

BAB II

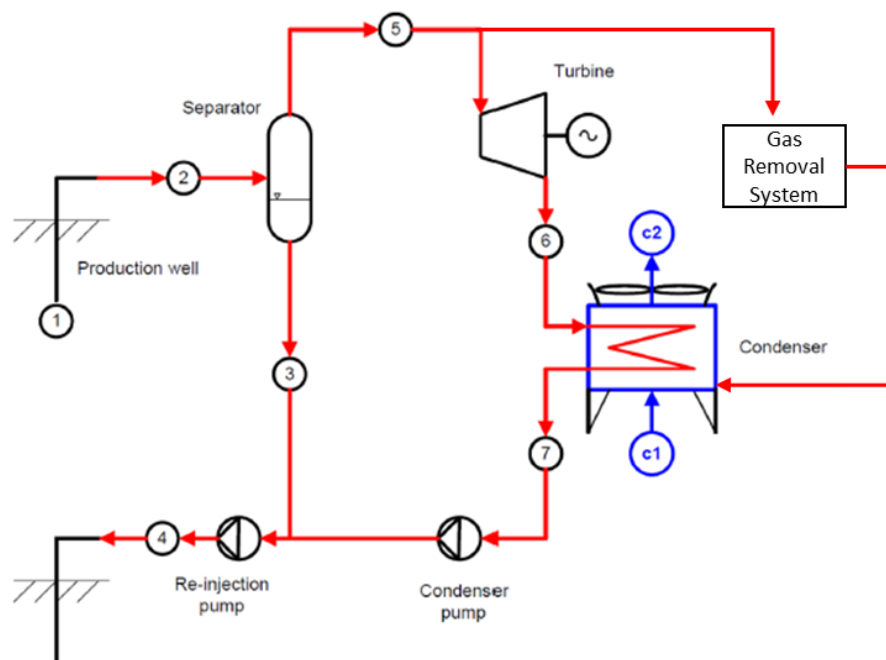
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

Panas bumi adalah salah satu dari sumber energi terbarukan yang berasal dari alam dan mampu mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap sumber energi fosil. Berdasarkan *Handbook of Energy and Economics Statistics Indonesia* tahun 2020, total instal kapasitas Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) adalah 2130,70 MW. Padahal jika dibandingkan dengan potensi energi panas bumi di Indonesia mencapai 23,7 GW. Ada beberapa faktor yang menyebabkan energi panas bumi belum dimanfaatkan secara efisien, diantaranya adalah terkait biaya investasi yang besar, ketidakpastian yang tinggi dan harga listrik per satuan energi. Roadmap Kementerian ESDM memiliki target total instal kapasitas PLTP adalah sebesar 7780 MW pada tahun 2030. Target tersebut dapat dicapai dengan cara melakukan membuat pada pembangkit baru dan mengembangkan kapasitas pembangkit yang sudah ada dengan cara meningkatkan efisiensi energi.

Fluida panas bumi yang dikeluarkan dari dalam perut bumi memiliki energi dalam bentuk panas yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dengan prinsip konversi energi. Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) memiliki prinsip kerja seperti Pembangkit Listrik Uap (PLTU), namun perbedaannya adalah sumber fluida uap pada PLTU berasal dari bahan bakar batubara yang dibakar di boiler sedangkan pada PLTP sumber fluida uap berasal dari panas dari dalam perut bumi. Apabila fluida yang keluar ke permukaan dalam bentuk uap kering, maka uap tersebut dapat langsung dimanfaatkan menuju turbin, namun jika fluida yang berada di permukaan masih dalam bentuk 2 fasa, maka fluida tersebut harus dipisahkan dulu di separator (Nenny, 2014). Ada beberapa jenis Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) yaitu, *single flash*, *double flash*, *dry steam* dan *binary cycle power plant* (DiPippo, 2012).

Jenis pembangkit listrik yang paling umum digunakan salah satunya adalah pembangkit listrik panas bumi tipe *single flash*. Jenis fluida pada pembangkit ini adalah fluida dua fasa, yaitu campuran antara air dan uap. Sejumlah air yang sudah dipisahkan nantinya tidak akan terpakai dalam sistem pembangkit sehingga air tersebut akan diinjeksikan kembali ke dalam bumi dengan tujuan dapat menjaga kestabilan sejumlah fluida yang berada di dalam perut bumi sebelum kemudian akan di ekstrak kembali. Proses produksi pada pembangkit listrik tipe ini secara garis besar dibagi menjadi 2 fasilitas, yaitu fasilitas produksi uap dan fasilitas menghasilkan tenaga listrik. Fasilitas produksi uap adalah seluruh fasilitas dari sumur hingga sebelum masuk ke area pembangkit seperti sistem perpipaan, separator, scrubber, valve, rock muffler, pompa kondensat, pompa brine dan lain lain. Sedangkan fasilitas penghasil tenaga listrik meliputi turbin, generator, kondensor, menara pendingin. Skematik diagram untuk jenis pembangkit listrik *single flash* dapat dilihat pada Gambar 2.



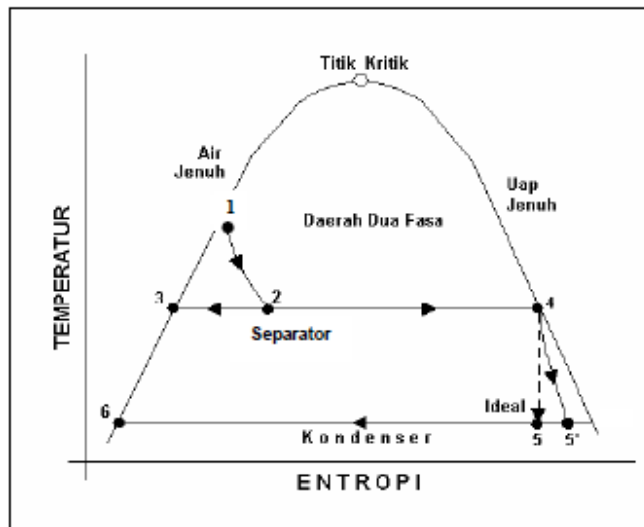
Gambar 1 Skematik diagram single flash system
(el Haj Assad et al., 2017)

Fluida panas bumi yang berasal dari sumur produksi dialirkan melalui pipa yang menuju ke *separator*. *Separator* memiliki fungsi untuk memisahkan antara kandungan uap dan air. Uap yang dihasilkan bisa disebut sebagai *steam*

sedangkan air panas yang dihasilkan bisa disebut sebagai *brine*. Uap tersebut akan dialirkan melalui pipa menuju ke scrubber sedangkan brine akan diinjeksikan ke sumur injeksi. *Scrubber* merupakan peralatan yang memiliki fungsi untuk mengurangi kandungan air dan partikel lainnya pada uap sehingga uap akan lebih murni dan bersih. Uap yang menuju turbin tidak boleh memiliki kandungan air yang terlalu tinggi karena dapat menyebabkan kerusakan pada bilah turbin. Uap tersebut juga dapat dialirkan ke sebuah alat yang disebut *Rock Muffler*. *Rock Muffler* digunakan jika terjadi kelebihan suplai uap atau sebelum dilakukan proses *start-up* pada sistem pembangkit.

Uap yang menuju ke turbin akan kembali difilter di *strainer*. Sejumlah uap juga akan dialirkan ke *Gas Removal System* untuk menarik *Non-Condensable Gas* (NCG) dari kondensor. Uap yang menuju turbin akan dikontrol oleh *Main Control Valve* (MCV) untuk menyesuaikan kebutuhan beban dari pembangkit. Setelah uap diproses di turbin, uap dengan tekanan yang rendah akan masuk ke kondensor dan dikondensasikan oleh air pendingin dari menara pendingin. Uap yang telah dikondensasi menjadi air akan dikirim ke menara pendingin. Sejumlah air kondensat akan diinjeksikan ke sumur injeksi dengan menggunakan pompa. Pompa kondensat ini menggunakan daya yang diambil dari pembangkit itu sendiri untuk mensuplai aliran listrik ke motor elektrik sebagai mesin penggerak pompa.

Dalam diagram termodinamika, suatu siklus dapat menggambarkan kondisi suatu fluida yang dilihat dari nilai temperatur maupun entropi melalui T-S Diagram. Gambar 3 menjelaskan mengenai T-S Diagram pada siklus pembangkit listrik tenaga panas bumi dalam bentuk fluida awal dua fasa. Titik 1 berawal dari sumur panas bumi yang akan menuju ke separator di titik 2. Di separator, fluida dibagi menjadi 2, yaitu brine yang akan diinjeksi menuju titik 3, sedangkan fluida uap akan menuju turbin ke titik 4. Uap yang energinya sudah digunakan turbin maka akan dialirkan menuju kondensor (titik 5). Hasil kondensasi uap akan dialirkan menuju menara pendingin maupun menuju sumur injeksi kondensat.



Gambar 2 T-S Diagram PLTP jenis fluida dua fasa (Saptadji M, 2019)

2.2 Kandungan *Non-Condensable Gas* (NCG) di Panas Bumi

Sumur merupakan fasilitas utama yang ada di pembangkit listrik panas bumi. Sumur terbagi menjadi dua, yaitu sumur produksi dan sumur injeksi. Sumur produksi adalah sumur yang digunakan untuk mengekstrak uap panas bumi menuju ke pipa diatas permukaan. Uap panas bumi yang naik keatas permukaan dikarenakan adanya beda tekanan sehingga uap akan mengalir menuju tekanan yang lebih rendah secara otomatis tanpa perlu bantuan pompa. Uap panas bumi yang mengalir ke permukaan terdiri dari beberapa campuran gas yaitu gas yang dapat dikondensasikan dan gas yang tidak dapat dikondensasikan atau biasa disebut *Non-Condensable Gas* (NCG). Sumur terdiri dari material pipa dengan tingkat ketahanan terhadap tekanan dan temperatur yang tinggi. Selain sumur produksi, di pembangkit listrik tenaga panas bumi juga mengenal istilah sumur injeksi. Sumur injeksi adalah sumur yang digunakan untuk menginjeksikan fluida uap panas bumi yang sudah selesai diproses. Beberapa fluida yang perlu diinjeksikan adalah brine dan kondensat.

Non-Condensable Gas (NCG) adalah jenis gas yang tidak dapat dikondensasikan dalam campuran uap panas bumi. Efek dari NCG yang masuk ke turbin bersama campuran uap panas bumi akan meningkatkan tekanan di

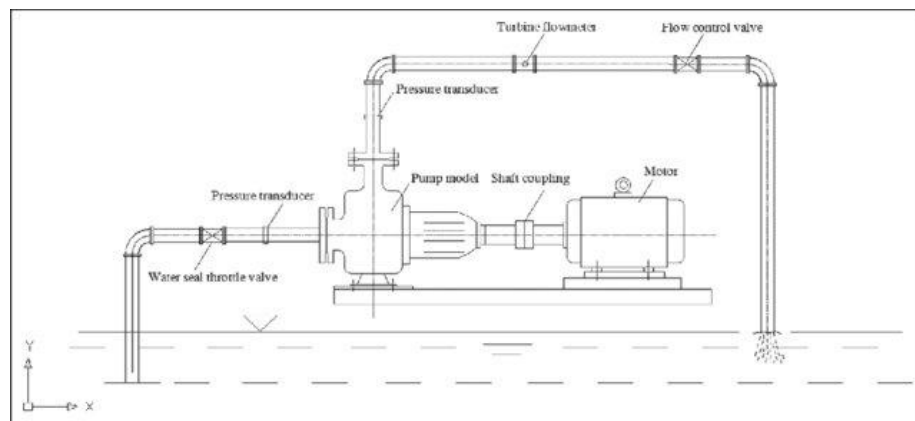
kondensor atau mengurangi tingkat vakum kondensor sehingga akan menurunkan daya yang dihasilkan dari turbin. Pada umumnya, dalam sebuah sistem pembangkit listrik panas bumi kandungan NCG yang berada di kondensor akan ditarik oleh *Gas Removal System (GRS)* yang terdiri dari *steam jet ejector* dan *liquid ring vacuum pump*. Fungsi dari GRS adalah menghilangkan kandungan NCG. Namun, jika kandungan NCG terlalu tinggi dan melampaui batas kemampuan GRS, maka akan menyebabkan daya pembangkit menjadi turun. Hal ini yang harus dihindari sehingga perlu untuk membatasi jumlah kandungan NCG di dalam suatu sistem pembangkit listrik panas bumi. Campuran gas dan uap pada NCG di uap panas bumi terdiri dari gas seperti CO₂, H₂S, NH₃, CH₄ dengan dominasinya adalah CO₂. NCG pada uap panas bumi bervariasi dari 0,2% hingga lebih besar dari 25% dari komponen uap panas bumi (Ozcan, Y., Gokcen, G., 2009)

Menurut penelitian yang pertama kali dilakukan oleh Khalifa dan Michaelides (1978) mengenai efek NCG terhadap pembangkit listrik panas bumi, dengan adanya 10% kandungan NCG pada uap panas bumi, akan mengurangi 25% total *net generation* jika dibandingkan dengan uap panas bumi tanpa NCG. Penelitian lainnya yang dilakukan di PLTP Kizildere menunjukkan bahwa setiap adanya kenaikan 1% NCG di dalam steam akan mengurangi jumlah kerja pada turbine inlet sebesar 0,86% (G. Gokcen and N. Yildirim, 2008). Sejumlah kandungan NCG yang terlalu tinggi juga dapat mempengaruhi usia suatu material yang pada umumnya terbuat dari carbon steel sehingga salah satu solusinya adalah menggunakan material stainless steel untuk area yang terkena NCG tinggi. Namun solusi tersebut membutuhkan biaya yang jauh lebih tinggi (Kotaka, H. et. al, 2010)

2.3 Pompa Centrifugal

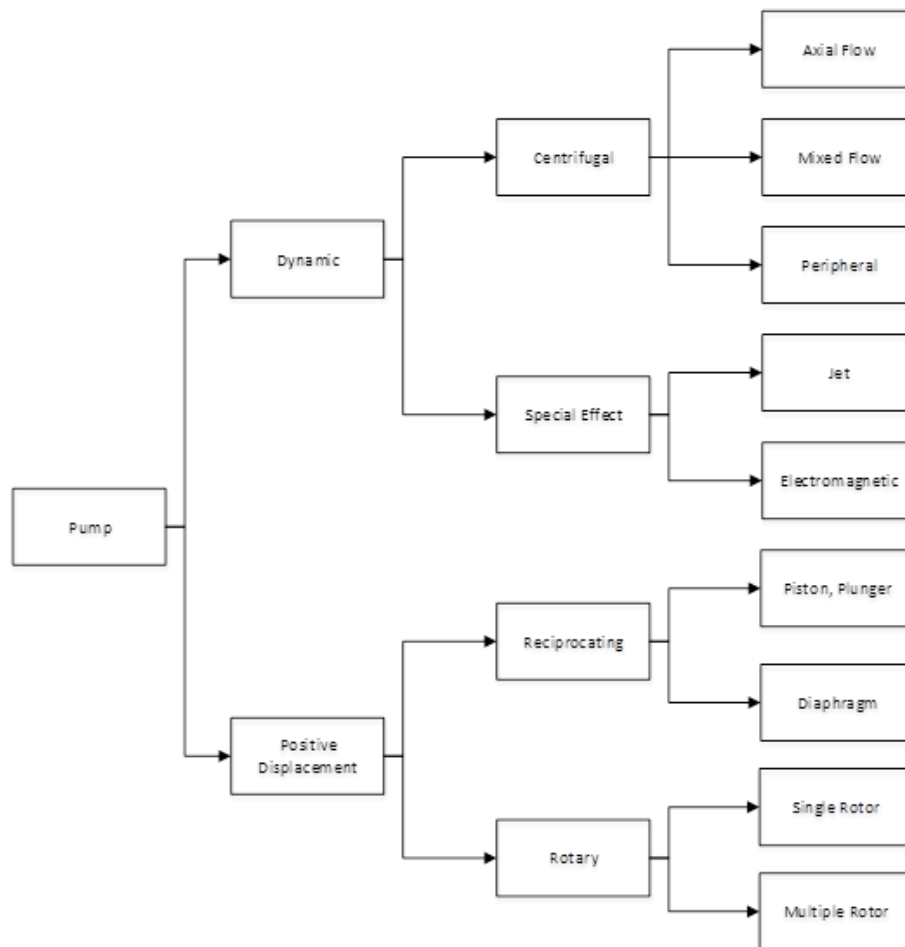
Pompa adalah sebuah alat mekanikal yang berfungsi untuk transfer suatu fluida dari satu tempat ke tempat lainnya dengan system meningkatkan tekanan. Tekanan yang lebih tinggi diperlukan untuk mengatasi rugi-rugi selama aliran fluida tersebut mengalir (Ubaedilah, 2016). Pompa dibutuhkan untuk transfer

fluida dari area yang lebih rendah menuju area yang lebih tinggi. Pada pompa dikenal istilah head yang menggambarkan elevasi maupun tekanan dari system perpompaan. Gambar 4 mendeksripsikan fungsi pompa untuk mengalirkan fluida dari elevasi yang lebih rendah ke elevasi yang lebih tinggi. Pompa diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan kebutuhan servisnya, material yang dibutuhkan, oerientasi dari aliran di pompa serta jenis liquidnya.



Gambar 3 Skema kerja Pompa
(Zhou et al., 2016)

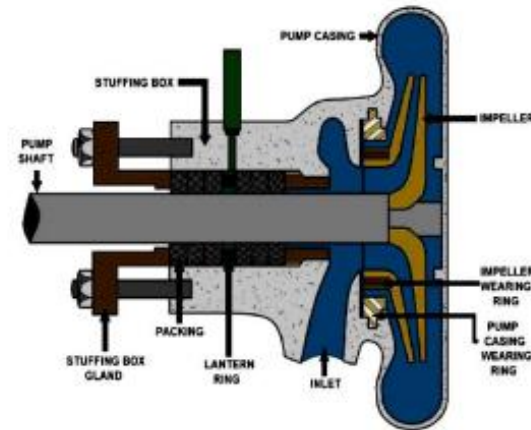
Secara umum, pompa dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pompa dinamik dan pompa *displacement* (McGraww-Hill, 2001). Pompa dinamik menggunakan sistem penambahan energi secara kontinu dengan meningkatkan kecepatan fluida di sisi hisap pompa melebihi sisi keluaran. Berdasarkan struktur dari pompa maka fluida tersebut akan mengalami pengurangan kecepatan sebelum menuju sisi discharge. Sesuai hukum Bernoulli, ketika energi kecepatan berkurang maka energi tekanan dari fluida akan meningkat. Pompa displacement menggunakan prinsip penambahan energi dengan menjebak fluida secara terpaksa dan dengan adanya gerakan dari sebuah sistem seperti piston di dalam pompa maka fluida akan mengalami peningkatan tekanan. Gambar 5 menjelaskan mengenai klasifikasi jenis pompa.



Gambar 4 Klasifikasi jenis pompa
(Karassik, 2001)

Pompa centrifugal menjadi salah satu kebutuhan pompa yang umum digunakan di pembangkit listrik panas bumi. Sistem kerja pompa centrifugal adalah dengan mengkonversi energi dari system penggerak yang berupa elektrik motor atau turbin menjadi energi kecepatan dan kemudian akan diubah menjadi energi tekanan di dalam pompa (Garibotti, 2003). Terdapat dua bagian utama dari sebuah pompa centrifugal, yaitu *impeller* dan *diffuser/volute*. *Impeller* memiliki fungsi untuk mengkonversi energi dari sistem penggerak menjadi energi kecepatan dengan bentuk dari *impeller* yang akan menghasikan gaya sentrifugal. *Impeller* ini memiliki sisi hisap yang membuat kecepatan menjadi sangat besar sehingga fluida dapat dihisap oleh pompa. *Volute* adalah bagian struktur dari pompa centrifugal yang mengubah energi kinetik/ kecepatan menjadi energi

tekanan (Qazizada M., et.al., 2016). Bentuk dari *volute* yang membuat tekanan menjadi tinggi pada sisi keluaran dari pompa. Gambar 6 menjelaskan mengenai komponen dari pompa centrifugal.



Gambar 5 Komponen pompa centrifugal
(Qazizada M., et.al., 2016)

Untuk menghitung daya yang dibutuhkan oleh pompa dalam mengirimkan sejumlah fluida, ada beberapa data yang dibutuhkan seperti massa jenis fluida, debit aliran fluida dan perbedaan head dari posisi awal ke posisi tujuan fluida. Persamaan 1 menjelaskan bagaimana daya pompa centrifugal dapat dihasilkan.

$$W_p = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_p} \quad (1)$$

Keterangan:

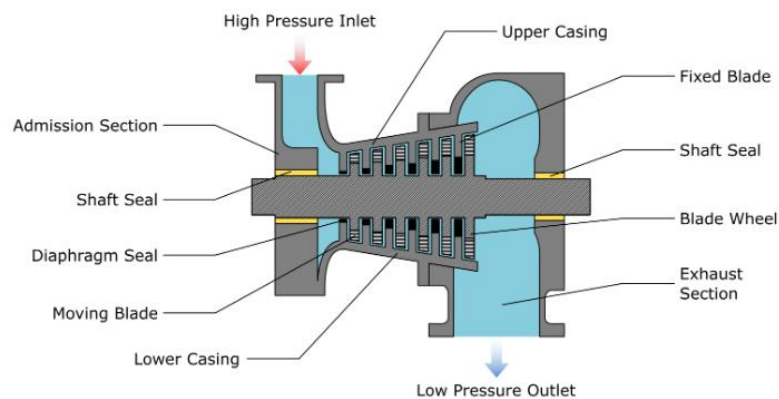
- W_p : daya pompa
- ρ : massa jenis fluida
- g : percepatan gravitasi
- Q : debit aliran fluida
- H : total head
- η_p : efisiensi pompa

2.4 Turbin Uap

Turbin berfungsi untuk mengkonversi energi panas menjadi energi mekanik. Aplikasi penggunaan turbin dapat dimanfaatkan untuk system pembangkit yang dihubungkan dengan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Selain itu, turbin juga dapat digunakan untuk mesin penggerak

pompa sebagai gantinya dari motor elektrik. Turbin uap yang digunakan sebagai penggerak proses biasanya diperlukan untuk beroperasi pada rentang kecepatan berbeda dengan turbin yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik yang berjalan pada kecepatan hampir konstan (Bahadori., Vuthaluru., 2010).

Turbin uap menggunakan uap sebagai sumber energi utamanya. Turbin terdiri dari beberapa part seperti casing, sudu, rotor, inlet, outlet, seal, diaphragm dan lain lain. Pada rotor turbin uap terdapat rangkaian sudu-sudu jalan secara berjajar. Dalam pemasangannya, rangkaian sudu tetap dan rangkaian sudu jalan dipasang berselang-seling. Energi panas dalam uap mula-mula diubah menjadi energi kinetik oleh *nozzle*, selanjutnya uap dengan kecepatan tinggi ini akan mengenai sudu-sudu jalan pada rotor turbin yang akhirnya mengakibatkan putaran rotor. Gambar 7 menjelaskan ilustrasi komponen dari turbin uap secara umum. Turbin uap yang digunakan untuk menghasilkan daya listrik akan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jumlah aliran uap, tekanan dan temperatur uap. Semakin besar aliran, temperatur dan tekanan uap maka akan semakin besar daya yang dihasilkan oleh turbin. Turbin uap dibagi menjadi dua macam berdasarkan jenis kondensasinya, yaitu turbin *back-pressure* dan turbin *condensing*.



Gambar 6 Komponen turbin uap

(<https://savree.com/en/encyclopedia/steam-turbine>, diakses pada tanggal 2 November 2022)

Secara umum, tenaga yang dihasilkan oleh turbin uap dapat diketahui melalui tekanan, temperatur uap yang merupakan fungsi entalpi dan laju aliran

massa. Persamaan 2 menunjukkan daya turbin yang dihasilkan. Untuk mengetahui daya turbin sebagai penggerak pompa juga dapat dicari melalui persamaan 3.

$$W_t = \dot{m}_t(h_{in} - h_{out}) \quad (2)$$

$$W_t = \frac{W_p}{\eta_t} \quad (3)$$

Keterangan:

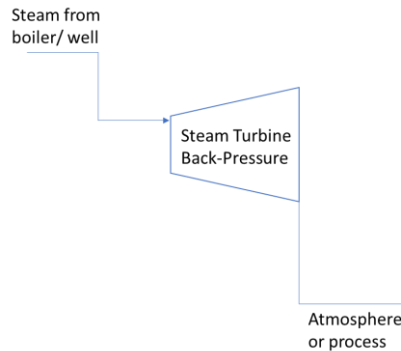
W_t : daya turbin uap yang dihasilkan
 \dot{m}_t : laju aliran massa uap
 h_{in} : entalpi masuk ke turbin uap
 h_{out} : entalpi keluar dari turbin uap
 W_p : daya pompa
 η_t : efisiensi turbin

2.4.1 Turbin Uap *Back-Pressure*

Turbin uap tipe ini merupakan jenis turbin yang pada prosesnya tidak memerlukan kondensasi di bagian outletnya. Prinsip kerja dari turbin *back-pressure* adalah uap dengan temperatur dan tekanan tertentu akan masuk ke bagian inlet dari turbin kemudian uap akan dikonversi menjadi energi mekanik dan selanjutnya uap dengan temperatur dan tekanan yang lebih rendah akan dialirkan ke atmosfer (Bloch. H., Singh M., 2009). Alternatif lainnya adalah uap hasil dari turbin tersebut dapat digunakan kembali untuk sebuah proses lainnya misalnya adalah untuk system pemanasan atau untuk suplai ke turbin dengan tekanan yang lebih rendah sehingga bisa meningkatkan efisiensi dari turbin (Zhao X et al., 2020).

Kelebihan dari turbin jenis ini adalah konfigurasi yang simpel karena tidak membutuhkan kondensor dan sistem air pendingin, harga instalasi yang lebih rendah dibanding condensing tipe. Namun kekurangannya adalah efisiensi yang cukup rendah karena uap langsung dialirkan ke atmosfer jika tidak digunakan lagi untuk keperluan lain. Skema diagram alir untuk turbin uap tipe *back-pressure* dapat dilihat di Gambar 8. Pada bagian *outlet* dari turbin jenis ini, tekanan tidak menjadi vakum, hal ini berbeda dengan turbin tipe condensing yang sisi *outletnya*

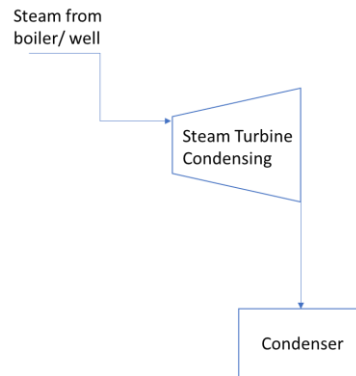
menjadi vakum. Hal ini juga yang mempengaruhi besarnya daya yang dihasilkan dari turbin *back-pressure*.



Gambar 7 Skema diagram turbin uap back-pressure
(Nandaliarasyad et al., 2020)

2.4.2 *Turbine Condensing Type*

Turbin uap tipe *condensing* merupakan turbin uap yang membutuhkan kondensor dalam system kerjanya. Kondensor terhubung secara langsung dengan outlet dari turbin. Uap dengan tekanan yang lebih rendah akan dikondensasikan di kondensor dan hasil uap yang telah menjadi fase liquid akan dialirkan ke menara pendingin untuk didinginkan dan dialirkan kembali ke kondensor. Dengan adanya system kerja seperti ini maka efisiensi turbin uap condensing tipe akan lebih tinggi jika dibanding turbin uap tipe *back-pressure*. Gambar 9 menunjukkan skema diagram turbin uap tipe condensing. Tekanan yang dihasilkan di sisi outlet diupayakan dalam kondisi vakum. Hal ini untuk meningkatkan besarnya daya yang dihasilkan karena semakin besar beda tekanan antara inlet dan outlet turbin maka akan semakin besar daya yang dihasilkan dari turbin.



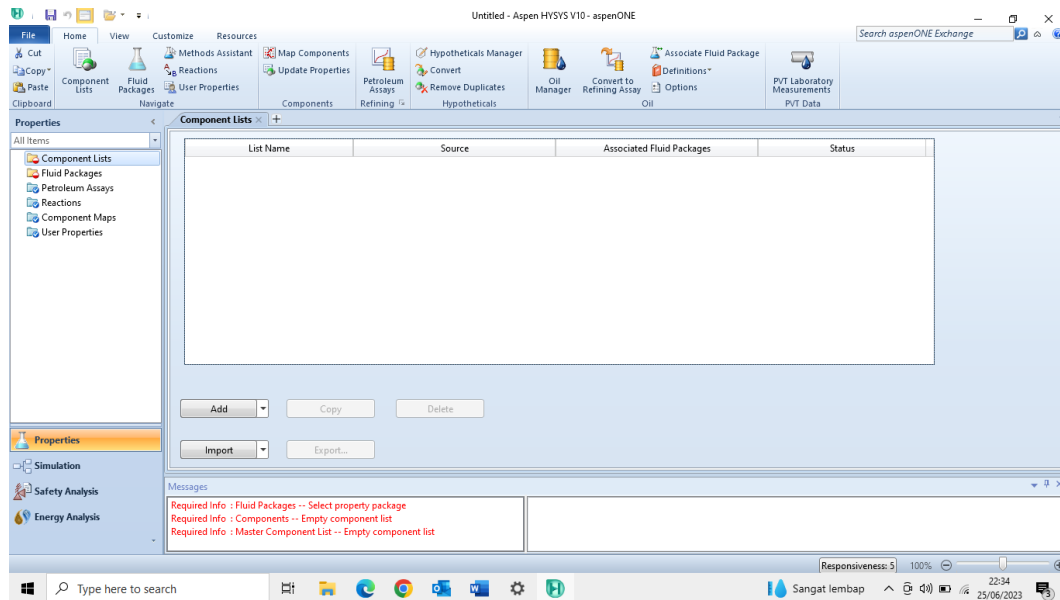
Gambar 8 Skema diagram turbin uap condensing
(Nandaliarasyad et al., 2020)

2.5 Perangkat Lunak Aspen Hysis

Aspen Hysis merupakan *software* simulasi proses atau *Process Simulator*. Perangkat lunak ini direkomendasikan untuk digunakan pada bidang *Refinery, Hydrocarbon, Oil & Gas*. Pada dasarnya, perangkat lunak ini digunakan untuk membantu menganalisa proses termodinamika, khususnya untuk mencari keseimbangan energi dan massa. Kondisi yang digunakan pada perangkat ini terdiri dari dua yaitu *Steady State & Dynamic*. Aspen Hysis dapat digunakan untuk merancang beberapa peralatan pada pabrik yang baru akan didirikan (*sizing*) atau mengevaluasi kinerja suatu peralatan pada pabrik yang sudah ada (*rating*). Pada penelitian ini, Aspen Hysis digunakan untuk melakukan modeling simulasi untuk mendirikan suatu system baru yaitu pada turbin uap *back-pressure* sebagai penggerak pompa kondensat.

Simulasi proses pada software Hysis dapat mengembangkan, menganalisis dan optimisasi pada teknikal proses yang merupakan tiruan dari sistem aktual. Simulasi ini memiliki beberapa *property package* yang digunakan sesuai dengan kandungan jenis fluida pada simulasi. *Property package* adalah kumpulan metode khusus untuk menghitung sifat-sifat komponen dan nilai-nilai parameter. Beberapa jenis *property package* di Hysis adalah asme steam, peng robinson dll. Dengan adanya simulasi pada Hysis membantu sebuah sistem yang pada aktualnya belum dapat dioperasikan karena masih tahap perancangan ataupun untuk mengecek dari sisi keamanan suatu sistem. Beberapa *input* yang diperlukan untuk simulasi ini adalah jenis fluida beserta kandungannya, tekanan, temperatur,

laju alir, panjang pipa dan ukuran pipa. Gambar 10 menunjukkan tampilan awal pada perangkat lunak Hysis.



Gambar 9 Tampilan awal pada Hysis

2.6 Persamaan Termodinamika

Konservasi energi adalah upaya yang dilakukan untuk dapat meningkatkan efisiensi energi. Hukum termodinamika 1 merupakan sumber dari perhitungan efisiensi energi tanpa mempertimbangkan kualitas dari energi (Rana A., 2013). Hukum ini berbunyi: “Kalor dan kerja mekanik adalah bisa saling tukar”. Sesuai dengan hukum ini, maka sejumlah kerja mekanik dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kalor, dan sebaliknya. Hukum ini bisa juga dinyatakan sebagai: “Energi tidak bisa dibuat atau dimusnahkan, namun bisa dirubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya”. Sesuai dengan hukum ini, energi yang diberikan oleh kalor mesti sama dengan kerja eksternal yang dilakukan ditambah dengan perolehan energi dalam karena kenaikan temperature (Moran. J., Shapiro. H.). Persamaan yang digunakan untuk termodinamika dan kesetimbangan energi dapat dilihat pada persamaan 4 dan 5.

$$E_{in} = E_{out} \quad (4)$$

$$Q_{in} + W_{in} + \sum \dot{m}_{in}(h_{in}) = Q_{out} + W_{out} + \sum \dot{m}_{out}(h_{out}) \quad (5)$$

Keterangan:

Q : kalor yang dipindahkan

W : kerja yang dilakukan dalam satuan kalor

\dot{m} : lajur aliran massa

h : entalpi

2.7 Analisa Investasi Ekonomi

Salah satu aspek dalam membuat sebuah perancangan sistem yang baru adalah melihat dari sisi ekonomis yang dihasilkan. Pada prinsipnya, secara kualitatif sebuah desain harus dihitung dari sisi harga yang akan diinvestasikan. Besarnya investasi yang dibutuhkan dalam sebuah desain akan mempengaruhi perusahaan dalam membuat keputusan. Terdapat beberapa jenis strategi untuk menganalisa ekonomi dalam membuat estimasi investasi, yaitu *internal rate of return* (IRR), *net present value* (NPV) dan *Payback Period* (Mangiero, 2017).

2.7.1 Net Present Value (NPV)

NPV adalah jumlah *cashflow* saat ini dibandingkan dengan jumlah harga di masa depan. NPV digunakan untuk menentukan estimasi finansial *return* yang didapatkan apakah akan melebihi atau kurang dari investasi. Hal ini mengindikasikan sebuah project layak atau tidak dilakukan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung NPV dapat dilihat pada persamaan 6 (Shou, 2022).

$$NPV = -CF_0 + \frac{CF_1}{(1+i)^1} + \frac{CF_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+i)^n} \quad (6)$$

Keterangan:

$CF_{(t)}$: *Cashflow* pada waktu tertentu

i : *discount rate*

n : durasi investasi project

2.7.2 Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah rasio atau perbandingan yang digunakan untuk menghitung tingkat bunga pengembalian dalam suatu investasi. Jadi semakin tinggi nilai IRR, maka semakin baik investasi tersebut. Dan sebaliknya jika nilai IRR semakin rendah, maka investasi tersebut perlu dipertimbangkan lagi. IRR juga merupakan

tingkat diskon yang membuat NPV sama dengan nol (Zhang, 2022). Persamaan yang digunakan untuk menghitung IRR dapat dilihat pada persamaan 7.

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{(NPV_1 - NPV_2)} \times (i_2 - i_1) \quad (7)$$

Keterangan:

IRR : *Internal Rate of Return* (%)
 i_1 : nilai suku bunga pada NPV 1
 i_2 : nilai suku bunga pada NPV 2
 NPV_1 : net present value pada discount rate 1
 NPV_2 : net present value pada discount rate 2

2.7.3 *Payback Period*

Periode pengembalian atau *payback period* adalah total waktu yang dibutuhkan dalam menghitung sebuah investasi ketika arus kas sudah tidak minus dari investasi awal. Satuan yang digunakan biasanya berupa tahun. Persamaan yang digunakan untuk menghitung IRR dapat dilihat pada persamaan 8.

$$Payback\ Period = Tahun\ pengembalian\ modal + \frac{Cumulative\ cashflow\ before\ recovery}{Recovery\ cashflow} \quad (8)$$