 MW yang beroperasi di Kalimantan Selatan.
- c. Riffzaldi, R. (2017). *PLTU Asam Asam Unit 5 dan 6 Berkapasitas 2 x 100 MW Diresmikan*. Artikel berita ini memberikan informasi pembangunan dan peresmian unit baru di PLTU Asam-Asam sebagai bagian dari program peningkatan kapasitas pembangkit listrik nasional.
- d. Prayudi, P., & Agla, I. (2019). *Kemungkinan Terjadinya Slagging dan Kerugian Efisiensi Akibat Penggunaan Low Rank Coal Pada Boiler PLTU Suralaya Unit 8, Jurnal PowerPlant*, 1(1), 45–54. Publikasi ini membahas fenomena *slagging* dan dampaknya terhadap efisiensi boiler di PLTU, yang relevan dengan masalah pembentukan *slagging* pada furnace.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) ialah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan listrik. Konstruksi utama pembangkit ini meliputi turbin uap yang digerakan oleh uap panas/kering dan tersambung satu poros dengan generator. PLTU beroperasi dengan bahan bakar seperti batu bara atau minyak HSD (solar) yang dikonversi menjadi energi panas, digunakan untuk memanaskan pipa boiler yang berisi air, sehingga air tersebut berubah menjadi uap yang bertekanan. Uap bertekanan inilah yang akan dialirkan ke turbin uap sehingga dapat memutar turbin. Putaran dari turbin ini akan memutar generator yang terhubung dalam satu poros. Generator akan mengubah energi kinetik yang berupa putaran turbin menjadi listrik, yang mana listrik ini akan didistribusikan kepada pelanggan listrik melalui transmisi dan sumber-sumber beban.

Secara garis besar semua pembangkit memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri sesuai dengan konstruksi dan pembebanannya. Adapun Kelebihan dari PLTU dibandingkan dengan pembangkit lain anatara lain, bisa dijalankan dengan beragam jenis bahan bakar, baik zat cair, padat, maupun gas, dan bisa dibangun dalam kapasitas beragam serta dijalankan dalam berbagai mode beban. PLTU memiliki kontinuitas operasi yang tinggi dan umur pakai (life time) yang relatif lama. Tetapi, PLTU juga memiliki beberapa kekurangan, seperti ketergantungan beroperasi (start) tanpa pasokan listrik dari luar, kebutuhan akan pasokan air pendingin yang sangat banyak serta berkelanjutan, serta investasi awal yang mahal.



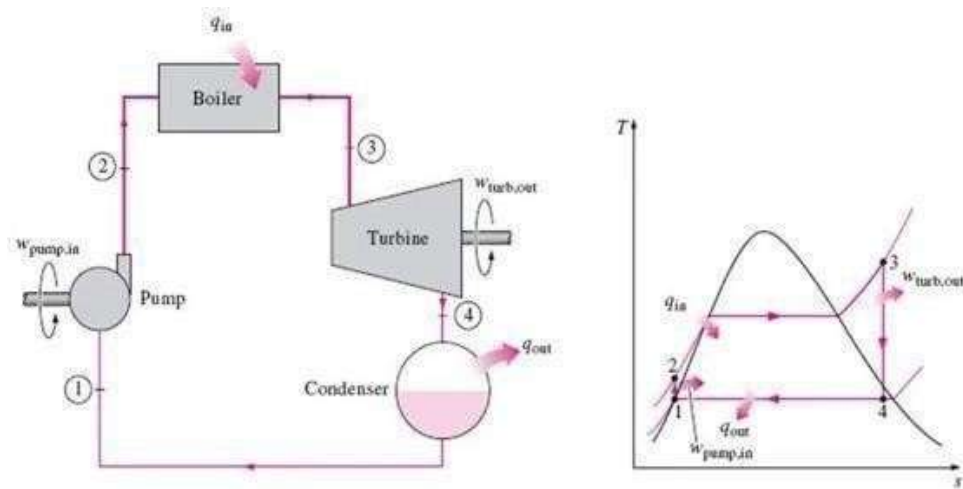
Gambar 2.1 Prinsip kerja sederhana pada PLTU

Sumber: Buku Modul Pembangkit Termal I

2.2.2 Siklus Rankine

Siklus *Rankine* ialah proses yang mengonversi energi panas menjadi energi mekanik, di mana panas diberikan dari sumber eksternal ke sistem dalam siklus aliran tertutup, dengan air umumnya digunakan sebagai fluida kerja (fluida yang mengalami pemanasan atau pendinginan).

Siklus Rankine ialah model kerja mesin uap yang banyak diaplikasikan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Panas dalam siklus ini dapat dihasilkan dari beragam sumber, seperti batubara, energi nuklir, gas alam, minyak bumi, biomassa, serta energi matahari.



Gambar 2.2 Diagram termodinamika Siklus PLTU (Siklus Rankine)

Sumber: Buku Modul Pembangkit Termal I

Keterangan:

- A. **1 - 2:** Dalam proses ini, air dipompa dan dikompresi untuk meningkatkan tekanannya dari tekanan rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Tahapan ini dikenal sebagai *kompresi isentropis*, yang terjadi dipompa air pengisi.
- B. **2 - 3:** Dalam proses ini, air bertekanan tinggi masuk ke dalam boiler untuk meningkatkan temperaturnya hingga mencapai titik didih. Proses ini berlangsung pada tekanan yang konstan.
- C. **3 - 4:** Uap bertekanan setelah memutar turbin, suhu dan tekanannya turun menjadi uap jenuh. Ini disebut proses *ekspansi isentropis*.
- D. **4 - 1 :** Tahap ini pembuangan panas laten uap atau uap jenuh menuju kondensor dan dikondensasikan menjadi air kondensat. Proses *isobar isothermis* ini terjadi di kondensor.

2.2.3 Turbin Uap



Gambar 2.3 Turbin Uap

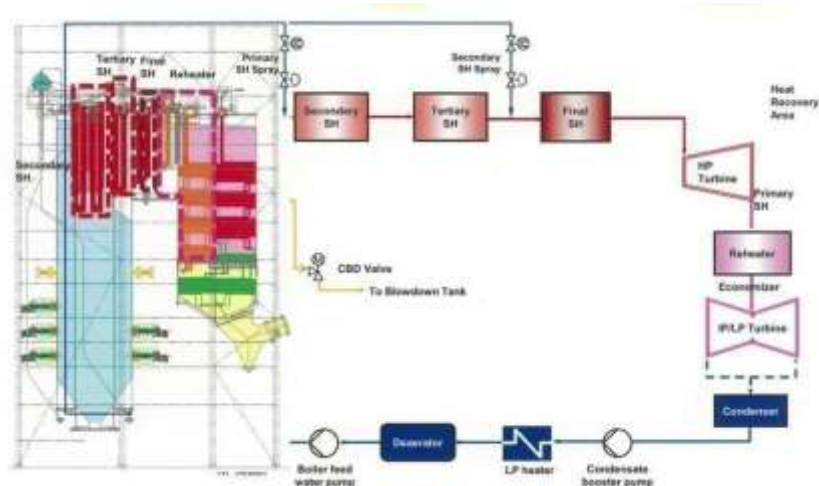
Sumber: Buku Modul Pembangkit Termal I

Turbin uap adalah mesin yang berputar pada porosnya dengan memanfaatkan energi dari uap panas yang diproduksi oleh boiler. Fungsi utama turbin ini ialah mengonversi energi potensial dari uap jadi energi kinetik, yang selanjutnya diubah kembali jadi energi mekanis untuk memutar poros turbin. Proses transformasi energi potensial menjadi energi mekanis dan perputaran porosnya dilakukan melalui berbagai metode. Umumnya, turbin uap tersusun atas dua komponen utama: stator dan rotor, yang menjadi bagian inti dari turbin, serta dilengkapi komponen pendukung seperti kopling, bantalan, serta sistem bantu lainnya supaya performa turbin bisa maksimal. Turbin ini mendayagunakan energi kinetik dari fluida kerja yang meningkat karena adanya tambahan energi panas.

Turbin uap memiliki fungsi untuk mengonversi energi panas dari uap jadi energi mekanik berupa rotasi. Uap bertekanan tinggi serta bersuhu panas mengalir melalui nozzle, yang meningkatkan kecepatannya dan diarahkan guna mendorong bilah-bilah turbin yang terpasang pada poros. Saat uap melewati sudu-sudu yang bergerak, terjadi perubahan momentum pada uap tersebut, menghasilkan tenaga yang digunakan untuk menggerakkan generator, yang kemudian mengubahnya menjadi listrik. Setelah melewati turbin, tekanan dan suhu uap yang telah digunakan akan menurun hingga berubah jadi uap

basah. Uap ini kemudian keluar dari turbin dan dialihkan ke kondensor untuk melalui proses kondensasi atau pendinginan, sehingga menjadi air kondensat yang dapat digunakan kembali memanaskan air di boiler.

2.2.4 Boiler



Gambar 2.4 Siklus Boiler

Sumber: Buku Modul Pembangkit Termal I

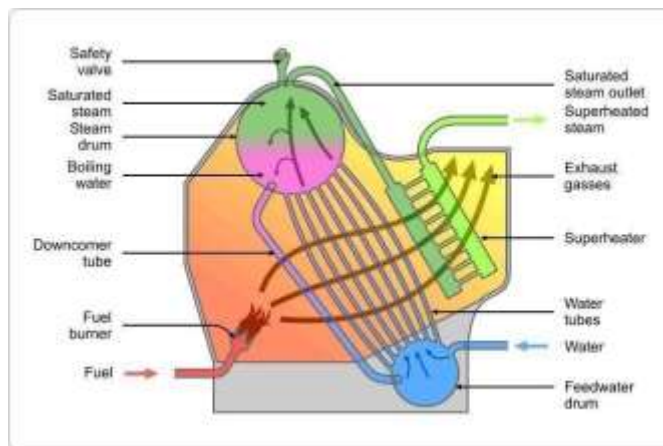
Boiler ialah salah satu komponen penting dalam PLTU. Fungsi utama boiler ialah mengonversi air menjadi uap, yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin, yang pada gilirannya menggerakkan generator listrik.

Boiler bekerja berdasarkan prinsip perubahan energi dari energi kimia (bahan bakar) jadi energi panas (Uap air). Dalam boiler bahan bakar seperti batubara, minyak atau gas dibakar didalam ruang bakar kemudian panas yang dihasilkan dari pembakaran tersebut dipakai untuk memanaskan air yang ada di pipa-pipa boiler hingga mencapai kondisi tertentu (Temperatur dan tekanan tinggi) hingga berubah menjadi uap.

Jenis-Jenis Boiler pada PLTU

Terdapat beberapa jenis boiler yang dipakai pada PLTU yakni :

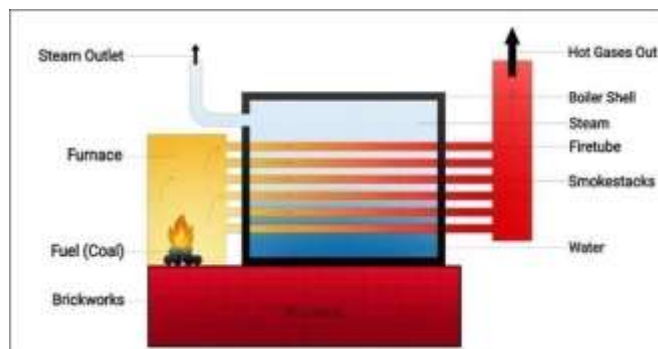
- a. *Boiler Pipa Air (Water Tube Boiler)* : Dalam jenis ini air bergerak melalui pipa-pipa kecil, sementara panas hasil pembakaran bergerak di luar pipa. Jenis boiler ini umum digunakan pada PLTU karena mampu menghasilkan uap dengan tekanan serta temperatur yang tinggi.



Gambar 2.5 Boiler Pipa Air

(Sumber: <https://artikel-teknologi.com/pengertian-boiler-pipa-air/>)

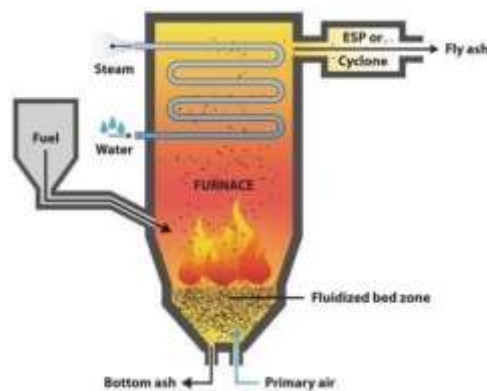
- b. *Boiler Pipa Api (Fire Tube Boiler)* : Dalam jenis boiler ini, gas panas hasil pembakaran bergerak melalui pipa-pipa yang dikelilingi oleh air. Boiler jenis ini lebih cocok untuk skala kecil dan tekanan yang lebih rendah.



Gambar 2.6 Boiler Pipa Api

(Sumber: <https://www.anakteknik.co.id/yaakovarvin/articles/perancangan-pipa-api-pada-ketel-uap-pipa-api-atau-fire-tube-boiler>)

- c. *Boiler Fluidized Bed* : Menggunakan konsep Fluidisasi, dimana partikel bahan bakar dihembuskan dengan udara sehingga membentuk “bed” yang fluidized. Jenis boiler ini memiliki efisiensi tinggi dan mampu membakar berbagai jenis bahan bakar, termasuk biomasa.

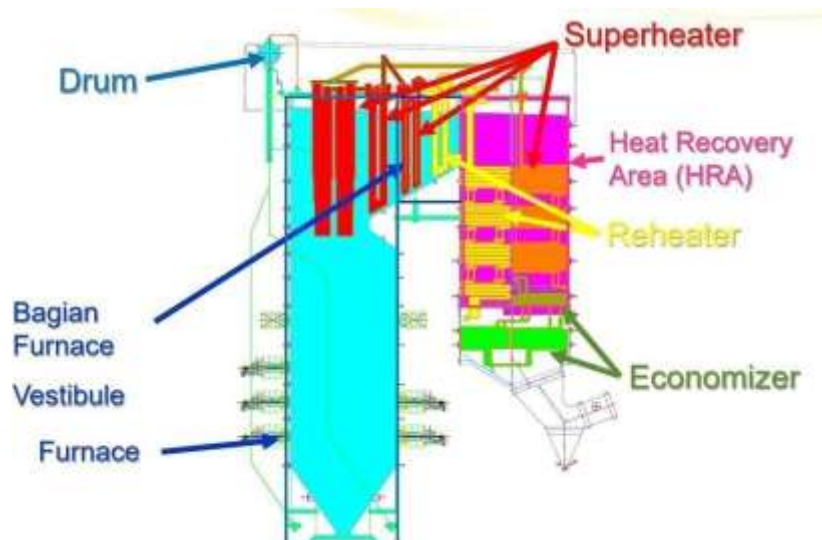


Gambar 2.7 Boiler Fluidized Bed

(Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-illustration-of-a-fluidized-bed-boiler_fig1_323848125)

Komponen-Komponen Utama Boiler

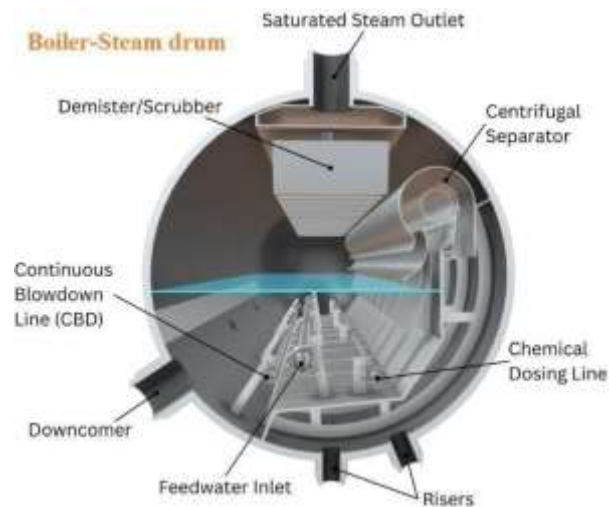
Beberapa komponen penting dalam boiler pada PLTU adalah :



Gambar 2.8 Komponen Boiler

(Sumber: Manual Book PLTU Asam asam 2 x 100 MW)

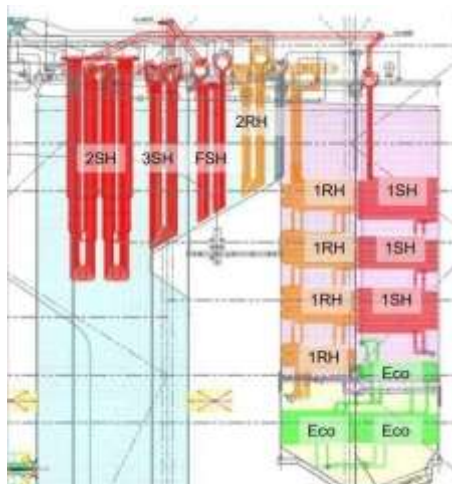
- ✓ **Drum Boiler** : Bagian ini berfungsi untuk memisahkan air dan uap. Uap yang terbentuk dikumpulkan di drum ini sebelum di alirkan ke turbin.



Gambar 2.9 Drum Boiler

(Sumber: https://www.powerplantandcalculations.com/2023/10/9-functions-of-boiler-steam-drum.html#google_vignette)

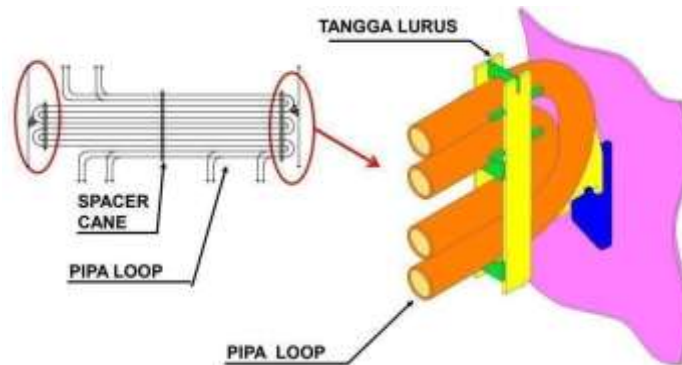
- ✓ **Superheater** : Digunakan untuk meningkatkan suhu uap yang dihasilkan hingga mencapai suhu superheated, sehingga meningkatkan efisiensi turbin.



Gambar 2.10 Rangkaian Superheater

(Sumber: Manual Book PLTU Asam asam 2 x 100 MW)

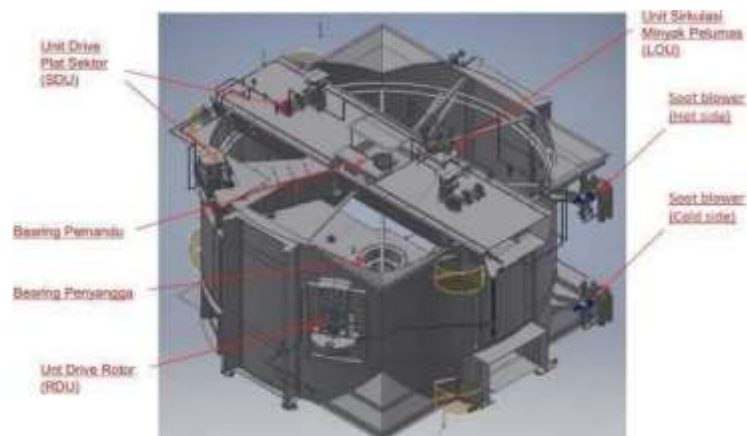
- ✓ **Economizer** : Pemanas awal air umpan yang menggunakan panas dari gas buang, sehingga meningkatkan efisiensi termal boiler.



Gambar 2.11 Economizer

(Sumber: Manual Book PLTU Asam asam 2 x 100 MW)

- ✓ **Air Preheater** : Memanaskan udara pembakaran sebelum masuk ke ruang bakar menggunakan panas dari gas buang, juga untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.



Gambar 2.12 Air Preheater

(Sumber: Manual Book PLTU Asam asam 2 x 100 MW)

2.2.5 Water Cannon Sootblowing System

Water Cannon Sootblowing System adalah sebuah sistem pembersihan yang menggunakan semprotan air bertekanan tinggi untuk membersihkan deposit abu (*soot*) dan kerak (*slagging*) yang menempel pada permukaan pemanas di dalam boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sistem ini termasuk bagian dari metode *sootblowing*, yaitu proses pembersihan permukaan boiler guna menjaga efisiensi perpindahan panas dan menghindari kerusakan.

Water Cannon Sootblowing System berfungsi untuk menghilangkan lapisan abu dan kerak yang menempel dan mengeras pada permukaan pemanas di dalam boiler, seperti *water wall*, superheater, dan reheater. Kerak ini berasal dari partikel abu batu bara yang melebur dan menempel, yang jika dibiarkan akan menghambat proses perpindahan panas. Dengan menghilangkan kerak dan abu yang menumpuk, sistem ini memastikan bahwa panas dari gas hasil pembakaran dapat ditransfer secara optimal ke media air/steam. Hal ini membantu menjaga efisiensi termal boiler dan kinerja PLTU secara keseluruhan.

Penumpukan *slagging* dan abu dapat menyebabkan *overheating* pada tube boiler karena panas tidak dapat terdistribusi dengan baik. Pembersihan rutin menggunakan water cannon mencegah terjadinya kondisi ini yang dapat menyebabkan kerusakan pipa dan *downtime* mendadak.

Dengan menjaga permukaan pemanas tetap bersih, sistem ini membantu memperpanjang masa pakai boiler dan mengurangi frekuensi perbaikan atau penggantian komponen.

Sistem ini membantu menjaga kondisi boiler agar tetap optimal sehingga mengurangi kebutuhan untuk menghentikan operasi PLTU secara mendadak akibat kerak yang mengganggu.

2.2.6 Steam Sootblower

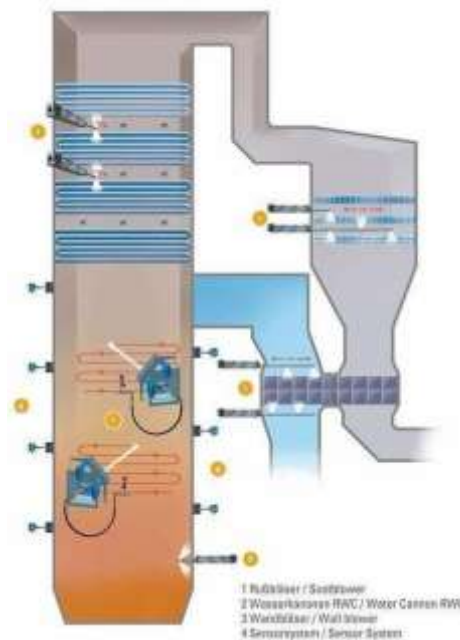
Steam Sootblower pada PLTU adalah peralatan bantu pada boiler yang berfungsi membersihkan abu, debu, dan jelaga yang menempel pada pipa-pipa pemanas (seperti superheater, economizer, air heater) agar perpindahan panas tetap efisien dan menjaga kinerja boiler

A. Fungsi dan Tujuan Sootblower

- Membersihkan Jelaga dan Abu: *Sootblower* menyemburkan uap panas untuk membersihkan tumpukan abu atau jelaga yang menempel pada dinding tube dan elemen pemanas boiler.
- Mempertahankan Efisiensi Perpindahan Panas: Penumpukan jelaga mengurangi efisiensi perpindahan panas dalam boiler. *Sootblower* membantu menjaga efisiensi ini dengan menjaga kebersihan permukaan pipa pemanas.

B. Bagaimana Cara Kerja Soot Blower

- Uap: Soot blower menyemburkan uap panas bertekanan tinggi ke permukaan pipa-pipa boiler
- Membersihkan Endapan: Semprotan uap ini membersihkan abu padat (fly ash) dan endapan keras (seperti bird nesting) yang terbentuk dari abu cair
- Operasi Berkala: Proses penyemprotan ini dilakukan secara berkala dan terprogram sesuai jadwal untuk menjaga kebersihan yang konsisten

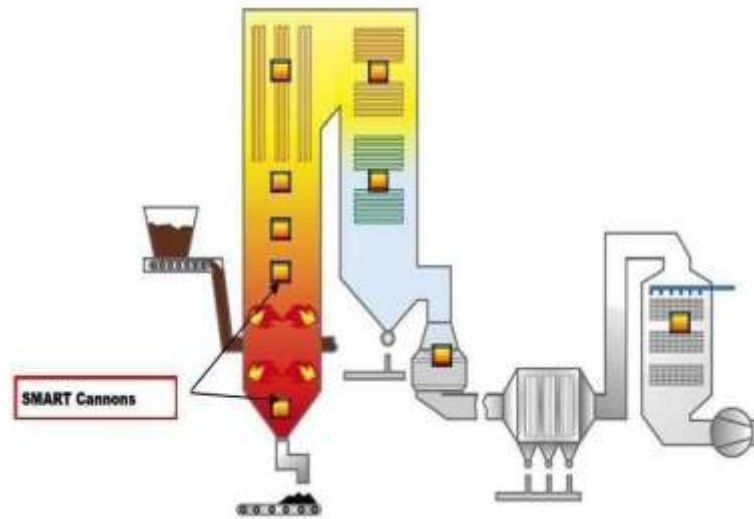


Gambar 2.13 *Sootblower & Water Cannon Area*

Sumber: Manual Book Sootblower

Sootblower merupakan alat yang sangat penting karena berfungsi untuk membersihkan *tube tube* pada boiler pada *Heat Recovery Area* (HRA) yaitu area Superheater, Economizer, Reheat, serta pada Air Heater dari kotoran/*slagging* yang menempel. *Sootblower* menyemburkan uap panas auxiliary membersihkan dinding luar *tube tube* dan elemen *heat exchanger* pada Air Heater. Gas bakar sisa pembakaran di Ruang Bakar (*Furnace*) Boiler dinamakan Flue gas. Pada flue gas hasil pembakaran masih banyak mengandung abu. Abu cair yang terkandung didalam flue gas akan melekat dan membeku saat flue gas mencapai area pemanasan konveksi di HRA.

2.2.7 Jenis Water Cannon (Smart Cannon)



Gambar 2.14 *Smart Cannon Area*

Sumber: Manual Book WaterCannon

SMART Cannon adalah perangkat untuk membersihkan *slagging* atau kotoran dari permukaan. Pembersihan dilakukan menggunakan air sebagai media pembersih. *SMART Cannon* terutama dirancang untuk menghilangkan kotoran pada permukaan berikut:

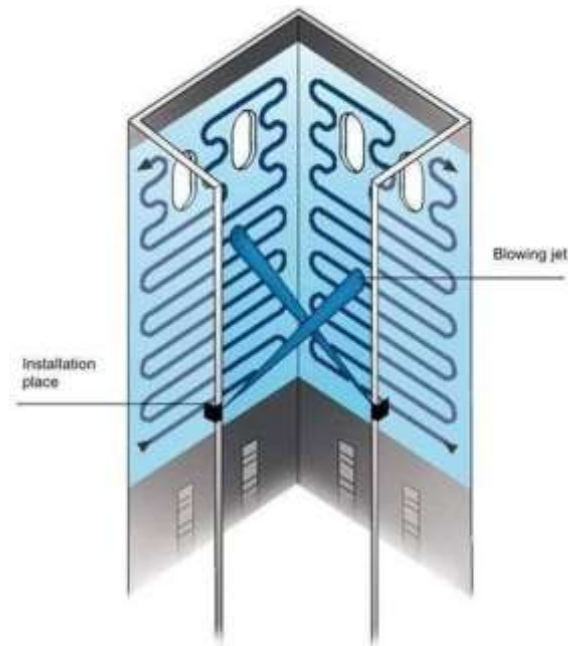
- Dinding ruang pembakaran.
- Berbagai bagian struktural ruang pembakaran, termasuk area dengan geometri yang rumit seperti sudut, *hopper*, dll.
- Bagian bawah paket superheater pertama.
- Dinding pada lorong kosong dari insinerator limbah.

Deskripsi proses ini dibuat dengan mempertimbangkan semua pengalaman dan pengetahuan. Tujuannya adalah spesifikasi pemersatu dan tidak ambigu untuk perancangan, *komisioning* dan pengoperasian sistem *SMART Cannon*, sehingga implementasinya memastikan penggunaan pabrik yang efisien. Deskripsi proses umum berikut harus digunakan sebagai templat untuk pembuatan deskripsi proses terkait proyek. Dalam hal ini, pelanggan Spesifikasi harus diperhatikan secara cermat.

Area aplikasi *SMART Cannon* dipasang pada dinding ruang bakar atau lintasan kosong ruang bakar dan boiler biomassa. Semburan air pekat melintasi ruang bakar dan mengenai dinding yang kotor. Kerak akan terurai dan terbuang dari permukaan. Modul penggerak digunakan untuk menggerakkan tabung blower secara horizontal dan vertikal sehingga semburan air yang mengenai dinding diafragma membentuk pola berkelok-kelok. Hal ini secara efektif menghilangkan kerak dari dinding. Di PLTU Kalselteng, pembersihan boiler dioptimalkan dengan *SMART Furnace* modul. Diagnosis slagging dilakukan oleh 16 sensor *SMART Flux*. *Slagging* pada dinding membran seperti lapisan isolasi pada dinding membran. Area yang terkontaminasi ini memiliki *fluks* panas yang jauh lebih rendah yang diukur dari sisi gas buang panas ke siklus air-uap yang lebih dingin dibandingkan dengan area yang bersih. Fakta ini digunakan oleh sensor *SMART Flux* untuk mengidentifikasi status kebersihan saat ini zona pembersihan individual.

Media pembersih air Air meresap ke dalam lapisan endapan dan menguap di sana secara tiba-tiba akibat suhu gas buang yang tinggi. Ekspansi volume yang dihasilkan menyebabkan pengotoran terlepas dari permukaan panas dan terbawa oleh gas buang atau jatuh ke dalam *Submerged Drag Chain Conveyor*. Pada saat yang sama, pengaturan parameter operasi yang tepat memastikan tidak terjadi peningkatan beban termal pada permukaan penukar panas. Kualitas air yang dibutuhkan harus sesuai dengan rekomendasi *Clyde Bergemann*.

2.2.8 Cleaning Area



Gambar 2.15 3D Model Water Cannon

Sumber: Manual Book WaterCannon

Area pembersihan *SMART Cannon* mencakup dinding yang berlawanan atau dinding samping yang berdekata. menggambarkan area pembersihan dari sebuah *SMART Cannon*. Pembersihan dengan semburan air dilakukan secara tegak lurus terhadap susunan dinding diafragma sehingga penguapan air tidak terhalang. Berbagai pola semburan berbentuk berliku dapat dibuat dengan setiap *SMART Cannon*. Pola ini mencerminkan geometri boiler yang tepat dan memastikan tidak ada zona yang tidak dapat dibersihkan (misalnya, lubang masuk, pembakar, dll.)

Parameter utama pembersihan adalah tekanan air dan diameter nosel, serta kecepatan linier modul pembersih horizontal dan vertikal. Di sini, ukuran nosel tergantung pada jarak ke dinding yang berseberangan. Mengubah tekanan air memungkinkan pengaturan yang tepat pencocokan intensitas jet air dengan geometri boiler masing-masing. Kecepatan penggerak menentukan kecepatan lintasan jet air di permukaan dinding. Kecepatan lintasan yang konstan adalah

kunci untuk efek pembersihan yang seragam dan beban tabung yang rendah. Saat membersihkan dinding yang berlawanan, jet Kecepatannya proporsional dengan kecepatan modul pembersih yang sesuai sehingga dapat dikontrol dengan mudah. Koreksi yang tepat harus dilakukan untuk pembersihan dinding samping.

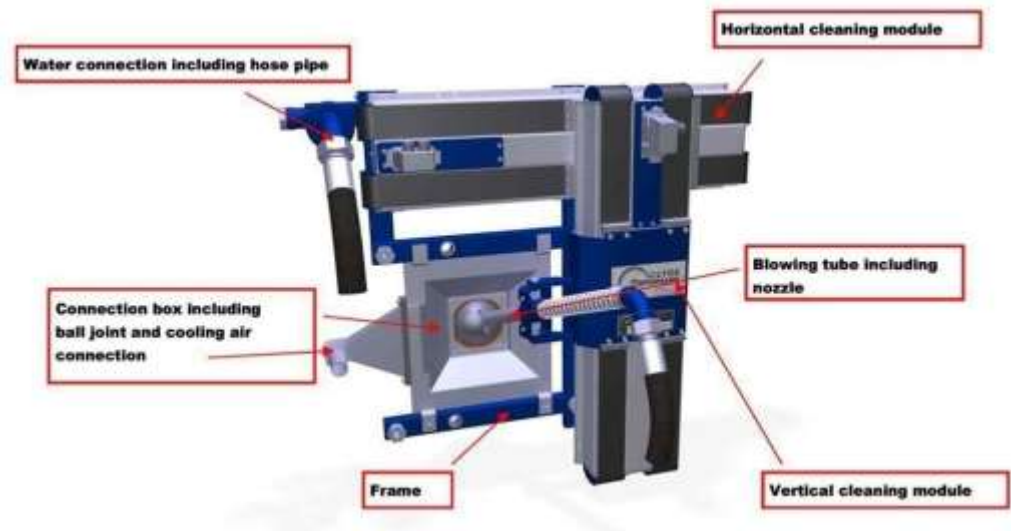
Bagian penting dari pembersihan yang efisien dengan *SMART Cannon* adalah penataan lokasi pemasangan yang tepat. Penataan ini harus diterapkan berdasarkan geometri boiler, dengan mempertimbangkan nilai-nilai berdasarkan umpan balik pengalaman operator. Penempatan *SMART Cannon* yang salah dapat mengakibatkan kesalahan pembersihan atau kerusakan boiler. Sebelum *SMART Cannon* dapat dipasang, tabung sangkar uap boiler harus dipotong. Sebuah kotak dinding dipasang pada bukaan yang berfungsi sebagai penopang kaku komponen-komponen *SMART Cannon*.

2.2.9 Komponen Smart Cannon

SMART Cannon Desain standar *SMART Cannon* terdiri dari komponen-komponen utama berikut:

- A. *Water connection including hose pipe* adalah Sambungan untuk mengalirkan air dari sumber utama ke *Smart Cannon* dengan tekanan dan aliran yang sesuai.
- B. *Connection box including Ball Joint* adalah bagian penghubung utama antara sistem suplai (air & kontrol) dan mekanisme gerak pada *smart cannon*.
- C. *Cooling Air Connection* adalah jalur sambungan udara bertekanan yang berfungsi untuk mendinginkan atau melindungi komponen internal smart cannon dari panas, debu, atau kelembapan berlebih.
- D. *Frame* adalah rangka utama atau struktur penopang dari seluruh komponen smart cannon.
- E. *Horizontal Cleaning module* adalah modul atau sistem pembersihan otomatis yang berfungsi untuk membersihkan area secara horizontal (menyapu ke kiri dan ke kanan) menggunakan semprotan air dari *smart cannon*.
- F. *Vertical Cleaning Module* adalah modul penggerak vertikal pada *smart cannon* yang berfungsi untuk mengatur gerakan naik-turun (tilt movement) dari nozzle semprotan.

G. *Blowing Tube Including Nozzel* adalah komponen saluran utama tempat air bertekanan tinggi keluar dari smart cannon, yang berfungsi untuk menyembrotkan air ke target area.



Gambar 2.16 *Komponen Water Cannon*

Sumber: Manual Book Water Cannon

2.2.10 Parameter Smart Cannon

Tabel 2.1 *Parameter Water Cannon*

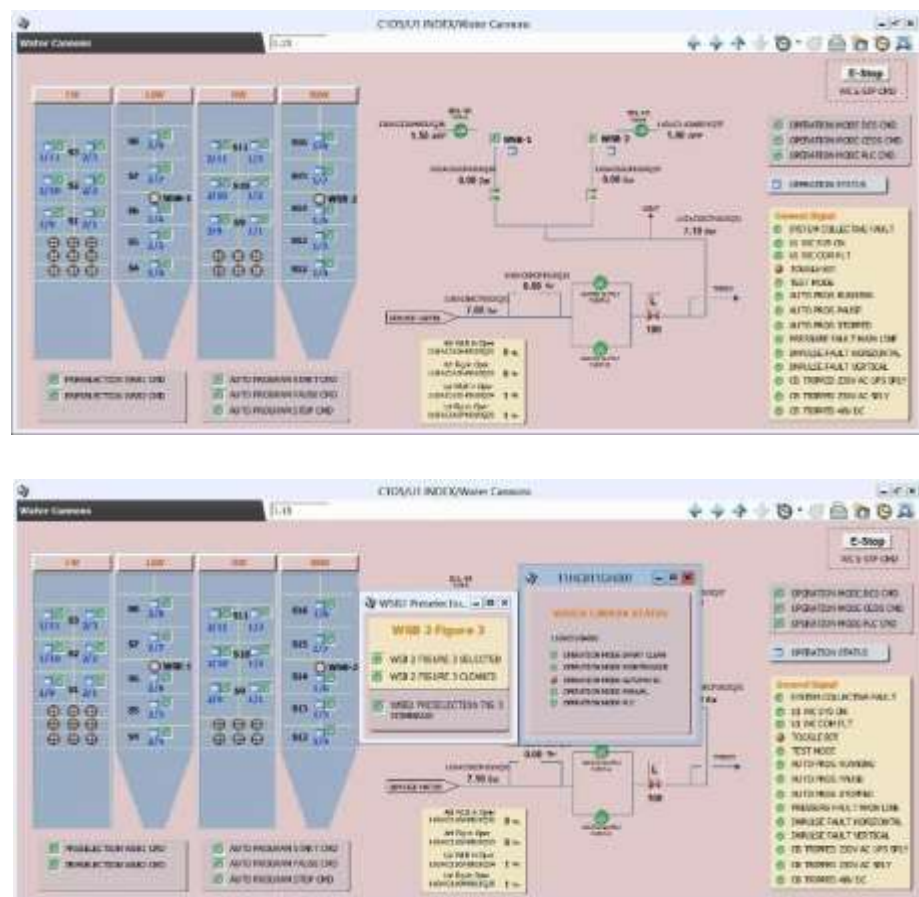
#	Designation	Input range	Requirement for start-up	Adjustable at the panel / in the program
N1	Blowing figure selection	1 – 20	See 1243376_14	Panel
N2	Water pressure	4 – 25 bar	8 bar	Panel
N3	Wait time between blowing cycles	any	n.a.	Panel
N4	Minimum and maximum water pressure	2 – 30 bar	6 / 10	Program
N5	Speed, cleaning modules	mm/s	1m/s (water against the wall)	Program

2.2.11 Pengoperasian Smart Cannon

A. Mode Operasi DCS (*Distributed Control System*)

Pastikan *Water Supply Pump* ready dan valve MOV Header Full Open

- Cek Operation Status (Pastikan indikasi sudah OPERATION MODE AUTOMATIC)
- Pilih mode operation mode DCS CMD pada display water cannon
- Pilih WSB 1 & 2 PRESELECTION FIGURE Command yang akan dioperasikan
- Pilih dan klik AUTO PROGRAM STOP CMD untuk mereset
- Pilih dan Klik AUTO PROGRAM START CMD



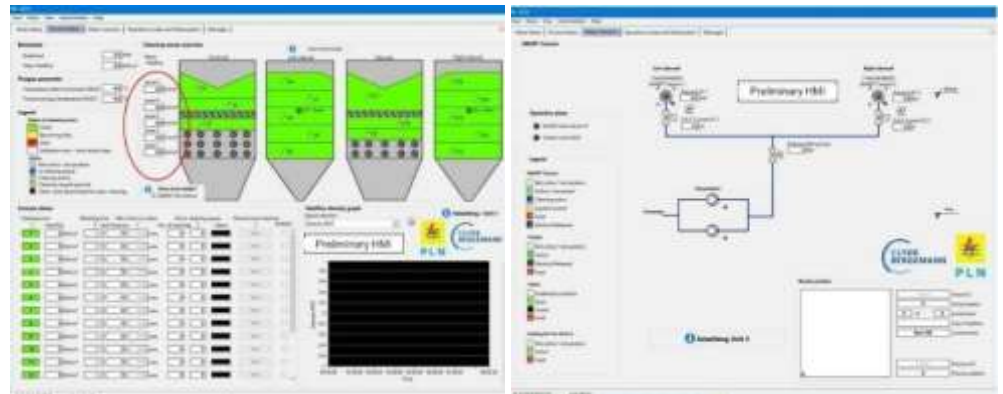
Gambar 2.17 Display Mode Operasi DCS

Sumber: Display CCR WaterCannon

B. Mode Operasi CEOS

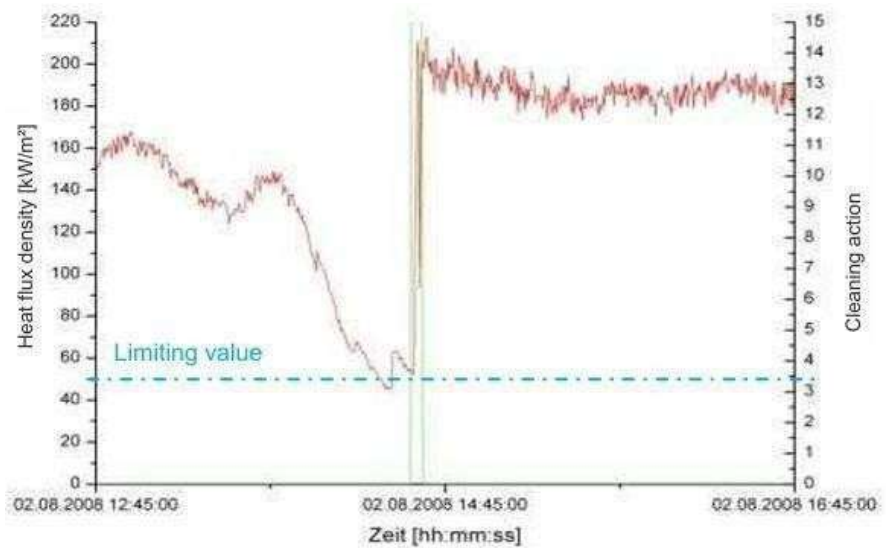
Pastikan *Water Supply Pump* ready dan valve MOV Header Full Open dan sudah Operasi

- Pilih Operation Mode CEOS pada display DCS
- Pilih Cleaning Zona yang akan di bersihkan
- Pilih dan Klik Start



Gambar 2.18 Display Mode CEOS

Sumber: Display CCR WaterCannon



Gambar 2.19 Analysis of SMART flux Sensors

Sumber: Manual Book Water Cannon

Pada grafik ini menunjukkan hasil analisis pengukuran *SMART Flux Sensor* pada sistem *heat exchanger*. Sensor ini digunakan untuk memantau densitas *fluks* panas secara *real-time* sebagai indikator kondisi permukaan perpindahan panas.

Pada awal pengukuran, nilai densitas *fluks* panas berada pada kisaran 150–160 kW/m², yang menunjukkan kondisi permukaan *heat exchanger* masih relatif bersih. Seiring berjalannya waktu, terjadi penurunan densitas *fluks* panas secara bertahap. Penurunan ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan *fouling* pada permukaan perpindahan panas yang meningkatkan resistansi termal dan menghambat proses perpindahan panas.

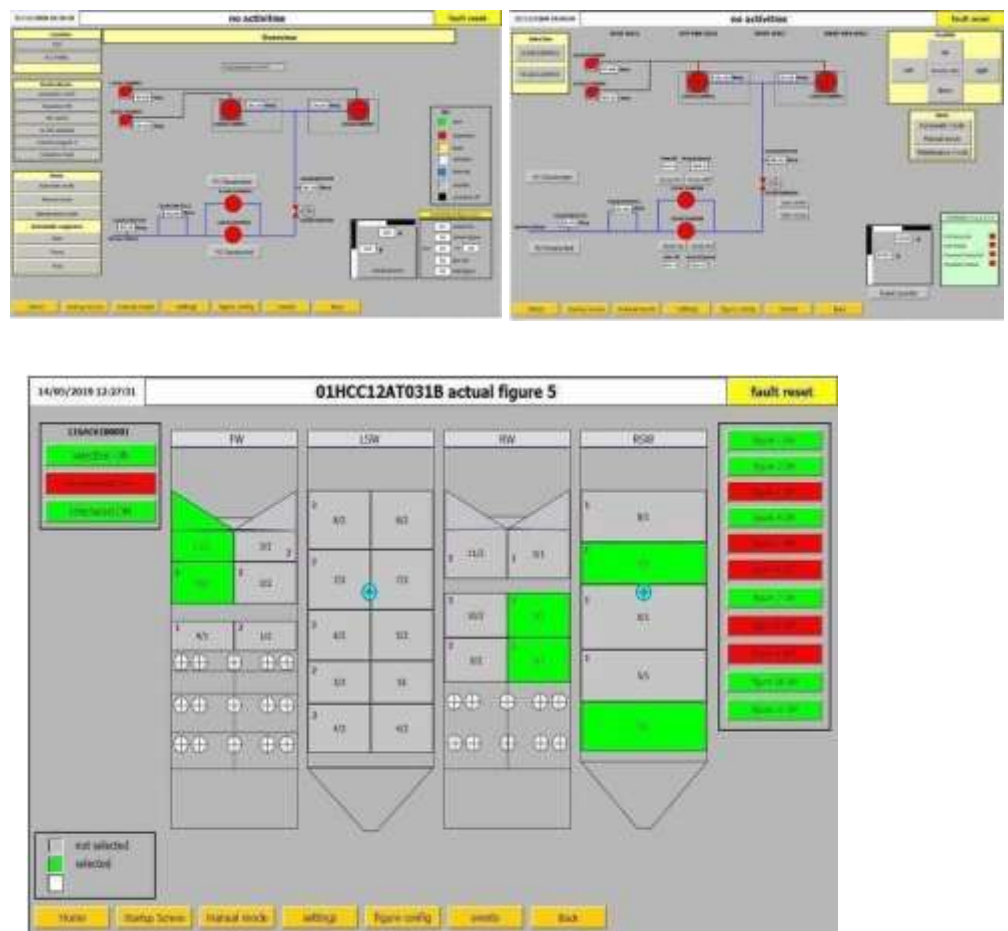
Garis batas (*value limiting*) pada grafik menunjukkan nilai minimum densitas *fluks* panas yang masih dapat diterima. Ketika nilai *fluks* panas mendekati dan melampaui batas tersebut, sistem secara otomatis mengaktifkan aksi pembersihan (*cleaning action*). Hal ini terlihat dari lonjakan sinyal pembersihan pada waktu sekitar pukul 14:45.

Setelah proses pembersihan dilakukan, densitas *fluks* panas meningkat secara signifikan hingga mencapai nilai sekitar 180–200 kW/m². Peningkatan ini menunjukkan bahwa lapisan *fouling* berhasil dihilangkan dan performa perpindahan panas *heat exchanger* kembali optimal. Hasil ini membuktikan bahwa *SMART Flux Sensor* mampu mendeteksi *fouling* secara efektif dan mengoptimalkan waktu pembersihan berdasarkan kondisi aktual, sehingga meningkatkan efisiensi energi dan keandalan operasi *heat exchanger*.

C. Mode Operasi PLC

Pilih Mode *SMART CANNON*

- Pilih Mode *MANUAL MODE*
- Pilih *PLC MODE* Pada Control Location
- Pilih Manual mode pada menu Pengoperasian Smart Cannon
- Klik Pada Smart Cannon yang akan dioperasikan dan akan muncul display area WSB1 dan WSB2
- Pilih Figure select yang akan dioperasikan



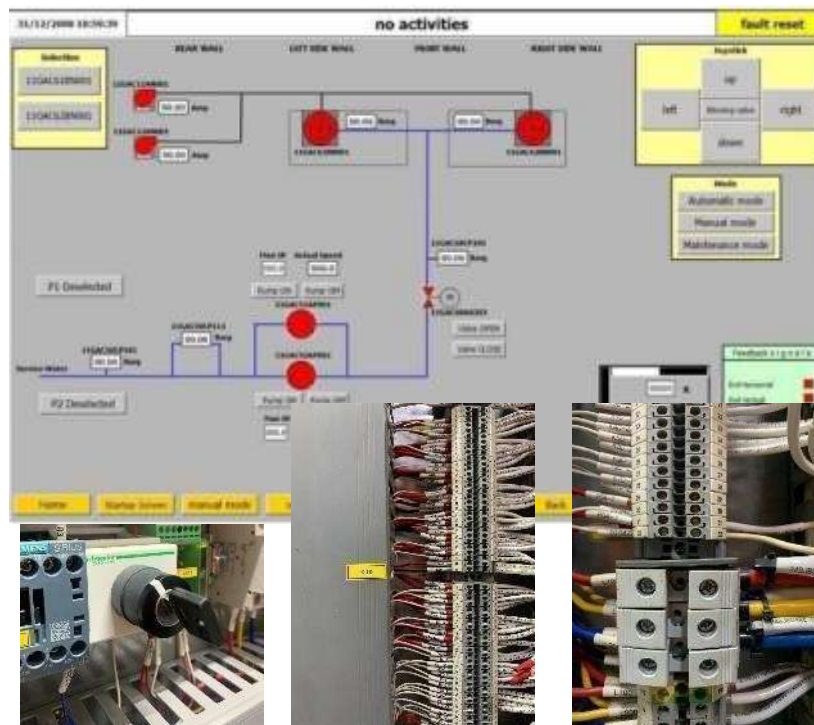
Gambar 2.20 *Display Mode PLC*

Sumber: Display CCRWaterCannon

D. Mode Joystick

Pilih Mode *SMART CANNON*

- Pilih Mode PLC dari CCR pada Panel Lokal (Pindah Operation mode dari Automatic mode ke Manual Mode)
- Lalu Ubah Key ke posisi test
- Buka Panel Sootblower, Lalu jumper terminal 29 dan 30 pada Terminal X1D
- Pilih Mode Maintenance
- Pilih WSB mana yang akan di operasikan pada Menu Selection
- Pilih posisi nozzle untuk memindah pada Menu Joystick





Gambar 2.21 *Display Mode Joystick*

Sumber: Display CCR Water Cannon