

# STUDI PENGARUH PENGATURAN BENTUK LIDAH API PADA BURNER TERHADAP UPAYA PENINGKATAN EFISIENSI PERPINDAHAN PANAS PADA FIRED HEATER - WATER TUBE BOILER

Ambo Intang <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Staf Pengajar PS.Teknik Mesin-FT.Unitas Palembang,  
Jl. Tamansiswa No. 261 Palembang ; Email: ambo.intang@gmail.com

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan mempelajari fenomena terbentuknya Carbon Deposit pada bagian luar Tube pada boiler pipa air untuk kemudian mencoba hipotesa yang dibuat sebelumnya bahwa Carbon Deposit yang ada di sisi luar Tube akan tereduksi jika mampu membentuk lidah api yang sesuai dengan kaidah optimalisasi penyerapan panas pembakaran oleh water tube. Hal ini dilakukan dengan mengoptimalkan pengaturan laju input bahan-bakar, udara pembakaran dan steam injeksi. Dalam uji coba pada model penelitian Package Boiler dalam penelitian ini, dilakukan berbagai variasi operasi dan pengamatan seperti variasi operasi tanpa dan dengan injeksi steam, variasi operasi tanpa dan dengan pemanasan udara pembakaran, variasi operasi rasio udara dengan bahan bakar. Dari hasil pengujian, dapat ditarik kesimpulan bahwa hipotesa yang dibuat sebelumnya adalah terbukti benar dimana dengan berbagai variasi operasi terutama dengan menginjeksikan steam pada burner dan ruang bakar (furnace) mempengaruhi bentuk lidah api yang sesuai dengan kebutuhan operasi boiler sehingga terjadi penurunan laju pembentukan carbon deposit sebesar 49,5% dan terbukti bahwa total delta entalphy yang dibutuhkan bagi reaksi steam dengan Carbon Deposite / berat adalah lebih kecil dari panas yang dibutuhkan bagi produksi injeksi steam / berat tadi. Secara jelas hal ini dibuktikan dengan terjadinya kenaikan efisiensi perpindahan panas sebesar 2,45 %. Dan terjadinya penurunan konsumsi bahan bakar model Package Boiler, yaitu untuk menghasilkan Superheated Steam dengan kapasitas, tekanan dan temperatur yang sama, konsumsi bahan bakar pada pola operasi dengan injeksi steam 20% lebih kecil dibandingkan konsumsi bahan bakar pada pola operasi tanpa Injeksi Steam. Disisi lain, Perbaikan bentuk lidah api pembakaran dengan penginjeksian steam pada burner karena dapat mengeliminir input udara pembakaran dengan meningkatnya flowrate steam injeksi, sehingga dapat dikatakan bahwa terdapat kecenderungan input aliran udara pada burner tidak dibutuhkan lagi pada proses pembakaran heavy fuel oil dengan injeksi steam karena berat jenis udara yang lebih ringan dari berat jenis steam memungkinkan api pembakaran lebih pendek dan carbon deposit menerima momentum dan waktu pembakaran yang lebih lamasehingga penyerapan panas oleh air umpan boiler tidak mengalami tahanan termal yang tinggi.

**Kata Kunci:** Fired Heater, Boiler, Water Tube, Carbon Depsit, Lidah Api, Injeksi Steam

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan berbagai bentuk energi pada Kilang Minyak atau Unit Pembangkit Listrik yang paling dominan adalah Energi Panas. Proses Destilasi yang merupakan proses awal pemisahan Minyak Mentah menjadi fraksi-fraksi gasolin dan lainnya membutuhkan energi panas dalam jumlah yang cukup besar untuk menaikkan temperatur Minyak Mentah sehingga dapat mencapai Titik Didihnya (Boiling Point).

Sebagai contoh, fraksi Gasolin akan memisahkan diri dari fraksi di Minyak Mentah pada suhu 30-210°C, Naptha pada suhu 100-200°C, Diesel dan Heavy Fuel Oil pada 160-400°C dan seterusnya sampai pada fraksi terberat seperti vacum residu yang membutuhkan energi panas yang lebih besar dapat memisahkan diri pada temperatur diatas 650 °C.

Peralatan Kilang yang dipergunakan dalam usaha peningkatan temperatur Minyak Mentah tersebut adalah Furnace yang

memakai berbagai bentuk energi fosil seperti Fuel Gas, Heavy Fuel Oil, Kerosine, dan lain-lain sebagai bahan bakarnya.

Disamping Furnace, Boiler adalah peralatan kilang lainnya yang sangat vital baik dalam pemakaian maupun dalam penentuan biaya operasi pembangkitan. Pada pembangkitan listrik 51,46 MW dan efisiensi Boiler 85% dibutuhkan aliran massa bahan bakar 14300 kg/jam fuel oil, sehingga dalam 24 jam beroperasi dibutuhkan 343,2 Ton fuel oil. Peningkatan 1 % saja efisiensinya sudah sangat berpengaruh pada pengurangan pemakaian bahan bakar.

Boiler adalah peralatan penghasil Steam. Panas yang diperoleh dari reaksi pembakaran bahan bakar akan dipindahkan melalui proses radiasi dan konveksi ke Boiler Feed Water (BFW) sampai diperoleh Steam baik dengan kualitas Saturated maupun sampai dengan Superheated Steam.

Boiler dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu Fire Tube Boiler dan Water Tube Boiler. Pada Fire Tube Boiler, api pembakaran atau gas panas berada didalam Tube sedangkan pada Water Tube Boiler, api atau gas panas tersebut berada diluar Tube. Dengan kata lain proses pada Fire Tube Boiler adalah kebalikan dari Water Tube Boiler.

Fire Tube Boiler biasanya dipilih untuk penggunaan skala kecil seperti untuk kebutuhan Loundre pada Rumah Sakit dan industri rumah tangga. Sedangkan untuk kebutuhan skala besar seperti kebutuhan Industri maka Water Tube Boiler menjadi pilihan. Steam yang diperoleh dari Water Tube Boiler akan dipakai untuk beberapa keperluan seperti :

- Sebagai Fluida penggerak Blade pada Steam Turbin yang disambung dengan Pompa, Kompresor dan Generator.
- Sebagai Fluida pemanas untuk proses Reforming, Cracking dan pertukaran panas (Heat Exchanger) pada Kilang.

Permasalahan yang sering dijumpai pada Fired Heater dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian besar yaitu Operasi, Pemeliharaan dan Perpindahan Panas yang kurang baik. Permasalahan operasi yang paling dominan adalah proses pembakaran yang tidak sempurna sebagai akibat dari tidak sempurnanya rasio udara-bahan bakar, pengaturan bentuk lidah api (flame) yang tidak memadai dan serangkaian permasalahan lainnya yang berhubungan dengan proses pembakaran. Permasalahan operasi lainnya adalah kerusakan atau menurunnya kinerja dari berbagai peralatan instrumen yang mengontrol setiap aktivitas yang ada di Fired Heater dan permasalahan pada kualitas Boiler

Feed Water yang kurang baik yang dapat membentuk scaling didalam Tube.

Pada aktivitas pemeliharaan Fired Heater, juga dijumpai berbagai bentuk masalah seperti bocor atau pecahnya Tube dari Fired Heater yang mengalami Hot Spot pada permukaannya. Masalah lain adalah kerusakan pada Tip Nozzel Burner yang memiliki andil besar didalam menurunkan kinerja Fired Heater. Disamping kerusakan peralatan inti Fired Heater tersebut, permasalahan pemeliharaan lainnya terdapat pada beberapa peralatan penunjang seperti Pompa Bahan Bakar, Pompa BFW, Blower, Air Preheater dan Isolasi.

Serangkaian penelitian yang bertujuan mendukung usaha peningkatan efisiensi Fired Heater sudah sejak lama dan banyak sekali dilakukan. Diantara yang terbaru adalah Herbert L. Berman pada tahun 1978 mempublikasikan "How to reduce your fuel bill" dengan beberapa program efisiensi yaitu program optimasi bagi penurunan penggunaan excess air (udara pembakaran), optimasi perpindahan panas konveksi, pemanasan awal udara pembakaran sampai penggantian system gas menjadi system cair pada penyalan awal Furnace.

Di tahun yang sama, 1978, Jhon C. Wilcox Jr yang merupakan salah satu unior dari keluarga perancang Boiler terkenal yaitu Babcock & Wilcox menulis tentang "Improving Boiler Efficiency" dengan pernyataan yang terkenal yaitu "Boiler can produce more steam from less fuel if heat losses are minimized and combustion is optimum. Downtime will be reduced with proper water Quality".

Sebelum kedua publikasi diatas, pada tahun 1970, Peter von Wiesenhal dan Herbert W Cooper mengeluarkan tulisan ilmiah berjudul "Guide to Economics of Fired Heater Design" dengan program optimasi pada Heater Configuration, Combustion Air Preheat dan Optimization of Design.

Dibidang yang lain yang berhubungan dengan efisiensi Fired Heater, di tahun 1999, Agustino Frigoli, Giovanni Livraghi dan Mioralli mendaftarkan temuannya berjudul "Process for Determining the Film of Fuel Deposited on the intake manifold of electroinjector engines with controlled ignition" kepada United States Patent dengan nomor US0059579A. Disini dijelaskan tata cara penentuan ketebalan deposit (Deposit Film) pada dinding luar Tube melalui penggunaan suatu jenis bahan bakar yang bertindak sebagai referensi. Dengan pengamatan selama 20 detik operasi dan skala pengamatan 0,01 detik terhadap beberapa parameter konsumsi bahan bakar ( $F_m$ ), massa deposit yang terbentuk ( $M_d$ ),

total konsumsi bahan bakar di 10 detik pertama tadi ( $F_i$ ), jumlah udara masuk ( $Q_i$ ) maka ketebalan deposit dapat dihitung memakai rumusan sebagai berikut :

$$F_i = \frac{Q_i}{\lambda_i \left(\frac{A}{F}\right)_{\text{stoich}}}$$

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^{2000} F_i}{1000}$$

$$Md_a - \sum (F_i - F_m); \quad Md_f - \sum (F_m - F_i)$$

$$Md = \frac{Md_f + Md_a}{2}$$

Pada tahun 2005 Giampiero Caronno membuktikan bahwa pengaruh external fouling lebih besar dari pada internal fouling dalam menurunkan kinerja dari fired heater. Pada kapasitas panas yang sama efisiensi fired heater menurun 5,9% untuk kondisi external fouling sedangkan pada internal fouling hanya 3,0% dari kondisi fired heater yang masih bersih dari fouling. Hal ini juga diperkuat dengan kenaikan temperatur Stack dan kenaikan dari konsumsi bahan bakar secara signifikan. Untuk temperatur Stack terjadi kenaikan 100 °C pada kondisi external fouling tetapi pada internal fouling kenaikan yang terjadi hanya 50 °C. Dan untuk konsumsi bahan bakar, pada kondisi external fouling terjadi kenaikan 590 kg/h tetapi pada kondisi internal fouling kenaikan konsumsi bahan bakar hanya 290 kg/h.

Upaya mengoptimasi Fired Heater dengan memperhatikan tinggi optimum temperatur udara pembakaran oleh Francis Wildy dari AMETEK suatu perusahaan instrument proses pada tahun 2002, dapat mereduksi NOx sebesar 18% karena excess air bisa diturunkan 0,8 % dari kebutuhan pada saat comisioning. Hal ini dicapai dengan pemilihan bahan bakar berupa fuel gas dan pengaturan laju keluaran gas buang pada stack.

Penelitian di bidang bahan bakar yang dibutuhkan oleh Fired Heater dapat dilihat pada US Patent 005997592, yang menerangkan bahwa titik didih Fuel Oil berada di rentang temperatur 100-500 °C, terdiri dari 20-45 atom Carbon dan memiliki Couradson Carbon Residu sebesar 10% wt. Dinyatakan juga bahwa Fuel Oil masuk kedalam keluarga Midle Distillate dengan kandungan Sulphur 0,05% wt.

Pengaruh bahan bakar terhadap pembentukan fouling sangatlah besar. Kecuali Gas Alam, hampir setiap bahan bakar meninggalkan deposit pada fireside tubing. Ini disebut fouling, dan mengurangi perpindahan panas secara dramatis. Pengujian

menunjukkan bahwa dengan hanya 0,8 mm (0,03 in) lapisan jelaga mengurangi tebal perpindahan panas sebesar 9,5 persen dan 4,5 mm (0,18 in) lapisan, terjadi pengurangan sebesar 69 persen. Akibatnya, suhu gas buang dan biaya energi naik.

([http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/2000\\_869\\_Boilers\\_and\\_Heat\\_E.pdf](http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/2000_869_Boilers_and_Heat_E.pdf))

Rendahnya kualitas perpindahan panas dari energi pembakaran kepada fluida yang dipanaskan adalah permasalahan ketiga yang sering dijumpai didalam proses Kilang. Permasalahan ini memiliki peran terbesar didalam penentuan biaya produksi Kilang yang dapat mengakibatkan harga produk Kilang menjadi mahal karenanya.

Salah satu penyebab dominan dari permasalahan ini adalah penambahan jumlah deposit (jelaga) ataupun scaling (endapan) yang terdapat didalam dan luar Tube Fire Heater. Endapan yang terdapat didalam Tube biasanya disebabkan kualitas BFW yang kurang baik yang membawa berbagai bentuk impurities didalamnya yang selanjutnya mengendap didinding bagian dalam Tube.

Deposit (jelaga) yang menempel di bagian luar Tube terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna atau karena faktor kandungan carbon yang tinggi dari bahan bakar yang dari pengalaman dan pengamatan penulis sebelumnya jelaga tersebut berbentuk Carbon Deposit.

## 1.1 Permasalahan

Permasalahan utama Fired Heater dari sisi perpindahan panas, operasi dan perawatan adalah Carbon Deposit. Diketahui kinerja Fired Heater akan menurun dengan keberadaan Carbon Deposit yang tinggi yang mengakibatkan terhalangnya perpindahan panas dari panas pembakaran ke fluida kerja boiler dan panas tersebut lebih banyak terbuang melalui cerobong asap. Selain itu berdampak pada biaya perawatan dan biaya operasi yang tinggi dalam penanganan keberadaan Carbon Deposit pada Fired Heater. Sehingga diperlukan suatu usaha atau pemikiran bagaimana cara mengurangi dan memanfaatkan Carbon Deposit ini.

Cara pengurangan dan pemanfaatan Carbon Deposit yang coba diajukan pada penelitian ini adalah memperbaiki bentuk lidah api dengan menginjeksikan steam kedalam ruang bakar Fired Heater agar bereaksi dengan Carbon Deposit sehingga mengakibatkan timbulnya energi panas tambahan.

Untuk efektivitas penginjeksian steam maka perlu dipertimbangkan laju pembentukan carbon deposit. Laju pembentukan carbon

deposit yang tinggi maupun yang rendah akan mempengaruhi efektifitas penginjeksian steam dalam upaya terjadinya reaksi yang efektif antara steam dan Carbon Deposit. Laju pembentukan Carbon Deposit yang tinggi diperkirakan akibat kapasitas burner tidak sebanding dengan luas penyerapan panas bidang pemanas. Dalam hal ini berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Amir Hamzah Siagian dan rekan pada tahun 2004, dimana obyek penelitiannya sama dengan yang akan dilakukan pada penelitian ini, membuktikan bahwa dengan injeksi steam berhasil menaikkan temperatur ruang bakar (furnace), mengurangi pemakaian bahan bakar sebesar 20% dan mengurangi ketebalan Carbon Deposite jika dibandingkan dengan tanpa penginjeksian steam sebesar 0,075 mm dan tebal Carbon Deposite yang terbentuk selama 1/2 jam operasi sebesar 0,85 mm, yang berarti bahwa kecepatan pembentukan Carbon Deposit adalah sebesar 1,7 mm/jam. Laju pembentukan Carbon Deposite ini tergolong tinggi jika dibandingkan dengan kemampuan dari proses injeksi steam untuk mereduksi carbon deposit yang hanya sebesar 0,075 mm/jam atau hanya 4,41 % dari Carbon Deposit yang dapat direduksi.

Fenomena yang didapat pada hasil penelitian yang terakhir ini, dimana yang menjadi penyebab tidak efektifnya penginjeksian steam untuk mengurangi pembentukan Carbon Deposit adalah karena laju pembentukan carbon deposit begitu tinggi. Sehingga berdasarkan data - data yang diperoleh dari hasil penelitian yang terakhir ini dan dengan didukung oleh pustaka - pustaka lainnya yang tersebut diatas, maka pada penelitian ini terlebih dahulu akan diupayakan untuk mengatasi laju pembentukan carbon deposit yang tinggi tersebut sebelum dilakukan proses penginjeksian steam.

Sebagai upaya mengatasi hal tersebut pada package boiler yang akan menjadi media penelitian dalam tesis ini, maka terdapat beberapa solusi, yaitu kapasitas burner direduksi, bidang pemanas diperluas, memperpanjang ruang bakar untuk memberi space yang lebih leluasa untuk terjadinya reaksi antara bahan bakar - udara dan atau dengan mengoptimalkan pengaturan laju input bahan-bakar, udara pembakaran dan steam injeksi untuk mendapatkan rasio yang tepat pada burner.

Jika bidang pemanas diperbesar dan memperpanjang space ruang bakar maka itu berarti bahwa kapasitas boiler juga ikut meningkat dan akan diikuti dengan penyesuaian terhadap peralatan-peralatan

penunjangnya. Demikian juga jika kapasitas burner diperkecil selain butuh pengerjaan manufaktur yang harus memenuhi standar-standar tertentu juga terkendala oleh sulitnya mencari dan mahalnya material yang tahan api seperti titanium. Dengan pertimbangan waktu dan biaya yang terbatas maka pada penelitian ini yang akan dilakukan adalah dengan mengoptimalkan pengaturan laju input bahan-bakar, udara dan steam injeksi untuk mengoptimalkan rasio yang tepat pada burner (Metode Non Investment Point). Secara fisik dari metode ini nantinya bisa dilihat pada bentuk lidah api (flame) dari pembakaran sehingga pembakaran bisa lebih baik dan laju pembentukan carbon deposit dapat diturunkan (Metode Lidah Api). Dengan demikian efektifitas penginjeksian steam terhadap penurunan laju pembentukan carbon deposit sebagai upaya meningkatkan efisiensi Water Tube Boiler dapat dicapai.

Selanjutnya dapat diidentifikasi apakah reaksi injeksi steam dengan Carbon Deposit efektif mengurangi konsumsi panas dan bahan bakar di Fired Heater. Dengan demikian diketahui apakah Sistem Injeksi ini efektif untuk menaikkan Kinerja Fired Heater.

## 2. KONSEP DISAIN PENELITIAN

Seperti yang disampaikan pada uraian sebelumnya, studi akan ditujukan bagi pembuktian hipotesa bahwa Carbon Deposit yang ada di sisi luar Tube akan tereduksi jika mampu membentuk lidah api yang sesuai dengan kaidah optimalisasi penyerapan panas pembakaran oleh water tube, dengan cara penginjeksian steam pada burner water tube. Carbon Deposit yang terkumpul diruang bakar water tube boiler akan bereaksi dengan Steam yang di-injeksikan untuk menghasilkan tambahan panas pembakaran dalam jumlah yang signifikan disamping adanya penambahan kapasitas heat transfer dari perluasan bidang kontak yang diperoleh dari pengurangan jumlah atau lapisan fouling di tube bank Fired Heater. Pembuktian terbaik bagi sebuah hipotesa apabila penelitian tersebut secara nyata dengan memperhatikan hasil dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terhadap obyek penelitian yang sama berupa model atau replika dari peralatan yang diteliti, berupa replika Fired Heater yang telah dibuat adalah model Package Boiler B&W seri 1986 yang sering dijumpai di Kilang - kilang Minyak atau Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang ada di Indonesia.

Dari hasil penelitian sebelumnya, dengan metode injeksi steam secara umum berhasil membuktikan hipotesa tersebut diatas

terutama dalam hal terjadinya peningkatan total input panas pada ruang bakar. Dalam penelitian yang akan dilakukan, akan diupayakan suatu peluang untuk meningkatkan efektifitas metode tersebut terhadap penurunan laju pembentukan carbon deposit dengan mengoptimalkan pengaturan laju input bahan-bakar udara dan steam injeksi (metode non-investment point) untuk menghasilkan rasio yang tepat pada burner sehingga pembakaran bisa lebih baik yang ditandai secara fisik dengan lidah api yang pendek (metode lidah api) dan laju pembentukan carbon deposit dapat diturunkan.

## 2.1 Variabel yang diteliti

Dua proses termodinamika yang akan diteliti didalam studi ini adalah proses pembakaran dan proses perpindahan panas dari hasil pembakaran bahan bakar ke fireside tube water tube boiler diperkirakan yang dominan adalah secara Radiasi.

Baik untuk proses pembakaran maupun proses perpindahan panas, ada beberapa fenomena yang sangat menarik untuk diteliti yaitu:

- Fenomena pembentukan dan laju pembentukan Carbon deposit.
- Fenomena operasi Fired Heater menggunakan Udara Pembakaran yang tanpa dan dengan Pemanasan Awal.
- Fenomena operasi Fired Heater tanpa dan dengan Injeksi Steam.
- Fenomena reaksi Steam yang di injeksikan dengan Carbon deposit.

Untuk melihat atau memprediksi fenomena didalam pembentukan Carbon Deposit, terlebih dahulu akan dipilih Fuel atau bahan bakar yang akan digunakan didalam percobaan ini. Dengan memperhitungkan beberapa alasan berikut ini maka dipilih Fuel Oil yang akan digunakan sebagai bahan bakar.

- Fuel Oil memiliki nilai Carbon Residu yang cukup besar yaitu hampir 10% atau lebih weight sehingga Deposit yang akan terbentuk diprediksi cukup besar dan signifikan mewakili hasil percobaan.
- Fuel Oil adalah bahan bakar yang terhitung murah karena masuk kedalam fraksi minyak berat (residu) dan umum dipakai di Fired Heater.

Dengan memilih Heavy Fuel Oil maka hasil percobaan nantinya yang berisi metode pengurangan konsumsi panas pembakaran dapat lebih mudah diaplikasikan di lapangan (Kilang Minyak / Unit Pembangkit Listrik).

Disamping parameter Cauradson Carbon Residu, properties lain yang harus diperhatikan adalah Specific Gravity dan Calorific Value yang berhubungan langsung dengan perhitungan entalphy pembakaran serta Viscosity untuk menentukan perlu tidaknya Fuel Oil tersebut dipanaskan terlebih dahulu sebelum dialirkan ke burner pembakaran.

Variabel berikutnya yang harus diamati dan diukur adalah ketebalan fouling yang memiliki arti besarnya massa Carbon Deposit yang terbentuk selama proses pembakaran perwaktu (laju pembentukan carbon deposit) dan berapa besar massa deposit yang terpakai didalam proses penambahan energi pembakaran hasil reaksi injeksi steam dengan Deposit dimaksud.

Untuk mengamati variabel deposit ini dapat dipakai beberapa alternatif caranya yaitu dengan memperhatikan massa flue gas yang keluar melalui stack dan massa deposit yang terbentuk pada saat proses pembakaran menggunakan Fuel Reference seperti Fuel Gas dan lain-lain. Cara lain adalah dengan mengukur langsung ketebalan deposit yang berada di tube dan ruang pembakaran untuk memperhitungkan secara aktual besarnya massa Carbon Deposit yang terbentuk selama proses percobaan berlangsung.

Variabel lain yang cukup mempengaruhi besarnya fouling adalah kandungan H<sub>2</sub>O didalam udara pembakaran dimana kandungan tersebut ditandai dengan humidity udara yang dipakai pada saat situasi dan kondisi cuaca percobaan. Untuk membuktikan hal ini, percobaan nantinya memperjuangkan dua variable yaitu yang langsung berasal dari air kompressor dalam kondisi temperatur ruang dan udara pembakaran yang mengalami pemanasan awal serta telah melewati satu absorber berisi silica gel yang dapat menangkap atau mengurangi kandungan H<sub>2</sub>O dalam udara tersebut.

Fenomena didalam proses produksi steam, dengan tujuan akhir nantinya melihat efektifitas proses pembakaran dengan dan tanpa injeksi Steam maka variabel-variabel yang harus diperhatikan adalah :

- Entalphy proses pembentukan steam baik pada pemanasan awal (economizer) maupun pada saat pembentukan Saturated dan Superheated Steam.
- Entalphy penggunaan bahan bakar (Fuel Oil), Higher Heating Value dan Lower Heating Value.
- Entalphy yang terjadi selama proses produksi tanpa dan dengan injeksi steam.

Untuk pengamatan entalphy ini, parameter operasi yang akan diamati adalah

variabel Tekanan, Temperatur, Volume, Waktu dengan massa tetap.

Hasil akhir dari proses pembakaran dengan injeksi steam harus dapat membuktikan bahwa Entalphy yang ditransfer kedalam proses pembuatan steam adalah lebih besar dari Entalphy yang terkandung dalam Steam yang di-injeksikan.

Jika hal tersebut terjadi maka terbukti bahwa Steam (H<sub>2</sub>O) yang di-injeksikan adalah efektif bereaksi dengan Fouling atau Carbon Deposit dan salah satu parameter yang menyatakan adalah kenaikan panas ruang bakar (Furnace Temperatur) yang jauh lebih besar dibanding panas ruang bakar tanpa adanya proses injeksi steam dan yang lebih penting pengamatan secara visual bahwa semesta perlakuan tersebut dapat menunjukkan lidah api yang lebih pendek.

**2.2 Deskripsi Proses**

Untuk melaksanakan penelitian ini, telah didesain dan dibangun sebuah replika Package Boiler kapasitas produksi steam 50 kg/jam berkualitas Superheated Steam, P = 4 kg/cm<sup>2</sup> dan T = 380 °C.

Konstruksi replika Package Boiler dibuat dengan metode scale up terhadap equipment Package Boiler sesungguhnya dengan kelengkapan peralatan utama dan peralatan penunjang.

Peralatan utama terdiri dari Superheater Tube Bank, Saturated Tube Bank, Economizer, Steam Drum, Burner, Boiler Feed Water Tank & Pump, Fuel Oil Tank & Pump dan Air Compressor.

Peralatan penunjang adalah Forced Draft Fan yang terletak di Stack Boiler, system pemanas Fuel Oil dan Udara pembakaran serta beberapa alat monitor instrument (Flow meter, Pressure Indicator, Temperature Indicator), beberapa alat safety (Pressure Safety Valve dan Check Valve) dan beberapa fitting perpipaan (gate valve,dll).

Proses operasi Boiler dimulai dari pemasukan Boiler Feed Water dengan menggunakan BFW Pump ke arah Economizer untuk menerima pemanasan awal. Economizer bekerja dengan menggunakan sisa panas yang dibawa Flue Gas kearah Stack dengan system perpindahan panas adalah konveksi.

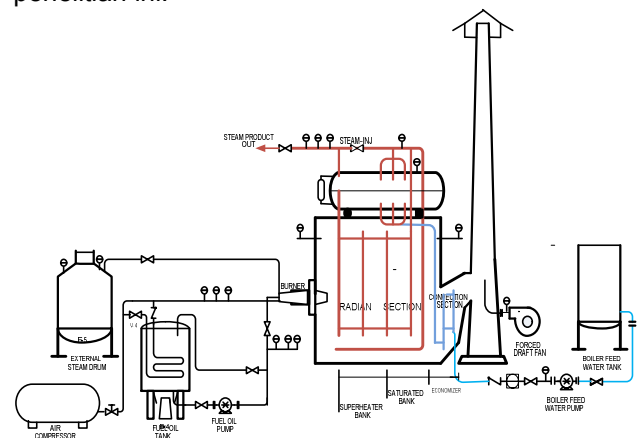
Dari Economizer, fluid mengalir ke steam drum dengan pengamatan level Steam Drum adalah 70-80%. Selanjutnya, sebagian uap yang terkumpul di Steam Drum tersebut akan mengalir kearah Saturated Bank dan Superheated Bank untuk menerima panas lanjutan dari reaksi pembakaran yang ada di

Burner secara Radiasi. Steam yang dihasilkan dari peoses ini berkualitas Superheated Steam, dengan tekanan 4 kg/cm<sup>2</sup> dan temperature 380 °C.

Reaksi yang terjadi di Burner menggunakan bahan bakar Fuel Oil yang dipompakan oleh Fuel Oil Pump dari Fuel Oil Tank setelah sebelumnya Fuel Oil dimaksud dipanaskan sampai 70-80 °C agar viskositinya cukup untuk dialirkan dan mampu membentuk kabut bahan bakar di Tip Nozzel Burner.

Udara pembakaran dikompresi oleh Air Compressor dan dilengkapi sarana pemanasan menggunakan coil melewati Fuel Oil Tank untuk pola operasi Boiler dengan udara pembakaran yang dipanasi sebelumnya.

Peralatan control dan safety yang ada di Boiler adalah Flow Meter, Pressure Indicator, Temperature Indicator, Pressure Safety Valve dan Check Valve yang diletakkan pada tempat-tempat yang akan dilakukan pengamatan parameter penelitian pada penelitian ini.



**Gambar 1. Flow Sheet Model Penelitian Package Boiler**

**2.3 Metoda Pengamatan dan Pengambilan Data**

Untuk pengamatan dan pengambilan Data, pola operasi Model Penelitian Boiler dibuat dalam beberapa variasi, yaitu :

1. Operasi Boiler dengan udara pembakaran tanpa dipanasi sebelumnya
2. Operasi Boiler dengan udara pembakaran dengan pemanasan sebelumnya
3. Operasi Boiler tanpa Injeksi Steam
4. Operasi Boiler dengan Injeksi Steam
5. Operasi Boiler dengan variasi rasio bahan bakar – udara dan injeksi steam

Sesuai dengan tujuan dan maksud pelaksanaan Penelitian ini maka data-data yang diambil adalah :

1. Visualisasi bentuk lidah api pada tiap variasi operasi

2. Data operasi boiler yaitu P dan T pada Steam Drum, Ruang Pembakaran dan Superheated Bank.
3. Data produk Boiler yaitu Flow rate, P dan T dari Saturated dan Superheated Steam
4. Data feed boiler yaitu Flow rate, P, T dari Boiler Feed Water, Rasio Bahan bakar (Fuel Oil) -Udara pembakaran dan Steam Injeksi
5. Data ketebalan fouling atau Carbon Deposite di Saturated dan Superheated Tube pada Operasi Tanpa dan Dengan Injeksi Steam.

#### 2.4 Metode Analisa Hasil

Hasil uji coba dianalisa melalui perhitungan-perhitungan Termodinamika dengan penggambaran trend data (grafik) sebagai berikut :

1. Hubungan antara temperatur Furnace tanpa injeksi steam terhadap waktu operasi pada variasi pola suplai udara pembakaran dengan pemanasan dan tanpa pemanasan.
2. Hubungan antara temperatur furnace dengan injeksi steam terhadap waktu operasi pada variasi pola suplai udara pembakaran dengan pemanasan dan tanpa pemanasan.
3. Hubungan antara Entalphy Saturated Steam tanpa injeksi steam terhadap waktu operasi pada variasi pola suplai udara pembakaran dengan pemanasan dan tanpa pemanasan
4. Hubungan antara Entalphy Saturated Steam dengan injeksi steam terhadap waktu operasi pada variasi pola suplai udara pembakaran dengan pemanasan dan tanpa pemanasan
5. Hubungan antara Entalphy Superheated Steam tanpa injeksi steam terhadap waktu operasi pada variasi pola suplai udara pembakaran dengan pemanasan dan tanpa pemanasan.
9. Hubungan antara Entalphy Superheated Steam dengan injeksi steam terhadap waktu operasi pada variasi pola suplai udara pembakaran dengan pemanasan dan tanpa pemanasan
10. Hubungan antara temperatur Stack tanpa injeksi steam terhadap waktu operasi pada variasi pola suplai udara pembakaran dengan pemanasan dan tanpa pemanasan.
11. Hubungan antara variasi rasio bahan bakar- udara dan flowrate steam injeksi terhadap temperature Furnace.
12. Hubungan antara ketebalan jelaga dengan operasi tanpa injeksi steam dan pola operasi suplai udara pembakaran tanpa pemanasan serta operasi dengan injeksi

steam dan pola operasi suplai udara pembakaran dengan pemanasan.

13. Hubungan antara variasi operasi dengan efisiensi thermal boiler.

#### Gambar Peralatan Penelitian



**Gambar 2. Peralatan Model Penelitian Package Boiler**



**Gambar 3. Burner, Inlet Line Fuel dan Udara**



**Gambar 4. Steam Drum dan Peralatan Pengukur & Pengendali**



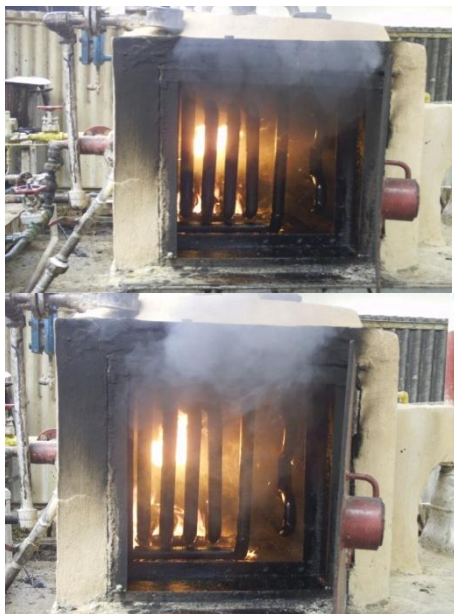
**Gambar 5. Compressor, Electrical Panel on-off, Fuel Oil Pump, Steam Product Flow Meter dan Fuel Oil Tank**



**Gambar 7. Steam Drum Storage untuk Injeksi Steam pada Burner**



**Gambar 8. Cerobong Asap, Blower dan Boiler Feed Water Pump**



**Gambar 4. Ruang Pembakaran dan Tube Bank (Radian Bank & Convection Bank) dan Bentuk Lidah Api (Flame) Pembakaran**

### 3. ANALISA HASIL PENGARUH REAKSI INJEKSI STEAM - CARBON DEPOSIT TERHADAP KINERJA FIRED HEATER

Basis operasi untuk penelitian ini adalah kondisi produk Superheated Steam telah berada pada tekanan 4 kg/cm<sup>2</sup> dan temperature 380°C. Setelah proses kenaikan temperatur dan tekanan menghasilkan Steam dengan kondisi tersebut dan berlangsung konstan, begitu pula dengan flow steam yang dibuka keluar dengan flow Boiler Feed Water telah mencapai kesetimbangan, dalam arti level Steam Drum tetap pada 80% dan tidak terjadi peristiwa Water Hammer maka pengamatan terhadap berbagai parameter dan variasi operasi seperti yang disebutkan pada bagian metode pengamatan dan pengambilan data, dilakukan.

Ada beberapa informasi yang dapat disampaikan dari pelaksanaan uji coba berlangsung :

- Pada saat injeksi steam dilakukan terlihat bahwa lidah api lebih pendek dan temperatur Furnace akan jauh lebih panas dibandingkan tanpa pemanasan steam bahkan di beberapa kali percobaan kenaikan ini cukup ekstrem, tetapi yang menarik adalah kenaikan tersebut cenderung menurun dan ini berarti bahwa telah terjadi penyerapan panas oleh fluida kerja boiler.

- Injeksi steam selain dapat meningkatkan panas pada ruang pembakaran/furnace juga dapat mengurangi terbentuknya jelaga pada dinding tube superheater sehingga kemungkinan terhambatnya transfer panas yang melalui tube – tube superheater pada daerah radiasi flame pembakaran akan dapat dihindari.

- Untuk pengujian yang dilakukan dengan injeksi steam selain meningkatkan temperatur ruang bakar juga meningkatkan temperatur cerobong asap (stack), hal ini berarti bahwa adanya penambahan aliran panas keluar melalui stack. Untuk mengatasi masalah ini maka pada operasi dengan injeksi steam tidak perlu mengaktifkan blower secara penuh, supaya flue gas lebih lama kontak dengan bidang pemanasan dan carbon deposit bisa lebih banyak yang bereaksi dengan steam injeksi.

- Pemanasan awal (preheating) yang dilakukan terhadap udara pembakaran sebelum masuk furnace ternyata memberikan pengaruh terhadap peningkatan temperatur ruang pembakaran, fenomena ini menggambarkan bahwa dengan adanya pemanasan terhadap udara secara tidak langsung dapat meningkatkan energi molekul-molekul udara tersebut sehingga kinetika

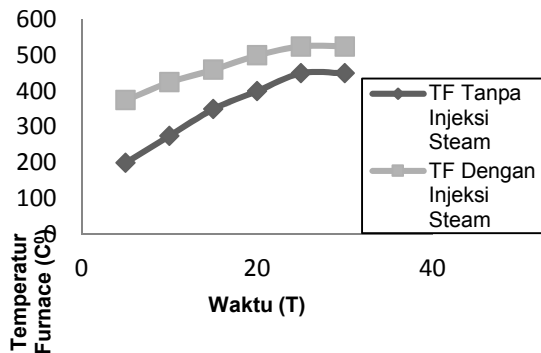


potensial molekul udara sebagai reaktan dalam operasi pembakaran akan meningkat dan pada akhirnya akan meningkatkan efisiensi pembakaran.

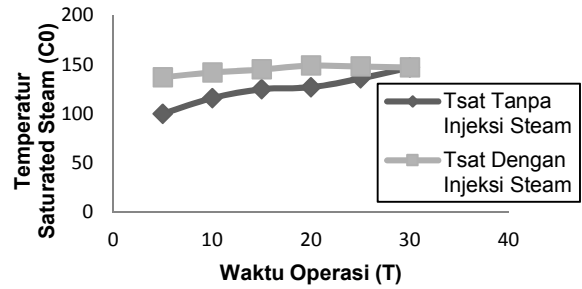
- Kenaikan rasio udara-bahan bakar menyebabkan temperatur Furnace mengalami penurunan, akan tetapi dengan semakin naiknya flowrate steam injeksi temperatur Furnace juga meningkat. Hal ini membuktikan bahwa operasi dengan injeksi steam pada burner efektif untuk mengurangi pemakaian bahan bakar karena dengan injeksi steam tersebut dapat mengurangi volume pemakaian bahan-bakar dan pembakaran yang terjadi bisa lebih baik sehingga dapat mengurangi laju pembentukan carbon deposit.

- Efisiensi perpindahan panas boiler meningkat secara tajam terhadap variasi operasi dengan injeksi steam dan dengan pemanasan udara pembakaran (DIS-DPUP) bila dibandingkan dengan operasi tanpa injeksi steam dan tanpa pemanasan udara pembakaran (TIS-TPUP). Yang berarti bahwa injeksi steam pada burner dan water tube efektif untuk meningkatkan efisiensi thermal boiler.

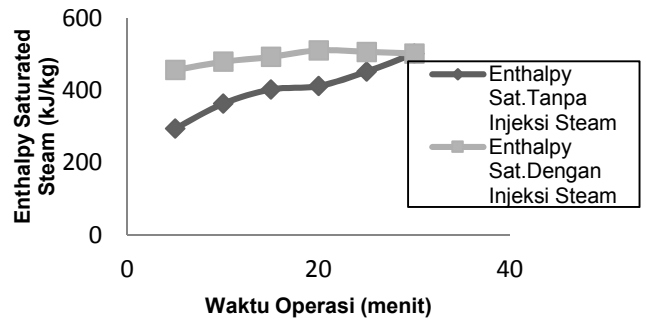
Dari beberapa informasi diatas yang merupakan hasil dari pengamatan langsung di lapangan dan dari hasil pengolahan data yang bisa dilihat pada gambar berikut yang merupakan hubungan antara variabel – variabel yang terlibat sehingga pada akhirnya akan didapatkan suatu hasil analisa performa fired-heater (Boiler) dan kesimpulan yang merupakan inti dari penelitian ini.



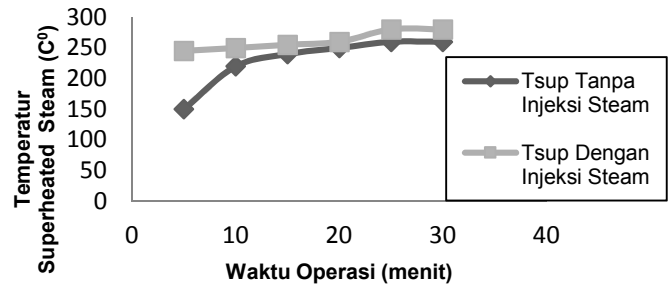
Gambar 9. Hubungan Antara Temperatur Furnace (C°) Lidah api panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Tidak Dipanaskan



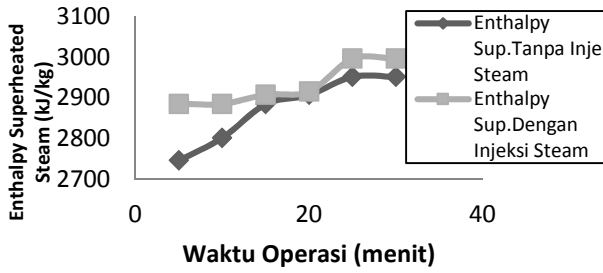
Gambar 10. Hubungan Antara Temperatur Saturated Steam Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Tidak Dipanaskan



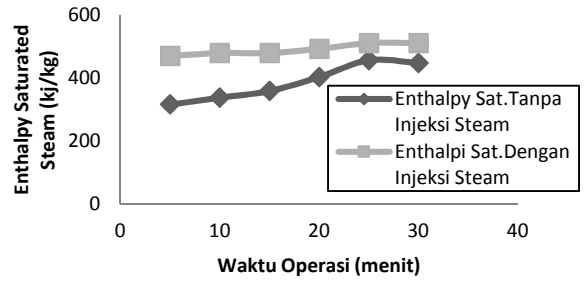
Gambar 11. Hubungan Antara Enthalpy Saturated Steam Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Tidak Dipanaskan



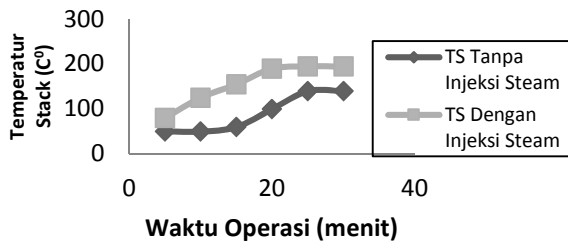
Gambar 11. Hubungan Antara Temperatur Superheated Steam Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Tidak Dipanaskan



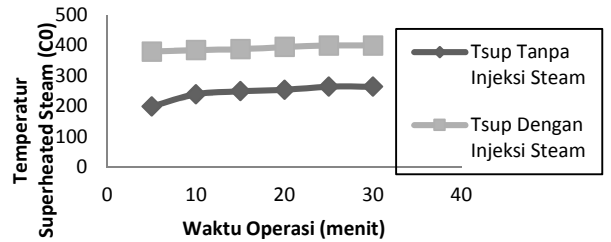
Gambar 12. Hubungan Antara Enthalpy Superheated Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Tidak Dipanaskan



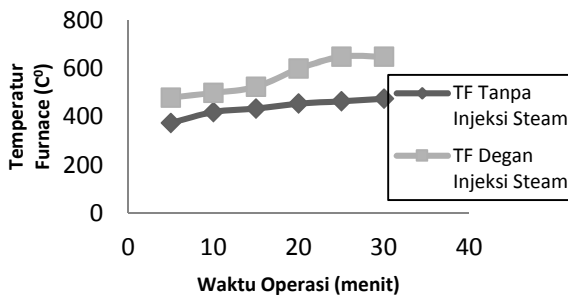
Gambar 16. Hubungan Antara Enthalpy Saturated Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Dipanaskan



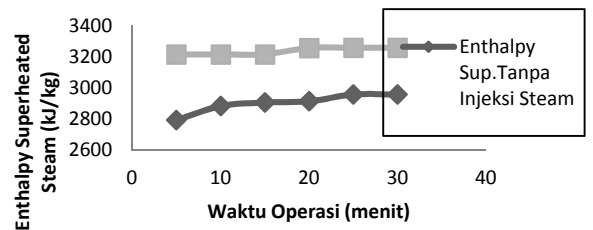
Gambar 13. Hubungan Antara Temperatur Stack Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Injeksi Steam Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Tidak Dipanaskan



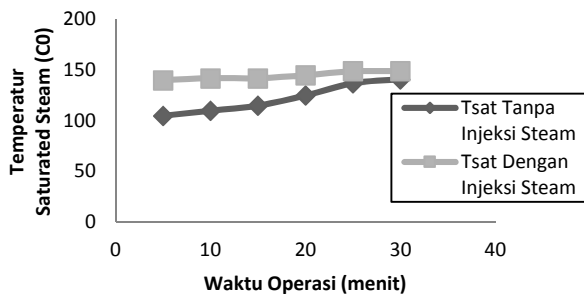
Gambar 17. Hubungan Antara Temperatur Superheated Steam Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Dipanaskan



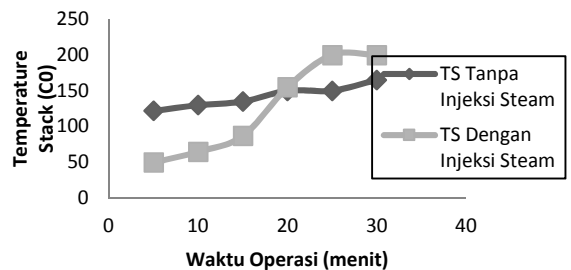
Gambar 14. Hubungan Antara Temperatur Furnace Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Dipanaskan



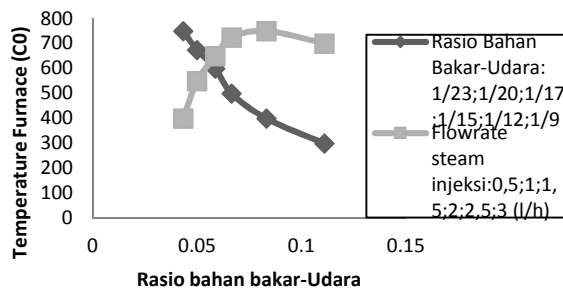
Gambar 18. Hubungan Antara Enthalpy Superheated Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Dipanaskan



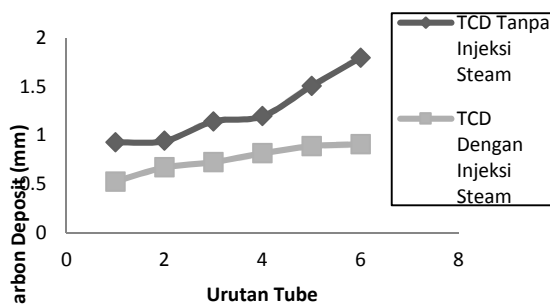
Gambar 15. Hubungan Antara Temperatur Saturated Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Dengan Lidah Api Pendek (Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara yang Dipanaskan



Gambar 19. Hubungan Antar Temperature Stack Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dan Lidah Api Pendek (Dengan Injeksi Steam) Terhadap Waktu Operasi pada Suplai Udara Pembakaran Yang Dipanaskan



Gambar 20. Hubungan Antara Rasio Bahan bakar-Udara dan Flowrate steam injeksi Terhadap Temperature Furnace



Gambar 21. Hubungan Antara Tebal Jelaga Lidah Api Panjang (Tanpa Injeksi Steam) dibawah Operasi Tanpa Pemanasan Udara Pembakaran Serta Lidah Api Pendek (Dengan Injeksi Steam) dibawah Operasi Dengan Pemanasan Udara Pembak

Performa kerja boiler dapat dievaluasi melalui metode analisa kinerja boiler dengan metode langsung dan tidak langsung. Metode langsung dikenal juga dengan metode input – output karena kenyataannya bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran / output steam dan panas masuk / input bahan bakar untuk evaluasi efisiensi. Metode tidak langsung dikenal juga dengan metode kehilangan panas. Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangi bagian – bagian kehilangan dari 100 seperti kerugian kalor pada gas buang, penguapan air yang terbentuk karena H<sub>2</sub> dalam bahan bakar, penguapan kadar air dalam bahan bakar, adanya kadar air dalam bahan bakar, radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung.

Berdasarkan pada data yang diperoleh, evaluasi efisiensi yang tepat dilakukan dalam hal ini adalah metode langsung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Efisiensi\ Boiler\ (\eta) = \frac{Panas\ Keluar}{Panas\ Masuk} \times 100$$

$$Efisiensi\ Boiler\ (\eta) = \frac{Qx(h_g - h_f)}{qxLHV} \times 100$$

Parameter yang dipantau untuk perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung adalah :

- Jumlah steam yang dihasilkan perjam (Q) dalam kg/jam
- Jumlah bahan bakar yang digunakan perjam (q) dalam l/jam
- Tekanan kerja (dalam kg/cm<sup>2</sup>) dan temperature superheated steam(c<sup>0</sup>)
- Temperatur saturated steam (c<sup>0</sup>)
- Jenis bahan bakar dan nilai kalor bakar (LHV) dalam kJ/kg bahan bakar

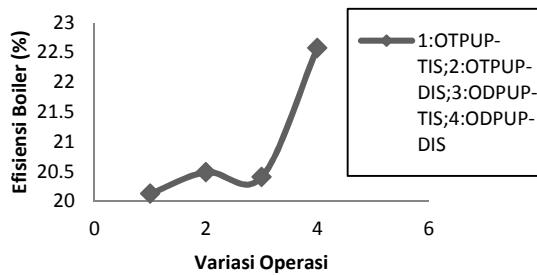
Dimana berdasarkan pada tekanan kerja konstan dan temeperatur operasi dapat ditentukan :

- h<sub>g</sub> Enthalpy steam superheated dalam kJ/kg
- h<sub>f</sub> Enthalpy steam saturated dalam kJ/kg

Grafik hubungan variasi operasi tanpa pemanasan dan dengan pemanasan udara pembakaran terhadap efisiensi boiler dapat dilihat pada Gambar 22. Variasi operasi tersebut adalah sebagai berikut :

1. Operasi tanpa pemanasan udara pembakaran dan Lidah api Panjang (tanpa injeksi steam) (OTPUP-TIS)
2. Operasi tanpa pemanasan udara pembakaran dan Lidah Api Pendek (dengan injeksi steam) (OTPUP-DIS)
3. Operasi dengan pemanasan udara pembakaran dan Lidah Api Panjang (tanpa injeksi steam) (ODPUP-TIS)
4. Operasi dengan pemanasan udara pembakaran dan Lidah Api Pendek (dengan injeksi steam) (ODPUP-DIS).

Dari gambar terlihat bahwa pada operasi dengan pemanasan udara pembakaran dan Lidah Api Pendek (dengan injeksi steam) efisiensi boiler mencapai 22,58 % sedangkan pada operasi tanpa pemanasan udara pembakaran dan Lidah Api Panjang (tanpa injeksi steam) efisiensi boiler hanya 20,13 %, sehingga berdasarkan dua operasi ini didapatkan kenaikan efisiensi sebesar 2,45 %. Akan tetapi pada operasi tanpa pemanasan udara pembakaran dan Lidah Api Pendek (dengan injeksi steam) terlihat penurunan bila dibandingkan dengan dua operasi sebelumnya sebesar 0,08 %, hal ini menunjukkan bahwa proses injeksi steam (Lidah Api Pendek) efektif untuk meningkatkan efisiensi boiler tetapi lebih efektif dalam upaya meningkatkan efisiensi boiler dipadukan dengan pemanasan udara pembakaran.



Gambar 22. Hubungan Antara Variasi Operasi dengan Efisiensi Boiler

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa pada bagian tiga diatas maka dapat disimpulkan bahwa:

- Adanya peningkatan panas didalam ruang pembakaran (furnace) setelah dilakukan injeksi steam kedalam furnace menghasilkan Lidah Api Pendek dan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar (fuel) sebesar 20% untuk kualitas dan jumlah produk steam yang sama baik tanpa maupun dengan injeksi steam dengan waktu operasi selama 1 jam,hal ini disebabkan karena pembakaran lebih steady state (lidah Api Pendek) dengan adanya injeksi steam dan terus bertambah dengan adanya pemanasan pada suplai udara pembakaran.
- Selain dapat menambah jumlah panas dalam ruang pembakaran, Lida Api Pendek (injeksi steam) juga dapat mengurangi ketebalan jelaga yang menempel pada fireside water tube sehingga kontak thermal terhadap air umpan boiler tidak terhambat yang berarti bahwa terjadi peningkatan penyerapan panas oleh air umpan boiler. Hal ini dilihat pada menurunnya laju pembentukan carbon deposit sebesar 0,89 mm/jam pada kondisi operasi injeksi steam (lidah api pendek) dan pemanasan udara pembakaran dan sebanyak 49,5 % carbon deposit pada fireside water tube Boiler dapat direduksi.
- Untuk operasi dengan lidah api pendek (injeksi steam) selain hal tersebut diatas juga meningkatkan temperatur cerobong asap (stack) akibat dari meningkatnya aliran flue gas (gas asap) uap air dari hasil reaksi steam Injeksi dengan bahan-bakar dan deposit karbon, sehingga perlu diatur pengeluaran gas asap tersebut agar kontak termal dengan bidang pemanas lebih lama agar semakin banyak panas yang diserap oleh air umpan boiler.
- Pemanasan udara pembakaran sebelum masuk furnace akan dapat meningkatkan jumlah panas yang dihasilkan dari reaksi pembakaran karena pemanasan udara pembakaran dapat meningkatkan energi kinetik dari molekul-molekul seperti  $O_2$  dan  $H_2O$ , sehingga reaksi dapat terjadi dengan baik.  $H_2O$  yang ada akan bereaksi dengan jelaga (carbon deposit) membentuk  $CO_2$  dan  $H_2$  selanjutnya  $H_2$  yang sangat reaktif akan bereaksi dengan  $O_2$  yang merupakan reaksi sangat eksotermis akan tetapi proses pembentukan lidah api pendek lebih dominan ditimbulkan oleh adanya injeksi steam.
- Pengaturan laju input bahan bakar-bakar, udara dan steam injeksi yang optimum dimana hal ini ditandai dengan lidah api yang dihasilkan lebih pendek dan flue gas yang dihasilkan lebih sedikit, hal ini dapat mengurangi laju pembentukan carbon deposit sehingga efektifitas dari penginjeksian steam untuk mengurangi carbon deposi pada ruang bakar dan water tube dapat tercapai terbukti dengan terjadinya kenaikan total panas pada panas superheated serta berkurangnya tebal deposit karbon yang terbentuk.
- Pada operasi dengan pemanasan udara pembakaran dan dengan injeksi steam (lidah api pendek) efisiensi boiler mencapai 22,58 % sedangkan pada operasi tanpa pemanasan udara pembakaran dan tanpa injeksi steam efisiensi boiler hanya 20,13 %, sehingga berdasarkan dua operasi ini didapatkan kenaikan efisiensi sebesar 2,45 %. Akan tetapi pada operasi tanpa pemanasan udara pembakaran dan dengan injeksi steam terlihat penurunan bila dibandingkan dengan dua operasi sebelumnya sebesar 0,08 %, hal ini menunjukkan bahwa proses injeksi steam efektif untuk meningkatkan efisiensi boiler tetapi lebih efektif dalam upaya meningkatkan efisiensi boiler dipadukan dengan pemanasan udara pembakaran.
- Setelah berhasil dibuktikan bahwa penginjeksian steam dan meningkatkan rasio udara-bahan bakar agar didapatkan eksek udara berlebih ternyata dapat meningkatkan temperatur furnace maka telah dilakukan pengujian dengan memvariasikan rasio udara-bahan bakar dan flowrate steam injeksi. Hasil dari pengujian ini didapatkan bahwa penginjeksian steam pada burner dapat mengeliminir input udara pembakaran dengan meningkatkan flowrate steam

injeksi, sehingga dapat dikatakan bahwa terdapat kecenderungan input aliran udara tidak dibutuhkan lagi pada proses pembakaran heavy fuel oil dengan injeksi steam dan menyebabkan lidah api pendek.

#### 4.2 Saran

1. Disarankan agar hasil penelitian dapat diaplikasikan diperalatan fired heater yang sesungguhnya yang berada dikilang minyak atau unit pembangkit listrik karena dari hasil percobaan terbukti bahwa membentuk lidah api pembakaran yang pendek dengan system injeksi steam ini efektif menaikkan kinerja fired heater.
2. Apabila ada pihak lain yang ingin mengembangkan penelitian ini dengan menggunakan model peralatan yang ada maka sebaiknya dilakukan beberapa modifikasi yaitu;
  - Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik hendaknya system control yang dilakukan pada eksperimen dibuat semi otomatis sehingga data yang diperoleh akan lebih akurat.
  - Untuk system isolasi hendaknya dibuat maksimal agar heat losses dapat dikurangi.
3. Hendaknya pada penelitian yang akan datang dapat menghitung thermal efisiensi system pembangkit tenaga terutama steam power plant secara keseluruhan sehingga dapat dianalisa kinerja fired heater secara overall.
4. Disarankan agar pada penelitian yang akan datang dapat mengemukakan reaksi yang terjadi secara lebih detail sehingga akan dapat diketahui sejauh mana peran injeksi steam terhadap peningkatan jumlah panas dari reaksi pembakaran dipandang dari sudut termodinamika.
5. Untuk mengurangi laju aliran flue gas yang keluar cerobong asap sambil membawa panas pembakaran maka perlu dipasang demper pada cerobong asap yang dapat mengatur pengeluaran gas asap sehingga tidak perlu meng-on-offkan blower yang dapat mengganggu steady state pembakaran.
6. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan proses pembakaran dengan tanpa menggunakan input udara pembakaran pada burner untuk membuktikan bahwa cukup dengan penginjeksian steam heavy fuel oil dapat terbakar dengan lebih baik dan lidah api berbobot walupun pendek.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Caronna, Giampiero. 2005. Fired Heaters: Enhancing Refinery Profitability. Foster Wheeler Italiana Spa.
- Bustan, M. Djoni & Siagian, Amir Hamzah. 2004. Studi Fenomena Reaksi Antara Carbon Deposit dan Injeksi Steam terhadap Peningkatan Kinerja Fired Heater. Tesis: Pps Unsri Prodi. Teknik Kimia, BKU Teknologi Energi. Palembang.
- Stephens, G & Spicer, D.B. 2003. Burner Employing Steam Injection. US Patent US6986658B2, Jan. 17. 2006
- Wildy, Francis. 2002. Fired Heater Optimization. AMETEK Process Instruments 150 Freeport Road Pittsburgh, PA 15044.
- \_\_\_\_\_. 2000. Increasing The Energy Efficiency of Boiler and Heater Installations [http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/2000-869\\_Boilers\\_and\\_Heat\\_E.pdf](http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/cipec/2000-869_Boilers_and_Heat_E.pdf)
- Frigoli, A., L. Giovanni, Mioralli. 1999. Process for Determining the Film of Fuel Deposited On The Intake manifold of Electroinjector engines with Controlled Ignition. US Patent, US005957993A, Sept 28, 1999.
- Garg, A. 1998. Revamp Fired Heaters to Increase Capacity. Hydrocarbon Processing, Furnace Improvements, Sugar Land, Texas. June 1998.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Committee. 1992. ASME Section I, Rules for Construction of Power Boiler. 1992 Edition, The American Society of Mechanical Engineers. New York.
- Babcock & Wilcox. \_\_\_\_\_. Steam, Its Generation and Use. 38<sup>th</sup> Edition, New York, USA
- Marzano, B.G.S., C.Chem. 2000. The Influences of water quality on Steam Purity. MRSC. F. Inst Petroleum. Boiler Operation Workshop, Plaju, Indonesia.
- Smith, Craig B. 1981. Energy Management Principles. Application Benefits Savings, Pergamon Press.

- Henning, Dag. 1994. Energy System Optimization Applied to Local Swedish Utilities. Division of Energy System, Linköping.
- Williams, Forman A. 1965. Combustion Theory, The Fundamental Theory of Chemically Reacting Flow System. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. University of California.
- Kreith, Frank & Mark S.Bohn. 1986. Principles of Heat Transfer. Solar Energy Research Institute, Fourth Edition, Harper & Row Publisher, New York.
- Austin, George T. 1975. Shreve's Chemical Process Industries. Washington State University, Mc Graw Hill Book Company.
- Minkoff, G.J & C.F.H Tipper. 1962. Chemistry of Combustion Reactions. Butterworth & Co. (Publishers) Ltd.
- Smith, J.M. 1981. Chemical Engineering Kinetics. Mc Graw Hill Book Company.
- Bradley, Jhon N. 1969. Flame and Combustion Phenomena. University of Essex, Methuen & Co. Ltd, London.
- Mc Carty,JG.,Victor LW,Wood. . Catalytic Combustion Process. US Patent,US0615285.
- Kurita. 1985. Kurita Hand Book of Water Treatment. Kurita Water Industries, Tokyo.
- Bustan,MD. 1986. Entalphies of Gaseus Mixture at High Pressure from Measurement of The Joule-Thomson Effect. Higrashihirishima.
- El-Wakil,M.M. 1984. Powerplant Technology. University of Wisconsin, Mc Graw Hill Book Company.
- Levenspiel,Octave. 1972. Chemical Reaction Engineering. Oregon State University. Second Edition, John Wiley & Sons, USA.
- Schmidt,Paul F. 1969. Fuel Oil Manual. Allied Oil Co. Industrial Press Inc, New York.
- Reid,Robert C.& Thomas K Sherwood. 1966. The Properties of Gases and Liquids. Second Edition, Mc Graw Hill Book Company.
- \_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_. Fuel Oil Composition. US Patent, US05997592.
- Harbert,W.D. 1978. Preflash saves heat in crude unit. United Refining Co Warren Pa, Hydrocarbon Processing, July 1978.
- Mc Cain,William Jr.1990. The Properties of Petroleum Fluids. Second Edition, Penn Well Books, Tulsa,Oklahoma.