

Studi Awal Kelayakan Ekonomi Pabrik Torefaksi Sampah Perkotaan Menjadi Bahan Bakar Padat Setara Batubara Skala Pilot Berkapasitas 25 Ton per Jam

Amrul^a, Aryadi Suwono^b, Toto Hardianto^b, Darmawan Pasek^b,

^a Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNILA

Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung

E-mail: amrul@students.itb.ac.id

^b Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganeca 10, Bandung, Indonesia

Telp. (022) 2502342, Fax. (022) 2502342

E-mail: aryadi@termo.pauir.itb.ac.id, ari@termo.pauir.itb.ac.id, toto@termo.pauir.itb.ac.id,

Abstract

General municipal solid waste (MSW) management through open dumping in landfills has not provided complete solutions. One drawback is that the ability of transporting waste to landfill is smaller than the production of MSW per day, so leaving piles of waste that a problem for the city community. If it is analyzed further, the components of MSW, which is dominated by biomass potentially as source of new and renewable energy. MSW processing technologies through torrefaction proved able to raise its quality to a solid fuel that coal equivalent. Waste torrefaction experiment that conducted so far using a laboratory-scale equipment with batch system, need to be developed towards an industrial scale.

In this paper, we done a preliminary feasibility study in economic aspect of a pilot plant of continuous MSW torrefaction with capacity about 25 tons per hours. The analysis based on the ability of solid fuel economical value to cover the cost of plant operations. The results of this study indicate that the plant of continuous MSW torrefaction is economically promising enough to be developed.

Keywords: torrefaction, municipal solid waste (MSW), solid fuel, economic feasibility

Energi primer dunia saat ini masih didominasi oleh bahan bakar fosil, yakni minyak bumi, gas alam dan batubara. Ketiga jenis bahan bakar tersebut merupakan cadangan energi yang tidak bisa diperbarui dan akan habis dalam waktu singkat. Kondisi di Indonesia lebih memprihatinkan karena penggunaan sumber energi lain porsinya masih kecil, misalnya hidroelektrik. Bahkan untuk energi nuklir, penggunaannya belum dimulai sama sekali, sementara di negara-negara maju ia telah menjadi sumber energi primer yang signifikan.

Meningkatnya populasi penduduk dan semakin besarnya konsumsi energi per kapita menyebabkan sumber energi fosil tersebut semakin cepat menipis dan harganya juga semakin tinggi. Untuk menjamin keamanan pasokan energi nasional di masa depan, perlu kiranya segera mencari sumber energi baru sebagai energi alternatif yang bersifat terbarukan, sebagaimana tertuang dalam sasaran bauran energi (*energy mix*) nasional 2025. Sumber energi alternatif yang cukup menjanjikan dan potensinya paling besar di dunia adalah biomassa. Salah satu sumber biomassa yang belum banyak mendapat perhatian adalah biomassa yang berasal dari sampah padat perkotaan.

Jumlah sampah kota yang terus meningkat menjadikannya sumber masalah bagi masyarakat kota, apalagi dalam penanganannya belum ada solusi mendasar. Sebagai contoh, data dari PD. Kebersihan kota Bandung yang diperoleh pada tahun 2006

menginformasikan bahwa produksi sampah kota Bandung tahun 2004 mencapai 7.500 m³/hari, atau setara dengan 2,7 juta m³/tahun. Penimbunan sampah pada tempat pembuangan akhir (TPA) yang selama ini menjadi solusi, dinilai tidak efektif karena menimbulkan permasalahan baru lainnya. Hasil studi terhadap sampah kota Bandung menunjukkan bahwa komposisi sampah terbesar berasal dari komponen organik, yakni mencapai 84,63% (% berat), yang berpotensi digunakan sebagai bahan bakar [1].

Penggunaan sampah kota sebagai bahan bakar dapat menjadi solusi alternatif dalam mengatasi kelangkaan sumber energi. Tetapi penggunaannya secara mempunyai banyak kendala karena sampah terdiri dari multi komponen yang sulit untuk dikontrol kualitas pembakarannya, juga karena kandungan air yang tinggi, nilai kalor dan densitas energi yang rendah serta sulit dalam penyimpanan. Untuk memperbaiki sifat sampah sebagai bahan bakar padat, diperlukan proses yang khusus, di antaranya adalah proses termal yang dapat mendekomposisi komponen sampah sehingga dapat menaikkan nilai kalornya. Proses ini dikenal dengan torefaksi.

Torefaksi adalah proses perlakuan panas pada rentang temperatur tertentu pada tekanan atmosfer tanpa kehadiran oksigen. Pada rentang temperatur tersebut diharapkan terjadi proses dekomposisi kimia dari fraksi-fraksi tertentu. Torefaksi pada

biomassa biasanya terjadi pada rentang temperatur 200-300°C, di mana pada rentang temperatur ini fraksi yang diharapkan mengalami dekomposisi kimia adalah hemiselulosa. Torefaksi pada biomassa berhasil meningkatkan kualitas bahan bakarnya, di antaranya adalah kandungan air yang rendah, densitas energi yang tinggi, penurunan rasio O/C sehingga nilai kalor meningkat, tidak menyerap air, dan lebih getas [2].

TOREFAKSI SAMPAH

Tujuan utama torefaksi sampah adalah untuk mendapatkan bahan bakar padat yang nilai kalornya setara dengan batubara subbituminous C menurut kualifikasi standard ASTM D 388. Inovasi pada topik penelitian ini adalah peningkatan densitas energi dari sampah padat perkotaan yang bersifat heterogen, dengan cara mendekomposisi fraksi *lignocellulose* secara simultan melalui proses torefaksi pada temperatur 200-300°C, menjadi bahan bakar ramah lingkungan setara dengan batubara subbituminous C. Dalam eksperimen proses torefaksi, parameter utama penentu adalah temperature dan waktu tinggal, kedua parameter ini akan dikombinasikan pada seluruh spesimen untuk mendapatkan hasil terbaik.

Eksperimen torefaksi sampah yang telah dilakukan oleh tim peneliti di Lab. Termodinamika ITB dalam beberapa tahun terakhir ini berhasil meningkatkan kualitas sampah menjadi bahan bakar padat dengan nilai kalor setara batubara subbituminous [3]. Bahan bakar padat yang dihasilkan dari prospek komersial yang cukup bagus, mengingat perannya untuk pemenuhan kebutuhan sumber energi alternatif terbarukan dan sekaligus mereduksi jumlah sampah sehingga menjadi salah satu solusi bagi permasalahan sampah perkotaan.

Jumlah sampah kota yang cenderung meningkat menyebabkan biaya yang dikeluarkan untuk penanganannya juga semakin membengkak. Di sisi lain, jika sampah perkotaan dapat diolah menjadi suatu produk yang bernilai, maka bukan hanya akan mengurangi ongkos yang dikeluarkan, tapi juga bisa diperoleh keuntungan ekonomis. Bahan bakar padat produk torefaksi ini dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar fosil, misalnya batu bara, sehingga dalam penggunaannya dapat mengurangi emisi CO₂ ke lingkungan.

Untuk menjembatani hasil penelitian yang sudah diperoleh dengan rencana memproduksi bahan bakar produk torefaksi sampah skala industri, maka dalam penelitian ini dilakukan studi awal tentang kelayakan ekonomi pabrik torefaksi sampah skala pilot kapasitas 25 ton/jam.

DISAIN MODEL PABRIK TOREFAKSI SAMPAH KONTINU

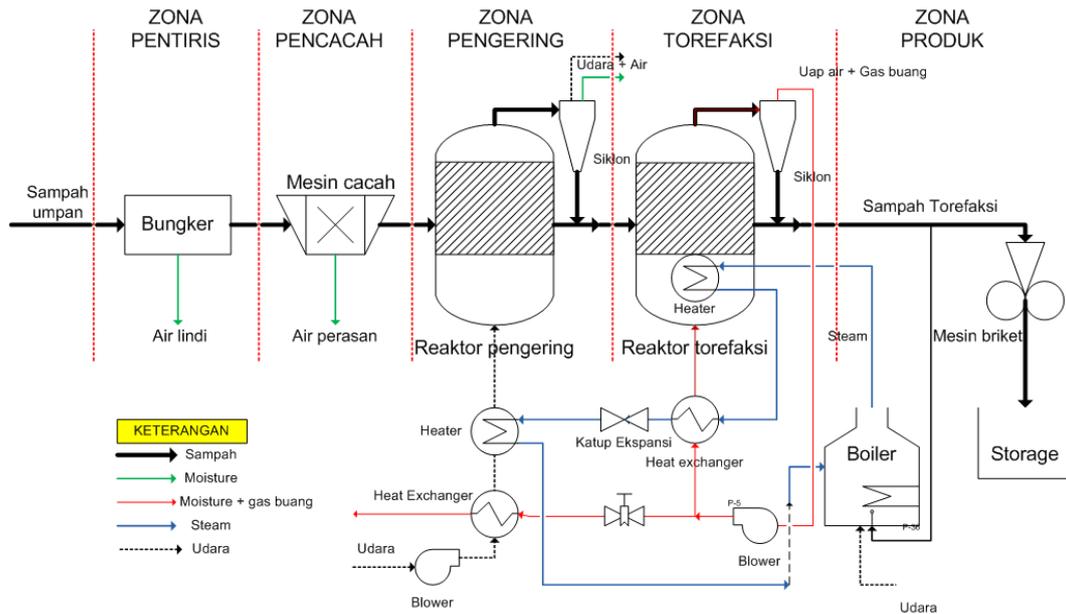
Disain Pabrik

Disain yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah sebuah model pabrik torefaksi sampah kontinu berkapasitas 25 ton/jam. Pabrik ini akan mengolah sampah perkotaan menjadi bahan bakar padat yang bernilai kalor tinggi setara dengan batubara subbituminous. Peralatan utama pabrik terdiri dari sebuah bunker, mesin pencacah sampah, reaktor pengering, reaktor torefaksi, mesin briket produk dan sebuah boiler.

Bahan baku pabrik adalah sampah kota yang didominasi oleh komponen organik dan plastik bukan daur ulang. Sampah yang baru diterima dikumpulkan dalam sebuah bunker yang berfungsi sebagai *storage* bahan baku dan sekaligus tempat pentirisan sampah. Sampah disimpan di bunker selama tiga sampai lima hari dan diharapkan kandungan airnya dapat berkurang sebesar 20%. Dengan asumsi kandungan air sampah segar sekitar 60-80%, maka pada saat keluar bunker kandungan air sampah diharapkan turun menjadi 40-60%. Untuk itu, sebagai peralatan tambahan, dalam disain pabrik ini juga diperhitungkan sarana pengolahan air lindi yang jumlahnya mencapai 15-20% dari kapasitas bunker.

Setelah keluar dari bunker, selanjutnya sampah diteruskan ke mesin pencacah. Pencacahan sampah bertujuan untuk mereduksi dan mendapatkan ukuran geometri yang relatif seragam. Di samping itu, pada proses pencacahan ini kandungan air sampah diharapkan juga bisa turun sekitar 5-10%. Sampah yang telah dicacah selanjutnya dikirim ke reaktor pengering. Proses pengeringan memanfaatkan udara yang sebelumnya dipanaskan oleh uap yang keluar dari reaktor torefaksi. Temperatur udara masuk pengering sekitar 80°C dan keluar sekitar 45°C. Sampah keluar reaktor pengering pada temperatur yang sama dengan udara, yakni 45°C. Keluar dari reaktor pengering, kandungan air sampah diharapkan bisa mencapai 30%. Setelah itu sampah dimasukkan ke dalam reaktor torefaksi yang menggunakan media *inert* berupa uap air hasil penguapan proses torefaksi itu sendiri.

Temperatur torefaksi dipertahankan sekitar 275°C dan sampah ditahan dalam reaktor selama lebih kurang 20 menit. Temperatur dan waktu tinggal torefaksi diperoleh dari hasil eksperimen sebelumnya yang merupakan temperatur dan waktu tinggal optimum untuk proses torefaksi sampah. Sumber panas utama sistem berasal dari uap panas lanjut yang disuplai oleh sebuah boiler. Dalam disain ini, bahan bakar boiler diambil dari produk torefaksi sehingga sistem ini tidak memerlukan sumber energi panas eksternal. Diagram alir proses (*process flow diagram, PFD*) pabrik torefaksi sampah kontinu ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses pabrik torefaksi sampah kontinu.

Balans Massa dan Energi Sistem

Perhitungan balans massa dan energi sistem dilakukan dengan bantuan program simulasi menggunakan perangkat lunak ASPENTM. Program simulasi ini dikembangkan dari program yang sudah ada sebelumnya untuk torefaksi gambut [4]. Dalam simulasi ini, balans massa dan energi yang dihitung adalah untuk kondisi sampah masuk pengering sampai keluar reaktor torefaksi. Parameter utama dalam perhitungan ini adalah laju sampah yang masuk reaktor pengering sebesar 10 ton/jam dengan kandungan air 50%. Sampah keluar dari reaktor pengering pada temperatur sekitar 45°C dengan kandungan air 30%. Temperatur reaktor torefaksi dipertahankan 275°C dan produksi gas hasil torefaksi adalah sekitar 30%, dengan asumsi utama, komposisi gas terdiri dari uap air (0,498%), SO₂ (0,002%), CO (0,15%) dan CO₂ (0,35%). Ringkasan parameter penting hasil simulasi dan beberapa perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 1.

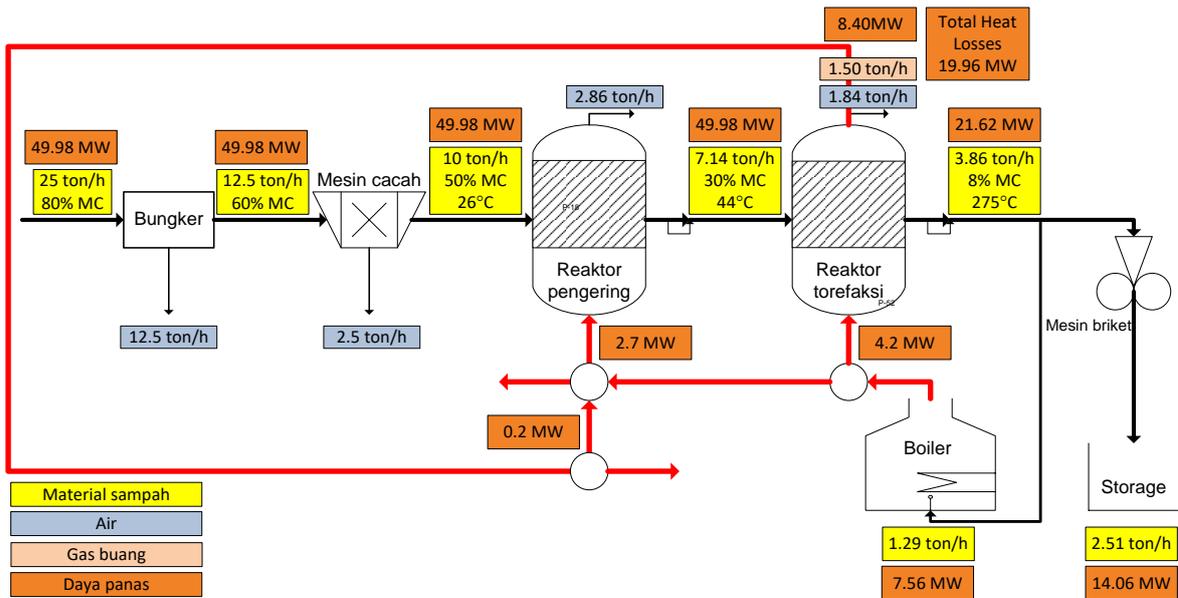
Diagram alir material sampah dan energi sistem ditunjukkan oleh Gambar 2. Sampah bahan baku masuk bunker dengan laju 25 ton/jam dan keluar dalam bentuk bahan bakar padat dengan laju produksi 3,8 ton/jam. Sebanyak 1,29 ton/jam dari bahan bakar tersebut digunakan untuk konsumsi boiler, sehingga menyisakan produk netto sebesar 2,51 ton/jam.

Kebutuhan energi panas berasal dari uap panas lanjut yang disuplai oleh boiler yang mempunyai kapasitas 7,4 MW panas. Energi panas yang dibutuhkan untuk proses pengeringan adalah sebesar 2,9 MW yang diambil dari sisa panas uap keluar

reaktor torefaksi dan panas recovery. Sedangkan kebutuhan panas reaktor torefaksi itu sendiri adalah sebesar 4,2 MW.

Tabel 1. Parameter penting hasil simulasi.

PARAMETER	SATUAN
Bunker	
Laju sampah masuk	25 ton/jam
Kandungan air sampah	80 %
Mesin pencacah	
Laju sampah masuk	12,5 ton/jam
Kandungan air	60 %
Reaktor pengering	
Laju sampah masuk	10 ton/jam
Kandungan air	50 %
Temperatur sampah keluar	44 °C
Laju udara pengering	180 ton/jam
Temperatur udara pengering masuk	80 °C
Temperatur udara pengering keluar	44 °C
Kebutuhan daya untuk pengeringan	2,7 MW
Reaktor torefaksi	
Laju sampah masuk	7,14 ton/jam
Kandungan air	30 %
Temperatur proses	275 °C
Laju konsumsi uap pemanas	9,25 ton/jam
Laju produksi bahan bakar produk torefaksi	3,8 ton/jam
Kebutuhan daya untuk torefaksi	4,2 MW
Mesin Briket produk	
Laju pembriketan bahan bakar	2,51 ton/jam
Nilai kalor bakar padat produk torefaksi (HHV)	25200 MJ/ton 6000 kCal/kg
Boiler	
Laju konsumsi bahan bakar	1,29 ton/jam
Daya keluaran (panas)	7,4 MW
Efisiensi pembakaran boiler	80 %
Total <i>heat losses</i> sistem	20 %
Laju kebutuhan energi panas total sistem	6,9 MW
Laju produksi energi panas sistem	17,3 MW
Recovery energi panas sistem	0,2 MW



Gambar 2. Diagram alir material sampah dan energi.

SIMULASI FINANSIAL KELAYAKAN EKONOMI PABRIK

Potensi komersialisasi pembangunan pabrik torefaksi sampah kontinu cukup menjanjikan. Hal ini dapat dilihat dari dua sisi, yakni aspek lingkungan dan energi alternatif. Pengolahan sampah perkotaan menjadi suatu produk yang bernilai akan mereduksi jumlah sampah secara langsung sehingga dapat menyelesaikan sebagian problem sampah yang selama ini belum mendapatkan solusi tuntas. Bahan bakar padat produk torefaksi sampah dapat dijadikan sumber energi alternatif terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar fosil, misalnya batu bara, sehingga dalam penggunaannya dapat mengurangi emisi CO₂ ke lingkungan. Di samping itu, keberadaan bahan bakar alternatif ini sekaligus menjawab kebutuhan akan diversifikasi energi sebagaimana dicanangkan oleh pemerintah dalam kebijakan energi nasional.

Dasar kajian ekonomi kelayakan pabrik torefaksi sampah ini adalah kemampuan sistem untuk menutupi biaya investasi dan operasi pabrik yang diperoleh dari nilai ekonomis bahan bakar padat produk torefaksi dan pengalihan biaya pengolahan sampah menjadi sebagian biaya operasional pabrik dalam bentuk *tipping fee*. Kajian ekonomi dilakukan melalui simulasi finansial dengan bantuan program aplikasi microsoft excell.

Komponen utama biaya investasi terdiri dari biaya pembebasan lahan, pengerjaan sipil/bangunan, pengadaan peralatan, *engineering* dan konstruksi. Biaya investasi diperoleh dari pinjaman bank dan penjualan saham (*equity*) dengan rasio 70 banding 30%. Lama pengembalian pinjaman adalah 5 tahun setelah pabrik mulai beroperasi. Pabrik ini dirancang untuk beroperasi selama 10 tahun dengan lama pengerjaan konstruksi sekitar 18 bulan. Biaya

operasional terdiri dari biaya konsumsi listrik peralatan, upah buruh/karyawan, manajemen dan perawatan. Sumber pemasukan didapat dari penjualan bahan bakar padat produk torefaksi, yang dianggap dapat bersaing dengan harga batubara untuk kelas yang sama, yakni sekitar 500 rupiah/kg. Sumber pemasukan lain direncanakan dari *tipping fee*, yakni biaya yang dikeluarkan oleh pemerintah melalui PD Kebersihan untuk pengolahan sampah. Sebagai acuan, hasil studi kelayakan pembangunan PLTSA kota Bandung yang dilakukan oleh anggota tim peneliti [1], harga *tipping fee* mencapai 240.000 rupiah/ton. Namun dalam simulasi finansial ini, harga *tipping fee* hanya diambil 15 USD/ton atau sekitar 127.500 ribu rupiah/ton. Semua harga dalam simulasi dalam satuan US dollar. Nilai tukar dollar terhadap rupiah diambil untuk harga kurs 8500 rupiah/USD. Hasil simulasi finansial pabrik torefaksi sampah kontinu dapat dilihat pada Tabel 2.

Nilai total investasi adalah 3,12 juta USD (26,5 milyar rupiah) dan biaya yang dikeluarkan untuk tahun pertama operasional adalah 60.684 dollar (515 juta rupiah). Nilai total investasi dan biaya operasional yang harus dibayar pada tahun pertama setara dengan USD 34,11 ton/bahan bakar. Biaya operasional dapat ditekan karena ada pemasukan dari *tipping fee* sebesar USD 15/ton (127.500 rupiah/ton sampah). Nilai penjualan bahan bakar produk adalah USD 55/ton (467.500 rupiah/ton).

Indikasi ekonomi kelayakan pabrik dapat dilihat dari nilai *net present value* (NPV) yang cukup menjanjikan, yakni sebesar USD 1.913.197 (16,3 milyar rupiah). *Internal rate of return* (IRR) cukup tinggi, yakni 30,06% dengan periode pengembalian modal selama 3 tahun 2 bulan setelah pabrik beroperasi.

Tabel 2. Hasil simulasi finansial pabrik torefaksi sampah kontinu

november 10, 2010

INPUT DATA	
A GENERAL DATA	
1	Project Name : MSW Torrefaction Pilot Plant Project
2	Location : Bandung
3	Client : -
B ECONOMIC DATA	
1	Escalation
	Raw MSW : 0,0% / year
	O&M Cost : 3,0% / year
	Torrefied MSW Cost : 2,5% / year
2	Discount Rate
	Bank Loan Discount Rate : 12,00%
	Equity Discount Rate : 12,00%
	Bank Loan Investment Portion : 70,00%
	Equity Investment Portion : 30,00%
	WACC : 12,00%
3	Corporate Tax : 25,0% / year
4	Exc. Rate USD to IDR : 9,000 IDR / USD
C PRODUCTION DATA	
1	Production Capacity
	Torrefied MSW Output : 2,51 MT Torrefied MSW / Hour
	Total Torrefied MSW Output : 20,080 MT Torrefied MSW / Year
2	Operation
	Torrefied MSW consumption for fuel : 1,29 MT Torrefied MSW / Hour
	Total Torrefied MSW consumption for fuel : 10,320 MT Torrefied MSW / Year
	Power consumption : 750 KW
	Total power consumption : 6,000,000 KWH / Year
3	Capacity Factor : 80,00%
4	Availability Factor : 91,32% (8000 hour/year)
5	Life Time Period : 10,0 years
D COST & INVESTMENT DATA	
1	TOTAL INVESTMENT : USD 2.455.535
	- EPC Cost : USD 2.028.444
	- VAT for EPC Cost : USD 202.844
	- Development & Other Cost : USD 60.853
	- Financing Fees : USD 20.294
	Total : USD 2.312.427
	Equity : USD 693.728 30,0%
	Bank Loan : USD 1.618.699 70,0%
	- Interest During Const. (IDC) : USD 143.108
	Equity : USD 42.932 30,0%
	Bank Loan : USD 100.176 70,0%
	Total Equity : USD 736.660 30,00%
	Total Bank Loan : USD 1.718.874 70,00%
Note :	
Development & Other Cost consists of : Other Taxes, Working Capital, Insurance, & Other Dev. Cost.	
2	Loan Return Period after COD : 5,0 years
3	Construction Period (Duration) : 18,0 months
4 Operation & Maintenance Cost	
	Raw MSW Unit Price (Drying Fuel) : (15,00) USD / MT Raw MSW
	Electricity Cost : 0,09 USD / KWH
	Labor, Mgmt & Office Overhead Cost : 11,111,11 USD / Month
	System Maintenance : 0,50 USD / MT torrefied MSW

OUTPUT DATA	
A COST	
Investment Cost of Recovery (Apply only for 1st-7th year, after that there is no more Capital Cost of Recovery)	
1	Investment Cost : 2.455.535 USD 24,46 USD / MT torrefied MSW
2	Bank Loan Interest (5 years) : 665.288 USD 6,63 USD / MT torrefied MSW
	Sub-Total : 3.120.823 USD 31,08 USD / MT torrefied MSW
Operation Cost (1st year)	
3	Tippling Fee Raw MSW : (512.681) USD / Year (25,53) USD / MT torrefied MSW
4	Power Consumption Cost : 432.000 USD / Year 21,51 USD / MT torrefied MSW
5	Labor, Mgmt & Office Overhead Cost (incl. Insurance) : 133.333 USD / Year 6,64 USD / MT torrefied MSW
6	System Maintenance Cost : 8.032 USD / Year 0,40 USD / MT torrefied MSW
7	MSW Torrefaction cost : - USD / Year - USD / MT torrefied MSW
8	MSW transport to port : - USD / Year - USD / MT torrefied MSW
9	MSW barging : - USD / Year - USD / MT torrefied MSW
	Sub-Total : 60.684 USD / Year 3,02 USD / MT torrefied MSW
	TOTAL : 34,11 USD / MT torrefied MSW
B SELLING RATE (1st Year)	
	Torrefied MSW : 55,00 USD / MT torrefied MSW
	Total Torrefied MSW : 883.520 USD / Year
C ECONOMIC INDICATION	
Total Investment	
1	Net Present Value (NPV) at 12,00% : USD 1.913.197 FEASIBLE
2	Internal Rate Return (IRR) : 30,06% FEASIBLE
3	Payback Period : 3 years 2 months after COD
Equity Investment	
1	Net Present Value (NPV) at 12,00% : USD 2.877.789 FEASIBLE
2	Internal Rate Return (IRR) : 53,19% FEASIBLE
3	Payback Period : 2 years 3 months after COD

KESIMPULAN

Dari studi awal kelayakan ekonomi pabrik torefaksi sampah kontinu kapasitas 25 ton/jam melalui simulasi finansial, dapat disimpulkan bahwa pembangunan pabrik torefaksi sampah ini cukup menjanjikan ditinjau dari sisi ekonomi. Indikasi kelayakan ini dapat dilihat dari nilai *net present value* (NPV) dan *internal rate of return* (IRR) yang cukup tinggi, yakni sebesar USD 1.913.197 (16,3 milyar rupiah) dan 30,06% dengan periode pengembalian modal selama 3 tahun 2 bulan setelah pabrik beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Ari Darmawan Pasek, Toto Hardianto, Willy Adriansyah, dll., 2007, "Laporan Akhir Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Dengan Bahan Bakar Sampah Di Kota Bandung", LPPM ITB, Bandung.

- [2] Chen, W.H., Kuo, P.C., 2011, "Torrefaction and Co-Torrefaction Characterization of Hemicellulose, Cellulose and Lignin As Well As Torrefaction of Some Basic Constituents in Biomass", *J. Energy*, Vol. 30, 1-9.
- [3] Aryadi Suwono, Amrul, Toto Hardianto, Ari Darmawan Pasek, 2010, "Solid Fuel From Torrefied Municipal Solid Waste", *Proceeding of Renewable Energy 2010, Advanced Technology Path to Global Sustainability, Joint with 4th International Solar Energy Society Conference, Asia Pacific Region, 27 June-2 July, 2010, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan.*
- [4] Haryadi, Toto Hardianto, Ari D. Pasek, Aryadi Suwono, Riza Azhari, W. Ardiansyah, 2009, "The Aspen™ Software Simulation of a Peat Torrefaction System Using RYield and SSplit Block as Reactor Model", *Proceedings of International Symposium on Sustainable Energy and Environmental Protection (ISSEEP), 23-26 Nopember 2009, Yogyakarta, Indonesia.*