

PENGARUH LEVEL KETINGGIAN AIR TERHADAP SATURATED STEAM PADA CROSS SECTION WATER TUBE BOILER MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS DAN SOLAR

INFLUENCE OF WATER LEVEL TO SATURATED STEAM IN CROSS SECTION WATER TUBE BOILER USING GAS AND DIESEL FUEL

Agus Manggala¹, Fatria¹, Sutini Pujiastuti Lestari¹, Barokallah Muhammad Naim¹, Nanda Sastama¹

¹Jurusan Teknik Kimia Program Studi Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang, Telp. 0711-353414 Fax. 0711-355918

e-mail: *Agus.manggala@polsri.ac.id, *Barokallahmnp2309@gmail.com

ABSTRACT

A boiler is a device that serves to heat water to become high pressure and high temperature steam, using heat from the combustion of fuel in the combustion chamber. The growth of the domestic boiler industry will develop with research on boiler technology. One of the parameters of the steam produced is temperature and pressure. It is necessary to have the right water level in the steam production process to get saturated steam which is in accordance with the theory, which is in the range of 150-374°C. The results of the research show that the optimal water level is the 4th condition (60%) because it can produce saturated steam according to the pressure target with a constant state in a continuous process using diesel and gas fuel.

Keywords: Boiler, Steam, Level and Temperature

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri *boiler* dalam negeri akan terjadi dengan improvisasi teknologi yang digunakan pada *boiler*. Salah satu pengendalian proses pada *boiler* adalah level ketinggian air. Level ketinggian air di dalam *drum boiler* mengindikasikan volume air yang terisi pada drum. Permasalahan dalam penelitian pada rancang bangun *cross section water tube boiler* adalah ingin mengetahui pengaruh level ketinggian air di dalam *steam drum* terhadap *saturated steam* yang dihasilkan serta menentukan level ketinggian air yang optimal untuk pengoperasian *boiler* menggunakan bahan bakar solar dan gas.

Pada *boiler* pipa air, air umpan mengalir melalui bagian dalam pipa yang selanjutnya masuk ke dalam *drum*. *Boiler* ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan *steam* sangat tinggi. Penggunaan *water tube boiler* diakui memiliki keuntungan yang lebih karena reaksi konversi air menjadi uap dan transfer panas yang terjadi lebih cepat.

Air terdiri dari molekul-molekul air yang bergerak bebas dalam lingkungannya. Molekul tersebut tidak akan meninggalkan lingkungannya karena ada gaya tarik-menarik antara molekul air itu sendiri, apabila air tersebut dipanaskan maka kecepatan gerak molekulnya akan bertambah, namun molekul itu belum mampu untuk melepaskan diri dari lingkungannya. Bila air tersebut terus dipanaskan sampai temperatur didih air (100° C) maka molekul-molekul air tersebut mampu melepaskan diri dari lingkungannya dan mampu melepaskan diri dari gaya tarik menarik antara molekul-molekul air

tersebut. Peristiwa proses penguapan dan molekul-molekul tersebut disebut molekul uap dan uap yang terbentuk dari proses penguapan disebut uap kering. Proses pembentukan uap pada *boiler* diawali dengan mengalirkan air umpan *boiler* menggunakan pompa dengan tekanan yang sesuai spesifikasi yang dibutuhkan.

Prinsip kerja *boiler* sendiri yaitu mengubah energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran antara bahan bakar dengan udara, dari air menjadi uap dengan temperatur dan tekanan yang tinggi. Pembakaran merupakan reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dengan udara, dimana dalam bahan bakar tersebut terkandung bahan-bahan yang mudah terbakar dengan udara yang mengakibatkan terlepasnya energi yang terkandung oleh bahan bakar dan berubah menjadi energi *thermal*. Sisa dari pembakaran adalah gas buang yang temperaturnya masih lumayan cukup tinggi, energi panas hasil pembakaran di dalam *boiler* tersebut akan merambat secara konduksi, konveksi dan radiasi.

Komponen di dalam *steam drum* memungkinkan terjadi pemisahan antara air dengan uap air. Di dalam *steam drum* ini terjadi pemisahan air dan uap secara paksa. Air akan tetap berada di dalam *steam drum* dan terjadi pemanasan kembali hingga menjadi *saturated steam*. *Steam drum* memproduksi *saturated steam* sebelum diteruskan ke *superheater* atau digunakan langsung sebagai *saturated steam*. Tekanan *saturated steam* yang dihasilkan pada *steam drum* dapat mencapai 6,8 bar dan temperatur 163,5°C dengan tekanan kerja maksimal 85,2 bar (Suhaili, 2016).

Ketika sistem berada pada keadaan cairan jenuh, tambahan panas pada tekanan tetap menghasilkan pembentukan uap tanpa perubahan suhu tetapi dengan peningkatan volume spesifik yang cukup besar. Ketika campuran uap-cair ada dalam kesetimbangan, fase cair adalah cairan jenuh dan fase uap adalah uap jenuh. Jika air dipanaskan lebih lanjut sampai sedikit cairan terakhir yang menguap maka keadaan menjadi uap jenuh (Borgnakke, 2006).

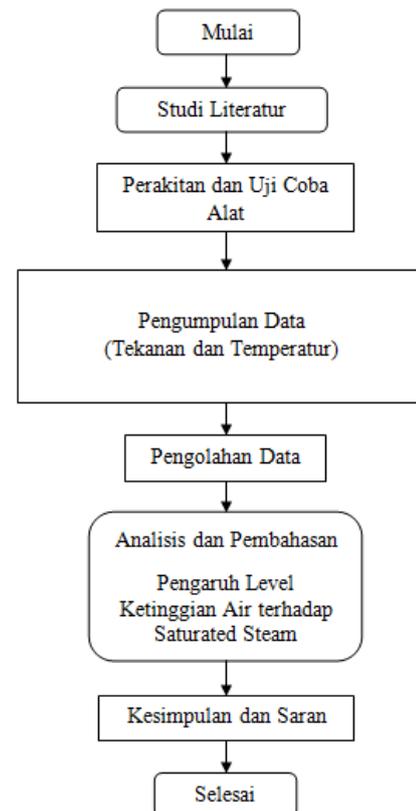
Uap lanjut dari penguapan cairan disebut uap jenuh (*saturated steam*) sepanjang temperatur dan tekanan uap sama seperti cairan jenuh yang terjadi. Uap jenuh dapat digambarkan juga sebagai uap pada temperatur dimana pendinginan uap lanjut disebabkan oleh struktur molekul cairan kembali lagi. Hal tersebut penting untuk dipahami bahwa temperatur jenuh benda cair (temperatur pada waktu cairan akan menguap jika panas ditambahkan) dan temperatur jenuh uap (temperatur pada saat uap akan mengembun jika panas dibuang) akan memberikan tekanan yang sama dan cairan tidak akan cair lagi pada temperatur di atas temperatur jenuh, sedangkan uap tidak akan tetap uap pada temperatur di bawah temperatur jenuh (Borgnakke, 2006). Uap pada temperatur di atas temperatur jenuh adalah uap panas lanjut. Jika setelah penguapan, uap dipanaskan sehingga temperatur naik di atas penguapan cairan, uap dikatakan panas lanjut (*superheated*).

Level ketinggian air pada *boiler* mengindikasikan volume air yang terisi di dalam *drum*. *Pressure steam* yang dihasilkan *boiler* dikendalikan dengan menjaga kestabilan level air yang masuk ke *boiler*. Jika terlalu banyak air di *boiler* maka steam yang dihasilkan tidak maksimal menyebabkan adanya kandungan air pada *steam* dan temperatur keluaran *boiler* turun, sedangkan jika air di *boiler* terlalu sedikit akan menyebabkan *steam* kering dan temperatur keluaran *boiler* naik sehingga dalam keadaan darurat perlu untuk menurunkan *pressure* dengan membuang *steam* melalui *drain* atau *safety valve* hingga kebutuhan proses tetap terpenuhi. (Nataliana dkk., 2012).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan studi literatur, perakitan dan uji coba alat, running alat dan pengumpulan data, pengolahan data, analisa dan pembahasan. Variabel penelitian terdiri dari variabel tetap yaitu udara *excess* yang digunakan pada pembakaran sebesar 18%. Sedangkan variabel kontrol

berupa level ketinggian air sebesar 30%, 40%, 50%, 60% dan 70%.



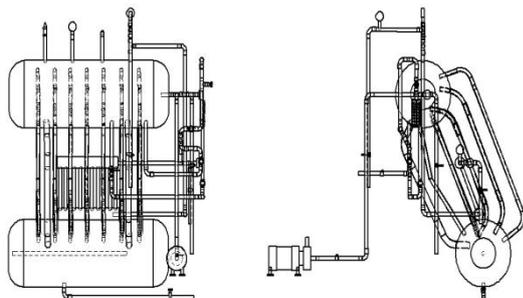
Gambar 1. Bagan Alur Penelitian

Pendekatan Desain Fungsional

Rancang bangun *Cross Section Water Tube Boiler* terdiri dari delapan unit utama yaitu *steam drum*, *water drum*, *water tube*, *burner*, ruang bakar, *superheater*, pompa dan kompresor. Sistem tersebut dilengkapi dengan instrumen pendukung yaitu *pressure indicator*, *temperature indicator*, *valve*, *pressure safety valve*, *water level gauge* dan *drain valve* dengan fungsi masing-masing.

Pendekatan Desain Struktural

Cross Section Water Tube Boiler dirancang dengan beberapa unit yang tergabung menjadi suatu sistem terintegrasi. Unit yang paling utama adalah dua buah *drum* (*steam drum* dan *water drum*) yang terhubung dengan *water tube* dan *superheater* sebagai tempat terjadinya proses pemanasan air dan uap air. Secara rinci kontruksi system boiler dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Desain Struktural Cross Section Water Tube Boiler

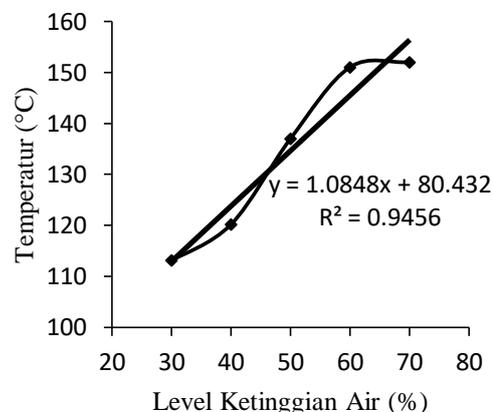
Tabel 1. Spesifikasi Alat

No	Bahan/Alat	Merk/Spesifikasi	Jumlah	Satuan
1	Water Level Gauge	habei, reflex, glass tube fbg	1	Buah
2	Tube	seamless carbon steel 6m x 1/2" scn 40	10	Buah
3	Steam Drum	tabung baja 300 bar 232 mm x 1450 mm	1	Buah
4	Feed Water Drum	tabung baja 300 bar 232 mm x 1450 mm	1	Buah
5	Pompa	lakoni daytona 100	1	Buah
6	Kompresor	lakoni imola-125	1	Buah
7	Pressure Indicator	wiebrock 4" connection 1/2"	2	Buah
8	Temperature Indicator	wiebrock 4" 500°C	2	Buah
9	Safety Valve	srvc390-150psi	1	Buah
10	Main Valve	ball valve galvanis 1/2"	3	Buah
11	Blowdown Valve	ball valve galvanis 1/2"	2	Buah
12	Main Steam Valve	ball valve galvanis 1/2"	4	Buah
14	Elbow	galvanis 1/2"	5	Buah
15	Siku	30 mm x 3 mm x 6m	1	Buah
16	Siku	60 mm x 6 mm x 6m	1	Buah
17	Engsel	stainless steel 1"	2	Buah
18	Sekrup	2 mm x 10 mm	10	Buah
19	Reducer	galvanis 3/4" ke 1/2"	1	Buah
20	Semen	tipe pcc	10	Zak
21	Pasir	-	2	m ³
22	Koral	-	10	Karung
23	Batu Bata	-	700	Buah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Level Ketinggian Air terhadap Temperatur Saturated Steam

Grafik yang menunjukkan pengaruh level ketinggian air terhadap temperatur *saturated steam* yang dihasilkan pada *cross section water tube boiler* menggunakan bahan bakar gas dan solar dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



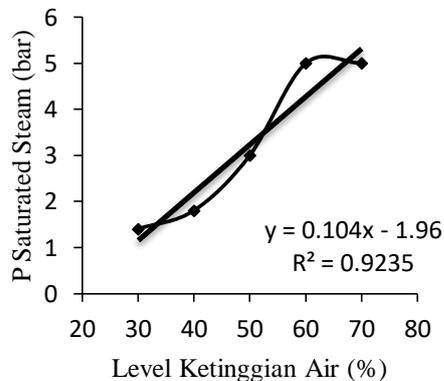
Gambar 3. Grafik Hubungan Level Ketinggian Air terhadap Temperatur Saturated Steam

Semakin tinggi level ketinggian air dalam proses produksi *saturated steam* maka semakin rapat jarak peningkatan temperatur *saturated steam* yang dihasilkan pada setiap kondisinya. Peningkatan temperatur yang cenderung melambat mengindikasikan banyaknya kandungan uap air pada *saturated steam* sehingga level ketinggian air yang tinggi akan menyebabkan *steam* yang dihasilkan mengandung uap air (Nataliana dkk., 2012). Ketika level ketinggian air ditingkatkan dengan menambah jumlah air umpan ke dalam *steam drum* maka kenaikan temperatur *saturated steam* antar titik satu ke titik lain hanya sedikit, kondisi ini dapat dilihat mulai dari level ketinggian 60% sampai 70%. Hal ini disebabkan jumlah air yang ditambahkan ke dalam *steam drum* bercampur dengan air yang sebelumnya sudah mengalami pemanasan di dalam *steam drum* yang menyebabkan struktur molekul air di dalam *steam drum* berubah sehingga dibutuhkan kembali tambahan suplai panas untuk membuat momentum dari molekul fluida meningkat kembali sampai menjadi *saturated steam*. Temperatur *saturated steam* yang dihasilkan pada kondisi level ketinggian air konstan 60% adalah 151°C. Level ketinggian 60% merupakan kondisi yang optimal untuk memproduksi *saturated steam* pada *cross section water tube boiler* ini jika ditinjau berdasarkan temperatur yang dihasilkan secara konstan pada proses *continue* karena dapat mencapai target tekanan *steam* 5 bar. Hal ini beresesuaian dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Nataliana (2012) bahwa level ketinggian air yang tinggi akan menyebabkan *steam* yang dihasilkan mengandung uap air sehingga peningkatan temperatur menjadi melambat karena

jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur *steam* lebih banyak terhadap air umpan *boiler*.

3.2 Pengaruh Level Ketinggian Air terhadap Tekanan *Saturated Steam*

Grafik yang menunjukkan pengaruh level ketinggian air terhadap tekanan *saturated steam* yang dihasilkan pada *cross section water tube boiler* menggunakan bahan bakar gas dan solar dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Grafik Hubungan Level Ketinggian Air terhadap Tekanan *Saturated Steam*

Semakin tinggi level ketinggian air maka nilai tekanan pada *steam saturated* merapat. Hal ini disebabkan karena ketika level ketinggian air ditambah maka *steam* yang dihasilkan tidak maksimal sehingga kandungan air pada *steam* keluaran boiler akan meningkat, sedangkan jika air di dalam *steam drum boiler* terlalu sedikit akan menyebabkan *steam* terlalu

3.3 Perbandingan Hasil dengan Penelitian Lain

Penelitian tentang pembuatan *boiler* telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, sehingga dapat dibuat tabel perbandingan hasil penelitian sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil penelitian *saturated steam* pada *boiler* yang digunakan

Kemiringan <i>boiler</i>	Bahan bakar	Level ketinggian air (%)	Temperatur (°C)	Tekanan (Bar)	Efisiensi Termal	Penelitian
TD	TD	60	389.1	16	TD	Nataliana dkk., 2012
TD	Natural Gas & Diesel	TD	163.5	6.8	TD	Suhaili, 2016
65°	Solar	60	151	TD	TD	Penelitian saat ini
65°	Solar	70	152	TD	TD	Penelitian saat ini
65°	LPG	60	151	5	TD	Penelitian saat ini
65°	LPG	70	152	5	TD	Penelitian saat ini

Ket TD = Tidak Diuji

Pada Tabel 2 dapat diketahui perbandingan beberapa parameter hasil penelitian terhadap penelitian lain. Data tersebut merupakan nilai optimal yang didapatkan pada setiap penelitian. Nataliana (2012) melakukan penelitian terhadap kontrol level pengendali ketinggian air pada *steam drum boiler* berbasis DCS. Pada penelitiannya kondisi optimal didapatkan pada level ketinggian air 60%. Sementara itu, Siti Suhaili

(2016) melakukan studi simulasi pada karakteristik pembakaran dari *boiler* pipa air dengan perbedaan bahan bakar. Penelitian tersebut menghasilkan nilai maksimal dari kapasitas *boiler* dalam menghasilkan tekanan dan temperatur pada keadaan level ketinggian air konstan 50%. Dari beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa pada *boiler* pipa air dengan berbagai macam bahan bakar mempunyai keadaan yang

kering dan akan menyebabkan kerusakan pada pipa pipa boiler, *pressure steam* yang dihasilkan boiler dikendalikan dengan menjaga kestabilan level air dan temperatur yang masuk ke dalam boiler hal ini berlaku pada pengoperasian boiler proses kontinyu. Pada proses pengambilan data di atas dilakukan pada proses kontinyu, maka air umpan dari pompa mengalir pada kecepatan yang sama dengan *steam* yang dihasilkan, penambahan panas lebih lanjut akan meningkatkan laju produksinya, ketika jumlah air yang ditambahkan ke dalam *steam drum* mempunyai gaya tarik antar molekul dan bercampur dengan air yang sudah mengalami pemanasan sebelumnya, maka temperatur air umpan akan mengalami kenaikan suhu, temperatur yang berlebih ini akan menaikkan tekanan sehingga menyebabkan suhu jenuhnya meningkat, karena suhu *steam* jenuh berhubungan dengan tekanannya.

Level ketinggian 60% merupakan kondisi yang optimal untuk memproduksi *saturated steam* pada *cross section water tube boiler* ini jika ditinjau berdasarkan tekanan yang dihasilkan secara konstan pada proses kontinyu karena dapat mencapai target tekanan *steam* 5 bar. Peningkatan nilai kondisi level ketinggian air yang menyebabkan semakin sedikitnya peningkatan tekanan pada proses kontinyu ini bersesuaian dengan hasil penelitian tentang pengendali level air pada *steam drum boiler* berbasis *distributed control system* bahwa semakin tinggi temperatur maka penguapan semakin cepat dan level air semakin berkurang (Nataliana dkk., 2012).

variatif untuk menghasilkan temperatur dan tekanan steam yang maksimal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Level ketinggian air yang tepat akan menghasilkan steam saturated yang mencapai target pada tekanan 5 bar
2. Level ketinggian air yang optimal untuk mencapai target 5 bar di dalam steam drum untuk menghasilkan steam saturated jika dilihat berdasarkan temperatur dan tekanan yang dihasilkan adalah 60%
3. Level ketinggian air yang maksimal menyebabkan kenaikan temperatur dan tekanan *saturated steam* yang dihasilkan melambat

DAFTAR PUSTAKA

- Borgnakke, Claus dan Richard E. Sontag. 2009. *Fundamentals of Thermodynamics 7th Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Djoko Setyoarjo, M.J. 1990. *Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Hidayanto, S. 2016. *Analisa Performa Water Tube Boiler Kapasitas 115 Ton/Jam di PT Pertamina Refinery Unit VI Balongan Indramayu*. Skripsi. UNNES.
- Hasibuan, C.H dan Farel, H.N. 2013. *Analisa Pemakaian Bahan Bakar Dengan Melakukan Pengujian Nilai Kalor Terhadap Performansi Ketel Uap Tipe Pipa Air Dengan Kapasitas Uap 60 Ton/Jam*. *Jurnale-Dinamis*, Volume, No.4 Maret 2013 ISSN 2338-1035.
- Hougen, D. A., K. M. Watson, dan R. A. Ragatz. *Material and Energy Balance*. Bagian 1 dari *Chemical Process Principles*. Edisi 2. New York: John Wiley & Sons, 1973.
- Koestoer, Raldi Artono. 2002. *Perpindahan Kalor : untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta : Salemba Teknika.
- Muin, Syamsir A. 1988. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Nataliana, D., Taryana, N., dan Farisi. 2012. *Pengendali Level Air pada Steam Drum Boiler Berbasis DCS (Distributed Control System)*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Suhaili, Siti. 2016. *Simulationn Studyion Combustion Characteristics of Water Tube Boiler With Different Type of Fuel*. Perak: Universiti Tek. Petronas.

Yohana E dan Askhabulyamin. 2009. *Perhitungan Efisiensi dan Konversi dari Bahan Bakar Solar ke Gas pada Boiler Ebara HKL 1800 KA*. Semarang: Universitas Diponegoro