

PENGARUH MOISTURE CONTENT EFB TERHADAP KURVA INPUT OUTPUT PLTBS

Yusak Victory Sitorus, Ir. M. Natsir Amin, M.M., Ir. Surya Tarmizi Kasim, M.Si.

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

e-mail: yusak.vick@gmail.com

Abstrak

Kurva input output menggambarkan besarnya masukan (bahan bakar EFB) yang harus diberikan pada unit pembangkit sebagai fungsi dari keluarannya. Bahan bakar yang digunakan adalah *Empty Fruit Bunch* (EFB) dengan tingkat *moisture content* 58,32%_(wet-basis), 38,58%_(wet-basis) dan 14,07%_(wet-basis). Diperoleh nilai LHV (*Low Heating Value*) dari ketiga tingkat *moisture content* EFB berturut-turut adalah 1931,09 kkal/kg, 2844,50 kkal/kg, dan 3863,31 kkal/kg. Semakin rendah *moisture content* EFB, maka nilai kalornya akan semakin tinggi. Pada pembebanan harian yang diasumsikan sama untuk ketiga tingkat *moisture content* EFB, didapat total jumlah EFB yang dibutuhkan PLTBS selama satu hari untuk masing-masing tingkat *moisture content* berturut-turut adalah 79,128 ton, 53,719 ton, dan 39,553 ton. Harga pengolahan EFB berturut-turut sebesar Rp30,00/kg, Rp40,00/kg, dan Rp50,00/kg, maka biaya bahan bakar rata-rata dalam sehari berturut-turut sebesar Rp59,35/kWh, Rp53,72/kWh, dan Rp49,44/kWh. Sehingga dari kurva input output dapat dilihat bahwa EFB dengan tingkat *moisture content* tertinggi relatif membutuhkan biaya bahan bakar yang lebih besar setiap jamnya.

Kata Kunci: *Moisture Content*, Kurva Input Output

1. Pendahuluan

Salah satu sumber energi terbarukan adalah energi biomassa yang berasal dari limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit. Salah satu contoh limbah padat tersebut adalah Tandan Kosong Sawit/ *Empty Fruit Bunch* (EFB). Dalam penerapannya sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit (PLTBS), EFB masih mengalami berbagai kendala terutama dari kualitas menyangkut kadar kelembaban (*moisture content*) bahan bakarnya. Dalam kurva input output digambarkan besarnya masukan (bahan bakar) yang harus diberikan pada unit pembangkit sebagai fungsi dari keluarannya. *Empty Fruit Bunch* (EFB) sebagai salah satu limbah padat PKS yang dapat digunakan sebagai bahan bakar di PLTBS memiliki *moisture content* yang relatif tinggi saat baru dikeluarkan dari PKS. PLTBS adalah pembangkit termis yang memerlukan uap untuk menggerakkan turbin yang dikopel dengan generator listrik. Kualitas uap bergantung pada kualitas ruang bakar dan bahan bakarnya. Sementara kualitas bahan bakar bergantung pada nilai kalornya. Nilai kalor bahan bakar berbanding terbalik dengan *moisture content* (kelembaban) yang dikandungnya. Semakin tinggi *moisture content* bahan bakar (EFB), maka nilai kalornya akan semakin rendah. Sehingga secara tidak langsung *moisture content* yang dikandung EFB mempengaruhi kurva input

output PLTBS. Oleh karena itu, pada penulisan ini akan dibahas tentang pengaruh *moisture content* EFB terhadap kurva input output PLTBS.

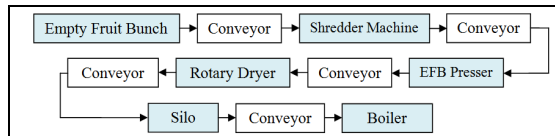
2. EFB Sebagai Energi Biomassa Sawit di PLTBS

Pabrik Kelapa Sawit (PKS) menghasilkan tiga jenis limbah padat yaitu serat, cangkang, dan Tandan Buah Kosong/ *Empty Fruit Bunch* (EFB). Produk sampingan dari limbah padat lainnya adalah abu hasil pembakaran bahan bakar. Sistem pembakaran biomassa lebih kompleks dari pada sistem pembakaran bahan bakar fosil dan umumnya memerlukan komponen tambahan di luar unit pembakaran. Ini berarti bahwa komponen-komponen sistem pembakaran biomassa harus terintegrasi dengan hati-hati untuk memastikan keberhasilan pembangkit dan beroperasi tanpa adanya gangguan [1].

Bila dibandingkan dengan bahan bakar fosil, penggunaan bahan bakar biomassa sebagai sumber energi memiliki beberapa tantangan [2] yang berkaitan dengan:

- Keandalan bahan bakar biomassa termasuk kadar air, nilai kalor, konsistensi, dimensi, isi dan kotoran lainnya,
- Kompleksitas ruang penyimpanan bahan bakar dan distribusi,
- Kompleksitas sistem pembakaran,
- Pembentukan kerak.

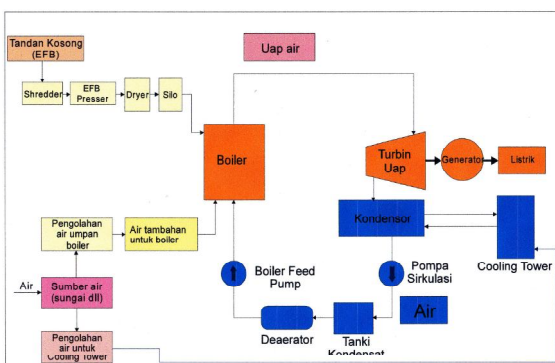
EFB yang baru keluar dari PKS masih memiliki kadar kelembaban (*moisture content*) yang relatif tinggi ($\pm 70\%$) [3]. Untuk itu, sebelum digunakan sebagai bahan bakar di PLTBS, EFB terlebih dahulu di-*pretreatment* dengan tujuan menurunkan *moisture content* (kadar airnya). Diagram alur konsep management bahan bakar EFB dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alur Konsep Management Bahan Bakar EFB [3]

Awalnya *Empty Fruit Bunch* (EFB) yang baru keluar dari pabrik dibawa oleh *conveyor* ke *shredder machine*. Di mesin ini EFB dicincang/dipotong-potong menjadi ukuran yang lebih kecil (± 1 s/d 2 inch). Selanjutnya EFB yang telah melewati *shredder machine* dibawa oleh *conveyor* ke *EFB presser*. Di mesin ini EFB di-*press* untuk mengeluarkan minyak sisa dan air yang masih dikandung EFB. Setelah melewati *EFB presser*, EFB kemudian dibawa oleh *conveyor* ke *rotary dryer*. Di *rotary dryer* EFB dikeringkan kembali untuk menurunkan kadar airnya. Selanjutnya setelah dari *rotary dryer*, EFB dibawa oleh *conveyor* ke silo sebagai tempat penampungan sementara yang kemudian untuk selanjutnya dijadikan bahan bakar di boiler.

Pada dasarnya PLTBS adalah PLTU yang berbahan bakar biomassa sawit. *Flow chart* alur proses PLTBS berbahan bakar EFB dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Flow Chart alur proses PLTBS berbahan bakar EFB [3]

Pada *flow chart* di Gambar 2, EFB pertama sekali melalui proses *pretreatment* untuk menurunkan *moisture content*-nya. Selanjutnya setelah melalui *shredder*, *EFB presser*, dan

dryer, EFB disimpan sementara di silo sebelum diumpankan ke *boiler*. Uap yang dihasilkan oleh *boiler* akan dipakai untuk memutar turbin yang dikopelkan langsung dengan generator, kemudian generator akan berputar menghasilkan listrik. Setelah melewati turbin, uap yang bertekanan dan bertemperatur tinggi masuk ke kondensator. Uap yang masuk ke kondensator dikondensasikan oleh air pendingin yang berasal dari *cooling tower* menjadi air yang kemudian dipompakan kembali ke *deaerator* lalu diumpankan ke *boiler*.

3. Moisture Content dan Nilai Kalor EFB

Proses pengolahan *Fresh Fruit Bunch* (FFB) atau yang lebih dikenal sebagai Tandan Buah Segar (TBS) di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) menghasilkan limbah padat (*biomass*) yang salah satunya adalah EFB. EFB diperoleh melalui proses perontokan TBS di dalam *tressing* setelah sebelumnya mengalami proses perebusan di dalam *sterilizer* (rebusan) selama ± 85 menit. TBS direbus menggunakan *steam* (uap) yang berasal dari boiler dan uap sisa turbin uap PLTBS yang disimpan di *Back Pressure Vessel* (BPV). EFB yang diperoleh dari proses perontokan TBS tadi mengandung kadar air yang relatif tinggi ($\pm 70\%$). Untuk itu sebelum digunakan sebagai bahan bakar di PLTBS, EFB perlu di *pretreatment* terlebih dahulu untuk menurunkan kadar airnya. Hal ini berkaitan dengan nilai kalori yang dikandung EFB, karena semakin tinggi *moisture content* EFB semakin rendah nilai kalori yang dikandungnya.

Sampel EFB yang akan diuji *moisture content*-nya pada penulisan ini ada tiga yaitu sampel pertama setelah melewati *EFB Presser* (sampel A), sampel kedua setelah melewati *EFB Presser* dan sekali pengeringan di *dryer* (sampel B), dan sampel ketiga setelah melewati *EFB Presser* dan dua kali proses pengeringan di *dryer* (sampel C).

Kadar kelembaban (*moisture content*) EFB secara umum dapat ditentukan dengan dua cara [4] yaitu:

a. Perhitungan kadar kelembaban (*moisture content*) EFB berdasarkan kandungan basahnya ($MC_{wet-basis}$). Adapun bentuk persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$MC\%_{(wet\ basis)} = \left(\frac{w}{w+d} \right) \times 100 \quad (1)$$

b. Perhitungan kadar kelembaban (*moisture content*) EFB berdasarkan kandungan keringnya ($MC_{dry-basis}$). Adapun bentuk persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$MC\%_{(dry-basis)} = \left(\frac{w}{d} \right) \times 100 \quad (2)$$

Dimana:

$MC\%_{(wet-basis)}$ = kelembaban EFB berdasarkan kandungan basahnya [%]

$MC\%_{(dry-basis)}$ = kelembaban EFB berdasarkan kandungan keringnya [%]

w = berat air yang dikandung EFB [kg]

d = berat kering EFB [kg]

Perhitungan *moisture content* EFB pada penulisan ini didasarkan pada kandungan basahnya ($MC\%_{(wet-basis)}$). Pengukuran *moisture content* ketiga sampel ini dilakukan lewat pengujian kadar kelembaban di laboratorium analisis Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. Metode pengukuran yang digunakan untuk menentukan persentase *moisture content* EFB adalah dengan menggunakan metode *oven-drying*.

Air yang terkandung dalam EFB dapat diturunkan kadarnya dengan cara menguapkan air tersebut. Penguapan air dengan cara pemanasan membutuhkan kalor sehingga terjadi perubahan wujud dari fase cair ke fase gas. Kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air dengan tujuan menurunkan kadar *moisture content*-nya dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 [5].

$$Q = M \cdot L \quad (3)$$

Dari Persamaan 1 didapat:

$$w = [\%MC_{wet\ basis} \times (w+d)] : 100 \quad (4)$$

Karena $M = w =$ berat air (kg), maka dengan mensubstitusikan Persamaan 4 ke Persamaan 3 didapat:

$$Q = \{ [\%MC_{wet\ basis} \times (w+d)] : 100 \} \times L \quad (5)$$

Dimana:

Q = kalor (J)

M = berat air wujud cair (kg)

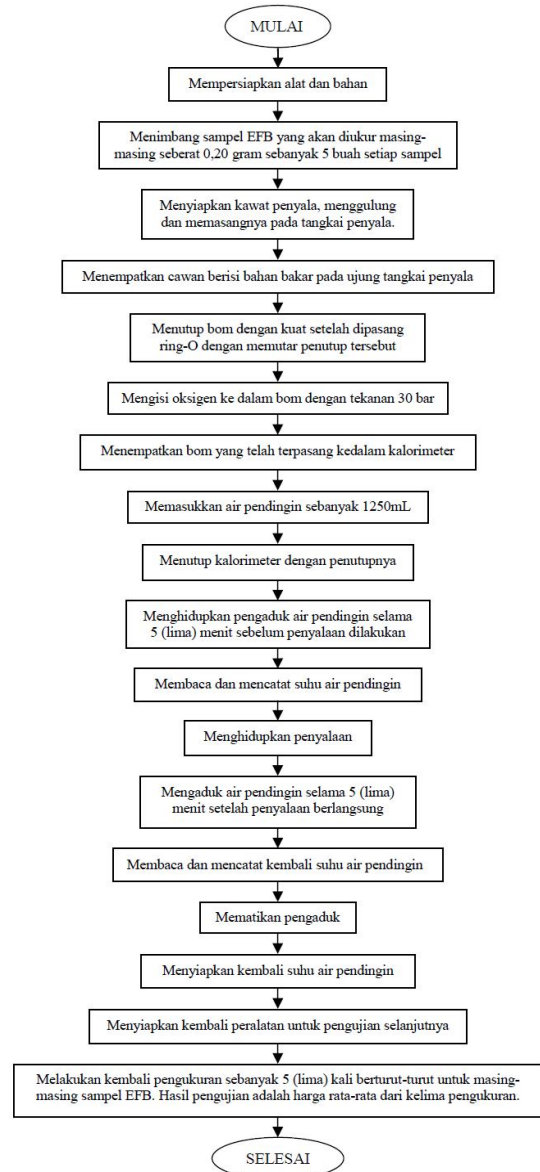
L = kalor laten air (J/kg) = $2,26 \times 10^6$ J/kg

$w+d$ = berat total sampel (kg)

Ada dua macam nilai pembakaran yaitu nilai panas pembakaran tinggi (*High Heating Value/HHV*) dan nilai panas pembakaran rendah (*Low Heating Value/LHV*). Nilai Kalor Atas (*HHV*) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap. Sedangkan Nilai Kalor Bawah (*LHV*) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar tanpa memperhitungkan panas kondensasi [6].

Metode pengukuran yang digunakan untuk menentukan nilai kalori EFB berdasarkan tingkat *moisture content*-nya dalam penulisan ini adalah dengan menggunakan bom kalorimeter yang ada

di Laboratorium Motor Bakar, Departemen Teknik Mesin, FT. USU. Bom kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur besar panas (kalor) yang dikandung oleh suatu bahan bakar dengan suatu kondisi tertentu. Bahan bakar EFB akan dibakar di dalam bom dimana kondisi pembakaran berlangsung dengan keadaan oksigen berlebih (tekanan ± 30 bar). Adapun alur percobaannya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram alur percobaan bom kalorimeter [7]

Setelah percobaan bom kalorimeter dilakukan dan didapat data dari setiap sampel EFB (A, B, dan C), selanjutnya data tersebut dianalisa dengan menggunakan Persamaan 6, Persamaan 7, Persamaan 8, dan Persamaan 9 [7].

Nilai Panas (HHV) = $(\Delta T - T_{kp}) \times c_v$ (kJ/kg) (6)
 dimana: $\Delta T = T_2 - T_1$

Nilai Panas (LHV) = HHV - 3240 (kJ/kg) (7)

HHV rata-rata = $\frac{\sum_{i=1}^n HHV}{n}$ (kJ/kg) (8)

LHV rata-rata = $\frac{\sum_{i=1}^n LHV}{n}$ (kJ/kg) (9)

Dimana:

T_1 = Suhu air pendingin sebelum dinyalakan ($^{\circ}C$)

T_2 = Suhu air pendingin sesudah dinyalakan ($^{\circ}C$)

T_{kp} = Kenaikan suhu kawat penyalat = 0,05 ($^{\circ}C$)

c_v = Panas Jenis Alat = 73529,6 (kJ/kg $^{\circ}C$)

4. Hasil dan Analisis

Hasil data yang didapat meliputi data pengukuran *moisture content* EFB, data pengukuran nilai kalori EFB, dan data perhitungan kurva input output PLTBS.

a. Hasil Data Pengukuran *Moisture Content* EFB

Data pengukuran *moisture content* ketiga sampel yang dilakukan lewat pengujian kadar kelembaban di laboratorium analisis Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil data pengukuran *moisture content* dari ketiga sampel EFB

Sampel	Kadar Air/ <i>moisture content</i> (MC% _{wet-basis})	Satuan
A	58,32	%
B	38,58	%
C	14,07	%

b. Hasil Data Pengukuran Nilai Kalori EFB

Data hasil pengujian EFB dengan menggunakan bom kalorimeter untuk sampel A, B, dan C dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data hasil pengujian EFB sampel A, B dan C menggunakan bom kalorimeter

Sampel	Percobaan	T ₁ ($^{\circ}C$)	T ₂ ($^{\circ}C$)	ΔT ($^{\circ}C$)
A	1.	26,23	26,42	0,19
	2.	26,53	26,74	0,21
	3.	26,87	27,08	0,21
	4.	27,18	27,39	0,21
	5.	27,52	27,72	0,20
B	1.	26,48	26,73	0,25
	2.	26,88	27,13	0,25
	3.	27,32	27,58	0,26
	4.	27,71	27,98	0,27
	5.	28,09	28,34	0,25
C	1.	26,07	26,39	0,32
	2.	26,56	26,88	0,32
	3.	27,05	27,35	0,30
	4.	27,51	27,83	0,32
	5.	27,98	28,29	0,31

Nilai HHV sampel A, B, dan C dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 6 dan 8 seperti tertera pada data di Tabel 3.

Tabel 3 Tabel data nilai HHV sampel A, B dan C

SAMP E L	%MC wet-basis	Percobaan	ΔT ($^{\circ}C$)	HHV (kJ/kg)	HHV (kKal/kg) * 1kKal = 4.186kJ	HHV rata-rata (kJ/kg)	HHV rata-rata (kKal/kg)	HHV rata-rata (kWh/kg) *1 kKal = 1,163x10 ⁻³ kWh
A	58,32	1.	0,19	10.294,144	2.459,184	11.323,5584	2.705,1023	3,146
		2.	0,21	11.764,736	2.810,496			
		3.	0,21	11.764,736	2.810,496			
		4.	0,21	11.764,736	2.810,496			
		5.	0,20	11.029,440	2.634,839			
B	38,58	1.	0,25	14.705,920	3.513,119	15.147,0976	3.618,5135	4,208
		2.	0,25	14.705,920	3.513,119			
		3.	0,26	15.441,216	3.688,776			
		4.	0,27	16.176,512	3.864,432			
		5.	0,25	14.705,920	3.513,119			
C	14,07	1.	0,32	19.852,992	4.742,712	19.411,814	4.637,318	5,393
		2.	0,32	19.852,992	4.742,712			
		3.	0,30	18.382,400	4.391,399			
		4.	0,32	19.852,992	4.742,712			
		5.	0,31	19.117,696	4.567,056			

Nilai LHV sampel A, B, dan C dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 7 dan 9 seperti tertera pada data di Tabel 4.

Tabel 4 Tabel data nilai LHV sampel A, B dan C

SAMP E L	%MC wet-basis	Percobaan	ΔT ($^{\circ}C$)	LHV (kJ/kg)	LHV (kKal/kg) * 1kKal = 4.186kJ	LHV rata-rata (kJ/kg)	LHV rata-rata (kKal/kg)	LHV rata-rata (kWh/kg) *1 kKal = 1,163x10 ⁻³ kWh
A	58,32	1.	0,19	7.054,144	1.685,175	8.083,5584	1.931,0937	2,246
		2.	0,21	8.524,736	2.036,487			
		3.	0,21	8.524,736	2.036,487			
		4.	0,21	8.524,736	2.036,487			
		5.	0,20	7.789,440	1.860,831			
B	38,58	1.	0,25	11.465,920	2.739,111	11.907,0976	2.844,5049	3,308
		2.	0,25	11.465,920	2.739,111			
		3.	0,26	12.201,216	2.914,767			
		4.	0,27	12.936,512	3.090,423			
		5.	0,25	11.465,920	2.739,111			
C	14,07	1.	0,32	16.612,992	3.968,703	16.171,8144	3.863,3097	4,493
		2.	0,32	16.612,992	3.968,703			
		3.	0,30	15.142,400	3.617,391			
		4.	0,32	16.612,992	3.968,703			
		5.	0,31	15.877,696	3.793,047			

c. Data Perhitungan Kurva Input Output PLTBS

Dalam perhitungan kurva input output, PKS dan PLTBS yang dikaji diasumsikan memiliki data seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Data PKS dan PLTBS

DATA	NILAI	SATUAN
Kapasitas pengolahan FFB di PKS	40	(ton/hour)
Produksi EFB (22,18%) dari pengolahan FFB	8,872	(ton/hour)
Moisture Content EFB sebelum di-pretreatment	70	(%)
rata-rata jam operasional PKS	6.000	(hour/year)
Produksi EFB	53.232	(ton/year)
Kapasitas PLTBS	2	MW
Power Plant Efficiency	23,07	%

PLTBS dengan kapasitas 2 MW memiliki karakteristik efisiensi seperti pada Tabel 6.

Tabel 6 Karakteristik efisiensi PLTBS

Beban (MW)	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
Efisiensi (%)	21,02	21,59	22,23	22,62	23	22,87	22,68	22,49	22,36

Pembebanan harian untuk ketiga sampel EFB diasumsikan sama seperti pada Tabel 7.

Tabel 7 Data beban selama satu hari di PLTBS

PUKUL	BEBAN (MW)	PUKUL	BEBAN (MW)
0--1	1,3	12--13	1,7
1--2	1,2	13--14	1,6
2--3	1,2	14--15	1,6
3--4	1,4	15--16	1,6
4--5	1,6	16--17	1,8
5--6	1,6	17--18	1,9
6--7	1,9	18--19	2
7--8	1,9	19--20	2
8--9	1,8	20--21	1,9
9--10	1,8	21--22	1,7
10--11	1,8	22--23	1,5
11--12	1,8	23--24	1,4

Banyaknya bahan bakar EFB yang dibutuhkan selama satu hari dapat dihitung menggunakan Persamaan 10 [8].

$$\sum_{i=1}^n Wn = \frac{(MWh)n \times 1000}{(\eta)n} \times 860,0 \times \frac{1}{LHV_{EFB}} \quad (10)$$

Dimana:

Wn =Jumlah EFB yang dibutuhkan pada pembebanan ke-n (kg)

$(Mwh)n$ =Daya yang terpakai pada pembebanan ke-n (MWh)

$Daya (MWh)$ terpakai dihitung dengan mengalikan besar beban PLTBS (MW) dengan lama waktu (Δt) pembebanan.

$(\eta)n$ =efisiensi PLTBS di pembebanan ke-n

1kWh =860,0 kilogram kalori (Kcal)

LHV =Low Heating Value / nilai kalori bawah sampel EFB yang digunakan (Kcal/kg)

Harga bahan baku EFB pada penulisan ini diasumsikan nol karena *Empty Fruit Bunch (EFB)* merupakan limbah padat hasil sampingan pengolahan FFB di PKS. Dalam pengertian, pabrik tidak mengeluarkan biaya untuk membeli EFB sebagai bahan bakar di PLTBS. Tetapi harga pengolahan EFB diasumsikan untuk menggantikan biaya operasional dan perawatan mesin pada proses *pretreatment* EFB. Diambil harga EFB untuk sampel A sebesar Rp30,00/kg; EFB sampel B sebesar Rp40,00/kg; EFB sampel C sebesar Rp50,00/kg.

Berdasarkan tingkat *moisture content* dan LHV dari masing-masing sampel A, B, dan C, banyaknya EFB yang dibutuhkan selama satu hari dapat dihitung menggunakan Persamaan 10 seperti tertera pada data di Tabel 8.

Tabel 8 Data EFB sampel A, B dan C yang dibutuhkan dalam satu hari

S	MC (%)	LHV (Kcal/kg)	Beban (MW)	η (%)	Δt (jam)	MWh	Wn (ton)	Rp/hari	Rp/kWh	kg/kWh
A	58,32	1.931,0937	1,2	21,02	2	2,4	5,0848	2.373.852	59,35	1,978
			1,3	21,59	1	1,3	2,6816			
			1,4	22,23	2	2,8	5,6094			
			1,5	22,62	1	1,5	2,9532			
			1,6	23	5	8	15,4902			
			1,7	22,87	2	3,4	6,6208			
			1,8	22,68	5	9	17,6724			
			1,9	22,49	4	7,6	15,0494			
			2	22,36	2	4	7,9668			
			TOTAL			24	40			

S	MC (%)	LHV (Kcal/kg)	Beban (MW)	η (%)	Δt (jam)	MWh	Wn (ton)	Rp/hari	Rp/kWh	kg/kWh
B	38,58	2.844,5049	1,2	21,02	2	2,4	3,4519	2.148.760	53,72	1,343
			1,3	21,59	1	1,3	1,8205			
			1,4	22,23	2	2,8	3,8081			
			1,5	22,62	1	1,5	2,0049			
			1,6	23	5	8	10,5161			
			1,7	22,87	2	3,4	4,4947			
			1,8	22,68	5	9	11,9975			
			1,9	22,49	4	7,6	10,2168			
			2	22,36	2	4	5,4085			
			TOTAL			24	40			
C	14,07	3.863,3097	1,2	21,02	2	2,4	2,5417	1.977.640	49,44	0,989
			1,3	21,59	1	1,3	1,3404			
			1,4	22,23	2	2,8	2,8039			
			1,5	22,62	1	1,5	1,4762			
			1,6	23	5	8	7,7429			
			1,7	22,87	2	3,4	3,3094			
			1,8	22,68	5	9	8,8336			
			1,9	22,49	4	7,6	7,5225			
			2	22,36	2	4	3,9822			
			TOTAL			24	40			

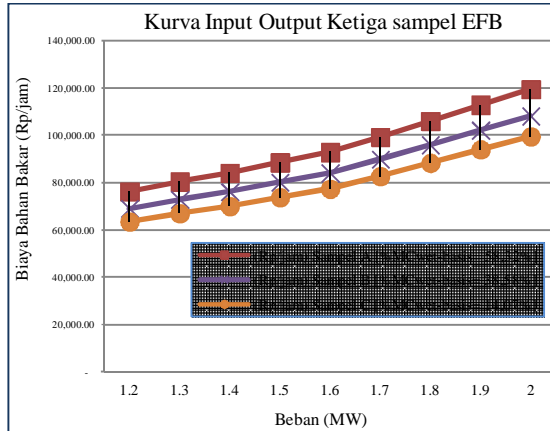
Kurva input output pada penulisan ini, input (bahan bakar) PLTBS dipresentasikan dalam satuan rupiah perjam (Rp/jam) dan outputnya (beban PLTBS) dipresentasikan dalam satuan Mega Watt (MW).

Dari data pada Tabel 8, untuk menghitung banyaknya EFB (pada setiap kondisi *moisture content* sampel) yang diperlukan di setiap pembebanannya selama satu jam dapat dihitung dengan membagikan jumlah EFB yang dibutuhkan pada pembebanan tersebut dengan lama waktu (Δt) pembebanannya. Sehingga didapat beberapa titik dalam penyusunan kurva input output seperti tertera pada Tabel 9.

Tabel 9 Data titik penyusunan kurva input output setiap sampel EFB pada setiap pembebanan di unit PLTBS

Sampel	Beban (MW)	Jumlah Bahan Bakar (ton/jam)	Biaya Bahan Bakar (Rp/jam)
A	1,2	2,542395	76.271,85
	1,3	2,68155	80.446,50
	1,4	2,80468	84.140,40
	1,5	2,95321	88.596,30
	1,6	3,098042	92.941,26
	1,7	3,31038	99.311,40
	1,8	3,534472	106.034,16
	1,9	3,76235	112.870,50
	2	3,983395	119.501,85
	B	1,2	1,72599
1,3		1,82047	72.818,8
1,4		1,90406	76.162,4
1,5		2,00489	80.195,6
1,6		2,10322	84.128,8
1,7		2,24737	89.894,8
1,8		2,39950	95.980,0
1,9		2,55420	102.168,0
2		2,70427	108.170,8
C		1,2	1,27083
	1,3	1,34039	67.019,50
	1,4	1,401935	70.096,75
	1,5	1,47617	73.808,50
	1,6	1,54857	77.428,50
	1,7	1,65471	82.735,50
	1,8	1,76672	88.336,00
	1,9	1,88063	94.031,50
	2	1,99112	99.556,00

Data pada Tabel 9 dapat dibuat dalam bentuk kurva seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Kurva input output ketiga sampel EFB dipengaruhi oleh *moisture content*-nya

Dari kurva input output pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi *moisture content* EFB, maka biaya bahan bakar yang dibutuhkan perjamnya untuk masing-masing pembebanan unit PLTBS relatif akan semakin besar, meskipun harga EFB lebih murah pada tingkat *moisture content* tertinggi.

5. Kesimpulan

Dari hasil data dan analisis dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk EFB sampel A dengan MC tertinggi (58,32% *wet-basis*) dibandingkan dengan sampel B (38,58% *wet-basis*) dan sampel C (14,07% *wet-basis*) memiliki nilai *Low Heating Value* (LHV) yang lebih rendah yaitu 1.931,0937Kcal/kg dibandingkan B (2.844,5049Kcal/kg) dan C (3.863,3097Kcal/kg).
2. Pada pembebanan harian yang sama, EFB sampel A dibutuhkan lebih banyak yaitu 79,1284 ton/hari, sementara sampel B sebanyak 53,7190 ton/hari dan sampel C sebanyak 39,5528 ton/hari.
3. Dengan harga EFB sampel A sebesar Rp.30,00/kg, sampel B Rp.40,00/kg dan sampel C Rp.50,00/kg; maka biaya bahan bakar rata-rata per kWh dalam sehari untuk sampel A sebesar Rp.59,35/kWh, sampel B Rp.53,72/kWh dan sampel C Rp.49,44/kWh.
4. Dari kurva input output PLTBS dapat dilihat bahwa biaya bahan bakar perjamnya (Rp/jam) untuk sampel A (MC= 58,32% *wet-basis*) dibutuhkan lebih banyak dibandingkan sampel B dan C.

6. Daftar Pustaka

- [1] Palsihok Utama Team, *An Intermediate Report Biomass & Biogas Power Plant System At Blangkahan An Palm Oil Mill*, Medan, Indonesia, 2011.
- [2] Sinaga, Ishak, *Energi Terbarukan Sisa Keluaran Limbah Padat Pengolahan Kelapa Sawit*, Medan: USU, 2011.
- [3] Muluk, Chairul, *Pemanfaatan Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Pembangkit Listrik*, Jakarta: Kementerian ESDM, 2011.
- [4] Govett, Robert, dkk, *A Practical Guide For The Determination of Moisture Content of Woody Biomass*, Madison: University of Wisconsin, 2010.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Latent_heat
- [6] Napitupulu, Farel, *Analisis Nilai Kalor Bahan Bakar Serabut dan Cangkang Sebagai Bahan Bakar Ketel Uap di Pabrik Kelapa Sawit*, Medan: USU, Vol. 23, No. 1, Januari 2006.
- [7] USU, *Panduan Percobaan Bom Kalorimeter Oksigen*, Medan: Laboratorium Mesin FT.USU.
- [8] Marsudi, Djiteng, *Pembangkitan Energi Listrik*, Jakarta: Erlangga, 2005.