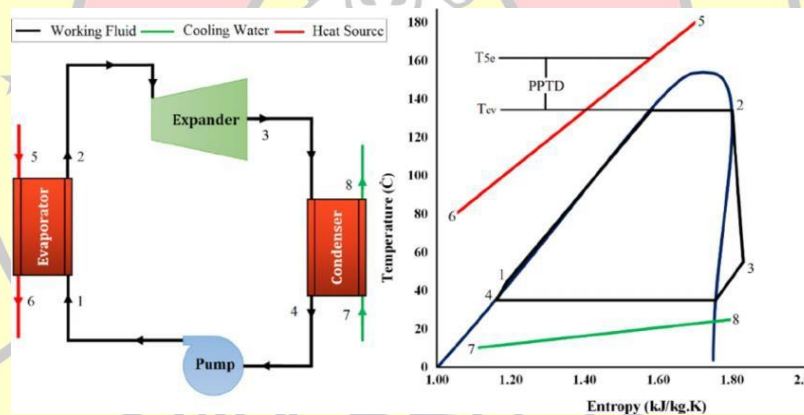


BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1 Tinjauan Umum

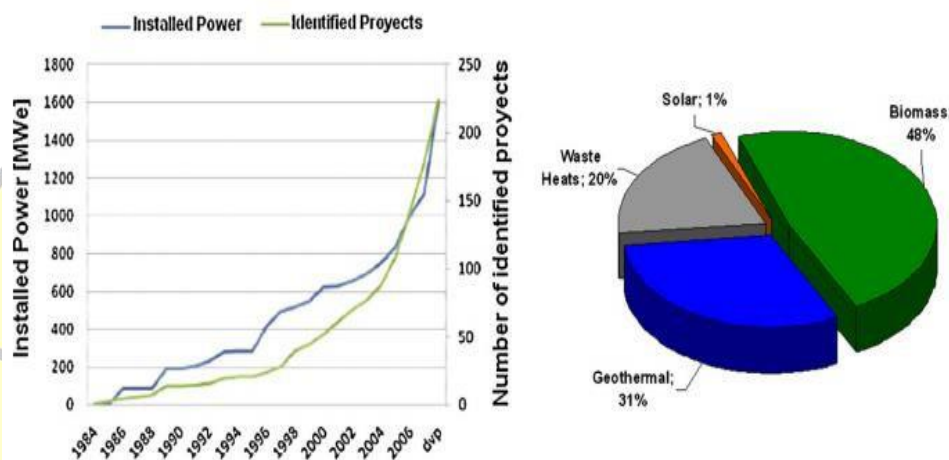
Organic Rankine Cycle (ORC) yang juga merupakan pengembangan dari siklus *rankine*. secara garis besar siklus (*ORC*) ini memanfaatkan energi pada temperatur rendah dan menengah, yang pada saat ini masih belum berkembang dengan baik, pemanfaatan dibidang teknologi ini merupakan salah satu solusi untuk mengurangi kekurangan energi dan masalah pencemaran lingkungan, siklus *ORC* digunakan sebagai alternatif dari penggunaan bahan bakar fosil yang menimbulkan masalah lingkungan yang serius. Pemanfaatan siklus *ORC*, selain mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tidak terbarukan dan terbatas, dapat meningkatkan kualitas lingkungan, mengurangi emisi karbon dan kompetitif secara ekonomi.



Gambar 2.1 Siklus *ORC* ideal beserta kondisi termodinamikanya [Muhamad Imran (2016)]

Sistem ini terdiri dari evaporator, kondensor, pompa dan turbin. Dari keadaan 1 sampai 2, pompa ideal mengeksekusi proses adiabatik, reversibel (isentropik) untuk menaikkan cairan kerja dari tekanan cairan jenuh hingga tekanan uap jenuh. Dari keadaan 2 sampai keadaan 3, evaporator memanaskan fluida pada tekanan konstan (transformasi isobar) yang bergerak dari keadaan cair jenuh 2 ke keadaan uap jenuh 3' di mana semua cairan menjadi uap.

Kemudian fluida tersebut superheat sampai mencapai keadaan 3. Setelah itu, cairan uap superheat memasuki turbin dimana ia menghasilkan ekspansi melalui proses adiabatik dan reversibel. Proses superheat diperlukan untuk menjamin bahwa pada uap turbin hanya ada, ini melestarikan bilah turbin dari kondensasi dan erosi. Namun, jumlah superheat harus dijaga agar serendah mungkin agar terhindar dari pemborosan energi dan memaksimalkan kinerja seluruh siklus. Proses ideal sistem ORC dengan komponen utamanya digambarkan pada Gambar 2.1 bersama dengan keadaan termodinamika fluida kerja.



Gambar 2.2 Perkembangan Teknologi ORC dan Aplikasinya [Fredy Velez (2012)]

Organic Rankine Cycle (ORC) telah dipelajari baik secara teori maupun ekperimental sejak tahun 1970-an, dengan hasil efisiensinya dibawah 10 % untuk sistem skala kecil. Studi ekperimental umumnya menggunakan *vane ekspander* dan fluida kerja dengan nilai ODP (*Ozone Depleting Potential*) yang masih tinggi, seperti refrigerant R11 dan R13. Aplikasi ORC yang sudah komersial pertamakali muncul di akhir tahun 1970-an dan tahun 1980-an dengan pembangkit tenaga listrik skala menengah yang dikembangkan untuk *geothermal* (panas bumi) dan energi surya. Gambar 2.3 menunjukkan perkembangan ORC dari tahun ke tahun dan aplikasi sistem ORC pada *Biomassa*, *Solar Energy*, *Geothermal*, dan *Wast Heat*. Saat ini lebih dari 200 pembangkit telah teridentifikasi, dengan lebih dari 1800 MW yang telah terpasang, dan jumlah ini terus bertambah dengan kecepatan yang lebih cepat dari tahun-tahun sebelumnya. Sebagian besar pembangkit yang terpasang untuk aplikasi CHP (*Combined Heat and Power*) biomassa, diikuti kemudian oleh geothermal dan aplikasi WHR (*Waste Heat Recovery*).

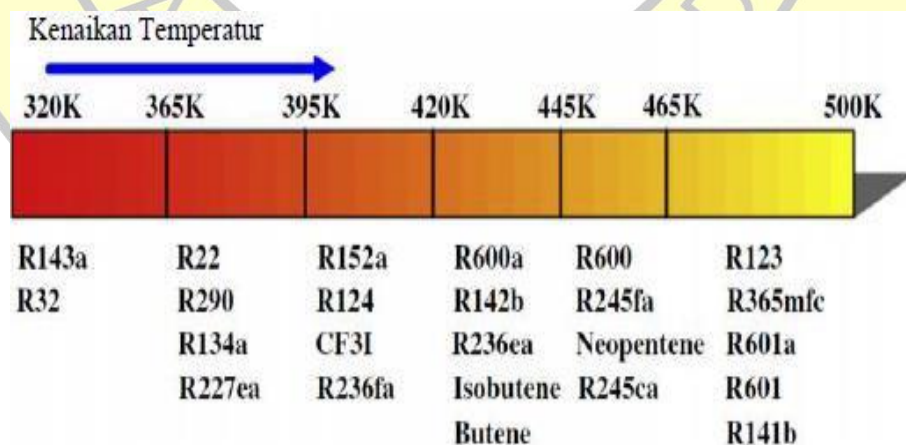
2.2 Fluida Kerja ORC

Fluida kerja dapat dikategorikan berdasarkan kurva uap jenuhnya, yang merupakan karakteristik penting pada fluida kerja di sistem ORC. Karakteristik ini berpengaruh pada penerapan fluida kerja, efisiensi siklus, dan pengaturan peralatan dari pembangkit daya

Tabel 2-1 Perbandingan sifat fluida kerja ORC [Arifin Maulana (2014)]

Fluida Kerja	R134a	R143a	R245fa	n-Pentane	R123
Formula	CH ₂ FCF ₃	CF ₃ CH ₃	CF ₃ CH ₂ CHF ₂	C ₅ H ₁₂	CHCl ₂ CF ₃
Berat molekul	102	84	134	72	153
Boiling T, °C	-26,3	-47,09	15,3	36,0	27,8
T kritis, °C	101,5	72,86	157,5	196,5	183,7
P kritis, MPa	4,06	3,76	3,64	3,36	3,66
Panas Laten	155,4 kJ/kg		177,1 kJ/kg	349 kJ/kg	168,4 kJ/kg
ODP	0	0	0	0	0,02-0,06
GWP	1300	4300	1030	20	120
Flammable,AIT	NF770	SF	NF412	Tinggi 260	NF730
Toxicity	A1	A2	B1	A3	B
Thermal stability	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil

Pemilihan fluida menjadi sangat penting didalam siklus *Organic Rankine Cycles* (ORC). Karena memiliki temperatur rendah, efisiensi perpindahan panas sangat tinggi. Fluida harus memiliki termodinamik properti yang optimum pada temperatur dan tekanan yang rendah dan juga harus memenuhi beberapa kriteria seperti ekonomis, tidak beracun, tidak mudah terbakar, dan ramah lingkungan.



Gambar 2.3 Tingkat Temperatur Fluida Kerja [E.H.Wang (2011)]

2.3 Proses Konversi Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya

2.4 Pembakaran Bahan Bakar Biomassa

Proses pembakaran terdiri dari dua jenis yaitu pembakaran lengkap (*complete combustion*) dan pembakaran tidak lengkap (*incomplete combustion*). Pembakaran sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang bereaksi dengan oksigen hanya akan menghasilkan CO_2 , seluruh unsur H menghasilkan H_2O dan seluruh S menghasilkan SO_2 . Sedangkan pembakaran tak sempurna terjadi apabila seluruh unsur C yang dikandung dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen dan gas yang dihasilkan tidak seluruhnya CO_2 . Keberadaan CO pada hasil pembakaran menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung secara tidak lengkap. [14]

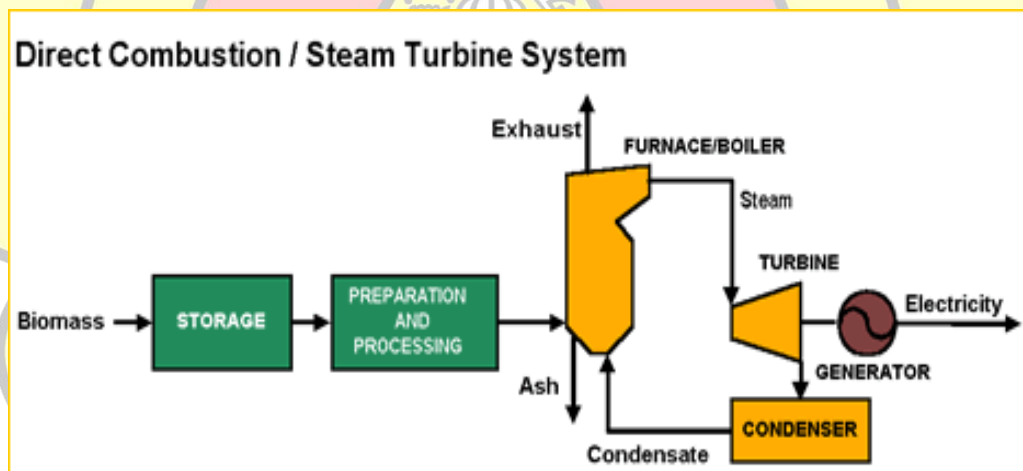


Gambar 2.4 Limbah Biomassa [diakses dari web.ipb.ac.id]

Jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran dinyatakan sebagai entalpi pembakaran yang merupakan beda entalpi antara produk dan reaktan dari proses pembakaran sempurna. Entalpi pembakaran ini dapat dinyatakan sebagai *Higher Heating Value* (HHV) atau *Lower Heating Value* (LHV). HHV diperoleh ketika seluruh air hasil pembakaran dalam wujud cair sedangkan LHV diperoleh ketika seluruh air hasil pembakaran dalam bentuk uap.

2.4.1 Pembakaran Langsung (*Direct Combustion*)

Proses pembakaran langsung ini terjadi dengan melibatkan pembakaran biomassa dengan udara berlebih untuk menghasilkan gas buang yang panas. Gas panas ini digunakan untuk menghasilkan uap dalam boiler. Sebagian besar (97%) pembangkit biopower di dunia menggunakan sistem pembakaran langsung. Mereka membakar bahan baku bioenergi secara langsung untuk menghasilkan uap dan menjalankan turbin kemudian menghasilkan listrik dengan generator. Uap dari pembangkit listrik juga digunakan untuk proses di pabrik atau untuk pemanasan ruangan.



Gambar 2.5 Direct Combustion Of Biomass [diakses dari <http://energyfromwasteandwood.weebly.com>]

Proses pembakaran biomassa secara langsung dapat melalui dua cara yaitu: Bahan baku biomassa langsung dimasukkan ke dalam tungku pembakaran atau tungku boiler, atau biomassa dicampur dengan batubara dan proses ini juga disebut Cofiring. Hasil akhir dari proses ini adalah panas dan abu.

2.4.2 Efisiensi Konversi Biomassa

Efisiensi Konversi adalah Rasio antara output energi yang berguna dari perangkat konversi energi terhadap input energi ke dalamnya. Misalnya, efisiensi konversi modul PV adalah rasio antara listrik yang dihasilkan dan total energi matahari yang diterima oleh modul PV. Jika 100 kWh radiasi matahari yang diterima dan 10 kWh listrik yang dihasilkan, efisiensi konversi adalah 10%

Tabel 2-2 Efisiensi Konversi Biomassa [Syukri.M.Nur (2014)]

NO	INDIKATOR	KONVERSI TERMOKIMIA		
		PEMBAKARAN LANGSUNG	GASIFIKASI	PIROLISA
1	Tipe Produk	- Panas (800-1.000oC) - Energi Mekanik - Listrik melalui pembakaran di boiler	- Gas - Panas - Metanol - Hidrogen - Listrik	- Gas - Panas - Metanol - Hidrogen - Listrik
2	Kemampuan Produksi Energi (MW)	100-3.000 MW	30-60 MW 3-10.000 MW	Fleksibel dengan kombinasi biochar
3	Efisiensi Konversi (%)	20-40%	40-50%	80% Biochar (35%)

2.4.3 Kelebihan dan Kekurangan ORC

Pembangkit energi, ORC bersaing dengan teknologi turbin uap konvensional yang sangat maju. Namun, *Organic Rankine Cycle* memiliki beberapa keunggulan yang membuat teknologi ORC menjadi proposisi menarik bagi sejumlah aplikasi, berikut kelebihan dan kekurangan dari sistem ORC

➤ Kelebihan teknologi sistem ORC :

1. Turbin ORC sangat efisien (> 90%)
2. Tingkat suhu 90 ° C sampai 800 ° C dapat dimanfaatkan untuk konversi menjadi listrik.
3. Karena ekspansi berlangsung hampir bebas cairan, turbin tidak terpengaruh oleh tanda-tanda erosi dan korosi.
4. Sistem ORC menampilkan perilaku beban parsial yang sangat baik. Dalam kasus individual, status kerja dapat dicapai dengan 10% dari beban pengenal.

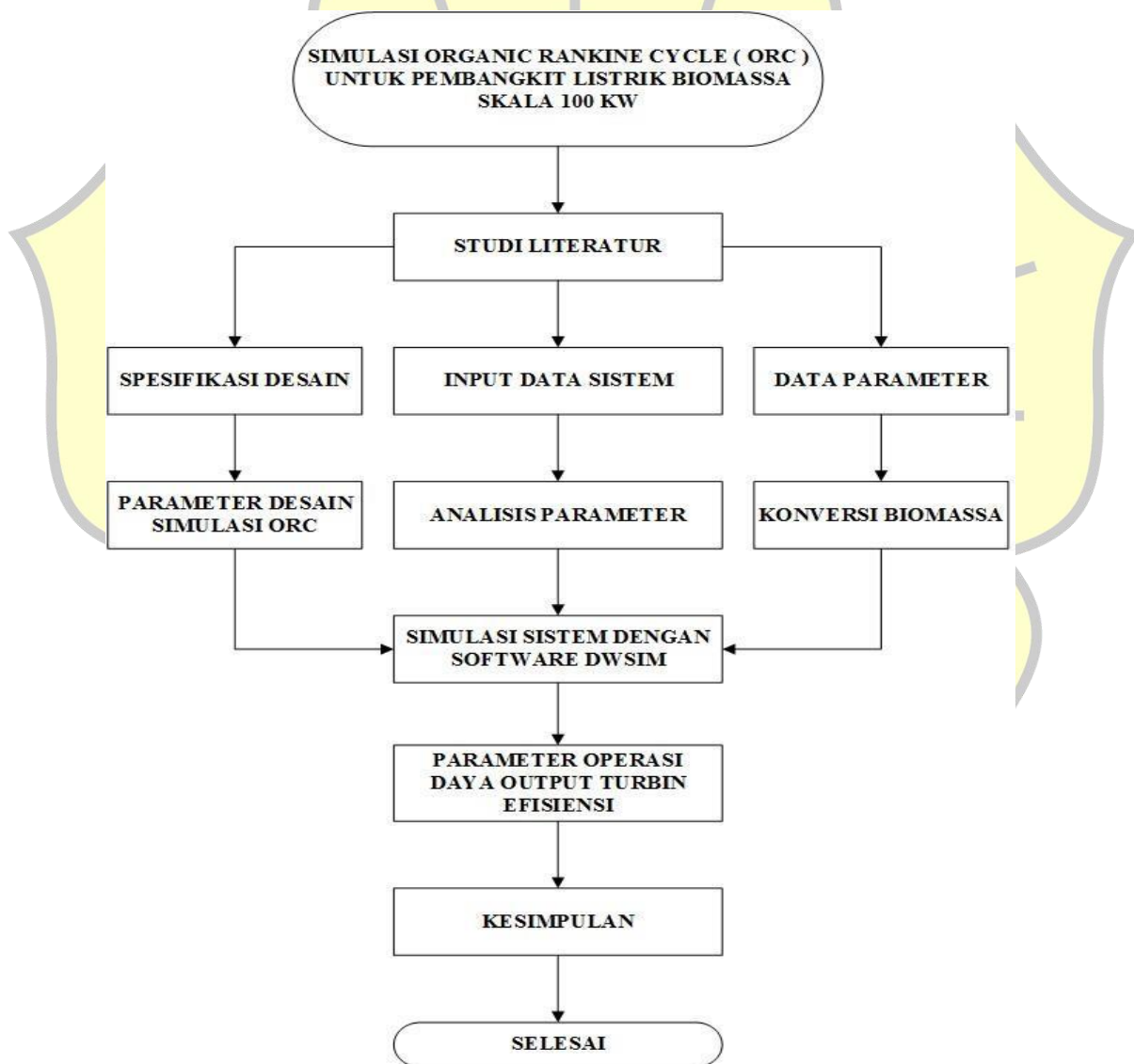
➤ Kekurangan Teknologi Sistem ORC

1. Dengan maksimum 24%, keseluruhan efisiensi sistem ORC jauh lebih rendah daripada efisiensi sistem turbin uap yang sebanding. Hal ini terutama disebabkan oleh tingkat suhu yang lebih rendah yang digunakan dengan sistem ORC untuk konversi menjadi listrik.
2. Bila minyak termal digunakan sebagai media perpindahan panas, korosi dapat terjadi pada penukar panas.
3. Pada daya listrik tinggi ($> 2 \text{ MWel}$), teknologi sistemnya relatif mahal biaya.



2.5 Kerangka Pemikiran Penelitian

Penelitian ini didasari kerangka penelitian berupa pengembangan teknologi energi terbarukan khususnya pemanfaatan sumber energi biomassa, dimana kebutuhan energi listrik di Indonesia yang sangat besar, disamping itu banyaknya limbah dari sektor pertanian dan perkebunan yang dapat dimanfaatkan. Oleh karena itu penerapan simulasi ORC yang sumber panas dari biomassa dapat diterapkan. Selanjutnya dilakukan desain simulasi ORC dengan menggunakan software (DWSIM). Hasil dari simulasi software tersebut akan keluar parameter daya output dari turbin, dan efisiensi.



Gambar 2.6 Kerangka Pemikiran Penelitian