

Pra Desain Pabrik Bio *Pellet* dari Ampas Tebu (*Bagasse*) dengan Proses *Torrefaction*

Bagas Hardiatmoko, Aulia Defriana, Sri Rachmania Juliastuti*, dan R. Darmawan

DOI: [10.12962/j2964710X.v4i1.19183](https://doi.org/10.12962/j2964710X.v4i1.19183)

Abstrak— Sebagai salah satu bentuk energi terbarukan, bioenergi memiliki prospek besar untuk dikembangkan. Ketersediaan bahan baku yang melimpah di Indonesia menjadi salah satu alasan pemanfaatan energi yang bersumber dari bioenergi. Biomassa dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar atau melalui proses pembuatan *pellet* untuk menghasilkan energi sekunder yaitu tenaga listrik. Potensi pasar dari usaha *pellet* semakin meningkat, apalagi dengan adanya program co-firing dari pemerintah untuk mencampur bio *pellet* dengan bahan bakar fosil memberikan peluang didirikannya pabrik bio *pellet* untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar. Bio *pellet* merupakan salah satu bahan bakar biomassa yang memiliki kesegaran bentuk, ukuran, densitas, dan kandungan energi. Ampas tebu (*bagasse*) dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bio *pellet* karena jumlahnya yang melimpah dan belum dimanfaatkan dengan baik. Pada produksi bio *pellet* dari ampas tebu (*bagasse*) ini, dipilih metode torrefaction dimana terdapat tiga tahap pada pembuatan *pellet* yaitu tahap pre-treatment, tahap torrefaction yaitu konversi biomassa menjadi karbon, dan tahap *pelletizing* yaitu mengubah torrefied biomass menjadi bentuk *pellet*. Pabrik ini direncanakan beroperasi 330 hari/tahun, 24 jam/hari dengan kapasitas 60.000 ton/tahun dan membutuhkan bahan baku ampas tebu (*bagasse*) sebanyak 130.842 ton/tahun. Produk yang dihasilkan mempunyai yield 47%. Internal rate of return dari pabrik ini sebesar 14,49% dengan Payout time selama 7,5 tahun dan Break even point sebesar 26%.

Kata Kunci— *Bagasse, Pellet, Torrefaction*

I. PENDAHULUAN

Program *Co-firing* saat ini telah diterapkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). *Co-firing* merupakan suatu proses pembakaran dua material yang berbeda secara bersamaan, yaitu biomassa dan bahan baku fosil pada pembangkit listrik berbahan bakar batu bara. PJB menerapkan metode *direct co-firing*, dimana bio *pellet* sebagai bahan bakar sekunder dicampur melalui peralatan penggiling (*grinding*) dan pengumpan (*feeder*), yang kemudian di-*mixing* dengan batu bara ke dalam boiler yang sama untuk dibakar. Proses ini dapat dilakukan tanpa modifikasi peralatan yang signifikan. Dilakukan mulai tahun 2017, yang diteruskan dengan pengujian *co-firing* di PLTU Paiton pada September 2019 menggunakan biomassa *wood pellet*. Tahap awal pengujian dimulai dengan *mixing* antara *wood pellet* 1 persen, dilanjutkan pengujian tahap dua dengan komposisi biomassa 3 persen dan 5 persen.

Peluang pengembangan *pellet* biomassa, yaitu dari 1 ton kayu mampu menghasilkan 910 kg *pellet*. perkembangan teknologi pembuatan *pellet* biomassa yang terkini adalah

torrefaction, yaitu penambahan satu proses pemanasan kayu (yang akan dijadikan *pellet*) tanpa oksigen hingga suhu 300 °C dengan produk akhir yang lebih gelap (seperti arang), sedikit *hemicelulose*, dan lebih kering (lebih banyak lignin dan *celulose*). Kalori yang dihasilkan bisa mencapai 6000 kcal/kg (sama dengan batu bara, 30% lebih besar dari *pellet* biasa 4600 kcal/kg).^[1]

Data menurut Kementerian ESDM tahun 2020, Industri utama domestik pengguna batu bara, antara lain pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), industri semen, metalurgi, pupuk, tekstil, kertas, briket. PLTU merupakan industri yang paling banyak menggunakan batu bara. Tercatat dari seluruh konsumsi batu bara dalam negeri pada 2019 sebesar 138,03 juta ton, sebanyak 97,73 juta ton atau 70% di antaranya digunakan oleh PLTU, baik milik perusahaan negara (PLN) maupun yang dikelola swasta, yaitu Indonesia Power Producer (IPP). Diperkirakan pada skema *co-firing* sebesar 1-5% pada tahun 2025 dengan menggunakan biomassa dengan harapan memenuhi tambahan bauran energi terbarukan. Sementara itu, Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang menginisiasi aksi korporasi melalui metode *co-firing* menjelaskan, untuk

Departement of Chemical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia. *E-mail: juliaz30@chem-eng.its.ac.id

memenuhi kebutuhan 1% *co-firing* di PLTU di Indonesia, maka dibutuhkan biomassa sebanyak 17.470 ton per hari atau 5 juta ton *pellet* ton per tahun.

Jumlah rata-rata tebu yang digiling pabrik gula di Indonesia pada tahun 2020 adalah 29.737,781 ton atau per satuan luas area adalah 70,72 ton/ha dengan ampas tebu yang dihasilkan sekitar 25-40% dari tebu yang digiling [2].

Ampas tebu hasil penggilingan pabrik gula yang melimpah bersamaan dengan kebutuhan bio *pellet* yang tinggi pada program *co-firing* di PJB merupakan hal yang cukup potensial dimanfaatkan dan dapat dipenuhi melalui pembangunan fasilitas pabrik bio *pellet*.

Bio *pellet* adalah jenis bahan bakar padat berbasis limbah dengan ukuran lebih kecil dari ukuran *pellet*. Bahan tambahan perekat tapioka dan sagu merupakan bahan yang sering digunakan dalam pembuatan bio *pellet* karena mudah didapat, harganya pun relatif murah dan dapat menghasilkan kekuatan rekat kering yang tinggi. Penggunaan perekat tidak melebihi 5% karena semakin besar penambahan perekat, maka akan mengakibatkan bertambahnya kadar air pada bio *pellet*. Hal ini akan mengurangi nilai pembakaran bio *pellet* [3].

Data konsumsi, produksi, ekspor dan impor *wood pellet* untuk tahun 2014-2018 berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik.

TABEL 1.

DATA PRODUKSI DAN KONSUMSI WOOD PELLETT DI INDONESIA

Tahun	Produksi (ton/tahun)	Konsumsi (ton/tahun)
2014	80.000	4.123
2015	80.000	15.567
2016	90.000	48.929
2017	140.000	4.705
2018	280.000	3.802

TABEL 2.

DATA EKSPOR DAN IMPOR WOOD PELLETT DI INDONESIA

Tahun	Ekspor (ton/tahun)	Impor (ton/tahun)
2014	75.912	35
2015	64.458	25
2016	85.151	43,9
2017	135.402	107
2018	276.414	216

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku yang digunakan merupakan salah satu aspek dasar yang penting dalam pendirian sebuah pabrik. Bahan baku utama yang digunakan pada pembuatan bio *pellet* yaitu ampas tebu (*bagasse*). Ampas tebu atau *bagasse* merupakan produk samping yang dihasilkan dalam proses pengolahan tebu menjadi gula, yang merupakan residu dari proses penggilingan tanaman tebu setelah diekstrak atau dikeluarkan niranya.

Ketersediaan ampas tebu di Indonesia cukup melimpah sejalan dengan banyaknya pabrik gula tebu, baik yang dikelola oleh negara (PT Perkebunan Nusantara/PTPN) maupun swasta. Menurut Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian, jumlah rata-rata tebu yang digiling pabrik gula di Indonesia pada tahun 2020 adalah 29.737,781 ton atau per satuan luas area adalah 70,72 ton/ha dengan ampas tebu yang dihasilkan sekitar 25-40% dari tebu yang digiling. sekitar 50% ampas tebu yang dihasilkan di setiap pabrik gula dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler dan sisanya ditimbun sebagai buangan yang memiliki nilai ekonomi rendah [4]. Hal ini berarti dengan tingginya produksi gula, maka semakin tinggi ampas tebu (*bagasse*) sisa penggilingan yang belum memanfaatkan dengan baik.

Peluang pengembangan *pellet* biomassa, yaitu dari 1 ton kayu mampu menghasilkan 910 kg *pellet*. perkembangan teknologi pembuatan *pellet* biomassa yang terkini adalah torrefaction, yaitu penambahan satu proses pemanasan kayu (yang akan dijadikan *pellet*) tanpa oksigen hingga suhu 300 °C. Kalori yang dihasilkan bisa mencapai 6000 kcal/kg (sama dengan batu bara, 30% lebih besar dari *pellet* biasa 4600 kcal/kg) [1].

Ampas tebu (*bagasse*) mengandung serat seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang dapat di konversikan menjadi karbon dalam pembuatan torrefied *pellet*. Berikut merupakan komposisi kimia dari ampas tebu (*bagasse*) [5].

TABEL 3.

KOMPOSISI KIMIA AMPAS TEBU (BAGASSE) DARI INDUSTRI GULA

Komponen	Komposisi (%)
Selulosa	35,01 %
Hemiselulosa	25,24 %
Lignin	6,40 %
Kadar Abu	4,05 %
Air	29,30 %
Total	100%

B. Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas produksi memperhatikan kebutuhan *wood pellet*, nilai ekspor dan impor *wood pellet* di Indonesia, produksi *wood pellet* dan juga sumber bahan baku. Pabrik bio *pellet* ini direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2025. Dengan data pertumbuhan rata-rata dapat dihitung estimasi jumlah produksi, konsumsi, ekspor dan impor *wood pellet* pada tahun 2025 menggunakan persamaan discounted $F = P(1+i)^n$. Selain itu juga dipertimbangkan ketersediaan bahan baku ampas tebu (*bagasse*) dan kapasitas pabrik yang sudah ada, maka ditetapkan kapasitas pabrik yaitu 60.000.000 kg/tahun atau 60.000 ton/tahun yang menyumbang 11,6% dari kapasitas kebutuhan nasional bio *pellet*.

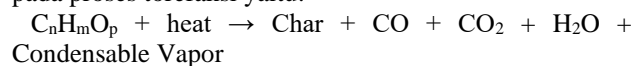
C. Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik yang dipilih diharapkan dapat mengoptimalkan produktivitasnya Beberapa faktor yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik yaitu

ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran dan aksesibilitas transportasi, sumber energi listrik dan air, sumber tenaga kerja, hukum dan peraturan, iklim dan topografi, serta tata ruang wilayah. Berdasarkan pertimbangan dari beberapa faktor, maka dipilih Kabupaten Malang, Jawa Timur sebagai lokasi pendirian pabrik.

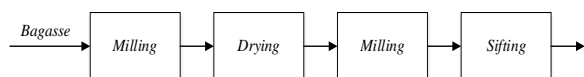
III. URAIAN PROSES

Torefaksi adalah suatu proses perlakuan panas pada biomassa dengan rentang temperature antara 200 – 300°C dan tekanan atmosfer tanpa kehadiran oksigen serta laju pemanasan partikel yang rendah (<50°C/min). Penggunaan metode ini diharapkan akan memperbaiki karakteristik bahan bakar seperti peningkatan nilai kalor, menurunkan kadar air, grindability, dan memperbaiki sifat higroskopik. Torefaksi adalah suatu teknologi yang dapat meningkatkan sifat-sifat biomassa. Reaksi yang terjadi pada proses torefaksi yaitu:



Proses produksi bio *pellet* dari ampas tebu (*bagasse*) ini adalah dengan menggunakan metode torefaksi yang dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu Tahap Pretreatment, Tahap *Torrefaction*, dan Tahap *Pelletizing*. *Process Flow*.

1) Tahap Pretreatment



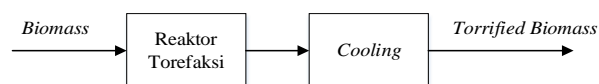
Pada unit penghancuran bahan baku ampas tebu masuk ke *Hammer Mill* (C-120) dalam upaya *size reduction* untuk mengecilkan ukuran menjadi lebih kecil dari 10 mm, sebagai langkah *pre-treatment*, *bagasse* yang diterima masih dalam bentuk kasar (*straw*) dan diubah menjadi ukuran yang dapat diterima untuk proses selanjutnya yaitu *drying*. Partikel akan di reduksi melalui grinding dan masih berbentuk *coarse*, *size reduction* ini dimaksudkan agar *drying* berjalan maksimal dengan luas permukaan kontak yang besar. Output dari *hammer mill* akan di transportasikan dengan jalur *pneumatic* dihisap dengan filter secara vakum (H-123). Berdasarkan prinsip yang sama seperti penyedot debu rumah tangga, produk dari *hammer mill* (C-120) akan di hisap masuk ke filter bertipe *bag filter*. *Bag filter* mengumpulkan debu dari gas dengan filter pada permukaan kain. Ukuran pori yang dapat dipisahkan tergantung dengan *filter cloth* atau jenis kain yang digunakan. Area kain adalah variabel yang menentukan kapasitas filter. *Filter Cloth* disambungkan dari atas menggunakan klem dan ditopang secara dengan sangkar kawat untuk mencegah produk halus tersebar. Pembersihan dilakukan dengan *backflushing* menggunakan gas terkompresi. Padatan jatuh ke *hopper*, kemudian akan masuk proses *cycle* kembali. Sistem vakum dibantu oleh bantuan *fan* G-124. Melalui *cyclone* (H-122) untuk dipisahkan antara udara dengan produk.

Selanjutnya produk akan masuk ke *dryer*, dimana *bagasse* mengalami pengurangan ukuran kurang lebih 50% dan akan diangkut ke pengering.

Pada *raw material* kadar air berkisar antara 30-50% Tujuan pengeringan adalah untuk mengurangi kadar air ke tingkat di bawah 6-15% dengan demikian akan memungkinkan proses torefaksi yang efisien. Ampas tebu diumpakan dan dikeringkan dengan proses *direct heating*. *Bagasse* melewati *Rotary Drum Dryer* (B-110) yang dilengkapi dengan *flight/shaft longitudinal* lalu udara panas dari burner (Q-111) dengan suhu 202°C akan melewati aliran material. Udara panas yang digunakan adalah berasal dari Reaktor Torefaksi (R-210). Dalam rotasi *rotary drum dryer* (B-110) bahan-bahan akan tertahan oleh *flight/shaft* pada drum dan akan jatuh melewati aliran udara panas. Sebagai hasilnya, terjadi perpindahan panas dan massa secara simultan dalam pengering, air dalam bahan baku diuapkan dan dipindahkan ke fase gas, material keluar bersama udara dengan suhu 70°C. Kemudian *off gas*, dengan humidity yang meningkat dan suhu akan turun, akan melewati *cyclone* (H-114) untuk memisahkan produk halus (*fine product*) yang terbawa sebelum udara dibuang ke atmosfer yang dipisahkan oleh *filter blower* (H-132)

Kemudian material tersebut diangkut lagi ke *hammer mill* (C-130), dimana material tersebut mengalami proses lebih lanjut untuk melalui proses grinding untuk mereduksi ukuran hingga 6 mm. Output dari *hammer mill* (C-130) akan di transportasikan secara *pneumatic blowing system* dan melewati *cyclone* dan produk akan turun melalui *airlock* (H-132). Ampas kering ini dikirim ke *sifter* (H-134), di mana ia dipisahkan menjadi dua fraksi. Fraksi lebih halus dari 200µ (*pass through*) dibawa ke silo (F-136), di mana akan disimpan dan kemudian digunakan dalam tungku biomassa yang memasok energi panas ke pengering dan ke reaktor torefaksi. Fraksi antara 2,5 mm dan 6 mm (*tailing*) masuk reaktor torefaksi (R-210) ditransportasikan dengan *screw conveyor* (J-135) dan *bucket elevator* (J-213).

2) Tahap Torrefaction



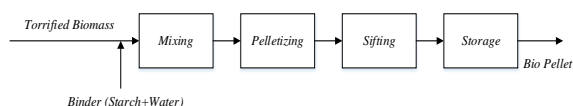
Dengan memanaskan biomassa pada kisaran suhu 200-300°C di atmosfer tanpa oksigen dengan waktu tinggal tertentu, sifat bahan baku akan berubah menjadi karbon dengan kualitas bahan bakar akan meningkat secara signifikan. Keluaran dari *sifter* (H-134) akan melewati *screw conveyor* (J-213) dan akan memasuki Reaktor (R-210). Reaktor berbentuk drum berputar yang di dalamnya terdapat shaft sebagai sirkulasi produk, drum diisolasi dan dipanaskan dari luar, tanpa kontak langsung antara aliran udara panas yang dialirkan dari burner dengan temperatur 427°C. Perpindahan panas terjadi secara konduksi termal, sementara bahan bersirkulasi di dalam drum untuk mengatur waktu tinggal yang ditentukan. Waktu tinggal ini

dapat dikurangi dengan meningkatkan kecepatan putaran drum sehingga material bersirkulasi lebih cepat.

Bahan dipanaskan awalnya oleh *external hot flue gas* dari *burner* (Q-211) yang masuk ke bagian reaktor *torrefaction* di bagian gas inlet reaktor secara *co current* di mana kadar air biomassa juga diuapkan. Inlet gas masuk sekitar 427°C untuk mempercepat laju pemanasan dan meminimalkan panjang reaktor. Laju pemanasan berlangsung antara 50°C/menit diasumsikan suhu ampas tebu input (berasal dari pengering sekitar 70°C). Reaksi *torrefaksi* adalah eksotermik, terutama pada suhu di atas 250°C. pengendalian suhu reaksi diatur waktu tinggal bahan untuk mendapatkan produk dengan spesifikasi tertentu. *Volatile matter* dari biomassa akan keluar berbentuk *flue gas* dan akan digunakan sebagai umpan dan masuk ke *burner* (Q-111)

Setelah proses *torrefaction*, *torrefied product* didinginkan hingga di bawah suhu *self ignition* menggunakan media pendinginan dengan media air untuk mencegah kemungkinan *torrefied product* terbakar oleh paparan oksigen di atmosfer. Produk akan di alirkan melalui *screw conveyor* (J-214). Bahan *torrefied* masuk ke *screw conveyor* dengan tipe *double-walled augers* (J-215, J-216 dan J-217) didinginkan dalam tiga langkah. Pada langkah pertama, suhu diturunkan menjadi 150 °C dengan pendinginan air melewati sistem *double-walled augers with radiator*. Pada langkah kedua, padatan *torrefied pellet* didinginkan hingga 75 °C, Langkah ketiga didinginkan hingga suhu yang mendekati suhu lingkungan. Hal ini dimaksudkan agar produk dapat menjangkau suhu yang aman untuk *self ignition* dengan udara.

3) Tahap Pelletizing



Setelah melewati *bucket elevator* (J-324) dari sistem pendingin, bahan masuk ke dalam *mixing tank* M-320, di *mixing tank* akan ditambahkan air dan perekat (*binder*) berupa *starch*. Di dalam *mixing tank* ini *moisture content* bahan akan dikoreksi, karena kadar air merupakan faktor penentu untuk proses peletisasi, bekerja sebagai pelumas, di satu sisi juga mengurangi suhu *die mill pellet*. Setelah selesai melewati *rotary mixer* (M-320), bahan akan masuk ke *die pellet mill* (S-310) untuk di *press* dan dibentuk sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan yaitu dengan panjang 15-40mm, dengan diameter \varnothing 8mm.

Torrefaction Pellet yang telah di *press* akan melewati *screw auger* (J-311) untuk didinginkan dan outputnya akan di angkut dengan diangkut oleh *belt elevator* (J-312) yang selanjutnya akan diangkut ke dalam silo penyimpanan *torrefied pellet* di silo produk (F-314) untuk disimpan sebelum dipasarkan.

IV. NERACA MASSA DAN ENERGI

Berdasarkan hasil dari perhitungan neraca massa, dengan kondisi waktu operasi 330 hari/tahun, 24 jam/hari, dan basis yang digunakan adalah kg/jam, dibutuhkan bahan baku ampas tebu (*bagasse*) 16.520,470 kg/jam yang akan menghasilkan produk *torrefied bio pellet* sebanyak 7.575,758 kg/jam.

Energi yang diperlukan pada Pabrik Bio Pellet dari Ampas Tebu (*Bagasse*) ini sebesar 44.351.590,58 kJ/jam.

V. ANALISA EKONOMI

Dalam Analisa ekonomi ini, digunakan asumsi – asumsi berupa modal pinjaman bank 60% dan modal sendiri 40%, masa konstruksi berlangsung selama 2 tahun. Umur pabrik diperkirakan selama 10 tahun dengan depresiasi sebesar 10%/tahun. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh Pengeluaran modal (*Capital Expenditure*) sebesar Rp271.194.469.671, *Operating Expenditure* sebesar Rp85.747.326.521, *Net Present Value* sebesar Rp255.788.925.600. Hal ini menunjukkan bahwa proyeksi pendapatan dan investasi lebih besar dari proyeksi biaya yang dikeluarkan sehingga pabrik layak untuk didirikan dengan tingkat bunga (IRR) 14.49%, waktu pengembalian modal selama 7,5 tahun, dan analisa titik impas (BEP) sebesar 26%.

VI. KESIMPULAN

Pabrik direncanakan beroperasi dengan proses kontinyu, 24 jam/hari, selama 330 hari yang akan beroperasi pada tahun 2025 dengan umur pabrik selama 10 tahun. Kapasitas pabrik bio *pellet* dari ampas tebu (*bagasse*) ini sebesar 60.000 ton/tahun dengan kebutuhan bahan baku ampas tebu (*bagasse*) sebesar 130.842 ton/tahun. Untuk segi ekonomi:

- biaya produksi total: Rp126.879.385.773
- hasil penjualan bio *pellet*: Rp271.128.400.000
- laju pengembalian modal (IRR): 14,49%
- waktu pengembalian modal (POT): 7,5 tahun
- break even point: 26%

Pabrik bio *pellet* dari ampas tebu (*bagasse*) dengan proses *torrefaction* layak didirikan dengan memenuhi syarat -syarat didirikannya sebuah pabrik.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM, “Pedoman Investasi Bioenergi di Indonesia,” Jakarta: Kementerian ESDM, 2016.
- [2] Kementerian Pertanian, “Rekapitulasi Produksi Sisa Ampas Tebu Pabrik Gula di Indonesia,” Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian 2021.
- [3] Zamirza, F., “. Pembuatan Biopellet dari Bungkil Jarak Pagar (*Jathropa curcas L.*) dengan Penambahan Sludge dan Perekat Tapioka,” Skripsi. Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor, 2009.

- [4] Lavarack, B. P., Griffin, G. J., & Rodman, D., “The Acid Hydrolysis of Sugarcane Bagasse Hemicellulose to Produce Xylose, Arabinose, Glucose, and Other Products,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 23, 367-380
- [5] Hidayati, A.S. Dwi Saptati Nur, Silva Kurniawan, Nalita Widya Restu, Bambang Ismuyanto, “Potensi Ampas Tebu Sebagai Alternatif Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif,” *NATURAL B*, Vol. 3, No. 4, hal 311-317, 2016.