ISSN 2747-1470 (media online)
Jurnal INOVTEK SERI MESIN

Analisis Kinerja Katel Uap Tipe Water Tube Untuk Keperluan Distalasi Minyak Atsiri

M.Yusuf [(1)], Alfansuri[(2)], Murdani[(3)]
Politeknik Negeri Bengkalis
Jl. Bathin Alam, Sungai Alam, Bengkalis, Riau, Indonesia 28711
Email : My0893663@gmail.com, Alfansuri@polbeng.ac.id, murdani@polbeng.ac.id

ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja katel uap tipe water tube yang digunakan pada proses distilasi minyak atsiri, dengan penambahan sistem pipa trap sebagai pre-heater. Katel uap berperan penting dalam menghasilkan uap bertekanan tinggi yang dibutuhkan untuk mengekstraksi minyak atsiri dari daun eucalyptus. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan metode langsung, mencatat parameter operasi seperti tekanan, suhu, laju aliran uap, dan konsumsi bahan bakar. Pengambilan data dilakukan selama empat jam dengan interval 15 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi dicapai pada jam keempat sebesar 34,85%, sedangkan rata-rata efisiensi selama pengujian adalah 4,96%. Rendahnya efisiensi dipengaruhi oleh pembakaran manual, pengaturan suhu dan bahan bakar yang kurang optimal, serta kehilangan panas yang cukup besar. Meskipun demikian, katel mampu menghasilkan uap secara kontinu untuk mendukung proses distilasi. Penambahan sistem *trap* terbukti dapat meningkatkan suhu awal air umpan, sehingga berpotensi menghemat energi bahan bakar. Penelitian ini merekomendasikan penerapan sistem kontrol otomatis dan penambahan isolasi termal untuk meningkatkan efisiensi. Hasil studi diharapkan menjadi referensi dalam optimalisasi sistem distilasi berbasis uap, khususnya bagi industri skala kecil hingga menengah.*

Kata kunci: *Katel uap, water tube, efisiensi boiler, distilasi minyak atsiri, pipa trap.*

PENDAHULUAN

Katel uap tipe water tube merupakan salah satu alat penting dalam proses pembangkitan uap yang banyak digunakan di berbagai sektor industri, seperti pembangkit listrik, pengolahan makanan, dan manufaktur, dengan fungsi utama menghasilkan uap berkualitas yang dibutuhkan dalam berbagai aplikasi, mulai dari pemanasan hingga penggerak mesin, sehingga kinerja katel uap yang optimal sangat berpengaruh terhadap efisiensi proses, keselamatan operasional, serta dampak lingkungan. Tabung air uap katel dikenal dengan efisiensi termal yang tinggi dan kemampuan menghasilkan uap bertekanan tinggi dalam kapasitas besar, di mana desain aliran air di dalam tabung yang dikelilingi api memungkinkan perpindahan panas secara lebih efektif dibandingkan jenis tabung api, sehingga menjadikan katel water tube pilihan ideal untuk berbagai aplikasi industri yang memerlukan pasokan uap bertekanan tinggi dan stabil. Namun, salah satu tantangan utama dalam mengoperasikan katel uap water tube adalah adanya partikel padat, seperti fly ash dan jelaga, dalam buangan gas hasil pembakaran yang tidak hanya mengurangi efisiensi termal dengan membawa panas keluar dari sistem, tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan pada komponen katel serta menimbulkan polusi lingkungan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penerapan sistem trapping atau penangkap partikel (trap) pada katel menjadi solusi efektif karena dapat memisahkan partikel padat dari gas buang sebelum dilepaskan ke atmosfer, sehingga meningkatkan efisiensi pembangkitan uap sekaligus mengurangi emisi pencemar; selain manfaat operasional, peningkatan efisiensi katel uap juga berdampak positif terhadap aspek lingkungan karena mampu menurunkan konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca yang sejalan dengan upaya global menghadapi perubahan iklim. Dengan demikian, sistem integrasi trap pada katel uap tipe water tube merupakan strategi inovasi yang tidak hanya meningkatkan kinerja dan efisiensi operasional, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja katel uap water tube dalam proses distilasi minyak atsiri sehingga dapat memberikan rekomendasi teknis untuk optimalisasi desain dan operasional katel serta perbaikan sistem yang sudah ada. Sejumlah penelitian terdahulu juga menunjukkan hal serupa, misalnya studi oleh Prasetyo (2019) yang meneliti peningkatan efisiensi katel dengan modifikasi sistem pembakaran untuk mengurangi emisi gas buang, penelitian oleh Sari dkk. (2020) yang mengkaji penggunaan cyclone separator sebagai trap partikel pada gas buang untuk menjaga stabilitas efisiensi katel, serta penelitian oleh Hidayat (2021) yang menekankan pentingnya pemanfaatan katel water tube dalam industri minyak atsiri karena mampu menghasilkan uap bertekanan tinggi yang stabil dan efisien, sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian terkait integrasi trap pada katel uap water tube masih relevan untuk terus dikembangkan.

1. METODE

1.1 Tahapan Penelitian

Untuk menyelesaikan penelitian ini, penulis melakukan beberapa tahapan yang akan dilakukan, yang akan dijabarkan dibawah ini :

1 .Tahap pertama adalah studi literatur
yaitu mencari dan mempelajari berbagai sumber pustaka yang berkaitan terhadap topik penelitian, seperti;jurnal,buku, artikel, skripsi atau media lainnya. Studi literatur berguna untuk mengetahui latar belakang, landasan teori, kerangka berpikir, dan hipotesis penelitian.

2. Tahapan Kedua Adalah Analisis Kinerja Katel Uap
Analisis kinerja katel uap menggunakan metode penelitian langsung dan metode tidak langsung dimulai dengan mengidentifikasi masalah spesifik, seperti efisiensi energi atau emisi gas buang. Selanjutnya, peneliti menetapkan tujuan yang jelas, seperti mengukur efisiensi termal katel dalam berbagai kondisi operasional.

1.2 Teknik Pengumpulan Dan Analisis Data

Pengumpulan data bisa dilakukan melalui observasi langsung terhadap operasi katel uap, di mana parameter penting seperti tekanan, suhu, dan aliran dicatat untuk memberikan gambaran jelas mengenai performa katel. Selain itu, pengukuran dengan alat seperti manometer dan termometer sangat penting untuk memastikan akurasi data.

1.2.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah salah satu teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara membaca, memahami, dan mengkritisi sumber-sumber ilmiah yang berkaitan dengan topik penelitian. yang berupa mempelajari jurnal dan buku buku yang menjadi referensi dalam pemahaman mengenai ketel uap. Literatur yang didapat berasal dari referensi jurbal dan buku.

1.2.2 Pengambilan Data Kinerja Katel Uap

Pengambilan data kinerja katel uap secara langsung merupakan langkah penting untuk memastikan efisiensi dan keselamatan operasional. analisis dilakukan untuk menilai efisiensi, mengidentifikasi masalah, dan memberikan rekomendasi perbaikan jika diperlukan. Dengan pendekatan yang sistematis ini, pengambilan data kinerja katel uap dapat dilakukan dengan efektif, memberikan wawasan berharga untuk meningkatkan kinerja sistem.

1.2.3 Pengambilan Data

Pengambilan data pada pipa trap dapat diukur menggunakan alat ukur yang dipasang pada setiap pipa trap dan tabung boiler. Pengambilan data dapat dilakukan setelah boiler mencapai kondisi stabil. Kemudian katel uap dibuka dan pengambilan data dapat dilakukan secara berkala.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Pembahasan

Pada bab ini akan membahas hasil analisis kinerja pada boiler tipe water tube menunjukkan kemampuan menghasilkan uap secara stabil untuk proses distilasi minyak atsiri. Kenaikan tekanan dan suhu berlangsung bertahap seiring waktu operasi, yang menandakan proses pemanasan air dan pembentukan uap berjalan sesuai prinsip kerja boiler.

2.2 Parameter Kinerja Katel Uap

2..2.1 Tekanan Uap

Tekanan uap salah satu parameter yang dicari dari kinerja katel uap pertekanan

2.2.2 Laju Aliran

Laju aliran suatu jumlah uap yang dihasilkan atau dialirkan oleh boiler dalam satuan waktu

2.2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas suatu parameter yang dicari dalam proses memindahkan energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar ke air di dalam boiler hingga berubah menjadi uap

2.2.4 Konsumsi Bahan Bakar

Yaitu suatu jumlah bahan bakar yang digunakan boiler dalam periode waktu tertentu untuk menghasilkan uap

2.2.5 Waktu

Yang digunakan sebagai acuan untuk mengukur dan membandingkan parameter-parameter kinerja, seperti tekanan, suhu, laju aliran uap, dan konsumsi bahan bakar.

2.2.6 Efesiensi

Yaitu salah satu parameter untuk yang dicari pada tekanan uap,laju aliran ,perpindahan panas,konsumsi bahan bakar,waktu.

2.2.7 Perhitungan tekanan kinerja ketel uap 0,1 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 0,1 Bar
   $\Delta T = 38 - 34 = 4$
   $270{,}01 \times 4 = 1{,}080{,}04$
   Waktu 15 menit = 900 detik = 15 x 60 = 900 detik
   Eoutput = 1,080,04 x 900 = 972,036
   Einput = 1,76 x 42.000 = 73,920
   $\frac{972{,}036}{73{,}920} = 13{,}149 \times 100\% = 1{,}3\%$
2. Perpindahan Panas Tekanan 0,1 Bar
   $Q = M \cdot Cp + \Delta T$
   $= 588 \times 42{,}000 + 7$
   $= 24{,}69$ KJ.
3. Laju Aliran
   $= \frac{45 \times 1{,}3}{2584{,}6 \times 142}$
   $= \frac{58{,}5}{367{,}013}$
   $= 0{,}00016$ kj/s = 0,16 watt
4. Komsumsi Bahan Bakar
   $= \frac{2{,}506 \times (2584{,}6 - 142)}{1{,}3 \times 42.000}$

$= \frac{2,506 \text{ x } 2,4426}{54,600}$

$= \frac{6.121.156}{54,600}$

= 112,10 kg/jam

5. Waktu

$= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 7}{1,3 \text{ x } 45}$

$= \frac{147,000}{58,5}$

= 2,51 menit

2.2.8 Perhitungan Tekanan kinerja katel Uap 0,2 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 0,2 Bar

ΔT = 35 – 34 = 1

270,01 x 1 = 270,01

Waktu = 30 menit = 1.800 detik = 30 x 60 = 1.800

Eoutput = 270,01 x 1.800 = 486,018

Einput = 2,70 x 42.000 = 113,400

$\frac{486,018}{113,400}$ = 4,285 x 100% = 4,28%

2. Pepindahan Panas 0,2 Bar

Q = M . Cp + ΔT

= 588 x 42.000 + 4

= 24,69 Kj.

3. Laju Aliran

$= \frac{52 \text{ x } 4,28}{2610 \text{ x } 142}$

$= \frac{222,56}{370.620}$

= 0,00060 kj/s = 0,6 watt

4. Komsumsi Bahan Bakar

$= \frac{2,512 \text{ x } (2610-142)}{4,28 \text{ x } 42.000}$

$= \frac{2.512 \text{ x } 2.468}{179.760}$

$= \frac{6.199.616}{179.760}$

= 34,48 kg/jam

5. Waktu

$= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 4}{4,28 \text{ x } 52}$

$= \frac{84.000.000}{222,56}$

= 37,74 Menit

2.2.9 Perhitungan Tekanan kinerja katel Uap 0,4 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 0,4 Bar

ΔT = 40 – 34 = 6

270,01 x 6 = 1,620

Waktu = 45 menit = 2.700 detik = 45 x 60 = 2.700

Eoutput = 270,01 x 2.700 = 7,290

Einput = 4,50 x 42.000 = 189,000

$\frac{7,290}{189,000}$ = 0,038 x 100% = 3,8 %

2. Pepindahan Panas 0,4 Bar

Q = M . Cp + ΔT

= 588 x 42.000 + 6

= 24,696,006 Kj.

3. Laju Aliran

$= \frac{60 \text{ x } 3,8}{2675,5 \text{ x } 142}$

$= \frac{228}{379,921}$

= 0,000.60 kj/s = 0,6 watt

4. Komsumsi Bahan Bakar

$= \frac{2,516 \text{ x } (2675,5-142)}{3,8 \text{ x } 42.000}$

$= \frac{2.516 \text{ x } 2,533}{159.600}$

$= \frac{6.373}{159.60}$

= 39,93 kg/jam

5. Waktu

$= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 6}{3,8 \text{ x } 60}$

$= \frac{1,260}{228}$

= 5,53 Menit

2.2.10 Perhitungan Tekanan kinerja katel Uap 0,7 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 0,7 Bar

ΔT = 43 – 34 = 9

270,01 x 9 = 2,430

Waktu = 60 menit = 3,600 detik = 60 x 60 = 3,600

Eoutput = 270,01 x 3,600 = 972,036

Einput = 7,20 x 42.000 = 302,400

$\frac{972,036}{302,400}$ = 3,2 x 100% = 3,2 %

2. Pepindahan Panas 0,7 Bar

Q = M . Cp + ΔT

= 588 x 42.000 + 9

= 24,696,009 Kj.

3. Laju Aliran

$= \frac{62 \text{ x } 3,2}{2683,9 \text{ x } 142}$

$= \frac{198,4}{381,11}$

= 0,52 kj/s = 5,2 watt

4. Komsumsi Bahan Bakar

$= \frac{2,516 \text{ x } (2683,9-142)}{3,2 \text{ x } 42.000}$

$= \frac{2.516 \text{ x } 2.542}{1,344}$

$= \frac{6,395}{1,344}$

= 4,76 kg/jam

5. Waktu

$= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 9}{3,8 \text{ x } 62}$

$= \frac{189,000}{235,6}$

= 8,02 Menit

2.2.11 Perhitungan Kinerja Katel Uap 1,1 Bar

1. Tekanan dan Efesiensi 1,1 Bar

$\Delta T = 46 - 34 = 12$

270,01 x 12 = 3.240

Waktu = 75 menit = 4.500 detik =75 x 60 = 4.500

$E_{output} = 270,01\ x\ 4.500 = 1.215$

$E_{input} = 10,01\ x\ 42.000 = 420.420$

$\frac{1.215}{420.420} = 0,002\ x\ 100\% = 0,2\%$

2. Perpindahan Panas 1,1 Bar

$Q = M.C_p + \Delta T$

$= 588\ x\ 42.000 + 15$

$= 24,71\ Kj$

3. Laju Aliran

$= \frac{71\ x\ 0,2}{2675\ x\ 142}$

$$= \frac{14,2}{379.850}$$
$$= 0,00037\ kj/s\ = 0,37\ watt$$

4. Konsumsi Bahan Bakar
$$= \frac{2,519\ x\ (\ 2675 - 142\ )}{0,2\ x\ 42.000}$$
$$= \frac{2,519\ x\ 2,533}{8.400}$$
$$= \frac{6.380.627}{8.400}$$
$$= 0,759\ kg/jam$$

5. Waktu
$$= \frac{500\ x\ 42.000\ x\ 15}{0,2\ x\ 71}$$
$$= \frac{315.000.000}{14,2}$$
$$= 22,18\ menit$$

2.2.12 Perhitungan Kinerja Katel Uap 1,4 Bar

1. Tekanan Dan Efesiensi 1,4 Bar
$\Delta T = 50 - 34 = 16$
270,01 x 16 = 4.320,16
Waktu = 90 Menit = 5.400 detik = 90 x 60 = 5.400
$E_{output} = 270,01$ x $5.400 = 1458.054$
$E_{input} = 11,70$ x $42.000 = 491.400$
$\frac{1.458,054}{491.400} = 2.967$ x $100\% = 296,7\%$
2. Perpindahn Panas 1,4 Bar
$Q = M.C_p + \Delta T$
= 588 x 42.000 + 20
= 24,71 Kj.
3. Laju Aliran
$$= \frac{75 \text{ x } 296,7}{2682 \text{ x } 142}$$
$$= \frac{22.252,5}{380.844}$$
$$= 0,05842 \text{ kj/s} = 58,42 \text{ watt}$$
4. Konsumsi Bahan Bakar
$$= \frac{2,520 \text{ x } (\ 2682 - 142)}{296,7 \text{ x } 42.000}$$
$$= \frac{2,520 \text{ x } 2.540}{12.461.400}$$
$$= \frac{6.400.800}{12.461.400}$$
$$= 5.135 \text{ Kg/Jam}$$
5. Waktu
$$= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 20}{296,7 \text{ x } 75}$$
$$= \frac{420.000}{22.252,5}$$
$$= 18,874 \text{ menit}$$

2.2.13 Perhitungan Kinerja Katel Uap 1,8 Bar

1. Tekanan dan Efesiensi 1,8 Bar
$\Delta T = 59 - 34 = 25$
270,01 x 25 = 6.750
Waktu = 105 menit = 6.300 detik =105 x 60 = 6.300
$E_{output} = 270,01$ x $6.300 = 1,701$
$E_{input} = 13,5$ x $42.000 = 567,000$
$\frac{1,701}{567.000} = 0,003$ x $100\% = 0,3\ \%$
2. Perpindah Panas 1,8 Bar
$Q = M.C_P + \Delta T$
$= 588$ x $42.000 + 23$
$= 24.69$ Kj
3. Laju Aliran
$$= \frac{80 \text{ x } 0,3}{2683 \text{ x } 142}$$
$$= \frac{24}{380.986}$$
$$= 0,00006 \text{ kj/s} = 0,06 \text{ watt}$$
4. Konsumsi Bahan Bakar
$$\frac{2,522 \text{ x}(\ 2683-142\ )}{0,3\ \text{ x } 42.000}$$
$$\frac{2,522 \text{ x } 2.541}{12.600}$$
$$= \frac{6.408.402}{12.600}$$
$$= 508.603 \text{ kg/jam}$$
5. Waktu
$$= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 46}{0,3 \text{ x } 80}$$
$$= \frac{966.000.000}{24} = 40.250 \text{ menit}$$

2.2.14 Perhitungan Kinerja Katel Uap 2 Bar

1. Tekanan dan Efesiensi 2 Bar
$\Delta T = 62 - 34 = 28$
270,01 x 28 = 7.560
Waktu = 120 menit = 7.200 detik =120 x 60 =7.200
$E_{output} = 270,01$ x $7.200 = 1.944$
$E_{input} = 15,47$ x $42.000 = 649.740$
$\frac{1.944}{649.740} = 0,0029$ x $100\% = 0,9\ \%$
2. Perpindahan Panas 2 Bar
$Q = M.C_p + \Delta T$
$= 588$ x $42.000 + 23$
$= 24.69$ Kj
3. Laju Aliran
$$\frac{82 \text{ x } 0,9}{2706 \text{ x } 142}$$
$$= \frac{73,8}{370.620}$$
$$= 0,00019 \text{ kj/s} = 0,19 \text{ watt}$$
4. Komsumsi Bahan Bakar
$$= \frac{2.524\ \text{ x } (\ 2706-142\ )}{0,9 \text{ x } 42.000}$$
$$= \frac{2.524 \text{ x } 2.564}{2.160}$$
$$= \frac{6.471.536}{2.160}$$
$$= 2.996 \text{ kg/jam}$$
5. Waktu
$$= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 47}{0,9 \text{ x } 82}$$
$$= \frac{987.000.000}{73,8}$$
$$= 72.840 \text{ menit}$$

2.2.15 Perhitungan Kinerja Katel Uap 2,1 Bar

1. Tekanan dan Efesiensi 2,1 Bar
$\Delta T = 74 - 34 = 40$
270,01 x 40 = 10.800
Waktu = 135 menit = 8.100 detik =135 x 60 = 8.100
$E_{output} = 270,01$ x $8.100 = 2.187$
$E_{input} = 18\ x\ 42.000 = 756.000$

$\frac{2.187}{756.000} = 0{,}002 \text{ x } 100\% = 0{,}2\%$

2. Perpindahan Panas 2,1 Bar
   $Q = M.C_p + \Delta T$
   $= 588\ x\ 42{,}000 + 27$
   $= 24{,}72$ Kj
3. Laju Aliran
   $= \frac{90\ x\ 0{,}2}{2706 \text{ x } 142}$
   $= \frac{18}{370.620}$
   $= 0{,}00004\ Kj/s\ = 0{,}04\ watt$
4. Komsumsi Bahan Bakar
   $= \frac{2{,}513\ x\ (2706-142)}{0{,}2\ x\ 42.000}$
   $= \frac{2{,}513\ x\ 2.564}{8.400}$
   $= \frac{6.443.332}{8.400}$
   $= 76{,}70\ kg/jam$
5. Waktu
   $= \frac{500\ x\ 42.000\ x\ 27}{0{,}2\ x\ 90}$
   $= \frac{567.000}{18}$
   $= 31.500\ menit$

2.2.16 Perhitungan Kinerja Katel Uap 2,8 Bar

1. Tekanan dan Efesiensi 2,8 Bar
   $\Delta T = 50 - 34 = 16$
   270,01 x 16 = 4.320
   Waktu = 150 = 9.000 detik = 150 x 60 = 9.000
   $E_{output} = 270{,}01\ x\ 9.000 = 2.430$
   $E_{input} = 19{,}8\ x\ 42.000 = 831.600$
   $\frac{2{,}430}{831.600} = 0{,}002x\ 100\% = 2$
2. Perpindahan Panas 2,8 Bar
   $Q = M.C_p\ +\ \Delta T$
   $= 588\ x\ 42.000 + 29$
   $= 24{,}72\ Kj$
3. Laju Aliran
   $= \frac{94\ x\ 2}{2725\ x\ 142}$
   $= \frac{188}{386.950}$
   $= 0{,}00485$ kj/s $= 520{,}34$ watt
4. Komsumsi Bahan Bakar
   $= \frac{2{,}510\ x\ (2725-142)}{2\ x\ 42.000}$
   $= \frac{2{,}510\ x\ 2.583}{84.000}$
   $= \frac{6.483.330}{84.000}$
   $= 71{,}18$ kg/jam
5. Waktu
   $= \frac{500\ x\ 42.000\ x\ 29}{2\ x\ 94}$
   $= \frac{609.000}{84.000}$
   $= 7{,}025$ menit

2.2.17 Perhitungan Kinerja Katel Uap 3,8 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 3,8 Bar
   ΔT = 51 – 34 = 17
   270,01 x 17 = 4.590
   Waktu = 165 menit = 9.0 90detik = 165 x 60 = 9.900
   Eoutput = 270,01 x 9.900 = 2,673
   Einput = 22,75 x 42.000 = 955,5
   $\frac{2{,}673}{955{,}5} = 2{,}797 \text{ x } 100\% = 279{,}7\%$
2. Pepindahan Panas 3,8 Bar
   Q = M . Cp + ΔT
   = 588 x 42.000 + 17
   = 24,696,017 Kj.
3. Laju Aliran
   $= \frac{100 \text{ x } 279{,}7}{2741{,}1 \text{ x } 142}$
   $= \frac{27{,}970}{389{,}236}$
   = 72 kj/s = 72.000 watt
4. Komsumsi Bahan Bakar
   $= \frac{2{,}524 \text{ x } (2741{,}1-142)}{279{,}7\ \text{x}\ 42.000}$
   $= \frac{2.524 \text{ x } 2{,}599{,}1}{11{,}75}$
   $= \frac{6{,}560}{11{,}75}$
   = 5,58 kg/jam
5. Waktu
   $= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 17}{279{,}7 \text{ x } 100}$
   $= \frac{357{,}000}{29{,}970}$
   = 11 Menit

2.2.18 Perhitungan Kinerja Katel Uap 4,2 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 4,2 Bar
   ΔT = 88 – 34 = 54
   270,01 x 54 = 14,585
   Waktu = 180 menit = 10,800 detik = 180 x 60 = 10.800
   Eoutput = 270,01 x 10.800 = 2,916
   Einput = 25,2 x 42.000 = 1,058
   $\frac{2{,}916}{1{,}058} = 2{,}755 \text{ x } 100\% = 275{,}5\%$
2. Pepindahan Panas 4,2 Bar
   Q = M . Cp + ΔT
   = 588 x 42.000 + 54
   = 24,696,054 Kj.
3. Laju Aliran
   $= \frac{105 \text{ x } 275{,}5}{2752{,}1 \text{ x } 142}$
   $= \frac{28{,}927}{390{,}798}$
   = 74 kj/s = 74.000 watt
4. Komsumsi Bahan Bakar
   $= \frac{2{,}526 \text{ x } (2752{,}1-142)}{275{,}5\ \text{x}\ 42.000}$
   $= \frac{2.526 \text{ x } 2{,}610}{11{,}571}$
   $= \frac{6{,}592}{11{,}57}$
   = 5,69 kg/jam
5. Waktu
   $= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 54}{275{,}5 \text{ x } 105}$
   $= \frac{1{,}134}{28{,}93}$
   = 39,20 Menit

2.2.19 Perhitungan Kinerja Katel Uap 4,25 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 4,25 Bar
   ΔT = 89 – 34 = 55

270,01 x 55 = 14,85
Waktu = 195 menit = 11.700 detik = 195 x 60 = 11.700

Eoutput = 270,01 x 11.700 = 3,159
Einput = 28,2 x 42.000 = 1,184

$\frac{3,159}{1,184}$ = 2,667 x 100% = 266,7%

2. Pepindahan Panas 4,25 Bar
   Q = M . Cp + ΔT
   = 588 x 42.000 + 55
   = 24,696,055 Kj.
3. Laju Aliran
   $= \frac{110 \text{ x } 266,7}{2753,6 \text{ x } 142}$
   $= \frac{29,337}{391,01}$
   = 75 kj/s = 75.000 watt
4. Komsumsi Bahan Bakar
   $= \frac{2,519 \text{ x } (2753,6-142)}{266,7 \text{ x } 42.000}$
   $= \frac{2.524 \text{ x } 2,611,6}{11,201}$
   $= \frac{6,591}{11,20}$
   = 5,88 kg/jam
5. Waktu
   $= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 55}{266,7 \text{ x } 110}$
   $= \frac{1,155}{29,33}$
   = 39,37 Menit

2.2.20 Perhitungan Kinerja Katel Uap 4,35 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 4,35 Bar
   ΔT = 92 – 34 = 58
   270,01 x 58 = 15,66
   Waktu = 210 menit = 12.600 detik = 210 x 60 = 12.600

Eoutput = 270,01 x 12.600 = 3,402
Einput = 32 x 42.000 = 1,344

$\frac{3,402}{1,344}$ = 2,531 x 100% = 253,1%

2. Pepindahan Panas 4,35 Bar
   Q = M . Cp + ΔT
   = 588 x 42.000 + 58
   = 24,696,058 Kj.
3. Laju Aliran
   $= \frac{120 \text{ x } 253,1}{2756,9 \text{ x } 142}$
   $= \frac{30,372}{391,47}$
   = 77 kj/s = 77.000 watt
4. Komsumsi Bahan Bakar
   $= \frac{2,529 \text{ x } (2756,9-142)}{253,1 \text{ x } 42.000}$
   $= \frac{2.524 \text{ x } 2,614,9}{10,630}$
   $= \frac{6,613}{10,63}$
   = 6,22 kg/jam
5. Waktu
   $= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 58}{253,1 \text{ x } 120}$
   $= \frac{1,218}{30,37}$
   = 40,1 Menit

2.2.21 Perhitungan Kinerja Katel Uap 4,5 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 4,5 Bar
   ΔT = 92 – 34 = 58
   270,01 x 58 = 15,66
   Waktu = 225 menit = 13.500 detik = 225 x 60 = 13.500

Eoutput = 270,01 x 13.500 = 3,645
Einput = 35,2 x 42.000 = 1,344

$\frac{3,645}{1,344}$ = 2,712 x 100% = 271,2%

2. Pepindahan Panas 4,5 Bar
   Q = M . Cp + ΔT
   = 588 x 42.000 + 58
   = 24,696,058 Kj.
3. Laju Aliran
   $= \frac{135 \text{ x } 271,2}{2739,6 \text{ x } 142}$
   $= \frac{36,612}{389,02}$
   = 94 kj/s = 94.000 watt
4. Komsumsi Bahan Bakar
   $= \frac{2,529 \text{ x } (2739,6-142)}{271,2 \text{ x } 42.000}$
   $= \frac{2.524 \text{ x } 2,597,2}{11,390}$
   $= \frac{6,613}{11,39}$
   = 5,8 kg/jam
5. Waktu
   $= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 58}{271,2 \text{ x } 135}$
   $= \frac{1,218}{36,61}$
   = 33,3 Menit

2.2.22 Perhitungan Kinerja Katel Uap 4,8 Bar

1. Tekanan dan Efisiensi 4,8 Bar
   ΔT = 94 – 34 = 60
   270,01 x 60 = 16,200
   Waktu = 240 menit = 14.400 detik = 240 x 60 = 14.400

Eoutput = 270,01 x 14.400 = 3,888
Einput = 39,2 x 42.000 = 1,646

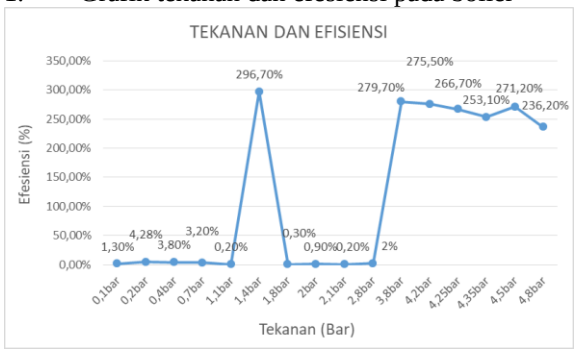
$\frac{3,888}{1,646}$ = 2,362 x 100% = 236,2%

2. Pepindahan Panas 4,8 Bar
   Q = M . Cp + ΔT
   = 588 x 42.000 + 60
   = 24,696,060 Kj.
3. Laju Aliran
   $= \frac{135 \text{ x } 236,2}{2749,7 \text{ x } 142}$
   $= \frac{31,887}{390,45}$
   = 81 kj/s = 81.000 watt
4. Komsumsi Bahan Bakar
   $= \frac{2,519 \text{ x } (2749,7-142)}{236,2 \times 42.000}$
   $= \frac{2.519 \text{ x } 2,607,7}{9,92}$
   $= \frac{4,049}{9,92}$
   = 4,08 kg/jam
5. Waktu
   $= \frac{500 \text{ x } 42.000 \text{ x } 60}{236,2 \text{ x } 135}$
   $= \frac{1,260}{31,87}$

= 39,5 Menit

2.3 Uji Perbandingan Pada Boiler Dengan Grafik

1. Grafik tekanan dan efesiensi pada boiler



Gambar 2.1 Grafik efesiensi dan tekanan

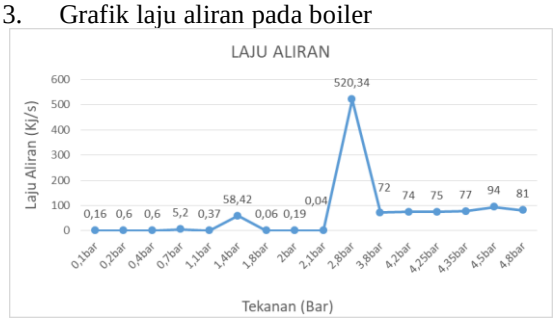
Berdasarkan grafik hubungan antara tekanan kerja dan efisiensi boiler, terlihat bahwa peningkatan tekanan tidak selalu berbanding lurus dengan efisiensi. Pada tekanan rendah (0,1–1,1 bar), efisiensi hanya berkisar 0,2%–4,28% karena energi panas belum dimanfaatkan optimal. Puncak efisiensi terjadi pada 1,4 bar sebesar 296,70%, diduga akibat tercapainya kondisi operasi optimum antara aliran air umpan, tekanan, dan pembakaran. Setelah itu, pada 1,8–2,8 bar efisiensi turun drastis hingga 0,2% (pada 2,8 bar) akibat ketidakseimbangan antara pembangkitan uap dan pelepasan panas. Namun pada 3,8–4,8 bar efisiensi kembali naik ke 236,20%–279,70%, meski tidak setinggi puncak awal, menunjukkan boiler kembali bekerja relatif efisien. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa efisiensi boiler sangat bergantung pada titik operasi optimum, sehingga pengaturan tekanan, aliran air umpan, dan rasio udara-bahan bakar perlu dikendalikan dengan baik agar kinerja tetap stabil.

2. Grafik perpindahan panas pada boiler

Gambar 2.2 Grafik Perpindahan Panas

Grafik perpindahan panas pada boiler menunjukkan nilai relatif stabil pada kisaran 24,69–24,72 kJ/s, dengan dua puncak kenaikan signifikan pada tekanan 1,1–1,4 bar (24,71 kJ/s) dan 2,8–3,8 bar (24,72 kJ/s). Hal ini menandakan adanya titik operasi yang mendukung peningkatan laju perpindahan panas akibat perbedaan temperatur yang lebih besar dan optimalnya kontak permukaan perpindahan panas. Setelah melewati puncak tersebut, nilai kembali menurun ke tingkat semula karena berkurangnya perbedaan temperatur efektif, meningkatnya kehilangan panas, atau penurunan kualitas aliran fluida. Secara keseluruhan, meskipun perpindahan panas tampak konstan, terdapat rentang tekanan tertentu yang lebih efektif sehingga penting untuk menentukan titik operasi optimal guna memaksimalkan efisiensi termal boiler.

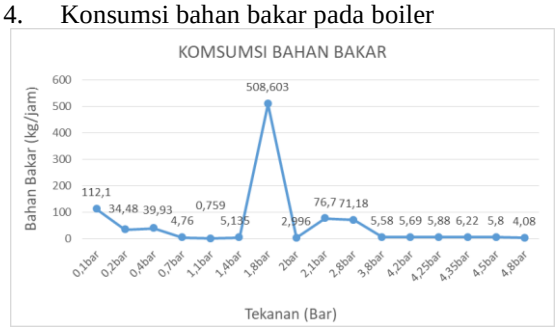
3. Grafik laju aliran pada boiler



Gambar 2.3 Grafik Laju Aliran

Grafik laju aliran menunjukkan bahwa pada tekanan rendah (0,1–1,1 bar) nilai aliran energi masih kecil, yakni 0,16–5,2 kJ/s, akibat rendahnya perbedaan tekanan dan perpindahan massa. Kenaikan signifikan pertama terjadi pada 1,4 bar dengan laju aliran 58,42 kJ/s, menandakan peningkatan kemampuan boiler dalam mentransfer energi. Setelah itu, pada 1,8–2,8 bar terjadi penurunan drastis hingga 0,04 kJ/s akibat ketidakseimbangan suplai panas dan kebutuhan energi. Lonjakan terbesar muncul pada 3,8 bar dengan laju aliran 520,34 kJ/s sebagai titik operasi optimal, sedangkan pada 4,2–4,8 bar laju aliran kembali stabil di kisaran 72–94 kJ/s. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan adanya dua titik puncak penting pada 1,4 bar dan terutama 3,8 bar yang berhubungan erat dengan kenaikan efisiensi dan perpindahan panas, sehingga dapat diidentifikasi sebagai kondisi operasi paling optimal..

4. Konsumsi bahan bakar pada boiler

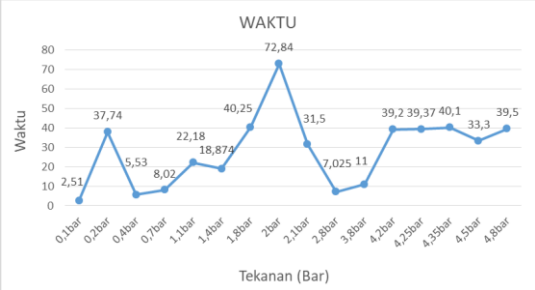


Gambar 2.4 Grafik Konsumsi Bahan Bakar

Grafik hubungan antara tekanan kerja boiler dan konsumsi bahan bakar menunjukkan pola fluktuatif. Pada tekanan rendah (0,1 bar) konsumsi mencapai 112,1 kg/jam, lalu turun tajam di 0,2 bar (34,48 kg/jam) dan terus menurun hingga titik terendah pada 1,1 bar (0,759 kg/jam). Pada 1,4 bar konsumsi tetap rendah (5,135 kg/jam), namun lonjakan drastis terjadi di 1,8 bar hingga 508,603 kg/jam, yang kemungkinan terkait beban puncak atau anomali operasional. Setelah itu konsumsi

kembali menurun di 2 bar (2,996 kg/jam) dan relatif stabil pada tekanan menengah–tinggi (3,8–4,8 bar) dalam kisaran 4–6,22 kg/jam, menunjukkan pembakaran lebih konsisten. Secara umum, konsumsi bahan bakar tidak meningkat seiring kenaikan tekanan, melainkan dipengaruhi faktor operasional seperti beban uap, efisiensi perpindahan panas, dan kondisi kerja burner, dengan operasi pada tekanan menengah–tinggi cenderung lebih efisien dan terkendali.

5. Grafik waktu pada saat boiler beroprasi



Gambar 2.5 Grafik Waktu

Grafik hubungan antara tekanan operasi dan waktu menunjukkan pola fluktuatif. Pada tekanan rendah (0,1 bar) waktu relatif singkat (2,51 menit), namun melonjak tajam pada 0,2 bar hingga 37,74 menit akibat kebutuhan energi tambahan untuk pemanasan awal. Rentang 0,4–1,1 bar menunjukkan waktu lebih rendah dan stabil (5,53–22,18 menit), menandakan efisiensi termal lebih baik. Puncak terlama terjadi pada 2 bar dengan 72,84 menit, kemungkinan karena tingginya kebutuhan entalpi penguapan dan berkurangnya perbedaan suhu pemanas-air. Setelah itu, waktu kembali menurun pada 2,1–3,8 bar (31,5–7,02 menit), lalu meningkat stabil pada tekanan tinggi >4,2 bar (39–40 menit) akibat resistansi termal dinding boiler. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa waktu operasi sangat dipengaruhi oleh sifat termodinamika air-uap dan mekanisme perpindahan panas, sehingga tidak selalu meningkat seiring kenaikan tekanan.

3 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, katel uap tipe water tube mampu menghasilkan uap secara stabil untuk proses distilasi minyak atsiri dengan tekanan kerja meningkat dari 0,1 hingga 4,8 bar dan laju aliran uap relatif stabil pada 2,506–2,529 kg/jam. Sistem ini efektif menaikkan suhu air umpan dari 34 °C menjadi 94 °C sehingga mengurangi kebutuhan energi pembakaran, meskipun konsumsi bahan bakar oli bekas juga meningkat seiring tekanan dari 1,76 hingga 39,2 kg selama 240 menit operasi. Perpindahan panas bertambah seiring kenaikan tekanan dan suhu, menunjukkan peran penting pemanasan awal dalam konversi air menjadi uap. Efisiensi tertinggi dicapai pada tekanan 4,8 bar sebesar 34,85% dengan rata-rata keseluruhan 4,96%, nilai yang masih rendah akibat pembakaran manual, rasio udara–bahan bakar yang belum optimal, serta kehilangan panas cukup besar. Meski demikian, penelitian ini membuktikan bahwa sistem mampu menjaga suplai uap kontinu dan stabil serta berpotensi meningkatkan efisiensi energi melalui optimasi suhu awal air umpan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih penulis sampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bengkalis, Bapak Alfansuri, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing, keluarga, serta rekan-rekan yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan doa selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bhakti, P. L., & Lestari, A. A. (2021). *Analisis Efisiensi Ketel Uap Kapasitas 35 Ton / Jam Di Pt*. 158–164.

Fitriadi, N., & Yus, Y. (2019). Pengaruh Penambahan Water Tube Dan Penggunaan Air Panas Hasil Penyulingan pada Boiler Terhadap Lama Waktu Penyulingan Minyak Pala. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, *3*(2), 123. https://doi.org/10.31289/jmemme.v3i2.3096

Harahap, R. A., Singarimbun, A., & ... (2021). Performansi Ketel Uap Pipa Air Mini Kapasitas 20 Kg/Jam Dan Tekanan 3 Bar. *... Nasional Social &...*,206–215.`http://ojs.polmed.ac.id/index.php/KONSEP2021/article/view/604%0Ahttp://ojs.polmed.ac.id/index.php/KONSEP2021/article/download/604/217

Putra, A., Gultom, J., & Vebritasari, A. G. (n.d.). *Analisa Pengaruh Penambahan Pipa Economizer Pada Boiler Vertikal Pipa Api Kapasitas 100 Kg / Jam Terhadap Kapasitas Uap Yang Dihasilkan*. *1*.

Safitri, L., & Sriana, T. (2024). *ANALISIS PERFORMA KINERJA BOILER A MENGGUNAKAN*. *4*(November), 587–594.

Ghifari, Rahmat Hafis. *Analisis Kinerja Efisiensi Mesin Boiler Type Water Tube Menggunakan Metode Input-Output Dan Failure Mode And Effect Analysis (Fmea)*. 2024. Phd Thesis. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Prasetyo, Ahmad Wisnu; Widayat, Widayat; Utomo, Msk Tony Suryo. Analisis Efisiensi Eksergi Water Tube Boiler Pada Unit Penyediaan Steam Di Salah Satu Plant Gas Processing Aceh, Indonesia. *Eksergi*, 2024, 21.3: 209-219.