



Penerapan Siklus Rankine Pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sederhana Sebagai Media Pembelajaran

Firman Dyan Pratama (Mahasiswa),

Yoga Jarot Pribadi (Mahasiswa),

Ir. Gatut Prijo Utomo (Dosen Pembimbing)

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: Firmandyrenata@gmail.com

yogabadi296@gmail.com

ABSTRAK

Pada era dengan kemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, segala hal dapat di akses dengan sangat mudah. Namun demikian, tuntutan untuk mengembangkan diri dalam berpikir dan bertindak menjadi tantangan hidup yang tidak dapat di hindarkan. Salah satunya adalah berinovasi dalam upaya persediaan energi. Salah satu energi yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan manusia adalah kelistrikan dimana kelistrikan merupakan satu dari sektor sumber energi yang menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan sehari-hari.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU merupakan salah satu penemuan pembangkit listrik yang prinsip kerjanya mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan listrik. Secara sederhana, susunan utama dari PLTU ini adalah generator yang terhubung dengan turbin. Turbin ini nantinya akan bergerak berputar akibat pengaruh dari uap bertekanan yang di hasilkan.

Tugas Akhir yang kami buat ini adalah bagaimana menjelaskan proses Siklus Rankine secara mendetail dengan konsep yang sederhana agar dapat dengan mudah dipahami oleh para penuntut ilmu, terutama di bidang konversi energi. Konsep pembelajaran yang kami tawarkan di dalam Tugas akhir ini adalah dengan melalui rancangan miniatur atau prototipe sederhana.

Dari analisa data dan rancang bangun di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa waktu pemanasan terhadap boiler (Panci Presto) mempengaruhi tekanan yang dihasilkan. Dengan varisasi waktu pemanasan 30 menit menghasilkan tekanan 0,5 Bar yang setara dengan 2,5 Psia dan temperature 111,61°C. Akan tetapi generator tidak menghasilkan aliran listrik dan LED pun tidak menyala. Untuk waktu pemanasan 45 menit, Boiler menghasilkan tekanan 1 Bar atau setara dengan 4,5 Psia dan temperature 120,42°C. LED yang dipasang pada generator, menyala. Itu artinya generator berfungsi dengan baik. Pada pemanasan waktu 60 menit tekanan menghasilkan 1,2 Bar atau 7,4 Psia dengan temperature 123,46°C.

Berdasarkan hasil percobaan, boiler (Panci Presto) ini hanya mampu menghasilkan tekanan sebesar 1,2 Bar dan diatas 60 menit sudah terjadi pembuangan uap melalui lubang yang ada di tutup panci presto.

Kata Kunci: Suhu, Waktu, Tekanan, Efisiensi

PENDAHULUAN

Pada era dengan kemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, segala hal dapat di akses dengan sangat mudah. Namun demikian, tuntutan untuk mengembangkan diri dalam berpikir dan bertindak menjadi tantangan hidup yang tidak dapat di hindarkan. Salah satunya adalah berinovasi dalam upaya persediaan energi. Salah satu energi yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan manusia adalah kelistrikan dimana kelistrikan merupakan satu dari sektor sumber energi yang menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan sehari-hari.

Pendistribusian listrik ke setiap pemukiman warga tidak terlepas dari adanya pembangkit-pembangkit listrik dengan berbagai sumber tenaga sebagai pembangkitnya. Salah satu pembangkit listrik yang masih sangat diandalkan oleh negara Indonesia ini adalah pembangkit listrik dengan uap sebagai sumber tenaga pembangkitnya. Pembangkit listrik tenaga uap saat ini tetap menjadi pilihan dalam konversi energi skala besar dari bahan bakar konvensional ke energi untuk memenuhi semua kebutuhan permintaan beban yang lebih besar. Sebagai contohnya adalah pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton. Dimana PLTU ini memiliki beberapa unit sebagai distributornya yang mengalirkan listrik ke seluruh Jawa-Bali. Kapasitas untuk unit 1 dan 2 adalah sebesar 2 x 400 mW. Kemudian Unit 3 yang dimiliki oleh PT. Paiton Energy Company (PEC) adalah sebesar 1x800 mW. Unit 5 dan 6 yang dimiliki oleh PT. Jawa Power adalah sebesar 2 x 610 mW. Unit 7 dan 8 PEC adalah sebesar 2 x 610 mW. Serta unit 9 PLN sebesar 1 x 660 mW.

Sistem kerja di PLTU menggunakan prinsip Siklus Rankine, dimana Siklus Rankine menjadi penghasil energi listrik terbesar dengan pangsa 80 persen dari seluruh sumber energi listrik di dunia. Siklus Rankine ini dikembangkan oleh William John Macquorn Rankine pada abad ke 19. Siklus Rankine merupakan suatu siklus yang mengonversikan energi panas menjadi energi kerja. Aliran yang berkerja pada siklus ini merupakan

aliran tertutup dengan sumber panas yang di suplai secara eksternal yang biasanya menggunakan fluida berjenis air. Ada beberapa bahan bakar atau sumber panas yang digunakan secara umum pada Siklus Rankine ini, yaitu batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir serta menggunakan panas yang berasal dari matahari.

Di dalam masa pandemi akibat mewabahnya virus COVID 19 seperti sekarang ini, banyak perubahan yang harus di lakukan. Di sektor apapun, beradaptasi dengan lingkungan dan hal baru sangat diperlukan. Inovasi-inovasi sederhana sampai dengan yang besar harus dapat diciptakan. Hal ini tidak terlepas pula dari sektor pendidikan. Dimana sektor ini menjadi salah satu sektor yang terdampak akibat COVID 19.

Salah satu inovasi yang dilakukan oleh pihak-pihak terkait adalah dengan melakukan sistem pembelajaran secara “Dalam Jaringan” atau lebih dikenal dengan istilah Daring atau online. Hal ini lah yang menjadi dasar dalam pembuatan Tugas Akhir kami ini.

Tugas Akhir yang kami buat ini adalah bagaimana menjelaskan proses Siklus Rankine secara mendetail dengan konsep yang sederhana agar dapat dengan mudah dipahami oleh para penuntut ilmu, terutama di bidang konversi energi. Konsep pembelajaran yang kami tawarkan di dalam Tugas akhir ini adalah dengan melalui rancangan miniatur atau prototipe sederhana.

TINJAUAN PUSTAKA

PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU adalah salah satu penemuan pembangkit listrik yang prinsip kerjanya mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan listrik. Secara sederhana, susunan utama dari PLTU ini adalah generator yang terhubung dengan turbin. Turbin ini nantinya akan bergerak berputar akibat pengaruh dari uap bertekanan yang di hasilkan.

Ada 3 tahapan proses konversi energi yang bekerja pada PLTU, yaitu:

1. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas yang berbentuk uap.
2. Energi panas di konversikan menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Energi mekanik yang berbentuk putaran di ubah menjadi energi listrik.

3-4: Proses ekspansi reversibel adiabatik di dalam turbin yang mampu menggerakkan generator.

4-1: Proses transfer panas pada tekanan tetap di dalam kondensor

Maka analisis setiap proses dalam siklus tersebut dapat ditulis untuk setiap satuan massa sebagai berikut:

Kerja pompa :

$$W_P = m(h_2 - h_1)$$

Kalor masuk boiler :

$$Q_{in} = m(h_3 - h_2)$$

Kerja turbin :

$$W_T = m(h_3 - h_4)$$

Kalor yang terbuang :

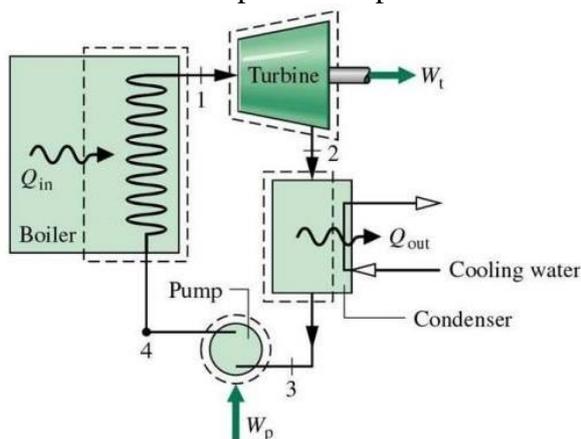
$$Q_{out} = m(h_4 - h_1)$$

Efisiensi Termal :

$$\eta_{th} = \frac{W_T - W_P}{Q_{in}}$$

Analisa Termodinamika

Siklus Rankine adalah siklus teoritis yang mendasari proses siklus di pembangkit listrik tenaga uap. Siklus Rankine ini tidak sama dengan siklus udara yang ada. Hal ini terlihat pada fluida yang bekerja di dalamnya, yaitu adanya proses penguapan dan kondensasi. Oleh karena itu apa yang dihasilkan dari siklus Rankine ini pastilah uap.



Gambar 1 Siklus Rankine

Siklus Rankine yang ideal tidak melibatkan masalah ireversibilitas internal. Ireversibilitas internal hasil dari gesekan, throttling dan pencampuran fluida. Hal terpenting dalam siklus ini adalah ireversibilitas pada turbin dan pompa dan banyaknya kerugian tekanan pada penukar panas, pipa, siku, dan katup. Proses-proses yang terjadi pada Siklus Rankine adalah:

- 1-2: Proses pemompaan reversible adiabatik dalam pompa.
- 2-3: Proses transfer panas dengan tekanan tetap di dalam ketel uap (boiler).

Komponen-Komponen Pada PLTU Secara Umum

Boiler atau ketel uap adalah bagian dari mesin yang bekerja sebagai wadah fluida dalam hal ini adalah air dimana nantinya air akan diubah ke dalam wujud yang berbeda, yaitu uap bertekanan. Proses pengubahan air menjadi uap terjadi melalui proses air dalam pipa-pipa yang dipanaskan dengan panas pembakaran bahan bakar. Proses pembakaran ini berlangsung terus menerus di dalam ruang bakar dengan mensuplai udara dari luar. Boiler memiliki tekanan uap yang cukup tinggi yang selanjutnya di teruskan ke turbin. Air yang dipanaskan menghasilkan uap jenis superheated dengan temperatur dengan kisaran tekanan mulai dari 1 bar hingga 200 bar.

Boiler terdiri dari beberapa bagian yang memiliki fungsi, yaitu:

1. Tungku Pengapian

Proses pembakaran bahan bakar terjadi di tungku pengapian yang akan menjadi sumber energi panas.

2. Steam Drum

Memiliki fungsi sebagai penampung fluida air serta tempat terbentuknya uap, dengan perbandingan air dan uap adalah 50%:50%.

3. Superheater

Merupakan tempat pengeringan uap, karena uap yang keluar dari steam drum masih basah dan tidak dapat digunakan, maka proses pasca pemanasan menggunakan pipa superheater yang dipanaskan dengan suhu 260 °C hingga 350 °C.

4. Air Heater

Berfungsi memanaskan udara yang digunakan untuk menyempurnakan pembakaran. Sebelum melewati pemanas udara, udara yang akan dihembuskan memiliki suhu yang sama dengan suhu udara normal (suhu luar) sebesar 38°C. Namun, setelah melalui air heater suhu udara menjadi 230°C. Karena uap air dapat mengganggu proses pembakaran.

5. Dust Collector

Bagian ini digunakan untuk mengumpulkan debu yang terperangkap dalam aliran pembakaran. Keuntungan menggunakan alat ini adalah gas hasil pembakaran dilepaskan ke udara tanpa debu dan alat terhindar dari kerusakan akibat gesekan.

6. Pengatur Pembuangan Gas

Asap dari ruang bakar dihisap oleh IDF (Induction Draft Fan) melalui dust collector dan dibuang melalui cerobong asap. Jika perlu, regulator gas buang diatur terlebih dahulu sebelum menyalakan IDF, karena semakin besar flap dibuka, semakin besar daya isapnya. Hal itu akan terjadi dari dalam tungku.

7. Safety Valve

Digunakan untuk mengeluarkan uap ketika tekanan uap telah melebihi batas yang telah ditentukan. Katup ini terdiri dari dua jenis yaitu katup pengaman uap basah dan katup pengaman uap kering. Katup pengaman ini dapat diatur sesuai dengan aspek maksimum yang ditentukan.

8. Sight Glass

Gelas ukur dipasang di drum atas, untuk menentukan ketinggian air di drum dan memudahkan untuk memeriksa ketinggian air di boiler saat boiler bekerja.

9. Pembuangan Air Ketel

Komponen boiler ini menghilangkan air di drum atas. Penghapusan air terjadi dengan zat yang tidak larut, contoh sederhana adalah munculnya busa, yang dapat mengganggu pengamatan gelas ukur. Katup flush yang terpasang di bagian atas drum digunakan untuk mengeluarkan air dari drum. Katup ini bekerja ketika jumlah busa telah melebihi batas yang telah ditentukan.

Turbin merupakan komponen yang mampu bergerak akibat pengaruh sebuah tiupan atau dorongan dari uap yang dihasilkan dari boiler. Disalurkan melalui pipa. Prinsip kerja dari turbin adalah mengubah energi kinetik yang akan diteruskan ke generator dan menjadi energi listrik.

Bagian-bagian Turbin:

1. Shaft Seal

Shaft Seal adalah bagian turbin antara poros dan housing yang berfungsi mencegah uap keluar dari turbin melalui ruang antara poros dan housing.

2. Turbin Bearings

Fungsi bantalan turbin uap adalah untuk menahan komponen aksial pada tempatnya, untuk menopang berat rotor dan untuk menahan gaya yang dihasilkan terhadap turbin oleh uap yang dihasilkan.

3. Rotor Turbin

Rotor terdiri dari beberapa sudu yang diserut atau diikat sehingga membentuk seperti lingkaran dan di tengah-tengahnya ada poros untuk tempat duduknya sudu-sudu tadi, sehingga membentuk kincir.

4. Stator Turbin

Bagian dari turbin uap yang tidak berputar seperti rumah turbin. Sudu tetap ini digunakan untuk mengarahkan aliran uap menuju sudu gerak serta nozzle.

5. Guidance Blade

Sudu antar dengan fungsi untuk mengcounter arah atau mengantarkan energi panas dari sudu jalan ke sudu gerak, dan tempat kedudukannya tetap.

Kondensor merupakan bagian dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan prinsip dari kondensasi. Sesuai dengan prinsip kerjanya, kondensor memiliki peranan yaitu merubah uap menjadi air kembali. Hasil dari kondensor tersebut akan di alirkan kembali ke dalam boiler untuk di proses menjadi uap oleh boiler. Proses transfer ini dibantu oleh pompa dari kondensor ke boiler.

Pompa merupakan bagian dari pembangkit listrik yang berfungsi untuk mengalirkan fluida bertekanan tinggi ke yang rendah. Pompa ini mengalirkan fluida hasil dari kondensasi ke dalam boiler, menyuplai air agar proses dari Siklus Rankine tetap berjalan dengan sempurna.

PROSEDUR EKSPERIMEN

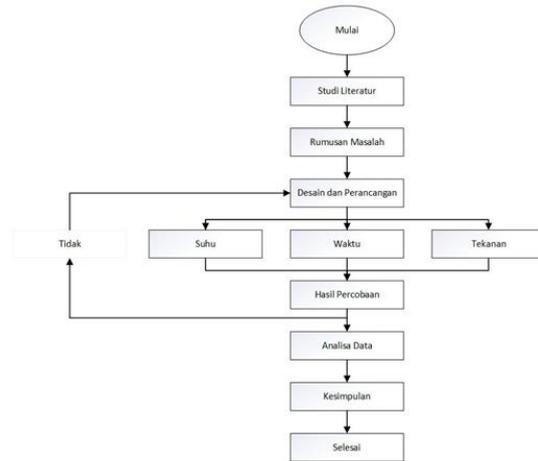
Proses Studi Literatur

Proses studi literatur diawali dengan mencari referensi dari berbagai sumber atau kumpulan jurnal yang ada. Proses ini menentukan alur dari proses berjalannya pengerjaan tugas akhir ini.

Studi literatur ini mengarah pada pembahasan bagaimana siklus Rankine bisa bekerja dan bagaimana perhitungannya.

Pengujian

Pengujian dilakukan setelah studi literatur dilakukan. Data yang didapatkan dari pengujian digunakan untuk perhitungan lainnya. Data dari pengujian ini menggunakan 3 variabel yaitu suhu, waktu, dan tekanan. Ketiga variabel tersebut menghasilkan sebuah data efisiensi termal.



Gambar 2. Alur Metode Penelitian



Gambar 3. Skema Perancangan Alat Uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji

Spesifikasi Generator:

- a) Tegangan : 12 Volt (DC)
- b) Arus : 1 Ampere
- c) Speed : 6.000 rpm

Spesifikasi Pompa:

- a) Debit Air
Max Flow : 3.5L/Min
- b) Daya Dorong
Max Pressure : 0.2 Bar
Voltase : DC 12V 2.0A

$$H2s = H1 + V1 (P2 - P1)$$

$$H2s = 107,86 \frac{Btu}{Lbm} + 0,016293 \frac{ft^3}{lbm} (7,3 - 2,9 \text{ Psia}) \times 144 \frac{lb}{ft^2} \times \frac{Btu}{778,17 \text{ lb} \cdot ft / \text{Psia}}$$

Waktu (Min)	Tekanan (Bar)	Temperatur (C)
----------------	------------------	-------------------

30	0,5	111,61
45	1	120,42
60	1,2	123,46

Gauge Pressure (BAR)	Temperature °C	Gauge Pressure (BAR)	Temperature °C	Gauge Pressure (BAR)	Temperature °C
0	100	3,6	148,84	19	212,47
0.1	102,66	3,8	150,44	20	214,96
0.2	105,1	4	151,96	21	217,35
0.3	107,39	4,5	155,55	22	219,65
0.4	109,55	5	158,92	23	221,85
0.5	111,61	5,5	162,08	24	224,02
0.6	113,58	6	165,04	25	226,12
0.7	115,4	6,5	167,83	26	228,15
0.8	117,14	7	170,5	27	230,14
0.9	118,8	7,5	173,02	28	232,05
1	120,42	8	175,43	29	233,93
1.1	121,96	8,5	177,75	30	235,78
1.2	123,46	9	179,97	31	237,55
1.3	124,9	9,5	182,1	32	239,28
1.4	126,28	10	184,13	33	240,97
1.5	127,62	10,5	186,05	34	242,63
1.6	128,89	11	188,02	35	244,26
1.7	130,13	11,5	189,82	36	245,86
1.8	131,37	12	191,68	37	247,42
1.9	132,54	12,5	193,43	38	248,95
2	133,69	13	195,1	39	250,42

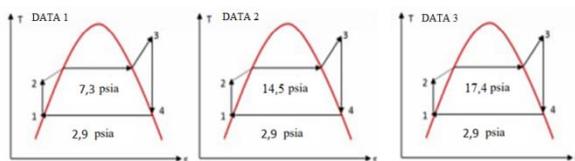
Sebuah pembangkit tenaga uap dengan memakai sistem model Rankine Uap Jenuh dengan data data yang diperoleh sebagai berikut:

Kondisi masuk pompa cair jenuh dengan tekanan 0,2 Bar. Kondisi masuk turbin uap jenuh dengan tekanan variabel 0,5 Bar , 1 Bar, dan 1,2 Bar. Bila efisiensi pompa dan turbin sama yaitu 85%, dan massa yang mengalir sebesar 100 lbm/detik.

Pembahasan Pengujian

Diketahui :

- P1 = 0,2 Bar = 2,9 Psia
- P2A = 0,5 Bar = 7,3 Psia
- P2B = 1 Bar = 14,5 Psia
- P2C = 1,2 Bar = 17,4 Psia
- Efisiensi = 85%
- M = 100 lbm/detik



Gambar 4. Data diagram T-S pengujian

Data 1:

P	V1 = Vf	H1 = hf
2	0,01623	94
2,9	0,016293	107,86
3	0,01630	109,4

$$H2s = 107,86 \frac{Btu}{Lbm} + 0,01327 \frac{Btu}{Lbm}$$

$$H2s = 107,8733 \frac{Btu}{Lbm}$$

Daya pompa:

$$Wpa = \frac{H2 - H1}{\eta p} = \frac{107,18733 - 107,86}{85} = 0,000156 \frac{Btu}{Lbm}$$

$$H2 = H1 + Wpa = 107,86 + 0,000156 = 107,86 \frac{Btu}{Lbm}$$

P	hg	Sg
6	1134,2	1,8294
7,3	1137.52	1.81419
8	1139,3	1,8060

Panas yang dibutuhkan boiler

$$Q_{boiler} = H3 - H2 = 1137,515 - 107,86 = 5,655 \text{ Btu/lbm}$$

P	Sf	Sfg
2	0,175	1,745
2,9	0.198	1,69136
3	0,2009	1,6854

$$S3 = S4 = 1.81419$$

$$S4 = Sf + X.Sfg$$

$$X = \frac{(S4 - Sf)}{Sfg}$$

$$X = \frac{1.81419 \frac{Btu}{Lbm} - 0,198 \frac{Btu}{Lbm}}{1,69136} = 0,96$$

P	Hf	Hfg
2	94	1022,1
2,9	107,86	1014
3	109,4	1013,1

$$H4 = Hf + X.Hfg$$

$$H4s = 107,86 \frac{Btu}{Lbm} + (0,96 \cdot 1014 \frac{Btu}{Lbm})$$

$$H4s = 107,86 \frac{Btu}{Lbm} + 973,44 \frac{Btu}{Lbm}$$

$$H4s = 1081,3 \text{ Bt/Lbm}$$

$$Wta = (H3 - H4s) \eta t$$

$$Wta = (1137,515 - 1081,3) 0,85$$

$$Wta = 47,78 \text{ Btu/Lbm}$$

$$H4 = H3 - Wta = 1137,515 - 47,78 = 1089,735$$

$$\text{Btu/ Lbm}$$

Efisiensi Thermal:

$$Q_b = H_3 - H_2$$

$$Q_b = 1137,515 - 107,86 = 1029,655 \text{ Btu/Lbm}$$

$$\eta = \frac{W_{ta} - W_{pa}}{Q_b}$$

$$\eta = \frac{47,78 - 0,000156}{1029,655} = 0,00464$$

$$= 0,464\%$$

Dengan data hasil percobaan dan perhitungan dengan variasi Tekanan 0,5 Bar = 7,3 Psia dapat menghasilkan Efisiensi Termal 0,464 %

Tekanan 0,5 Bar didapat dengan memanaskan boiler selama 30 menit

Data 2 :

P	V1 = Vf	H1 = hf
2	0,01623	94
2,9	0,016293	107,86
3	0,01630	109,4

$$H_{2s} = H_1 + V_1 (P_2 - P_1)$$

$$H_{2s} = 107,86 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}} + 0,016293 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbm}} (14,5 - 2,9 \text{ Psia}) \times 144 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \times \frac{\text{Btu}}{778,17 \text{ lb ft}}$$

$$H_{2s} = 107,86 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}} + 0,03497 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}}$$

$$H_{2s} = 107,895 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}}$$

Daya Pompa :

$$W_{pa} = \frac{H_2 - H_1}{\eta_p} = \frac{107,895 - 107,86}{85} = 0,000412 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}}$$

$$H_2 = H_1 + W_{pa} = 107,895 + 0,000412 = 107,895412 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}}$$

P	H3=hg	S3=Sg
14	1149,6	1,7608
14,5	1150,246	1,7579
14,696	1150,5	1,7569

Panas yang dibutuhkan boiler adalah

$$Q_{\text{boiler}} = H_3 - H_2 = 1150,246 - 107,895412 = 1042,35 \text{ Btu/lbm}$$

P	Sf	Sfg
---	----	-----

2	0,175	1,745
2,9	0,198	1,69136
3	0,2009	1,6854

$$S_3 = S_4 = 1,7579$$

$$S_4 = S_f + X \cdot S_{fg}$$

$$X = \frac{(s_4 - S_f)}{S_{fg}}$$

$$X = \frac{1,7579 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}} - 0,198 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}}}{1,69136} = 0,92$$

P	Hf	Hfg
2	94	1022,1
2,9	107,86	1014
3	109,4	1013,1

$$H_4 = H_f + X \cdot H_{fg}$$

$$H_{4s} = 107,86 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}} + (0,92 \cdot 1014 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}})$$

$$H_{4s} = 107,86 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}} + 932,88 \frac{\text{Btu}}{\text{Lbm}}$$

$$H_{4s} = 1040,74 \text{ Btu/Lbm}$$

$$W_{ta} = (h_3 - H_{4s}) \eta_t$$

$$W_{ta} = (1150,246 - 1040,74) \cdot 0,85$$

$$W_{ta} = 8,08 \text{ Btu/Lbm}$$

$$H_4 = h_3 - W_{ta} = 1150,246 - 8,08 = 1142,166 \text{ Btu/Lbm}$$

Efisiensi Termal:

$$Q_b = H_3 - H_2$$

$$Q_b = 1150,246 - 107,895412 = 1042,35 \text{ Btu/Lbm}$$

$$\eta = \frac{W_{ta} - W_{pa}}{Q_b}$$

$$\eta = \frac{8,08 - 0,000412}{1042,35} = 0,00775$$

$$= 0,775\%$$

Dengan data hasil percobaan dan perhitungan dengan variasi Tekanan 1 Bar = 14,5 Psia dapat menghasilkan Efisiensi Termal 0,775 %

Tekanan 1 Bar didapat dengan memanaskan boiler selama 45 menit

Data 3:

P	V1 = Vf	H1 = hf
2	0,01623	94
2,9	0,016293	107,86
3	0,01630	109,4

$$H2s = H1 + V1 (P2 - P1)$$

$$H2s = 107,86 \frac{Btu}{Lbm} + 0,016293 \frac{ft^3}{lbm} (17,4 - 2,9 Psia) \times 144 \frac{lb_f}{ft^2 / Psia} \times \frac{Btu}{778,17 lb_f ft}$$

$$H2s = 107,86 \frac{Btu}{Lbm} + 0,04372 \frac{Btu}{Lbm}$$

$$H2s = 107,904 \frac{Btu}{Lbm}$$

Daya Pompa:

$$Wpa = \frac{H2 - H1}{\eta p} = \frac{107,904 - 107,86}{85} = 0,000517 \frac{Btu}{Lbm}$$

$$H2 = H1 + Wpa = 107,895 + 0,000517 = 107,895517 \frac{Btu}{Lbm}$$

P	H3=hg	S3=Sg
16	1152,1	1,7501
17,4	1153,71	1,74345
18	1154,4	1,7406

Panas yang dibutuhkan boiler adalah

$$Q_{boiler} = H3 - H2 = 1153,71 - 107,895517 = 1045,814 \text{ Btu/lbm}$$

P	Sf	Sfg
2	0,175	1,745
2,9	0,198	1,69136
3	0,2009	1,6854

$$S3 = S4 = 1,74345$$

$$S4 = Sf + X.Sfg$$

$$X = \frac{(s4 - Sf)}{Sfg}$$

$$X = \frac{1,74345 \frac{Btu}{Lbm} - 0,198 \frac{Btu}{Lbm}}{1,69136} = 0,9137$$

P	hf	Hfg
2	94	1022,1
2,9	107,86	1014
3	109,4	1013,1

$$H4 = hf + X.hfg$$

$$H4s = 107,86 \frac{Btu}{Lbm} + (0,9137 \cdot 1014) \frac{Btu}{Lbm}$$

$$H4s = 107,86 \frac{Btu}{Lbm} + 926,5 \frac{Btu}{Lbm}$$

$$H4s = 10034,3518 \text{ Bt/Lbm}$$

$$Wta = (H3 - H4s) \eta t$$

$$Wta = (1153,71 - 1040,74) \cdot 0,85$$

$$Wta = 96,02 \text{ Btu/Lbm}$$

$$H4 = H3 - Wta = 1153,71 - 96,02 = 1057,69 \text{ Btu/Lbm}$$

Efisiensi Termal:

$$Qb = H3 - H2$$

$$Qb = 1153,71 - 107,895517 = 1045,814 \text{ Btu/Lbm}$$

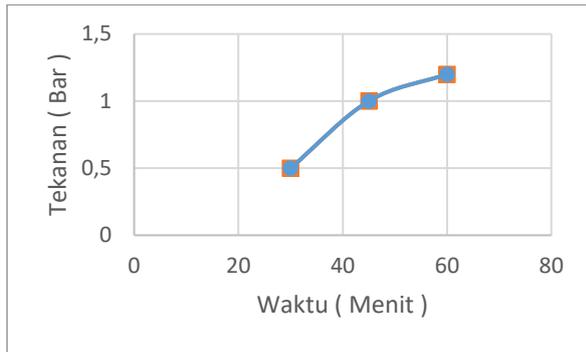
$$\eta = \frac{Wta - Wpa}{Qb}$$

$$\eta = \frac{96,02 - 0,000517}{1045,814} = 0,0918 = 9,18\%$$

Dengan data hasil percobaan dan perhitungan dengan variasi Tekanan 1,2 Bar = 17,4 Psia dapat menghasilkan Efisiensi Termal 9,18 % Tekanan 1 Bar didapat dengan memanaskan boiler selama 60 menit.

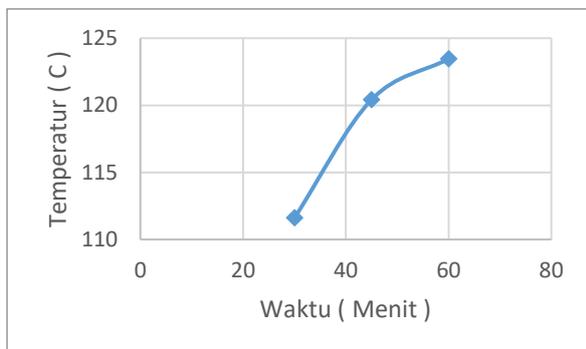
Waktu (min)	Tekanan (Bar)	Tekanan (Psia)	Temperatur (°C)	Efisiensi (%)	Keterangan
30	0,5	7,3	111,61	0,464 %	Turbin generator tidak berputar
45	1	14,5	120,42	0,775 %	Turbin berputar, lampu menyala.
50	1,2	17,4	123,46	9,18 %	Turbin berputar, lampu menyala. Ada Gas Buang (sistem dari boiler - Panci Presto)

Grafik Waktu Terhadap Tekanan:



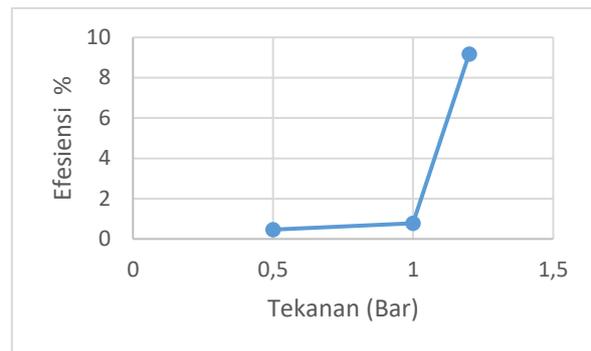
Dengan data tabel diatas dapat menghasilkan grafik dengan variabel waktu mempengaruhi tekanan pada pemanasan selama 30 menit tekanan yang dihasilkan 0,5 Bar atau 7,3 Psia. Pada pemanasan 45 menit menghasilkan tekanan 1 Bar atau 14,5 Psia. Pada waktu pemanasan 60 menit menghasilkan 1,2 bar atau 17,4 Psia. Tekanan maksimal yang dihasilkan sebesar 1,2 Bar karena diatas nilai tersebut terjadi pembuangan gas yang merupakan sistem dari boiler sendiri.

Grafik Waktu Terhadap Temperatur:



Dari data hasil percobaan waktu juga mempengaruhi temperatur yang dihasilkan. Pada pemanasan selama 30 menit, menghasilkan suhu sebesar 111,61 °C. Pada pemanasan 45 menit menghasilkan suhu 120,42 °C. Pemanasan selama 60 menit menghasilkan suhu sebesar 123,46 °C.

Grafik Tekanan Terhadap Efisiensi:



Dari Grafik diatas dapat dilihat bahwa tekanan mempengaruhi nilai efisiensi termal dari Siklus Rankine. Pada tekanan 0,5 Bar efisiensinya 0,464 %, pada tekanan 1 Bar efisiensinya 0,775 %, pada tekanan 1,2 bar efisiensinya 9,18 %.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari analisa data dan rancang bangun di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa waktu pemanasan terhadap boiler (Panci Presto) mempengaruhi tekanan yang dihasilkan. Dengan varisasi waktu pemanasan 30 menit menghasilkan tekanan 0,5 Bar yang setara dengan 2,5 Psia dan temperature 111.61°C. Akan tetapi generator tidak menghasilkan aliran listrik dan LED pun tidak menyala. Untuk waktu pemanasan 45 menit, Boiler menghasilkan tekanan 1 Bar atau setara dengan 4,5 Psia dan temperature 120,42°C. LED yang dipasang pada generator, menyala. Itu artinya generator berfungsi dengan baik. Pada pemanasan waktu 60 menit tekanan menghasilkan 1,2 Bar atau 7,4 Psia dengan temperature 123,46°C.

Berdasarkan hasil percobaan, boiler (Panci Presto) ini hanya mampu menghasilkan tekanan sebesar 1,2 Bar dan diatas 60 menit sudah terjadi pembuangan uap melalui lubang yang ada di tutup panci presto.

Saran dari Penulis adalah Penulis berharap agar para pembaca bisa memahami tujuan dari penyusunan laporan tugas akhir ini. Selain sebagai penambah wawasan, penulis juga berharap agar prototipe ini bisa dikembangkan agar lebih efektif dalam segala sudut pandang.

REFERENSI

- Abdul, S (2019). Analisa Siklus Uap PLTU Pangkalan Susu PT. Indonesia Power (Artikel). Aceh (ID): Universitas Samudra.
- BPPT (2018). *Indonesia Energy Outlook 2018, Center for Assessment of Process and Energy Industries*
- Ependi, S. (2017). Desain dan Analisis Termodinamika Sistem Siklus Rankine Organik Berbahan Bakar Biomassa (skripsi). Sumatera Utara (ID): Universitas Sumatera Utara
- Hendratama, M (2018). SIMULASI TERMODINAMIKA PENINGKATAN PERFORMANSI SISTEM PEMBANGKIT TENAGA UAP DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BANJARSARI 110 MW MENGGUNAKAN CYCLE TEMPO (skripsi). Palembang (ID): Universitas Sriwijaya.