



**SIMULASI PENGARUH *CO – FAIRING* BATUBARA DAN BIOMASA SERBUK
GERGAJI TERHADAP PERFORMA PLTU 2 X 150 MW MENGGUNAKAN
APLIKASI CYCLE TEMPO 5.0**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang



Disusun Oleh :

KHASAN SAPUTRA SISWANTO

NPM. 219.010.5.2034

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
2024**



University of Islam Malang
REPOSITORY



© Hak Cipta Milik UNISMA

repository.unisma.ac.id

ABSTRAK

Khasan Saputra Siswanto. 2024. Pencampuran Persentase Serbuk Gergaji sebagai Bahan Bakar Pada Boiler Dengan Metode Simulasi. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Dosen Pembimbing : Ir. Margianto. M.T dan Artono Raharjo, S.T., M.T

Udara yang semakin tercemar karena emisi gas buang dari bahan bakar fosil. Energi alternatif menjadi pengganti bahan bakar fosil. Energi alternatif yang dikembangkan saat ini adalah pencampuran Batubara dan Biomassa dari sampah organik serbuk gergaji yang disebut dengan *Co-Firing*. Serbuk Gergaji dan batubara sebagai bahan bakar yang mengeluarkan nilai kalor bertujuan meningkatkan efisiensi, memanfaatkan sampah organik yang tidak terpakai, dan mengurangi polusi. *Co-Firing* dilakukan dengan metode mencampurkan batubara dengan biomassa serbuk gergaji menggunakan timbangan digital. Penelitian ini membahas pengaruh pencampuran bahan bakar batubara dengan biomassa serbuk gergaji terhadap Performa daya, Efisiensi, Nett Plant Heat Rate (NPHR) pada pembangkit PLTU 2 X 150 MW menggunakan metode Simulasi dengan *SoftWare Cycle Tempo*. Bahan bakar dengan variasi yang dilakukan 0% batubara tanpa campuran, 75% batubara - 25% serbuk gergaji, dan 50% Batubara - 50% serbuk gergaji.

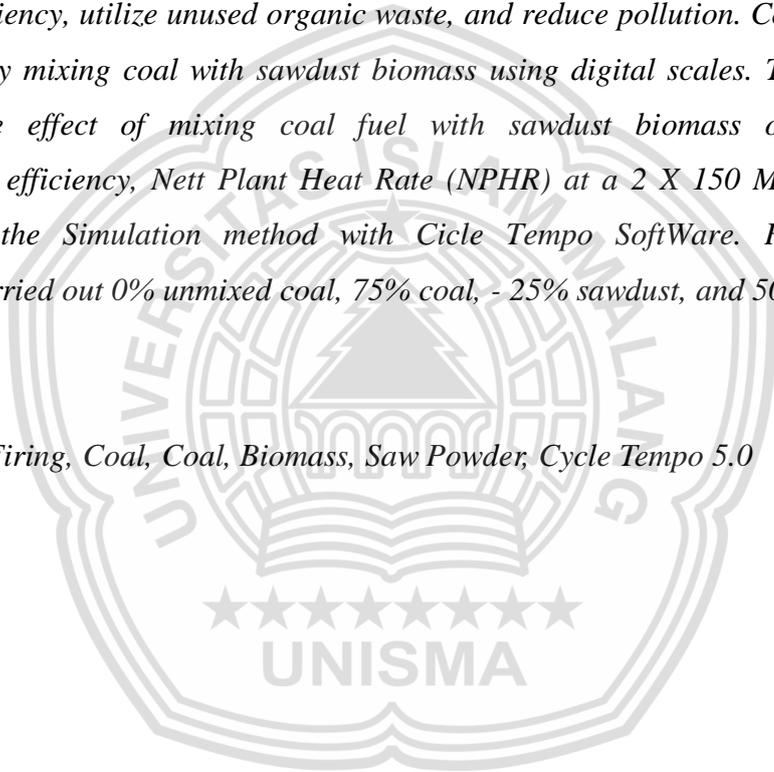
Kata Kunci : *Co-Firing*, Batubara, Biomassa, Serbuk Gergaji, *Cycle Tempo 5.0*

ABSTRACT

Khasan Saputra Siswanto. 2024. *Mixing Percentage of Sawdust as Fuel in Boilers by Simulation Method. Thesis. Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic University of Malang, Supervisor: Ir. Margianto. M.T. and Artono Raharjo, S.T., M.T*

The air is increasingly polluted due to exhaust emissions from fossil fuels. Alternative energy is becoming a substitute for fossil fuels. Alternative energy developed today is the mixing of Coal and Biomass from sawdust organic waste called Co-Firing. Sawdust and coal as fuels that emit calorific value aim to increase efficiency, utilize unused organic waste, and reduce pollution. Co-firing is carried out by mixing coal with sawdust biomass using digital scales. This study discusses the effect of mixing coal fuel with sawdust biomass on power performance, efficiency, Nett Plant Heat Rate (NPHR) at a 2 X 150 MW power plant using the Simulation method with Cicle Tempo SoftWare. Fuel with variations carried out 0% unmixed coal, 75% coal, - 25% sawdust, and 50% Coal - 50% sawdust.

Keywords : *Co-Firing, Coal, Coal, Biomass, Saw Powder, Cycle Tempo 5.0*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semakin berkembangnya pertumbuhan penduduk dan teknologi menjadikan energi listrik sebagai kebutuhan pokok di Indonesia. Kebutuhan pokok ini dapat dipenuhi dengan adanya pemabangkit Listrik. Uap (steam) dalam pembicaraan selanjutnya dimaksudkan uap air yaitu gas yang timbul akibat perubahan fase air (cair) menjadi uap (gas) dengan cara pendidihan (*boiling*). Untuk melakukan proses pendidihan diperlukan energi panas, yang diperoleh dari sumber panas, misalnya dari pembakaran bahan bakar (padat, cair, dan gas), tenaga listrik dan gas panas sebagai sisa proses kimia serta tenaga nuklir. Penguapan bisa saja terjadi di sembarang tempat dan waktu pada tekanan normal (atau mutlak), bila di atas permukaan zat cair tekanan turun (atau diturunkan) di bawah tekanan mutlak. Uap yang terjadi (dihasilkan) dengan cara demikian tidak mempunyai energi potensial, jadi tidak dapat dipergunakan sebagai sumber energi.

Penyediaan energi terbarukan terus didorong oleh pemerintah demi mencapai bebas emisi. Penggunaan energi biomassa memang sudah semakin luas dimanfaatkan di Indonesia. Terdapat teknik dalam penggunaan *energi biomassa*, yaitu *co-firing biomassa*. Penyediaan energi terbarukan terus didorong oleh pemerintah demi mencapai bebas emisi. Penggunaan energi *biomassa* memang sudah semakin luas dimanfaatkan di Indonesia. Terdapat teknik dalam penggunaan energi biomassa, yaitu *co-firing biomassa*. Pada tahun 2024, diperkirakan kapasitas total *co-firing* pada PLTU PLN mencapai 18 GW. Penggunaan *biomass co-firing* menjadi salah satu usaha untuk mengurangi ketergantungan energi fosil. Dengan *biomassa cofiring* sebanyak 90 persen batu bara dan 10 persen biomassa, maka kebutuhan batu bara turun menjadi sekitar 108 juta ton. Selain dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil secara bertahap, tetapi *Co-firing biomassa* juga dapat menjadi solusi permasalahan sampah sekaligus menggerakkan roda ekonomi di Indonesia. Direktur Eksekutif *Energy Watch*, Mamit Setiawan menyebutkan penggunaan *biomassa co-firing* menjadi salah satu usaha untuk mengurangi ketergantungan energi fosil. Saat ini, lanjutnya, sejumlah PLTU di beberapa daerah sudah melakukan uji coba *biomassa co-firing* dan berhasil. Skema itu mampu mencampur biomassa

dengan batu bara, sehingga pemanfaatan batu bara sebagai bahan baku pembangkit listrik dapat dikurangi secara perlahan dan berkelanjutan PLN mencoba dan sudah berhasil di beberapa pembangkit mereka untuk mengurangi penggunaan batubara melalui cofiring biomassa dan hasilnya cukup bagus. Terdapat pula Guru Besar Teknik Elektro dari Universitas Indonesia, Iwa Garniwa yang turut menyuarakan teknik *co-firing biomassa* ini. Beliau menyebutkan bahwa biomass cofiring merupakan salah satu alternatif yang dapat didorong untuk mencapai target bauran energi terbarukan sebanyak 23 persen pada 2025, alih-alih hanya fokus ke pengembangan PLTS Atap yang hingga kini masih menuai perdebatan dalam hal peraturannya. Dengan cofiring, penggunaan batu bara pada pembangkit dikurangi. Dalam skala besar dan lebih panjang, langkah ini akan dapat mengatasi masalah Indonesia yang sedang mendorong energi bersih."Batu baranya sebagian kita ganti. Ada bahasanya *cofiring*. Jadi [misalnya] 90 persen batu bara, 10 persen biomassa. Biomassa, sampah, kan *renewable energy*. Sampah, biomassa, itu dikonversi menjadi batu bara. Dicampurlah. Ini berarti penggunaan batu bara sudah berkurang 10 persen Beliau menyebutkan bahwa kebutuhan batu bara di Indonesia mencapai sekitar 120 juta ton. Dengan *biomassa cofiring* sebanyak 90 persen batu bara dan 10 persen biomassa, maka kebutuhan batu bara turun menjadi sekitar 108 juta ton karena sebanyak 12 juta ton sudah digantikan oleh biomassa.(KEN, 2022)

Sudah beribu-ribu tahun manusia bersahabat dengan uap air, yaitu semenjak; manusia bisa melakukan pekerjaan merebus air (*boiling*), tetapi hanya baru dua abad ini mereka menemui bagaimana untuk mempergunakan uap bagi kepentingan mereka. Para insinyur Yunani dan Romawi telah mempunyai pengetahuan yang menarik tentang sifat-sifat uap dan air panas, tetapi tidak mencoba untuk memakai ilmunya tersebut. Mengembangkan prinsip turbin reaksi dan mesin jet seperti sekarang dalam bentuk yang sederhana, tetapi pada waktu itu direncanakan hanya sebagai permainan yang menggembirakan. Tahun 1606 Giovanni Battista Porta merencanakan dua buah laboratorium percobaan yang memperlihatkan tenaga uap dan sistem kondensasi. Boiler atau ketel uap, juga disebut sebagai generator uap, merupakan komponen utama dalam siklus pembangkitan listrik tenaga uap. Komponen ini merupakan sebuah wadah yang tertutup yang memanfaatkan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar untuk mengubah air ke uap secara efisien..

Manfaat batubara adalah sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia. Secara umum batubara dibagi menjadi 2 macam yaitu pembagian secara ilmiah berdasarkan tingkat kandungan karbon dan berdasarkan tujuan penggunaan. Berdasarkan tingkat kandungan karbon dibagi menjadi batubara muda (*brown coal* atau *lignite*), subbituminus, bituminus dan antrasit. Berdasarkan tujuan terbagi menjadi batubara uap (*steam coal*), batubara kokas (*coking coal/metallurgical coal*) dan antrasit.

Metode pembakaran pada PLTU dibagi atas 3 jenis yaitu:

1. Pembakaran Lapisan Tetap (*fixed bed combustion*)

Metode ini menggunakan *stoker boiler* untuk proses pembakaran. Bahan bakarnya adalah batubara dengan kadar abu yang tidak terlalu rendah dan ukuran sekitar 30 mm. Batubara dibakar di atas lapisan abu tebal yang terbentuk di atas kisi api (*travelling fire grate*) pada *stoker boiler*.

2. Pembakaran Batubara Serbuk (*pulverized coal combustion/PCC*)

Metode ini banyak dipakai pada PLTU yang berkapasitas besar, hal ini karena sistem PCC memiliki tingkat kehandalan yang tinggi. Pada PCC, batubara dihancurkan terlebih dahulu dengan menggunakan *coal pulverizer* (*coal mill*) sampai ukuran 200 mesh, kemudian disemprotkan ke boiler bersamaan dengan udara pembakaran. Pembakaran metode ini sensitif terhadap kualitas batubara, terutama sifat ketergerusan (*grindability*) di atas 40, sifat slagging, sifat fauling dan kadar air kurang dari 30%. Pembakaran dengan metode PCC ini akan menghasilkan abu yang terdiri dari *clinker ash* sebanyak 15% dan sisanya berupa *fly ash*.

3. Pembakaran Lapisan Mengambang (*fluidized bed combustion/FBC*)

Metode ini menggunakan prinsip fluidisasi, dimana batubara yang telah dihancurkan sampai dengan ukuran 25 mm difluidisasi dengan melewati udara dengan kecepatan tertentu dari bagian bawah boiler. Keunggulan dari metode ini adalah pembakaran lebih sempurna karena posisi batubara yang selalu berubah sehingga sirkulasi udara dapat berjalan baik dan mencukupi untuk proses pembakaran. Alat penghacur batubara yang digunakan tidak terlalu rumit, serta ukuran boiler dapat diperkecil dan dibuat kompak. Berdasarkan mekanisme kerja, metode FBC terbagi 2 yaitu *Bubbling FBC* yang merupakan prinsip dasar FBC dan *Circulating FBC* (CFBC) merupakan

pengembangannya .

Efisiensi adalah karakteristik paling penting dari boiler karena ia memiliki kaitan langsung pada produksi listrik. Ketel uap pada dasarnya terdiri dari bumbung (drum) yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing.

Ketel uap diklasifikasikan dalam kelas, antara lain :

1. Berdasarkan Fluida yang mengalir dalam pipa, maka ketel diklasifikasikan sebagai :
 - a. Ketel pipa api (*fire tube boiler*).

Pada ketel pipa api, fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran), yang membawa energi panas (*thermal energy*), yang segera mentransfer ke air ketel melalui bidang pemanas (*heating surface*). Tujuan pipa-pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas (kalori) kepada air ketel.
 - b. Ketel pipa air (*water tube boiler*). Pada ketel pipa air, fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, sedangkan di luar pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran), yang membawa energi panas (*thermal energy*), yang segera mentransfer ke air ketel melalui bidang pemanas (*heating surface*).
2. Berdasarkan pemakaiannya, ketel dapat diklasifikasikan sebagai :
 - a. Ketel stasioner (*stationary boiler*) atau ketel tetap. Yang termasuk stasioner ialah ketel-ketel yang didudukkan di atas pondasi yang tetap, seperti boiler untuk pembangkit tenaga, untuk industry dan lainlain yang sepeertinya.
 - b. Ketel Mobil (*Mobile Boiler*), ketel pindah atau portable boiler. Yang termasuk ketel mobil, ialah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah (*mobile*), seperti boiler lokomotif, loko mobil dan ketel panjang serta lainnya yang sepeertinya termasuk juga ketel kapal (*marine boiler*).
3. Berdasarkan letak dapur (*furnace position*), ketel uap diklasifikasikan menjadi
 - a. Ketel dengan pembakaran di dalam (*internally fired steam boiler*) Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) di bagian dalam ketel. Kebanyakan ketel pipa api memakai system ini.

- b. Ketel dengan pembakar di luar (*outternally fired steam boiler*) Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) di bagian luar ketel, kebanyakan ketel pipa air memakai system ini.
4. Menurut jumlah lorong (boiler tube), ketel diklasifikasikan sebagai:
 - a. Ketel dengan lorong tunggal (*single tube steam boiler*). Pada *single tube steam boiler*, hanya terdapat satu lorong saja, apakah itu lorong api atau saluran air saja. *Cornish boiler* adalah *single file tube boiler* dan *simple vertikal boiler* adalah *water tube boiler*.
 - b. Ketel dengan lorong ganda (*multi tubeler steam boiler*). *Multi file tube boiler* misalnya ketel *scotch* dan *muti water tube boiler* misalnya ketel B dan W dan lain-lain.
 5. Tergantung kepada poros tutup drum, ketel diklasifikasikan sebagai :
 - a. Ketel tegak (*Vertikal steam boiler*) Seperti ketel *Cochran*, ketel *Clarkson* dan lain lain sebagainya.
 - b. ketel mendatar (*horizontal steam boiler*), Seperti ketel *Cornish*, *Lancashire*, *Scotch* dan lain-lain.
 6. Menurut bentuk dan letak pipa, ketel uap diklasifikasikan sebagai :
 - a. Ketel dengan pipa lurus, bengkok dan berlekak-lekuk (*straight, bent, and sinus tubeler heating surface*).
 - b. Ketel dengan pipa miring-datar dan miring tegak (*horizontal, inclined or vertical tubeler heating surface*).
 7. Menurut system peredaran air ketel (*water circulation*), ketel uap diklasifikasikan sebagai :
 - a. Ketel dengan peredaran alam (*natural circulation steam boiler*). Pada *natural circulation boiler*, peredaran air dalam ketel terjadi secara alami, yaitu air yang ringan naik sedang air yang berat turun, sehingga terjadilah aliran konveksi alami. Umumnya ketel beroperasi secara aliran alami, seperti ketel *Lancarshire*, *Babcock* dan *Willcox* dan lain-lain.
 - b. Ketel dengan peredaran paksa (*forred circulation steam boiler*). Pada ketel dengan aliran paksa (*forred circulation steam boiler*), aliran paksa diperoleh dari sebuah pompa centrifugal yang digerakkan dengan electric motor misalnya. System aliran paksa dipakai pada ketel-ketel yang bertekanan tinggi seperti *La-Mont Boiler*, *Benson Boiler*, *Loeffer Boiler* dan *Velcan Boiler*.

8. Berdasar sumber panasnya (*heat source*) untuk pembuatan uap, ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai :

- a. Ketel uap dengan bahan bakar alami.
- b. Ketel uap dengan bahan bakar buatan
- c. Ketel uap dengan dapur listrik.
- d. Ketel uap dengan energi nuklir.

Tahun 1641 Galileo, seorang saintis besar terkenal dengan teleskopnya, pendulum dan percobaan dengan grafitasi, menyatakan bahwa air hanya dapat dipompa dari kedalaman 28 kaki (8,5344 m), tetapi dia meninggal di tahun berikutnya. Tahun 1643, Evangelista Torricelli, salah seorang murid Galileo, setelah dia wafat, meneruskan percobaan Galileo. Dia menemukan bahwa tekanan atmosfer dapat menahan kolom air setinggi 32 kaki (9,7536 m) bila di atas permukaan air tersebut keadaan vakum. Dia melakukan juga percobaan dengan air raksa; ternyata tekanan atmosfer dapat menahan 76 cm air raksa bila di atas permukaan air tersebut keadaan vakum, kalau dipakai kolom air maka dengan 10,336 m. Tahun 1698, Thomas Savery memperoleh hak paten dari sebuah mesin pompa yang dengan sistem vakum, dengan memakai ketel uap dan pesawat kondensor. Boiler menghasilkan uap, uap dialirkan ke kondensor, air dalam tangki disiram kedalam kondensor, terjadi keadaan vakum, air dalam sumur naik mengisi ruang pompa. Bila tekanan dalam kondensor naik yaitu dengan mengalirkan uap baru pada boiler, maka air naik ke pipa transportasi. Dengan memakai *safety valve* (*non return valve*) air tak bisa kembali. Proses ini dapat dilakukan berulang-ulang, maka pekerjaan pemompaan air dapat dilakukan. Tahun 1712 Thomas Newcomen dan John Calley, membuat mesin uap yang pertama dengan sukses. Uap yang dihasilkan boiler dialirkan ke dalam mesin uap lalu mengangkat piston sampai puncak. Bila setelah itu diinjeksikan air ke dalam mesin uap, maka tekanan uap menjadi turun (vakum) maka piston tertarik ke bawah. Sistem ini akan menimbulkan gerak turun naik dari piston (*reciprocating*). Tenaga mesin uap ini dapat menggerakkan pompa. (ADITYA, 2016)

Tahun 1764 sebuah model mesin Newcomen direparasi oleh James Watt, seorang pembuat instrument dari Glasgow University. Tahun 1769 James Watt mendapatkan Hak paten dari mesin uap ciptaannya. Menurut teori James Watt, uap adalah suatu media yang elastic, dapat mengembang hingga vakum. James

Watt merancang mesin uap dengan silinder (tabung) dan sebuah piston. (pengempa/penghisap) dengan sebuah kondensor dan sebuah pompa udara. Banyak rancangan mesin dibuat oleh James, sesudah itu, diantaranya Mesin Tuas Putar Kerja Ganda dengan di perkenalkannya mesin ini maka berubahlah gerak vertikal menjadi gerak rotasi. Revolusi Industri mulai kira-kira tahun 1750, ini merupakan tantangan terhadap kebutuhan tenaga penggerak. Pemakaian uap sebagai mapan atau terbaik (*well establish*). (ADITYA, 2016).

Pembangkit listrik di Indonesia sebagian besar memanfaatkan tenaga uap dengan bahan bakar batubara (PLTU). Sebagian besar PLTU di Indonesia masih berteknologi sub-critical dengan efisiensi pembangkit rata-rata berkisar 30%-40%. Di seluruh dunia, sekarang kecenderungan untuk menggunakan suhu tinggi dan tekanan untuk meningkatkan efisiensi pabrik, yang pada nantinya akan mengurangi emisi. Boiler pembangkit listrik tenaga uap yang membakar batu bara membutuhkan pembersihan gas buangan tingkat lanjut untuk memenuhi kebutuhan batas emisi lingkungan yang diperbolehkan. Untuk mendapatkan performa dan efisiensi lebih baik, maka perlu adanya studi untuk mengembangkan teknologi pembangkit listrik baru, salah satunya pembangkit listrik tenaga uap *supercritical*..

Boiler memiliki berbagai macam tipe yakni:

1. Boiler Tipe Drum

Boiler tipe drum tergantung pada resirkulasi konstan dari air yang melalui beberapa komponen dari rangkaian uap air untuk menghasilkan uap dan menjaga komponen dari overheating. Tipe boiler ini mengedarkan/ menyirkulasi air secara alami atau secara terkontrol. Boiler dengan sirkulasi alami menggunakan kerapatan yang berbeda diantara air di bagian downcomers dan uap di bagian waterwall tabung untuk sirkulasi. Boiler dengan sirkulasi terkontrol. Boiler dengan sirkulasi terkontrol menggunakan ketel-pompa air yang beredar untuk mengedarkan air melalui rangkaian uap air.

2. Boiler Tipe Sekali-Lewat (Once-Through) Boiler tipe sekali lewat

mengkonversi air menjadi uap dalam satu melalui sistem daripada kembali beredar melalui drum. desain yang sekarang banyak digunakan untuk Boiler tipe sekali lewat menggunakan tungku pembakaran spiral-wound untuk menjamin terjadinya distribusi panas di seluruh tabung.

3. Komponen Utama Boiler

- Economizer Alat yang merupakan bagian dari boiler tabung yang pertama adalah feedwater diperkenalkan ke dalam boiler dan cerobong gas yang digunakan untuk meningkatkan suhu air.
- Uap drum Uap drum yang memisahkan uap dari uap air campuran dan tetap memisahkan uap kering.
- Superheater adalah kumpulan boiler sistem pipa-pipa yang terletak di jalur arus panas dari gas yang dibuat oleh pembakaran bahan bakar boiler diperapian. Panas akan ditransfer dari pembakaran gas ke dalam uap di dalam tabung superheater. Superheater diklasifikasi sebagai dasar dan menengah. Uap pertama lolos melalui superheater utama (terletak relatif sejuk di bagian boiler) setelah keluar dari drum uap. Di sana uap menerima pecahan dari superheater terakhirnya dan kemudian melewati superheater sekunder untuk yang lainnya.
- Reheater adalah kumpulan tabung boiler yang dihadapkan dengan pembakaran gas yang sama dengan cara kerja superheaters.
- *Spray Attemperator*; juga dikenal sebagai *superheater*, adalah *spray nozzle* (alat penyemprot) dalam boiler tabung antara dua *superheaters*. *Spray nozzles* ini menyediakan pasokan butiran-butiran air murni ke dalam aliran kecil dari uap untuk mencegah kerusakan tabung dari *overheating*. *Attemperator* disediakan untuk *superheater* dan *reheater*.(ADITYA, 2016).

Di Indonesia sudah ada beberapa pembangkit dengan teknologi *supercritical* salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga uap Paiton. PLTU Paiton dapat menghasilkan daya keluaran bersih sebesar 815 MW pada pembebanan 100%. Efisiensi yang dihasilkan PLTU Paiton adalah sebesar 43%. Dalam mengembangkan teknologi pembangkit perlu dilakukan pemodelan dan simulasi terlebih dahulu. Simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak, salah satunya adalah *Cycle-Tempo*. Pemodelan dan simulasi dilakukan berdasarkan data dari heat balance diagram pada Paiton Unit. Hasil dari simulasi akan divalidasi menurut keadaan desain operasi pada PLTU Paiton.(LATHIFUL ILMAN RAUFI, 2016).

Turbin gas memiliki efisiensi termal yang lebih rendah dibanding turbin uap apabila digunakan secara terpisah. Namun turbin gas memiliki keunggulan waktu *start-up* yang lebih cepat, yaitu sekitar 2 jam, sedangkan turbin uap membutuhkan waktu sekitar 12 jam untuk *start-up*. Turbin uap digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban dasar (*base load*), sedangkan turbin gas digunakan untuk beban puncak. Namun untuk PLTU berkapasitas relatif besar dan memegang porsi besar dalam memasok kebutuhan listrik di Jawa-Bali, *gas turbine* dan *steam turbine* beroperasi sepanjang waktu.(ADITYA, 2016).

Pembangkit *supercritical* adalah pembangkit yang dapat memproduksi uap dalam tingkat keadaan diatas titik kritis atau diatas suhu 374°C dan 221 bar. Keadaan ini menyebabkan proses produksi uap pada pembangkit *supercritical* tidak melalui kubah *mixture*. Dalam kondisi ini fluida kerja yang di pompa oleh *boiler feed pump* akan berubah sepenuhnya menjadi uap. Berbeda dengan pembangkit *sub-critical* yang masih membutuhkan proses pemanasan ulang pada *boiler* sehingga kapasitas uap yang dihasilkan pembangkit *supercritical* akan lebih banyak. Di Indonesia sudah ada beberapa pembangkit dengan teknologi *supercritical* salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga uap Paiton unit 3. PLTU Paiton unit 3 dapat menghasilkan daya keluaran bersih sebesar 815 MW pada pembebanan 100%. Efisiensi yang dihasilkan PLTU Paiton unit 3 adalah sebesar 43%. Dalam mengembangkan teknologi pembangkit perlu dilakukan pemodelan dan simulasi terlebih dahulu. Simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak, salah satunya adalah *Cycle-Tempo*.(LATHIFUL ILMAN RAUFI, 2016)

Dalam pengoperasian sehari-hari, besaran daya yang dihasilkan tiap bergantung pada permintaan konsumen yang distribusinya diatur oleh Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Jawa Bali (P3B-JB) PLN. Besarnya daya yang dibebankan pada tiap unit atau blok selalu berubah-ubah setiap waktu. Distribusi bahan bakar yang tidak optimal menyebabkan energi termal dari gas buang keluaran turbin gas banyak yang terbuang. Oleh karena itu diperlukan studi lebih lanjut untuk mengoptimalkan distribusi daya sehingga meningkatkan efisiensi termal. Turbin Uap Secara Umum memiliki fitur unik dalam desain yang dapat mempengaruhi efisiensi, kehandalan, dan biaya pengeluaran. Namun, muncul desain mirip dengan non-turbin uap.(ADITYA, 2016).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir iniyaitu,

1. Bagaimana pengaruh Co-firig batu-bara dan serbuk gergaji terhadap performa boiler pada PLTU.
2. Bagaimana Pengaruh Co-firing batu-bara dan serbuk gergaji terhadap Efisiensi termal/Efisiensi pada PLTU.
3. Bagaimana Pengaruh Co-Firing Batu-bara dan biomasa serbuk gergaji terhadap *Net Plant Heat Rate* (NPHR).

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi yang ada dalam penelitian ini yaitu:

1. Data diambil dari data pembangkit 2 x 150 MW Tanjung Kurau.
2. Software yang digunakan adalah Cycle Tempo 5.0.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Menguji perfoma daya yang dihasilkan boiler terhadap Co-firing batu-bara dan biomasa.
2. Mengetahui efisiensi yang dihasilkan boiler dan pembangkit terhadap Co-firing batu-bara dan biomasa.
3. Mengetahui Q bahan-bakar (jumlah daya yang dihasilkan oleh bahan bakar dalam Kg/s.
4. Mengetahui performa pembangkit, daya pemakayan sendiri, daya bersih (Nett Power) Pembangkit, Efisiensi pembangkit, dan *Net Plant Heat Rate*, (NPHR).

1.5. Manfaat Penelitian

1. Sebagai referensi tambahan untuk penelitian lebih lanjut tentang pengaruh modifikasi bahan bakar pada Performa boiler PLTU.
2. Sebagai rekomendasi bagi PLTU untuk mengurangi polusi emisi gas buang yang mencemari udara yang sangat berbahaya dan dengan adanya campuran bahan bakar akan menambah efisien.pembangkit pada PLTU.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis penelitian ini, *co-firing* pada simulasi menggunakan *Cycle-Tempo* 5.0 menunjukkan pengaruh signifikan terhadap performa boiler dan pembangkit listrik. Terjadi peningkatan efisiensi pada boiler mencapai sekitar 82 % pada rasio *co-firing* 0%, sehingga total daya boiler lebih rendah dibanding campuran 25% dan 50% . Hal ini menyebabkan penurunan nilai nett efisiensi termal rendah 151141 (kW) dibanding kedua campuran, yakni 162175 (kW) pada campuran 25%, dan 157841 (kW) pada campuran 50%, sementara untuk efisiensi pembangkit paling besar terjadi pada 0% tanpa campuran dibanding campuran lainnya. Peningkatan nilai terbesar NPHR dari ketiga campuran terjadi pada campuran 50% 2584 kcal/kWh.
2. Penurunan nilai kalor antara Batubara tanpa campuran dan dengan campuran biomassa jenis serbuk gergaji menyebabkan penurunan efisiensi pada boiler dan pembangkit sedangkan peningkatan nilai kalor terjadi sebaliknya akan menyebabkan efisiensi menurun akan tetapi power daya yang dihasilkan boiler dan dan pembangkit tetap besar. semakin kecil nilai atau energi yang dihasilkan NPHR maka semakin tinggi *efisiensi* pada pembangkit. Batubara memiliki nilai HHV 4287,22 kcal/gram yang lebih rendah dari pada batubara yang dicampur dengan serbuk gergaji nilai HHV 5150,73 kcal/gram pada campuran 25% dan 4947,55 kcal/gram. Akibatnya, dibutuhkan campuran pada bahan bakar untuk menghasilkan kalor dan daya yang tinggi pada rasio *co-firing* 25%, 50% dan NPHR naik.
3. Penggunaan *biomass co-firing* menjadi salah satu usaha untuk mengurangi ketergantungan terhadap Batubara. Dengan *biomassa cofiring* selain dapat mengurangi penggunaan bahan bakar Batubara secara bertahap, *Co-firing biomassa* juga dapat menjadi solusi permasalahan sampah sekaligus menggerakkan roda ekonomi di Indonesia sehingga pemanfaatan batu bara sebagai bahan baku pembangkit Listrik tenaga uap dapat dikurangi secara perlahan dan berkelanjutan PLN mencoba dan sudah berhasil di beberapa pembangkit mereka untuk mengurangi penggunaan batubara melalui *cofiring* biomassa

5.2. **Saran**

1. Perlu ditambahkan saluran peneratan untuk main steam pada keluaran boiler sebelum memasuki turbin, sehingga hasil dari pemodelan dapat valid dengan data aktual
2. Perlu ditambahkan lagi penelitian tentang pembangkit supercritical terutama pada komponen kritis seperti boiler, turbin dan pompa pada pembangkit PLTU.
3. Perlu adanya alat yang lengkap atau memadai untuk memudahkan penelitian yang di dukung oleh pihak kampus agar pelaksanaan dilakukannya penelitian kami para mahasiswa tidak sengsara akibat terkendala kurangnya alat.





DAFTAR PUSTAKA

- ADITYA, R. C. (2016). CYCLE-TEMPO SIMULATION EFFECT OF HIGH PRESSURE HEATER OPERATION FOR PERFORMANCE OF STEAM POWER PLANT 200 MW PT . PJB GRESIK. *Mechanical Engineering Department Faculty of Industrial Engineering Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya 2016.*
- Arisandi, G. F., & Putra, A. B. K. (2023). Simulasi Cycle Tempo 5.0 Dampak Variasi Rasio Co-Firing Batubara dan Biomassa Jenis Tongkol Jagung terhadap Performa PLTU 400 MW. *Jurnal Teknik ITS, 12(2)*, 131-B137.
- Asimptote, a. c. c.-t.-T. (2011). asimptote.com > cycle-tempo Cycle-Tempo – Asimptote.
- KEN, J. O. (2022). Mengenal Co-firing, Solusi Alternatif Pengembangan Energi Terbarukan. <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20210909191334-90-692233/pakar-biomass-cofiring-solusi-alternatif-transisi-energi>.
- LATHIFUL ILMAN RAUFI. (2016). PEMODELAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP SUPERCRITICAL PADA PERANGKAT LUNAK CYCLE-TEMPO DENGAN ANALISA VARIASI BEBAN. *Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.*
- Siahaan, E. W. B. (2018). PEMODELAN EFISIENSI DAYA PEMBANGKIT PADA FEED WATER HEATER MENGGUNAKAN SOFTWARE CYCLE TEMPO 5.0. *Teknik Mesin, Universitas Darma Agung.*
- Silahuddin, W. (2020). SIMULASI DAN ANALISIS KESETIMBANGAN ENERGI PADA UJP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BARRU 2X50 MW DENGAN MENGGUNAKAN CYCLE TEMPO. *POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG MAKASSAR.*