

SINOPSIS

Saat ini, sumber energi untuk pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh bahan bakar fosil, khususnya batubara. Namun tidak lagi tergantung kepada bahan bakar fosil ini, sumber-sumber energi terbarukan, termasuk biomassa sudah masuk dalam rencana pemerintah untuk dijadikan sumber energi. Teknologi pembakaran (incineration) biomassa dipertimbangkan untuk menghasilkan energi panas

Tempurung kelapa sebagai bahan bakar untuk pembangkit energi listrik skala kecil ataupun skala besar yang akan digunakan di daerah terpencil/perindustrian atau bahkan perkotaan. Sebuah insinerator skala laboratorium digunakan sebagai reactor pembakaran sekaligus pembangkit energi termal yang akan digunakan untuk membangkitkan uap bersuhu tinggi dan bertekanan tinggi, kemudian uap bertekanan digunakan untuk menggerakkan turbin uap.

Buku monograf ini diharapkan bisa menjadi referensi bagi akademisi dan praktisi energi terbarukan, dalam menambah khasana pengetahuan dan mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya tentang biomassa. Penulisan buku monograf ini merupakan hasil dari penelitian sendiri. Berbagai upaya telah penulis lakukan untuk mendapatkan hasil terbaik dalam penulisan buku monograf ini.



M O N O G R A F

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA NON FOSIL

M E T O D E



METODE

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA NON FOSIL

Janter P. Simanjuntak, S.T., M.T., Ph.D.

CV. Science Techno Direct
sciencetechnodirect@gmail.com

ISBN 978-623-09-2567-2 (PDF)



9 786230 925672

METODE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA NON FOSIL

Ir. Janter P. Simanjuntak, S.T., M.T., Ph.D.

CV. SCIENCE TECHNO DIRECT

METODE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA NON FOSIL

Ir. Janter P. Simanjuntak, S.T., M.T., Ph.D.

Copyright © 2015 by Penulis

Diterbitkan oleh:

CV. Science Techno Direct
Perum Korpri, Pangkalpinang

Penyunting: M.Seto

Tata letak: M.Seto

Desain Cover: M.Seto

Terbit: maret, 2023

ISBN: 978-623-09-2567-2

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dengan bentuk dan cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Kata Pengantar

Puji syukur selalu penulis ucapkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan dan penulisan buku Monograf dengan judul **“Metode Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Non Fossil”** dengan baik dan lancar, dan sukses.

Buku monograf ini diharapkan bisa menjadi referensi bagi akademisi dan praktisi energi terbarukan, dalam menambah khasana pengetahuan dan mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya tentang biomassa. Penulisan buku monograf ini merupakan hasil

dari penelitian sendiri. Berbagai upaya telah penulis lakukan untuk mendapatkan hasil terbaik dalam penulisan buku monograf ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan dan penulisan buku monograf ini masih banyak kekurangan dan kesalahan sehingga jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari dosen sejawat dan akademisi sangat penulis harapkan. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan berbagai pihak mulai dari proses penyusunan hingga penerbitan buku monograf ini. Akhirnya penulis berharap melalui buku monograf ini para pembaca dapat memperoleh manfaat bertambahnya wawasan dan lain sebagainya.

RINGKASAN

Penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi menjadi pilihan penting menggantikan bahan bakar utama baik diperkotaan maupun didaerah industri akibat dari kenaikan harga bahan bakar yang semakin lama semakin meningkat. Sebuah tungku pembakaran untuk selanjutnya disebut dengan insinerator (*incinerator*) yang efisien dan rendah polusi mutlak diperlukan agar tidak membahayakan para pengguna dan lingkungan sekitarnya. Selanjutnya, incinerator ini juga dapat dikembangkan menjadi unit pembangkit energi

panas dalam sistem pembangkit energi listrik yang disebut dengan *combined heat and power* (CHP).

Insinerator merupakan alat yang digunakan untuk membakar bahan bakar, termasuk biomassa dan limbah dalam bentuk padat dan dioperasikan dengan memanfaatkan teknologi pembakaran pada suhu tertentu. Teknologi ini juga merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi timbulan sampah biomassa maupun limbah. Karena melibatkan pembakaran dengan suhu tinggi, energi panas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi listrik. Aspek penting dalam sistem insinerasi adalah kandungan energi (*heating value*) limbah yang diolah. Faktor ini tak hanya menentukan kemampuan yang diperlukan dalam berlangsungnya proses pembakaran, tetapi juga mengetahui berapa energi yang diperoleh ketika proses insinerasi selesai dilakukan.

Saat ini, sumber energi untuk pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh bahan bakar fosil, khususnya batubara. Namun tidak lagi tergantung kepada bahan bakar fosil ini, sumber-sumber energy terbarukan, termasuk biomassa sudah masuk dalam rencana pemerintah untuk dijadikan sumber energy. Teknologi pembakaran (*incineration*) biomassa dipertimbangkan untuk menghasilkan energi panas. Siklus Rankine merupakan sistem termodinamika yang dapat membangkitkan energi listrik dari energi panas. Ada dua jenis siklus Rankine yang dapat digunakan untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik, yaitu siklus Rankine konvensional, dan siklus Rankine organik. Siklus Rankine konvensional menggunakan air sebagai fluida kerja, sedangkan untuk sistem Rankine organik

menggunakan fluida kerja organik yang memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan dengan air.

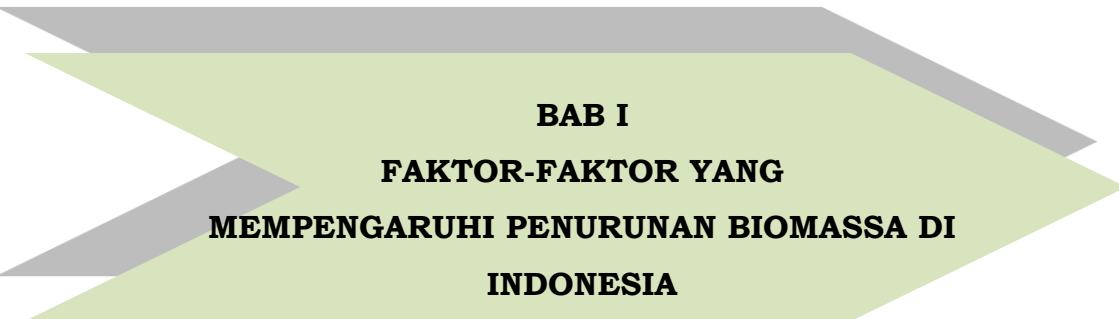
Beberapa langkah penting harus dipertimbangkan dalam mengolah biomassa menjadi energi listrik. Jenis, komposisi dan karakteristik biomassa harus diketahui lebih detail untuk mengetahui parameter operasional yang tepat agar menghasilkan pembakaran dengan efisiensi yang tinggi dan rendah polusi. Secara umum, komposisi kimia bahan bakar biomassa dapat dibagi menjadi dua, yaitu bahan yang benar-benar berpartisipasi dalam proses pembakaran, yang disebut material yang mudah terbakar (*combustible component*), dan bagian yang tidak berpartisipasi dalam pembakaran yang disebut dengan abu (*non-combustable*).

Sulit untuk melakukan analisis kesetimbangan massa yang tepat untuk bahan bakar padat, tetapi secara umum

bahan bakar padat termasuk limbah padat biomassa mengandung berbagai komponen kimia seperti; karbon (C), oksigen (O), hydrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), kelembaban (M) dan abu (A) yang apabila dibakar akan menghasilkan gas produk pembakaran seperti; karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), uap air (H₂O), oksigen (O₂), nitrogen (N₂) yang dapat dideteksi menggunakan *gas analyzer* dan abu sisa pembakaran (*Ash*). Melalui analisis gas produk pembakaran, maka jumlah kebutuhan udara yang dibutuhkan dapat diketahui

Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
RINGKASAN	v
Daftar Isi.....	x
BAB I FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENURUNAN BIOMASSA DI INDONESIA	11
BAB II PEMBANGKIT LISTRIK NON FOSIL	25
BAB III PENGEMBANGAN INCINERATOR	37
BAB IV KINERJA INCINERATOR	53
BAB V EPILOG KEMAMPUAN REAKTOR	59



BAB I

FAKTOR-FAKTOR YANG

MEMPENGARUHI PENURUNAN BIOMASSA DI

INDONESIA

1.1 Definisi Biomassa

Biomassa didefinisikan sebagai bahan organik, tersedia secara terbarukan, yang diproduksi baik langsung maupun tidak langsung dari organisme hidup tanpa terhubung dengan zat lainnya. Biomassa termasuk residu hutan dan pabrik, tanaman pertanian dan limbah seperti kotoran ternak, limbah kayu dan lain sebagainya.

Biomassa merupakan bahan-bahan organik berumur relatif muda dan berasal dari tumbuhan, peternakan,

kehutanan, dan perkebunan. Unsur utama dari biomassa adalah bermacam-macam zat kimia dimana sebagian besar mengandung atom karbon. Biomassa secara garis besar tersusun dari selulosa dan lignin atau sering disebut lignin selulosa.

Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Beberapa keuntungan yang diperoleh yaitu dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya dapat diperbaharui, relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian.

1.1 Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT)

Indonesia memiliki Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar diantaranya, mini/micro hydro

sebesar 450 MW, Biomass 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m²/hari, energi angin 3-6 m/det dan energi nuklir 3 GW. Data potensi EBT terbaru disampaikan Direktorat Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi dalam acara *Focus Group Discussion* tentang *Supply-Demand* Energi Baru Terbarukan yang belum lama ini diselenggarakan Pusdatin ESDM.

Saat ini pengembangan EBT mengacu kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam Perpres disebutkan kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 17% dengan komposisi Bahan Bakar Nabati sebesar 5%, Panas Bumi 5%, Biomasa, Nuklir, Air, Surya, dan Angin 5%, serta batubara yang dicairkan sebesar 2%. Untuk itu langkah-langkah yang akan diambil Pemerintah adalah menambah kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Mikro

Hidro menjadi 2,846 MW pada tahun 2025, kapasitas terpasang Biomasa 180 MW pada tahun 2020, kapasitas terpasang angin (PLT Bayu) sebesar 0,97 GW pada tahun 2025, surya 0,87 GW pada tahun 2024, dan nuklir 4,2 GW pada tahun 2024. Total investasi yang diserap pengembangan EBT sampai tahun 2025 diproyeksikan sebesar 13,197 juta USD.

Upaya yang dilakukan untuk mengembangkan biomasa adalah mendorong pemanfaatan limbah industri pertanian dan kehutanan sebagai sumber energi secara terintegrasi dengan industrinya, mengintegrasikan pengembangan biomassa dengan kegiatan ekonomi masyarakat, mendorong pabrikasi teknologi konversi energi biomassa dan usaha penunjang, dan meningkatkan penelitian dan pengembangan pemanfaatan limbah termasuk sampah kota untuk energi.

Pada dasarnya, Indonesia memiliki ragam potensi dalam mengembangkan EBT. Dengan keunggulan letak geografisnya, Indonesia diberkahi dengan EBT bersumber energi surya, angin, air, panas bumi, bioenergi, hingga energi laut. “Berbagai potensi ini yang harus jadi fokus pemerintah bersama perguruan tinggi dalam mengejar pengembangan EBT,

1.3 Mengoptimalkan Energi Baru Terbarukan (EBT)

Menipisnya potensi energi utama dari fosil terutama minyak dan gas bumi, mendorong pemerintah untuk menjadikan energi baru terbarukan (EBT) sebagai prioritas utama untuk menjaga ketahanan dan kemandirian energi nasional. Potensi EBT di Indonesia sangat besar dan dapat dimanfaatkan menjadi penyediaan energi nasional di masa mendatang. Namun potensi EBT di Indonesia belum dimanfaatkan secara

maksimal. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 22/2017 tentang Rencana Energi Nasional (RUEN) direncanakan bahwa 23% bauran nasional pada tahun 2025 diharapkan disuplai dari EBT.

Tidak dapat dipungkiri bahwa potensi EBT di Indonesia sangat besar. Sebagian besar EBT dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dan sisanya untuk sektor transportasi, industri, komersial dan sektor lainnya sebagai bahan baku campuran biodiesel dan bioetanol. Penyediaan EBT bersumber dari panas bumi, air, surya, angin, biomasa, sampah, bioethanol dan biodiesel. Selain untuk pembangkit listrik, penggunaan biomasa digunakan pula pada sektor industri sebagai pengganti batubara. Informasi pada grafik berikut menunjukkan bahwa penyediaan EBT akan meningkat terus seiring dengan waktu hingga tahun 2050.

Berdasarkan riset yang dilakukan oleh Hasan, dkk (2012) bahwa EBT Indonesia dapat diandalkan menjadi penyuplai energi nasional di masa mendatang. Namun sayangnya, potensi EBT di Indonesia yang melimpah ini belum dapat dimanfaatkan secara maksimal karena terkait dengan masalah regulasi atau kebijakan-kebijakan pemerintah terkait pengelolaan EBT, mulai perijinan sampai harga jual daya listrik. Sehingga tumpuan utama sumber energi untuk memproduksi listrik adalah batubara (*coal*).

Saat ini pemerintah sedang memaksimalkan potensi batubara melalui proyek gasifikasi melalui PT Bukit Asam Tbk (PTBA) di Tanjung Enim, Sumatra Selatan. Untuk itu, pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden (Perpres) No. 109 Tahun 2020 yang ditanda tangani oleh Presiden Joko Widodo pada 17 November 2020 yang menetapkan

proyek gasifikasi batubara menjadi proyek strategis nasional (PSN). Pabrik gasifikasi batubara ini akan mengolah sebanyak 6 juta ton batubara per tahun untuk diproses menjadi 1,4 juta ton dimethyl eter (DME). Produk ini mampu membantu mengurangi impor liquefied petroleum gas (LPG) sebanyak lebih dari 1 juta ton per tahun.

Salah satu target sumber energi yang akan berkontribusi pada bauran energi nasional adalah sumber energi dari biomassa. Dikutip dari buku BPPT *Outlook Energi Indonesia 2018* bahwa potensi energi biomassa Indonesia sebesar 32.654 MW. Potensi yang sudah terpasang terdiri dari 1626 MW *Off Grid* (diluar jaringan PLN) dan 91,1 MW *On Grid* (dalam jaringan PLN). Tidak dapat dipungkiri bahwa harga BBM dan gas akan terus meningkat sehingga membuat daya beli masyarakat

menjadi berkurang dan lebih memilih menggunakan bahan bakar alternative khususnya biomassa. Jumlah ini akan bertambah lagi menjelang tahun 2030 dimana akan hamper setengah dari jumlah populasi manusia menggunakan biomassa sebagai sumber energi, dan masing-masing keluarga akan memerlukan 2 ton kayu tiap tahunnya untuk keperluan memasak dan pemanasan. Hal ini akan berdampak pada besarnya kebutuhan akan bahan bakar berbasis biomassa, khususnya bahan bakar padat yang bersifat kayu yang dengan mudah dapat diperoleh terutama dengan mengeksploitasi hutan.

Biasanya biomassa dibakar secara langsung untuk mendapatkan energi panas dengan metode pembakaran konvensional diudara terbuka menggunakan tiga batu (*three-stones fire*). Metode ini sangat tidak efisien dan

boros bahan kayu bakar. Efisiensi tungku konvensional tiga batu biasanya berkisar antara 5% sampai 17%. Tidak hanya dalam penggunaan sumber bahan bakar utama/fosil, penggunaan sumber energi dari biomassa yang tidak berteknologi akan mengakibatkan pengaruh negatif terhadap lingkungan hidup (*global impact warming*). Karbon dioksida (CO₂) sebagai hasil reaksi pembakaran akan terlepas ke atmosfer dan dapat mengganggu sistem pernafasan manusia. Terkadang karbon monoksida (CO) juga terbentuk akibat proses pembakaran yang tidak sempurna yang sifatnya sangat radikal hingga dapat menimbulkan kematian dalam jumlah yang banyak [4]. Namun biomassa termasuk salah satu sumber energi alternatif, mudah diperoleh, harga relative murah dan dapat diperbarui.

Proses pembakaran dengan menggunakan tungku biomassa berteknologi akan menghasilkan proses pembakaran yang sempurna dengan produksi energi panas yang tinggi. Energi panas maksimum dapat diperoleh dari kandungan energi potensial biomassa dan dikonversi salah satunya menjadi energi listrik. Banyak informasi dari referensi terkait kinerja tungku biomassa, namun data mengenai tungku biomassa yang tepat dan tervalidasi masih jarang.

Penggunaan biomassa sebagai bahan bakar menjadi pilihan utama menggantikan bahan bakar fosil di daerah terpencil akibat dari kenaikan harga bahan bakar yang semakin lama tidak terjangkau oleh masyarakat pedesaan. Sebuah tungku pembakaran yang efisien dan rendah polusi mutlak diperlukan agar tidak membahayakan para pengguna. Selain untuk alat

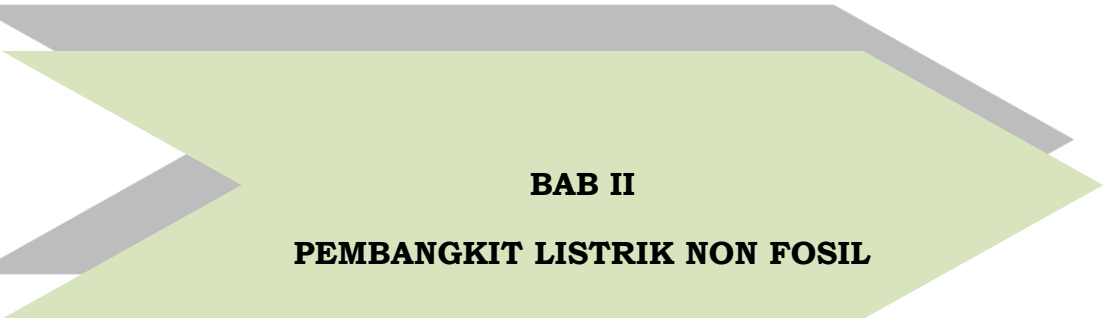
memasak, tungku biomassa juga dapat dikembangkan menjadi komponen pembangkit energi panas dalam sistem pembangkit energi listrik, *combined heat and power* (CHP).

1.4 Metode Pendekatan Peningkatan Energi Baru

Siklus Rankine Organik atau *Organic Rankine Cycle* (ORC) merupakan system termodinamika yang dapat membangkitkan energi listrik dari energi panas. ORC memanfaatkan sumber energi panas dengan temperatur operasi rendah. Hal yang membedakan siklus Rankine konvensional dengan ORC adalah fluida kerja serta kondisi operasinya. Pada siklus Rankine konvensional fluida kerja yang digunakan adalah air, sedangkan untuk sistem ORC fluida yang digunakan adalah fluida organik yang memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan dengan air.

Sistem ORC menggunakan komponen *evaporator* sebagai pengganti *steam generator* atau *boiler* di siklus Rankine konvensional. Sistem ORC memanfaatkan sumber panas dengan temperatur rendah seperti panas buang pada industri, panas matahari, pembakaran biomassa serta air pendingin dari pembangkit listrik tenaga panas bumi (*geothermal*). Pada temperatur rendah, fluida organik memiliki efisiensi siklus yang lebih tinggi dibandingkan air. Selain itu, ORC juga lebih efisien untuk pembangkit skala kecil. Pembangkit listrik siklus ORC sederhana memiliki komponen utama yaitu *evaporator*, turbin, generator, kondenser dan pompa. Skema sederhana ORC dengan cara fluida kerja yang berupa fluida organik akan menerima kalor dari *brine* panas bumi melalui *heat exchanger* untuk kemudian diubah fasenya menjadi uap selanjutnya proses perpindahan panas tersebut pada tekanan konstan atau isobar. Kemudian fluida kerja yang memiliki fase

uap akan memutar turbin sehingga menghasilkan energi mekanik yang selanjutnya oleh generator energi mekanik tersebut diubah menjadi energi listrik.



BAB II

PEMBANGKIT LISTRIK NON FOSIL

2.1 Teknologi Energi Biomassa

Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pembakaran langsung, konversi termokimiawi, dan konversi biokimiawi. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa telah dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan. Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang

memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia alam menghasilkan bahan bakar.

Dalam teknologi konversi termal biomassa, proses pembakaran langsung adalah proses yang paling mudah dan konvensional dibandingkan dengan lainnya. Biomassa langsung dibakar tanpa proses-proses tertentu, seperti yang telah dilakukan di tingkat rumah tangga dengan menggunakan bahan bakar kayu atau limbah kayu, ranting, dan daun-daun kering sebagai bahan bakar tungku untuk kegiatan memasak atau untuk penghangat ruangan. Di tingkat industri/pabrik, pembakaran langsung biomassa pada umumnya menggunakan peralatan atau teknologi yang inovatif, terutama untuk menggerakkan *steam turbin* untuk kepentingan proses produksi industri tersebut, atau dengan menggunakan tambahan generator untuk mendapatkan listrik. Cara ini

banyak dilakukan di pabrik kelapa sawit dan gula yang memanfaatkan limbahnya sebagai bahan bakar.

Pada saat ini, teknologi pembakaran langsung untuk biomassa sudah berkembang ke bentuk lain yang populer, yaitu mengubah biomassa padat menjadi briket atau pelet agar lebih mudah penggunaan, proses pengiriman, dan penyimpanannya. Pembakaran langsung biomassa tertentu, misalnya tempurung kelapa, bisa menghasilkan briket dan arang granular. Dengan menggunakan tungku desain tertentu, briket dan arang dapat digunakan sebagai energi untuk keperluan memasak pada skala rumah tangga dan industri makanan. Penggunaan input pelet kayu dengan tungku inovatif menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi (Dian Desa, 2012).

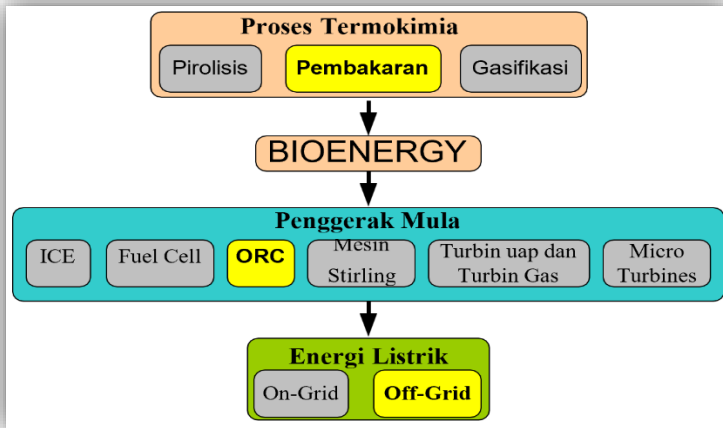
2.2 Penggunaan Tungku Biomassa

Saat ini penggunaan tungku biomassa semakin meningkat. Namun kinerja tungku tersebut masih tetap dalam penyelidikan para peneliti untuk mendapatkan tungku dengan kinerja yang tinggi. Dua parameter penting yang menjadi fokus utama para peneliti dalam merancang dan mengembangkan sebuah tungku biomassa adalah parameter geometri dan parameter operasional [8-24]. Secara teoritis bahwa sebuah tungku dengan kehilangan energy termal yang minimal memiliki kinerja yang tinggi. Tungku seperti ini harus dibuat dari bahan dengan perpindahan panas yang kecil. Perbandingan udara-bahan bakar (A/F) yang tepat sangat penting dalam mengoperasikan sebuah tungku biomassa agar memenuhi reaksi pembakaran yang stoikio metris dimana jumlah udara yang diberikan adalah 100% udara teoritis. Namun untuk mencapai pembakaran sempurna

(*complete combustion*) udara pembakaran harus dibuat melebihi pembakaran udara teoritis.

Tidak diragukan lagi bahwa biomassa sudah menjadi sumber energi alternatif yang dipertimbangkan dalam ketahanan energi nasional Indonesia. Proses-proses biomassa dan ketersediaannya menurut para peneliti dapat dijadikan pedoman untuk lebih mengembangkan biomassa sebagai sumber energi [8, 12, 16]. Secara teoritis dikenal banyak cara konversi biomassa menjadi energi listrik seperti dijelaskan melalui diagram pada **Gambar 1** berikut ini. Proses termokimia adalah proses yang melibatkan suhu tinggi. Metode pembakaran menjadi cara yang paling disukai karena memiliki keunggulan dibandingkan dengan proses lain. Peralatan yang digunakan juga tidak terlalu kompleks. Tungku

biomassa yang dimodifikasi dapat mencapai efisiensi hingga 35% [13].



Gambar 1. Rute konversi energi dari biomass

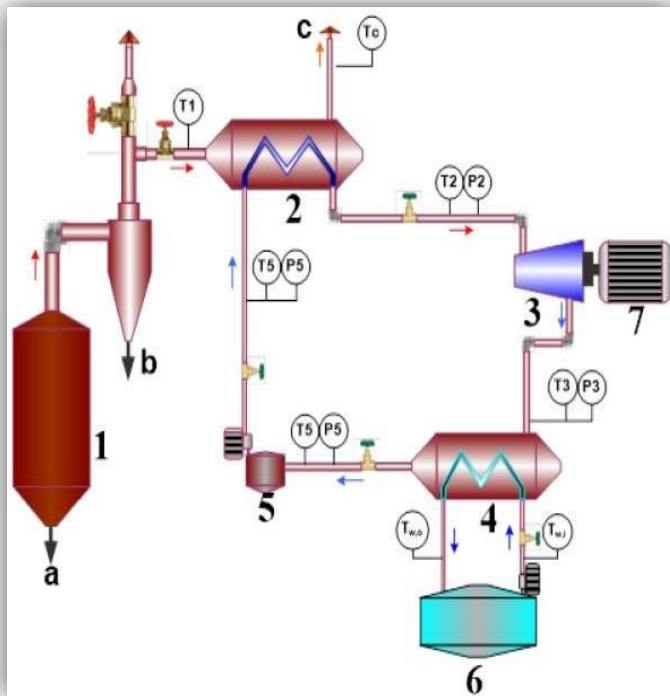
Pembakaran (*combustion*) adalah proses termokimia menggunakan suhu tinggi. Namun proses yang melibatkan suhu tinggi mempunyai kelemahan dimana sebagian energi tetap hilang atau terbuang begitu saja. Dengan kata lain tidak seluruhnya panas dapat diubah menjadi energi listrik. Salah satu cara untuk

meningkatkan efisiensi proses termal adalah menggunakan system kombinasi, dimana selain produksi listrik, maka panas sisa harus dimanfaatkan kembali. Sistem seperti ini disebut dengan *combined heat and power system* (CHP). Mesin pembakaran dalam (SI dan CI) *engines* hanya mengkonversi 25-38% energi termal bahan bakar menjadi kerja poros, sebagian lagi terbuang melalui dinding mesin dan juga melalui gas buang. Hingga saat ini penyelidikan terhadap pemanfaatan energy terbuang menggunakan kajian secara termodinamik sudah mendapat tempat pada riset dan pengembangan terkait energi baru dan terbarukan.

Pada umumnya sistem dengan siklus rankine organik (ORC) dapat digunakan untuk menyerap energi panas terbuang dalam rentang kandungan energi rendah, sedang, maupun tinggi dan mengkonversinya menjadi

energi listrik [20, 22]. Komponen dasar dan susunan peralatan model pembangkit listrik system ORC yang diusulkan dalam artikel ini terdiri dari (1) Insinerator sebagai sumber energi panas yang akan digunakan untuk memanaskan fluida kerja didalam evaporator, (2) Evaporator sebagai alat pembangkit uap fluida kerja, (3) Turbin uap sebagai ekspander yang akan mengubah energi uap fluida kerja menjadi tenaga berguna kerja poros, (4) Kondensor sebagai alat pendingin fluida kerja supaya fluida kerja kembali kewujud cair, (5) Pompa digunakan untuk mengalirkan kembali fluida kerja ke evaporator, (6)Sistem pendingin kondensor, (7) Generator, (a) Abu pembakaran, (b) Partikel halus, dan (c)Gas sisa dibebaskan keatmosfer. Bila suhu gas buang masih dirasa cukup tinggi, direncanakan digunakan untuk pemanas udara pembakaran (*air preheat*) dan untuk

pemanasan fluida kerja sebelum masuk evaporator (*economiser*). Suhu fluida kerja keluar turbin juga akan dipantau dan bila masih cukup tinggi akan digunakan untuk *economiser*. Hal demikian sangat diharapkan untuk menaikkan efisiensi pemanfaatan energi termal secara keseluruhan. Demikian proses terjadi secara terus menerus. Susunan peralatan pembangkit listrik seperti ditunjukkan pada **Gambar 2** dibawah ini.



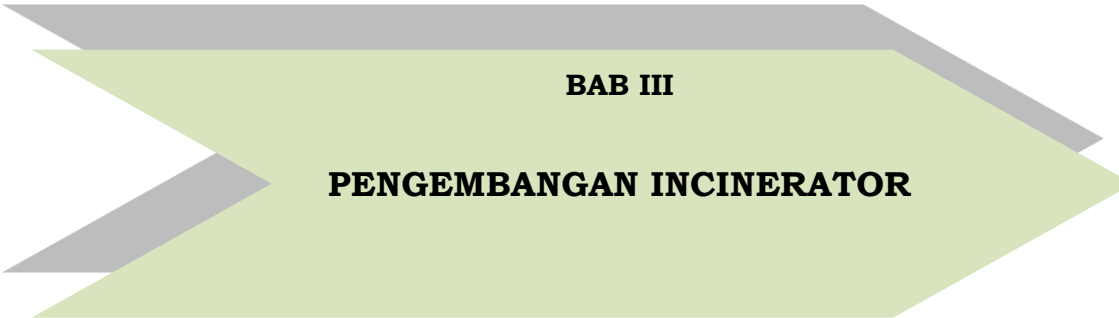
Gambar 2. Diagram Siklus Rankine Organik

Salah satu produk pembakaran bahan bakar yang paling bermanfaat adalah energi panas yang sangat banyak manfaatnya. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan energi termal yang terkandung dalam asap

pembakaran. Dahulu energi termal digunakan untuk keperluan rumah tangga, hingga pada jaman modern ini, pemanfaatan energi termal sudah semakin meningkat. Di negara-negara maju energi termal dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk air panas keperluan rumah tangga, hotel, perkantoran, dan industri. Teknologi modern saat ini juga focus pada optimasi dan peningkatan efisiensi system pengubah energi termal menjadi energi listrik.

Proses ini bermanfaat untuk pengembangan pengolahan biomassa menjadi sumber energi yang terbarukan. Hingga saat ini dalam peradaban manusia bahwa ketergantungan terhadap sumber energi dari fosil sudah sangat mengkhawatirkan. Oleh karena itu, pelaksanaan ini bermanfaat menjadi dasar untuk pengembangan sumber-sumber alternatif sebagai sumber energi pengganti bahan bakar fosil.

Para peneliti telah banyak melakukan kajian-kajian tentang sistem pembangkit tenaga yang menyajikan sistem ORC sebagai siklus penggerak, diantaranya Yamamoto T. Et al. Kajian tentang penggunaan fluida kerja yang memiliki titik didih rendah pada sistem ORC dan dapat menghasilkan kinerja siklus lebih baik daripada menggunakan air.

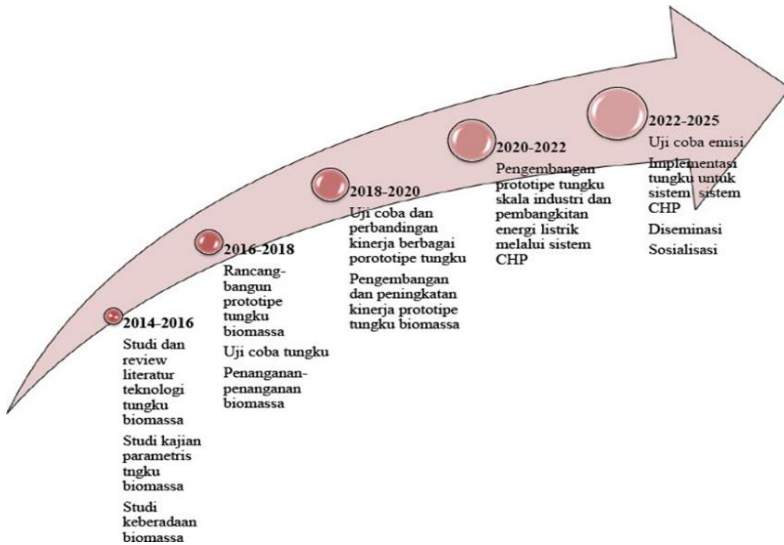


BAB III

PENGEMBANGAN INCINERATOR

3.1 Roadmap

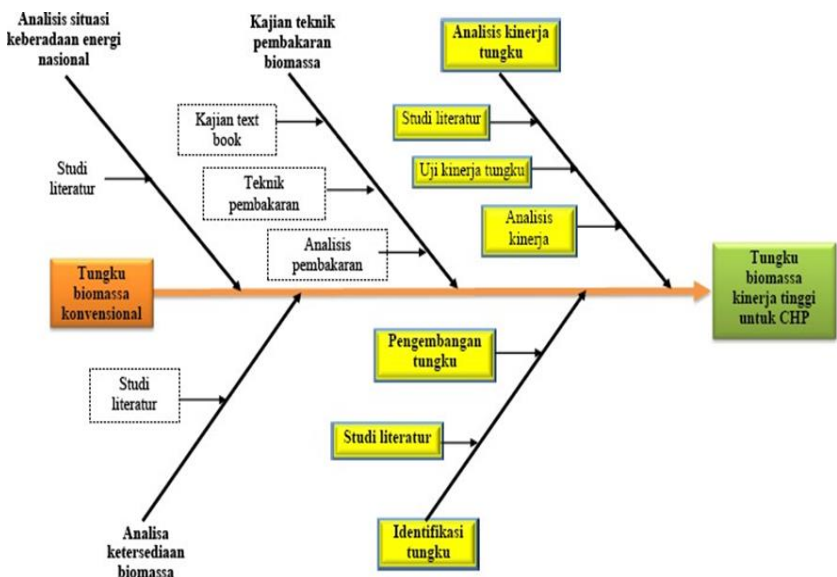
Penelitian bidang insinerator pembakaran biomassa dan limbah padat dilakukan secara terus-menerus pada sumber-sumber energy alternative dengan perencanaan yang matang. Biomassa dan limbah sisa olahan pertanian, limbah rumah tangga dan industry sangat menjanjikan sebagai sumber energi melalui proses pembakaran.



Gambar 3. Road map penelitian konversi biomassa menjadi energi listrik

Beberapa cara atau metode sudah dilakukan dan dikembangkan untuk mengkonversi ataupun mengubah bahan bakar berbasis limbah padat. Penelitian terhadap sumber energi limbah padat ini dibuat dengan tahapan dan tujuan yang pasti. Peta jalan (*Roadmap*) penelitian bidang konversi dengan focus pada pencapaian

incinerator untuk mencapai kinerja yang tinggi serta rendah polusi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3 diatas.



Gambar 4. Alur penelitian pengembangan incinerator dalam diagram tulang ikan

Pengembangan *incinerator* ini diusulkan untuk dilaksanakan dalam tempo 2 tahun. Adapun langkah-langkah dan alur yang dilaksanakan hingga tercapainya tujuan yang dapat dilihat dalam diagram tulang ikan (*fishbone diagram*) pada Gambar 4 diatas.

3.2 Bahan dan material

Biomassa tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar dalam penelitian ini. Biomassa ini banyak ditemukan disekitar lokasi penelitian. Tempurung kelapa dikeringkan menggunakan panas matahari dan ukurannya dibuat beberapa pengujian. Dalam penelitian ini tidak ada perlakuan khusus terhadap tempurung kelapa. Hal ini dilakukan untuk lebih mendekati situasi eksperimen pada situasi real dilapangan dimana tempurung kelapa masih dianggap benda tidak berharga sehingga dikumpulkan disembarang tempat seperti ditunjukkan

pada Gambar 5. Namun pada dasarnya pengguna tungku menginginkan pengoperasian secara sederhana dan murah tanpa perlakuan terhadap bahan bakar tersebut.



Gambar 5. Bentuk fisik tempurung kelapa yang digunakan

Prototipe tungku pembakaran biomassa modifikasi dengan keunggulan distribusi udara dua tingkat (*primary dan secondary*) dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah ini.

Tungku dibuat berbentuk kubus dari bahan batu tahan api dilapisi dengan plat besi sebagai dinding luar. Ukuran tungku adalah 25 cm x 25 cm x 100 cm masing-masing untuk panjang, lebar, dan tinggi tungku. Material batu tahan api memiliki performansi yang lebih baik bila dijadikan bahan tungku [28]. Tungku dilengkapi dengan *grate* yang mudah dilepas pasang untuk mempermudah pembersihan dan mengatasi bilamana terjadi *briging* dan *clickering* di dalam ruang bakar. Tungku difabrikasi di workshop teknik mesin fakultas teknik Universitas Negeri Medan. Sebuah *blower* digunakan untuk mensuplai udara terkontrol untuk kebutuhan udara pembakaran primer dan sekunder. Untuk mendapatkan variasi kelajuan udara pembakaran diatur melalui katub control udara dan besarnya kelajuan udara diukur menggunakan flow meter

udara. Dalam penelitian ini digunakan *blower* dengan kapasitas 1500 LPM.

Dalam penelitian ini limbah dari pengolahan kelapa berupa tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar. Beberapa perlakuan dilakukan hingga pada tahap uji pembakaran didalam *insinerator*.

Langkah-langkah yang dilakukan:

1. Mengumpulkan limbah pengolahan tempurung kelapa
2. Melakukan pengeringan untuk mengurangi kadar kelembaban (*moisture*) material yang dijadikan sampel
3. Melakukan pencincangan (*shredding*) untuk menyeragamkan dan mengecilkan ukuran sampel

4. Melakukan analisa proksimasi dan ultimasi terhadap sampel untuk mengetahui sifat fisika dan kimia bahan bakar sampel
5. Melakukan kalkulasi nilai pembakaran teoritis
6. Melakukan kalkulasi kebutuhan udara pembakaran stoikiometris
7. Melakukan kalkulasi produk gas pembakaran
8. Melakukan kalkulasi suhu pembakaran
9. Melakukan eksperimen pembakaran
10. Melakukan analisis produk gas hasil pembakaran
11. Melakukan analisa partikel (FABA)

Diagram incinerator dengan susunan peralatan yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 6**. Insinerator berbentuk kubus dari bahan batu tahan api dilapisi *ceramic fibre* sebagai isolator. Ukuran *incinerator* adalah

25 cm x 25 cm x 100 cm masing-masing untuk panjang, lebar, dan tinggi. Material batu tahan api memiliki performansi yang lebih baik dalam menekan kehilangan energi panas bila dijadikan bahan tungku [24]. Grate dapat dikeluarkan dengan mudah untuk mempermudah pembersihan dan mengatasi bilamana terjadi *slagging*, *fouling* dan *clickering* didalam ruang bakar. Insinerator difabrikasi di workshop teknik mesin fakultas teknik Universitas Negeri Medan.

Sebuah *blower* dengan kapasitas 1500 LPM digunakan untuk mensuplai udara terkontrol kebutuhan udara pembakaran pada zona primer dan zona sekunder. Untuk mendapatkan variasi laju aliran udara pembakaran diatur menggunakan katub kontrol udara dan besarnya kelajuan udara diukur menggunakan flow meter udara dengan kapasitas maksimum 1000 LPM.



**Gambar 6. Prototipe insinerator yang digunakan:
nama bagian dan susunan peralatan**

Pada sistem-sistem pembakaran seperti bahan bakar gas, bahan bakar padat termasuk batubara, biomassa, ataupun bahan bakar limbah (termasuk sampah) sangat mementingkan kinerja yang tinggi dari

insinerator yang digunakan. Ada tiga kategori utama yang sangat menentukan kualitas proses pembakaran, yaitu: karakteristik bahan bakar, parameter operasional, dan desain atau konstruksi insinerator. Parameter operasional yang digunakan akan sangat menentukan kinerja dari insinerator, termasuk emisi dan polusi yang ditimbulkan. Selain komposisi unsure bahan bakar, kebutuhan udara pembakaran menjadi kunci utama untuk mengontrol suhu dan emisi gas pembakaran. Kinerja insinerator akan menjadi tinggi apabila suplai keperluan udara pembakarannya tepat dan sesuai.

Untuk mengetahui keperluan udara pembakaran yang tepat, selain dengan menggunakan analisis teoritis, pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan memantau dan menganalisis produk gas pembakaran (*stack analysis*) atau dikenal dengan analisa orsat.

Dengan mengetahui komposisi dan jumlah fraksi gas pembakaran (% vol), maka reaksi pembakaran yang terjadi dalam incinerator dan komposisi bahan bakar yang digunakan dapat diketahui. Alat yang dapat digunakan untuk mengetahui komposisi gas hasil pembakaran adalah *gas analyzer* atau setidaknya dengan *hand gas analyzer*.

3.3 Analisis gas hasil pembakaran

Metode analisis menggunakan prinsip keseimbangan massa antara bahan bakar yang dibakar atau disebut reaktan dengan gas produk pembakaran yang biasa disebut dengan asap pembakaran dan abu pembakaran. Secara umum, komposisi kimia bahan bakar dapat dibagi menjadi dua, yaitu bahan yang benar-benar berpartisipasi dalam proses pembakaran, yang disebut material yang mudah terbakar (*combustible*

component), dan bagian yang tidak berpartisipasi dalam pembakaran yang disebut dengan abu.

Sulit untuk melakukan analisis massa yang tepat untuk bahan bakar padat, tetapi secara umum bahan bakar padat termasuk biomassa dan limbah padat mengandung berbagai komponen kimia seperti; karbon (C), oksigen (O), hydrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), kelembaban (M) dan abu (A) yang apabila dibakar akan menghasilkan gas produk pembakaran seperti; karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), uap air (H₂O), oksigen (O₂), nitrogen (N₂) yang dapat dideteksi menggunakan *gas analyzer* dan abu sisa pembakaran (*Ash*). Melalui analisis gas produk pembakaran, maka jumlah kebutuhan udara yang tepat dapat diketahui.

Masing-masing komponen yang dapat terbakar diperhitungkan sebagai bahan reaktan yang berkontribusi terhadap energi termal yang diproduksi selama proses pembakaran dan yang dianalisis sendiri-sendiri. Terlepas dari desain dan konstruksi *incinerator*, untuk mengetahui kebutuhan udara pembakaran, maka perlu diketahui reaksi pembakaran masing-masing komponen yang dapat terbakar.

Kecukupan asupan udara pembakaran adalah kunci keberhasilan sebuah proses pembakaran. Jumlah udara akan menentukan apakah sebuah pembakaran dikatakan sempurna atau tidak sempurna. Pembakaran yang sempurna akan menyisakan CO₂, H₂O, dan SO₂ pada gas pembakaran. Tidak terdapat oksigen dalam gas buang kecuali nitrogen. Sedangkan pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan karbon yang ikut dalam gas buang,

dan gas yang masih dapat terbakar seperti, H₂, CO, atau OH.

BAB IV KINERJA INCINERATOR

Untuk mempertahankan parameter target dari incinerator selama pengoperasian, maka beberapa parameter operasional yang akan diuji akan dilakukan terkait pada; suhu yang dihasilkan, penggunaan bahan bakar, dan juga pengoperasian tungku. Indikator utama yang dibuat adalah profil suhu yang konstan selama operasional. Profil suhu dapat diketahui dari termokopel yang ditempatkan pada ruang bakar utama, ruang bakar secondary, dan di outlet cyclone. Pengaruh-pengaruh air-fuel ratio terhadap kinerja incinerator akan dibahas untuk menentukan parameter yang paling optimal. Product gas yang dihasilkan pada setiap parameter operasional akan dievaluasi untuk mengetahui parameter yang paling cocok dalam pengoperasian alat.

Kondensasi adalah proses mengubah wujud zat dalam wujud gas/uap menjadi wujudcairan. Kondensasi dapat terjadi bila suhu saturasi uap/gas berada dibawah suhu saturasimediumnya. Medium untuk terjadinya kondensasi seperti logam dan material lainnya.Agar proses kondensasi terjadi dengan baik, maka alat kondensasi (condenser) harusdirancang dan didesain dengan benar supaya berfungsi seperti yang diharapkan, terutama dalam hal kualitas dan kuantitas dari kondensat yang dihasilkan. Perpindahan panas yangbagus antara fluida yang akan dikondensasi dengan medium harus terjadi dengan baik agarsuhu fluida dapat segera menurun. Untuk tujuan tersebut maka sangat dibutuhkan sistempendingin misalnya menggunakan air yang bersirkulasi.

Cepat tidaknya asap mencair dalam condenser sangat dipengaruhi oleh banyak hal.Dalam dunia industri kebanyakan menggunakan peralatan sederhana seperti misalnya drumdengan pendinginan sederhana memanfaatkan udara sekitar sehingga kualitas dan

kuantitas asap cair yang diperoleh masih dibawah standar. Untuk itu sangat diperlukan sebuah sistem yang mampu menjawab permasalahan yang dihadapi industry. Seiring perkembangan teknologi, kemampuan condenser semakin meningkat dengan merancang alat yang mampu melakukan perpindahan panas dengan baik. Kondenser sudah memiliki sistem pendingin untuk meningkatkan perpindahan panas. Tipe condenser paling banyak digunakan adalah tipe pipa—cangkang (shell and tube) dan sudah menjadi pilihan utama dalam hal perpindahan panas sebab dengan mudah dapat disesuaikan dengan kondisi fluida yang akan dikondensasikan agar proses dapat terjadi secara optimal.

Skema condenser tipe pipa-cangkang yang diteliti untuk digunakan dalam industri pengarangan kayu di daerah Kawasan Industry Medan. Dalam perancangan ini sangat dibutuhkan data-data dari industry termasuk laju asap panas keluar dari cerobong, kelajuan dan kualitas asap cair yang diperoleh. Untuk menentukan ukuran bidang

pemindah panas dalam condenser maka persamaan berikut menjadi dasar untuk menghitung ukuran penukar kalor serta posisi penukar kalor yang digunakan. Penukar kalor horizontal memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan posisi vertical. Dalam penelitian ini diproposed penukar kalor yang dapat menghasilkan kondensat yang continue, sehingga dipilih model kondensasi film pada pipa horizontal. Besarnya koefisien perpindahan panas kondensasi film pada pipa horizontal dihitung menggunakan persamaan.

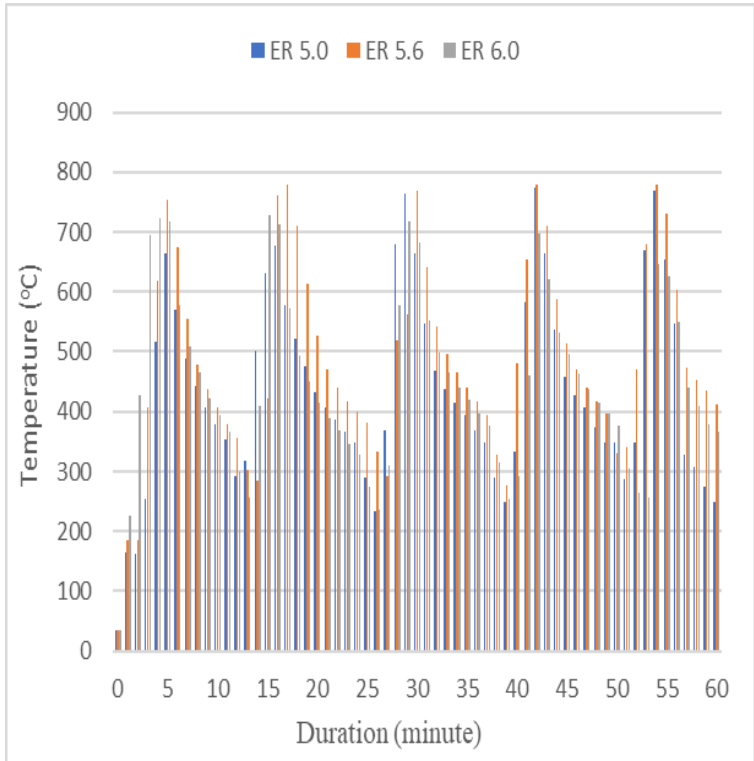
Dalam perancangan ini sangat dibutuhkan data-data dari industri termasuk laju asap panas keluar dari cerobong, kelajuan dan kualitas asap cair yang diperoleh. Untuk menentukan ukuran bidang material pemindah panas dalam condenser maka persamaan-persamaan dasar perpindahan kalor digunakan. Posisi atau kedudukan kondenser yang dirancang adalah posisi horizontal sebab dikenal memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan posisi vertikal. Dalam penelitian ini ditawarkan

kondenser yang dapat menghasilkan kondensat yang continue, sehingga dipilih model kondensasi film pada pipa horizontal. Konfigurasi atau susunan pipa-pipa perpindahan panas pada kondenser seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Konfigurasi pipa-pipa yang digunakan adalah platform susunan vertical dengan sejumlah pipa disusun secara parallel [55]. Konfigurasi ini memiliki kemampuan perpindahan kaloryang paling baik dibandingkan dengan konfigurasi segi empat [56]. Ukuran pipa-pipa (panjang dan diameter) sangat bergantung pada kapasitas perpindahan panas yang terkandung dalam asap panas yang keluar dari dapur pembakaran. Namun data dari industri tidak terlalu detail dan kurang lengkap sehingga beberapa data diambil dari pustaka/literatur dan sebagian lagi diasumsikan berdasarkan teori-teori yang tersedia.

BAB V EPILOG KEMAMPUAN REAKTOR

Kegiatan penelitian ini sudah dicapai sebesar 75%. Saat ini sedang dilakukan penyempurnaan analisis data setelah dilakukan pre-ekspeimen atau uji coba sebelum eksperimen yang sesungguhnya dilakukan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kemungkinan persentase keberhasilan maksud dan tujuan penelitian sangat tinggi. Hal ini ditunjukkan dari kemampuar reactor yang digunakan yang yang mampu menghasilkan suhu asap pembakaran rata-rata sebesar 350 °C. Suhu seperti ini sudah dapat dan layak untuk dikonversi menjadi energi listrik menggunakan siklus

Rankine Organik. Garfik berikut menunjukkan kinerja reactor selama proses pembakaran.



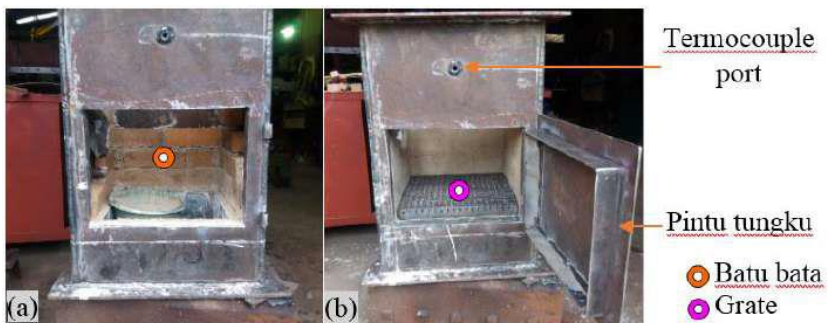
Gambar 7. Profil suhu didalam ruang bakar utama

Dalam hal ini telah berhasil dibuat satu alat pembakaran biomassa. Tujuandari pengembangan alat

ini adalah untuk menghasilkan energi panas yang konstan selama proses pembakaran. Energi termal ini akan digunakan untuk sistem pembangkit energi listrik. Beberapa sistem pendukung seperti evaporator, condenser, turbin uap, dan sistem pendingin direncanakan dan diperhitungkan. Beberapa studi pendahuluan dilakukan dengan teliti dengan melakukan kajian-kajian teori dengan maksud untuk mendukung pengembangan dan evaluasi yang akan dilakukan.

Tungku dibuat berbentuk kubus dari bahan batu bata dengan pelat besi dibagian dalam dan luar seperti ditunjukkan oleh Gambar 8. Material batu tahan api memiliki performansi yang lebih baik bila dijadikan bahan tungku. Untuk menyanggah bahan bakar di dalam tungku pembakaran dibuat alas atau jeruji dari besi cor yang dapat dilepas dengan ukuran 380 x 380 mm

ditempatkan 150 mm dari dasar ruang bakar sepertiditunjukkan pada Gambir 16(b). Maksud penggunaan grate portable untuk mempermudahpembersihan dan mengatasi bilamana terjadi briging dan clickering didalam ruang bakar.



Gambar 8. Fitur didalam tungku

Udara pembakaran yang dibutuhkan diumpankan ke dalam reaktor dengan dua cara,yaitu menggunakan pipa besi cor berdiameter 50 mm dengan lubang 8 mm yang dibor disepanjang dinding pipa. Pipa distributor ini ditempatkan di bawah jeruji untuk ruang bakar primerdan untuk pembakaran sekunder diatas bahan

bakar atau sering disebut dengan freeboard. Laju aliran udara disuplai oleh blower dan dikontrol menggunakan regulator katup udara dan dimonitor dengan rotameter udara. Oleh karena itu, pengguna dapat dengan mudah mengontrol laju pembakaran bahan bakar dan suhu di ruang bakar dengan mengontrol pasokan udara.

Tungku ini difabrikasi di workshop teknik mesin fakultas teknik Universitas Negeri Medan. Sebuah blower digunakan untuk mensuplai udara terkontrol untuk kebutuhan udara pembakaran primer dan sekunder. Untuk mendapatkan variasi kelajuan udara pembakar diatur melalui katub kontrol udara dan besarnya kelajuan udara diukur menggunakan anemometer. Dalam penelitian ini digunakan blower dengan kapasitas 1500 LPM. Prototipe tungku yang sudah lengkap. Tiga

termokopeltipe-K dipasang pada pembakaran primer dan sekunder untuk mendeteksi suhu yang mewakili setiap ruang. Termokopel lain dipasang di outlet siklon untuk mendeteksi suhu produk pembakaran akhir.

Insinerator yang diuji adalah tipe fixed-bed yang berlokasi di Workshop Teknik Mesin Universitas Negeri Medan. Prototipe incinerator dengan tipe tumpukan overfeed. Jenis incinerator ini cocok untuk skala kecil hingga menengah dan masih digunakan untuk industri kehutanan dan gula. Insinerator dipasang secara vertikal dan memiliki tinggi total 2000 mm. Ukuran total volume pembakaran untuk pembakaran primer dan sekunder sekitar 200 x 200 x 400 mm terbuat dari batu bata yang dilapisi dengan plat besi 2 mm pada dinding dalam dan luar. Batas antara zona pembakaran primer dan sekunder tidaklah nyata. Area tepat di atas unggun bahan bakar diasumsikan sebagai

zona pembakaran sekunder. Untuk menjaga temperatur hasil pembakaran di sepanjang cerobong asap, digunakan silinder konsentris berdiameter 350 mm dan 200 mm untuk silinder luar dan dalam serta tinggi 750 mm dengan bahan semen diisidi antaranya sebagai isolator. Sebuah siklon berisolasi ditempatkan setelah saluran keluar cerobong asap untuk memisahkan partikel halus dari gas buang panas sebelum digunakan untuk tujuan lain.

Selama pembakaran, gas panas yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna pada pembakaran primer mengalir ke atas menuju ruang bakar sekunder. Gas panas ini mengandung gas yang dapat terbakar (flameable) kemudian bercampur dengan udara sekunder dan dibakar untuk mencapai pembakaran sempurna yang akan menghasilkan suhu yang lebih tinggi. Karena temperatur penyalaan

karbon (C) kira-kira 400^oC, maka temperatur operasi ruang bakar primer harus dikontrol minimum pada 400 oC dan dapat divariasikan antara 400 dan 500 oC dengan mengatur udara dan suplai bahan bakar sementara suhu ruang sekunder dapat bervariasi dari 800 hingga 1000^oC.

Parameter operasional insinerator bahan bakar padat termasuk biomassa dengan dua tahap pasokan udara telah dilakukan. Studi ini mengungkapkan bahwa parameter operasi dapat dioptimalkan dengan menganalisis produk pembakaran selama pembakaran. Dengan menggunakan dua tahap pasokan udara dapat meningkatkan kinerja insinerator yang signifikan di mana sebenarnya bahwa kinerja yang tinggi menyebabkan penurunan polutan. Analisis teoritis ini harus divalidasi dengan menggunakan insinerator nyata. Untuk dengan percaya diri mengusulkan dan

membangun insinerator nyata dan banyak tes harus dilakukandengan memanfaatkan sejumlah jenis bahan baku biomassa padat dengan karakteristikmereka sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

1. International Energy Agency, IEA/OECD, Paris, 2002.
2. Cookstoves, H., *Environment, Health, and Climate Change: A New Look at an Old Problem*. Washington: The World Bank, 2011.
3. Berrueta, V.M., R.D. Edwards, and O.R. Masera, *Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico*. *Renewable Energy*, 2008. **33**(5): p. 859-870.
4. Bertrand, A., et al., *Primary emissions and secondary aerosol production potential from woodstoves for residential heating: Influence of the stove technology and combustion efficiency*. *Atmospheric Environment*, 2017. **169**: p. 65-79.
5. Simanjuntak, J.P. and B.H. Tambunan, *Kajian Eksperimental Kemampuan Bahan Bakar Biomassa Menggunakan Tungku Penggas*. 2018.
6. Simanjuntak, J., et al., *A Preliminary Study of Peat Gasification Characteristics in an Improved Biomass Stove*. ACEIVE 2018, 2019: p. 375.
7. Simanjuntak, J.P., et al., *Experimental and Performance Assessment of Indonesian Biomass-Fired Based Stove with Internal Air Box using Coconut Shell*. 2018.
8. J.P. Simanjuntak, B.H.T., *Kajian Eksperimental Kemampuan Bahan Bakar Biomassa Menggunakan Tungku Penggas* Revitalization of Technical and Vocational Education to Face Industrial Revolution 4.0, 11-14 Juli 2019, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya., 2018.
9. J.P. Simanjuntak, B.H.T., *A Preliminary Study of*

- Peat Gasification Characteristics in an Improved Biomass Stove*. 2018.
10. Jain, T. and P.N. Sheth, *Design of energy utilization test for a biomass cook stove: Formulation of an optimum air flow recipe*. Energy, 2019. **166**: p. 1097-1105.
 11. Mitchell, E.J.S., et al., *The impact of fuel properties on the emissions from the combustion of biomass and other solid fuels in a fixed bed domestic stove*. Fuel Processing Technology, 2016. **142**: p. 115-123.
 12. Simanjuntak, J.P., *Experimental and Performance Assessment of Indonesian Biomass-Fired Based Stove With Internal Air Box*. 2019.
 13. Suresh, R., et al., *Evaluation of the performance of improved biomass cooking stoves with different solid biomass fuel types*. Biomass and Bioenergy, 2016. **95**: p. 27-34.
 14. Wang, J., et al., *Development and performance evaluation of a clean-burning stove*. Journal of Cleaner Production, 2016. **134**: p. 447-455.
 15. Wang, Z., et al., *Experimental Study of Thermal Performance Comparison Based on the Traditional and Multifunctional Biomass Stoves in China*. Procedia Engineering, 2015. **121**: p. 845-853.
 16. Yulianto, M., et al. *Study of temperature characterization of agricultural waste in the development of stove for combine heat power*. in *AIP Conference Proceedings*. 2017: AIP Publishing.
 17. Liu, H., Y. Shao, and J. Li, *A biomass-fired micro-scale CHP system with organic Rankine cycle (ORC) - Thermodynamic modelling studies*. Biomass and Bioenergy, 2011. **35**(9): p. 3985- 3994.
 18. Peris, B., et al., *Experimental characterization of an ORC (organic Rankine cycle) for power and CHP (combined heat and power) applications from low grade heat sources*. Energy, 2015. **82**: p. 269-276.

19. Mascuch, J., et al., *Experimental development of a kilowatt-scale biomass fired micro - CHP unit based on ORC with rotary vane expander*. Renewable Energy, 2018.
20. Peris, B., et al., *Experimental study of an ORC (organic Rankine cycle) for low grade waste heat recovery in a ceramic industry*. Energy, 2015. **85**: p. 534-542.
21. Zhang, H.-H., et al., *Experimental study of the organic rankine cycle under different heat and cooling conditions*. Energy, 2019. **180**: p. 678-688.
22. Cho, S.-Y. and C.-H. Cho, *An experimental study on the organic Rankine cycle to determine as to how efficiently utilize fluctuating thermal energy*. Renewable Energy, 2015. **80**: p. 73-79.
23. Rahbar, K., et al., *Feasibility study of power generation through waste heat recovery of wood burning stove using the ORC technology*. Sustainable Cities and Society, 2017. **35**: p. 594-614.
24. Peris, B., et al., *Performance evaluation of an Organic Rankine Cycle (ORC) for power applications from low grade heat sources*. Applied Thermal Engineering, 2015. **75**: p. 763-769.
25. Simanjuntak, J.P., et al., *Thermal Energy Storage System from Household Wastes Combustion: System Design and Parameter Study*. Journal of Advanced Research in FluidMechanics and Thermal Sciences, 2021. **80**(2): p. 115-126.
26. Vélez, F., et al., *A technical, economical and market review of organic Rankine cycles for the conversion of low-grade heat for power generation*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**(6): p. 4175-4189.
27. Moran, M.J., et al., *Introduction to thermal systems engineering*. Thermodynamics, Fluid

- Mechanics, and Heat Transfer, 2003.
28. Sutar, K.B., et al., *Biomass cookstoves: A review of technical aspects*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. 41: p. 1128-1166.
 29. Haseli, Y., I. Dincer, and G.F. Naterer, *Optimum temperatures in a shell and tube condenser with respect to exergy*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2008. 51(9): p. 2462-2470.
 30. Sakulkit, P., et al., *Characteristics of pyrolysis products from pyrolysis and co-pyrolysis of rubber wood and oil palm trunk biomass for biofuel and value-added applications*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2020. 8(6): p. 104561.
 31. Kakac, S., H. Liu, and A. Pramuanjaroenkij, *Heat exchangers: selection, rating, and thermal design*. 2020: CRC press.

BIOGRAFI

Ir. Janter P. Simanjuntak, S.T., M.T., Ph.D., IPM merupakan seorang dosen di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan, lahir di desa Sigumpar Julu, Kabupaten Tapanuli Utara (Sekarang Kabupaten Toba Samosir), Sumatera Utara pada tanggal 10 April 1971, merupakan putra ke lima dari 8 bersaudara dari pasangan St. Gr. Delvinus Simanjuntak dan Santi br Panjaitan. Memulai pendidikan dari Sekolah Dasar (SD) Negeri Pargaolan lulus tahun 1984, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri Sigumpar lulus tahun 1987 hingga menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 2 Balige di Laguboti lulus pada tahun 1990. Selama menempuh pendidikan di SMA sudah memiliki cita-cita menjadi ahli dibidang teknik mesin walaupun belum sepenuhnya mengerti tentang bidang teknik mesin serta

cakupannya. Untuk menggapai cita-cita ini dimulai di Universitas Sumatera Utara pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik dalam bidang Konversi Energi lulus dengan gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada tahun 1997. Pada bulan November tahun 1998 diterima menjadi dosen di Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan (FPTK) Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) Medan Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, sekarang Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan walaupun sebelumnya tidak berniat untuk menjadi seorang pengajar, namun karena minat dalam bidang teknik mesin yang kuat maka timbul pemikiran bahwa memperdalam keilmuan dibidang teknik mesin dapat juga melalui lembaga pendidikan. Ketertarikan dibidang Konversi Energi semakin kuat ketika sudah diberikan jam mengajar pada program Sarjana Pendidikan dan Diploma Tiga (D3) Teknik Mesin. Pada tahun 2001 mendapat beasiswa pada program pasca sarjana di Universitas Gajah Mada Yogyakarta dalam bidang Konversi Energi lulus pada Tahun 2004. Dalam masa beberapa tahun

sebelum menempuh pendidikan doktor telah aktif mengajar mata kuliah Termodinamika, Perpindahan Panas, Mekanika Fluida, dan Mesin Konversi Energi serta melakukan beberapa riset terkait dengan Konversi Energi dan pada tahun 2009 mendapatkan kesempatan menempuh pendidikan doktor di Universiti Sains Malaysia yang dibiayai oleh pemerintah Indonesia melalui Beasiswa Program Pasca Sarjana (BPPS) Luar Negeri lulus pada tahun 2014. Hingga saat ini, beberapa riset dalam bidang Konversi Energi, khususnya dalam kajian energi terbarukan dengan resource Biomassa dan Solid Waste sudah diselesaikan serta sejumlah artikel nasional maupun internasional bereputasi/terindeks Scopus dan WoS sudah publikasi. Saat ini dua patent sederhana terkait konversi energi yaitu alat pembakaran biomassa dan alat kondensasi asap hasil pirolisis sudah mendapatkan nomor pendaftaran dan sedang masa tunggu penyelesaian uji kelayakan.