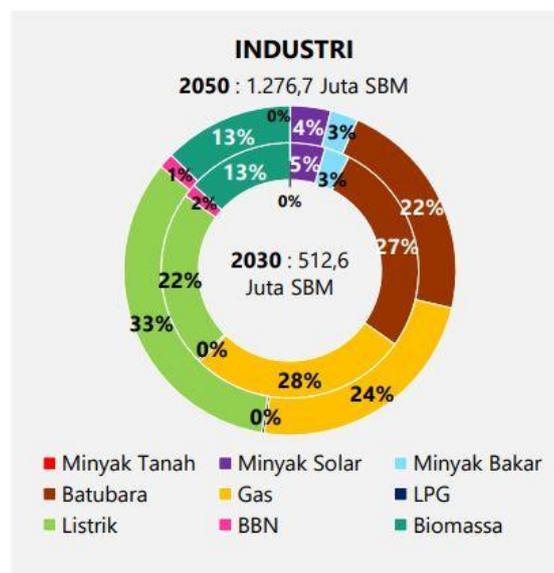


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kawasan industri pada tahun 2018 banyak menggunakan batu bara, gas, dan listrik, selain minyak solar dan bahan bakar minyak. Pada tahun 2050, diperkirakan ketiga jenis energi ini akan terus banyak digunakan dapat dilihat pada gambar 1.1 berikut (Adiarso, Edi Hilmawan, Agus Sugiyono, 2020).



Gambar 1. 1 Perbandingan penggunaan energi pada sektor industry

Sumber : (Adiarso, 2020)

Dengan banyaknya konsumsi energi pada sektor industri, maka terdapat banyak sumber energi panas sisa produksi/panas yang terbuang (*waste heat*) yang bisa dijumpai terutama pada industri-industri semen. Pada industri semen, sumber panas yang terbuang pada proses produksi semen terdapat pada bagian *suspension preheater* dan dari *grate cooler* dengan suhu sebesar ± 300 °C. Panas yang terbuang ini sangat berpotensi untuk dimanfaatkan kembali untuk membangkitkan tenaga listrik yang cukup signifikan. Dalam dunia keteknikan (*engineering*), untuk mengatasi

permasalahan potensi panas yang terbuang dari proses produksi semen tersebut, pengembangan proses pengolahan energi berupa pembangkit listrik berbasis siklus termodinamika yaitu berupa teknologi *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG). WHRPG merupakan teknologi yang menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan tekanan dan suhu yang rendah dari panas yang terbuang dari proses produksi yang digunakan untuk memanaskan air di boiler menjadi uap. Uap yang dihasilkan akan digunakan untuk menciptakan energi mekanik pada turbin uap berparameter rendah.

Operasi dasar untuk semua pembangkit listrik yang menggunakan fluida air untuk menghasilkan listrik yaitu siklus Clausius-rankine, adapun Siklus Rankine Organik (SRO) yang bekerja berdasarkan prinsip siklus Clausius-Rankine, namun, sistem ini menggunakan zat organik yang memiliki titik didih rendah dan tekanan uap tinggi sebagai fluida kerja untuk menghasilkan tenaga bukannya air dan penggunaan fluida organik sebagai fluida kerja membuat sistem yang cocok untuk memanfaatkan gas buang (Hussam Jouhara, et al, 2018).

Dalam pembakaran yang dilakukan untuk proses produksi semen berproses pada sistem kiln yaitu *Suspension Preheater dan Cooler*. Sehingga menghasilkan panas buang yang dapat digunakan kembali untuk menghasilkan energi listrik pada teknologi WHRPG. Jumlah energi panas yang berasal dari sistem kiln yaitu sebesar 50,54% untuk digunakan dalam proses pembuatan *clinker*, sisa energi dari sistem kiln terbuang menuju lingkungan dengan aliran material dan gas maupun terjadi perpindahan panas pada komponen sistem. Unit kiln menghasilkan panas dari gas buangnya yang berasal dari proses produksi semen dapat menghasilkan energi listrik mencapai 7,868 MW dengan keseluruhan efisiensi sistem adalah 25,255% (Rivaldi, Ira Devi Sara, dan Mahdi Syukri, 2019).

Analisis daya menunjukkan bahwa lebih dari setengah energi bahan bakar terbuang dengan berbagai cara. Berdasarkan dokumentasi pabrik semen

Teheran, kebutuhan daya listrik sebesar 17.732 kW, oleh karena itu menggunakan sistem *waste heat recovery* dapat menghasilkan sekitar 30% dari daya listrik dapat digunakan. Persyaratan untuk pemanasan adalah air panas dengan debit 6168,9 liter per jam dan suhu 80 derajat Celcius. Menggunakan sistem *waste heat recovery* dapat menghasilkan air panas dengan laju aliran 7668/jam dan suhu sebesar 80 derajat Celcius. Selain itu, menggunakan sistem *waste heat recovery* mengurangi limbah hasil pembakaran hingga 32,32% (Abbas Naemi, et al 2018).

Waste Heat Recovery dengan siklus ORC dilakukan untuk kombinasi parameter dari mesin diesel laut yang diproduksi oleh Hudong Heavy Machinery Co., Ltd. dan mesin pembakaran suhu rendah dengan bahan bakar ganda. sistem ORC menggunakan bioetanol dari mikroalga terpilih sebagai fluida kerja yang dirancang untuk analisis potensi pemanfaatan panas buang dari gas buang mesin menghasilkan kinerja tertinggi dalam efisiensi termal sistem sekitar 2,28% dan total output daya bersih yang dihasilkan mencapai 5.10kW (Z. M. Nawi, et al, 2018).

Gas buang dari kiln pada industri semen rata-rata sebesar 400 °C, dan suhu udara dikeluarkan dari cooler adalah 215 °C. Keduanya aliran akan digunakan melalui *Waste Heat Recovery System Generation (WHRSG)*, dan energi panas yang tersedia akan ditransfer pada air melalui WHRSG untuk menghasilkan uap yang akan digunakan untuk menyalakan generator listrik yang digerakkan oleh turbin. energi yang akan di gunakan melalui WHRSG menghasilkan daya listrik sebesar 2263 kW (Ravikant rai dan Chandra Prakash Sonkar, 2020)

Aplikasi Siklus rankine organik dengan menggunakan sumber panas dari gas buang yang dihasilkan pada PLTU Di Indonesia rata-rata mempunyai suhu sebesar 150 °C yang dipakai untuk proses memanaskan fluida kerja berupa fluida organik menjadi uap dengan temperatur didih yang dimiliki rendah. Dengan menerapkan siklus rankine organik mampu menghasilkan

daya sebesar 6053 kW dengan fluida kerja organik R142b, 5705 kW dengan fluida kerja organik R123, dan 5502 kW dengan fluida kerja organik Isopentane dan memiliki nilai efisiensi sebesar 18.54%, 18.51%, dan 17.85% untuk fluida kerja R142b, R123, dan Isopentane (Mohammad Azis M, 2017).

Integrasi siklus Rankine organik dengan mesin pengapian kompresi (CI) untuk memulihkan panas limbah dari gas buang yang dilakukan menghasilkan Efisiensi termal dari sistem mesin-ORC di kisaran sekitar 10–25% Karena efisiensi termal yang lebih rendah dari sistem ORC, mesin dengan di bawah 20 kW mungkin tidak bisa dilakukan untuk integrasi sistem ORC, Meskipun fluida kerja Benzene dan R141b memberikan efisiensi termal yang tinggi, R245fa terpilih sebagai kandidat yang menjanjikan berdasarkan kinerja yang lebih baik, ketersediaan, ekonomi dan aspek lingkungan (ODP dan GWP rendah). Dengan pertimbangan karakteristik lingkungan (nilai ODP < 0.20, nilai GWP < 1500), tiga cairan teratas yang menyajikan nilai efisiensi yang lebih tinggi adalah R245fa, R141b, dan R123 (Venkateswarlu Chintala, Suresh Kumar a dan Jitendra K. Pandeyb, 2018).

Sistem ORC dengan fluida organik jenis R245fa mempunyai kemampuan yang dapat diterapkan dengan massa laju aliran tertinggi sebesar 0,2 kg/s dan perpindahan energi panas yang terjadi pada kondensor mencapai 43,35 kJ/s, jika dibandingkan dengan evaporator lebih besar yaitu sebesar 50,094 kJ/s. Daya poros yang dihasilkan pada pompa menghasilkan maksimum mencapai 0,204 kJ/s sedangkan daya keluar dari *expander* mempunyai nilai terbesar adalah 5,022 kJ/s. Melihat hal tersebut, penerapan pada sistem ORC dibutuhkan energi dalam membuat pompa bergerak jauh lebih sedikit jika membandingkan dengan energi yang didapat oleh *scroll expander*. penerapan pada sistem ORC ini mempunyai nilai efisiensi termal yang tertinggi terjadi saat laju aliran massa 0,2 kg/s yaitu sebesar 12,3% (Mochamad Denny Surindra,2019).

Studi yang dilakukan secara eksperimental yang mempunyai tujuan untuk menganalisa performa dari sistem pembangkit listrik yang menerapkan siklus Rankine organik yang menggunakan panas yang berasal dari panas bumi yang memiliki kualitas panas yang rendah sebagai sumber panas. Dalam eksperimen sistem menggunakan kompresor pada AC mobil berjenis *scroll* dan telah dimodifikasi untuk dimanfaatkan sebagai pengganti turbin atau ekspander. Pada eksperimen ini fluida kerja yang dipakai sebagai fluida kerja organiknya yaitu refrigerant R134a dan akan dialirkan dengan bantuan sebuah pompa sirkulasi dengan tipe pompa vane. Dengan memanfaatkan sumber panas yang sudah diatur untuk sistem pembangkit listrik uap (*steam generator*) mini sebagai replika dari sumber panas dari panas bumi menghasilkan nilai Efisiensi pada siklus dengan nilai maksimum mempunyai nilai daya keluaran bersih sebesar 1.523,42-watt yang memiliki kecepatan rotasi sebesar 1535 yang setara dengan 40 RPM dan tekanan kondensasi yang digunakan konstan yaitu 4 bar (Adianto Pintoro dan Achmad Husein Siregar, 2019).

model matematika peng-robinson digunakan untuk mengintegrasikan ORC dengan fluida perpindahan panas yang disirkulasikan sebagai fluida kerja yaitu n-Pentane untuk memanfaatkan limbah panas dengan Daya bersih yang dihasilkan dari suhu evaporator dengan T_{mc} , keluar = 30 °C dan $T_{me, out} = 73$ °C memberikan daya bersih maksimum sebesar 2,736 MW, dan efisiensi keseluruhan adalah 8,7% (Cheng-Lian Chen et al, 2016).

Rankine organik yang digunakan dari sumber panas bumi dengan suhu bervariasi dari 100 ° C sampai 150 ° C. Lima cairan kerja organik heksana, pentana (R601), Isopentana (R601a), butana (R600), Isobutana (R600a) dianalisis untuk mengetahui fluida kerja terbaik untuk optimal pertunjukan. Suhu masuk air pendingin adalah 20 ° C dan optimal suhu kondensasi adalah 29,45°C hingga 29,75°C untuk daya keluaran maksimum. Dari hasil tersebut diketahui bahwa R600a menghasilkan daya maksimum

dan efisiensi tertinggi untuk suhu masuk lebih dari 120 ° C (Saurabh Pathak & S.K. Shukla, 2018).

Melihat pentingnya pengaruh siklus dan fluida kerja yang digunakan pada suatu pembangkit listrik dengan sumber panas dan suhu yang berbeda maka dibutuhkan penelitian lebih lanjut tentang penerapan siklus rankine organik pada suatu sistem pembangkit listrik. Penelitian dilakukan agar dapat mengetahui daya listrik, efisiensi termal dan destruksi exergi yang dihasilkan oleh penerapan siklus rankine organik dengan sumber panas yang berasal dari gas buang yang berasal dari industri semen. Untuk menentukan fluida organik yang paling tepat Berdasarkan beberapa studi literatur dan uraian yang sudah dijelaskan maka penulis tertarik pada pembahasan tersebut sebagai skripsi dengan judul **“PENERAPAN SIKLUS *ORGANIC RANKINE CYCLE (ORC)* PADA TEKNOLOGI *WASTE HEAT RECOVERY POWER GENERATION (WHRPG)* PADA INDUSTRI SEMEN DENGAN PROSES SIMULASI TERMODINAMIKA”**.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana proses desain siklus rankine dan siklus rankine organik pada teknologi WHRPG dengan proses simulasi berbasis perhitungan termodinamika?
2. Berapa besar perbandingan nilai daya listrik yang dihasilkan dengan teknologi WHRPG antara siklus rankine organik dan siklus rankine?
3. Berapa besar perbandingan nilai efisiensi termal yang dihasilkan teknologi WHRPG antara siklus rankine organik dan siklus rankine?
4. Berapa besar perbandingan nilai detruksi eksergi yang dihasilkan tiap komponen pada teknologi WHRPG antara siklus rankine dan siklus rankine organik?

1.3 Batasan Masalah

Dalam proses penelitian, peneliti mempergunakan batasan masalah dalam proses desain dan analisis dengan simulasi menggunakan software Computer-Aided Process Engineering (CAPE) antara lain:

1. Perancangan teknologi WHRPG dan proses simulasi di buat pada software Computer-Aided Process Engineering (CAPE) yaitu ASPEN Plus V.10 yang mengacu pada desain dan data log sheet WHRPG di Industri semen PT. X.
2. Mempergunakan analisis termodinamika
3. Simulasi dilakukan dalam keadaan *steady state*, perpindahan panas pada komponen-komponen pembangkit listrik dengan sekelilingnya diabaikan dan perubahan pada energi kinetik dan potensial diabaikan.
4. Gas buang yang berasal dari proses pembakaran di asumsikan udara panas dengan komposisi tertentu.
5. Efisiensi pada generator di asumsikan sebesar 99 % (Livio H, 2003).
6. Analisis Destruksi Eksergi pada komponen kondensor diabaikan
7. Analisis perhitungan ekonomi di abaikan.

1.4 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. mengetahui proses perancangan desain siklus Rankine organik pada Teknologi WHRPG dengan dengan software Computer-Aided Process Engineering (CAPE).
2. mendapatkan nilai daya listrik yang dihasilkan teknologi WHRPG antara siklus rankine organik dan siklus rankine.
3. mendapatkan nilai efisiensi termal yang dihasilkan teknologi WHRPG dengan siklus rankine organik dan siklus rankine.
4. mendapatkan nilai eksergi yang dihasilkan komponen teknologi WHRPG dengan siklus rankine organik dan siklus rankine.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang bisa diraih yaitu:

Sebagai tambahan wawasan dan dapat dijadikan referensi tepatnya mengenai Teknologi WHRPG yang memanfaatkan gas buang untuk menghasilkan energi listrik khususnya pada industri semen dengan siklus rankine *organic* dan dapat memahami tata cara proses simulasi dalam mendesain dan menganalisa teknologi WHRPG dengan siklus rankine organik dan siklus rankine untuk memperoleh nilai daya listrik dan nilai efisiensi termal menggunakan aplikasi proses simulasi.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini diajukan sebagai suatu karya tulis yang akan dibagi menjadi sejumlah bab yang saling berhubungan dan menjadi pelengkap disetiap bab nya. Adapun beberapa bagian dalam melakukan sistematika penulisan pada skripsi ini yaitu sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjabarkan latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini merupakan kumpulan teori studi literatur yang mempunyai hubungan dengan penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menjabarkan langkah-langkah dan prosedur penelitian yang dipergunakan pada penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini mempunyai isi berupa pengolahan data yang dihasilkan pada penelitian, analisis percobaan simulasi, dan penguraian yang berasal dari rumusan masalah.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini mempunyai isi berupa kesimpulan yang didasarkan dari hasil penelitian dan saran agar di kemudian hari dapat dilakukan penelitian.