

Potential of Cost Savings in the Rotary Kiln with a Capacity of 130 ton/hr by Means of Fuel Diversification

Imansyah Ibnu Hakim^{1,*}, Hidayah²

¹Laboratorium Perpindahan Kalor, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

²Prodi Sarjana, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

*imansyah@eng.ui.ac.id

Abstract. In the history of Technology's development, a rotary kiln nickel is center process nickel plants. In this process requires a large amount of energy where the main source of energy comes from coal. If the coal's supply is decreasing and the demand is always increasing, then the price of coal will be increasing. To overcome the fuel availability crisis, alternative fuels such as biomass are used. The goal of this research is to know the possibility of diversification of fuel without reducing the quality and the quantity of calcine that produced and to look for some savings potential that can be done. From the calculation results, the potential savings obtained by diversifying fuel using red calliandra wood pellets is around 41.48% or Rp.71 billion in 5 years. The potential savings will be greater if the planting and processing are carried out alone, which is 75.18% around 130 billion. While using pellets of empty palm oil bunches has the potential of 61.41% of the total use of coal fuel, or worth Rp.106 billion in 5 years.

Abstrak. Pada sejarah perkembangan Teknologi, *Rotary Kiln Nickel* merupakan proses inti dari pengolahan nikel. Pada proses ini dibutuhkan jumlah energi yang sangat banyak dimana sumber energinya berasal dari batubara. Apabila ketersediaan batubara semakin menipis dan jumlah permintaan selalu meningkat, maka harga batubara pun akan meningkat. Untuk mengatasi krisis ketersediaan bahan bakar, digunakanlah bahan bakar alternatif seperti biomassa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemungkinan dilakukannya diversifikasi bahan bakar tanpa mengurangi jumlah dan kualitas kalsin yang dihasilkan serta mencari potensi penghematan yang dapat dilakukan. Dari hasil perhitungan, potensi penghematan yang didapat dengan melakukan diversifikasi bahan bakar menggunakan pellet kayu kaliandra merah adalah sekitar 41,48% atau Rp.71 miliar dalam 5 tahun. Potensi penghematan menjadi lebih besar bila penanaman dan pengolahan dilakukan sendiri, yaitu sebesar 75,18% atau sekitar 130 miliar. Sedangkan dengan menggunakan pellet tandan kosong kelapa sawit memiliki potensi sebesar 61,41% dari total penggunaan bahan bakar batubara, atau senilai Rp.106 miliar dalam 5 tahun.

Kata kunci: *Rotary kiln; Diversification; Thermal Efficiency; Biomass; Biosolid; Wood Pellet*

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Produksi nikel yang ada di PT.X Pomalaa merupakan salah satu penghasil nikel terbesar di Indonesia, yaitu dengan produksi sebanyak 18.000 – 20.000 ton nikel per tahun. Namun sayang, pada 6 bulan pertama di tahun 2017. PT. X mengalami kerugian biaya yang cukup besar sehingga sempat melakukan pemutusan hubungan kerja dengan karyawan perusahaan. Kerugian yang dialami PT.X disebabkan oleh penurunan penjualan. Selain itu PT.X juga mengalami depresiasi yang terjadi pada perluasan pabrik feronikel dan PT.X juga mengalami amortisasi yang disebabkan oleh beban anak perusahaan. Dan juga masih banyak hal-hal yang mempengaruhi terjadinya kerugian ini seperti harga jual nikel yang turun. Untuk saat ini, PT.X sedang berupaya untuk meningkatkan produksi tambangnya dan menstabilkan keuangan perusahaan. Namun, hal seperti ini bisa saja terulang kembali. Untuk

membantu menstabilkan keuangan perusahaan, diperlukan langkah penghematan tanpa mengurangi jumlah dan kualitas produksi. Seperti yang telah diketahui, beban pengeluaran terbesar pada PT.X adalah pada pembelian batubara sebagai bahan bakar. Pada proses pengolahan nikel, penggunaan batubara terbesar digunakan pada proses kalsinasi yaitu dengan menggunakan *Rotary Kiln*. Dengan mengantikan peran batubara sebagai bahan bakar pada *rotay kiln*, diharapkan akan didapat penghematan biaya yang cukup besar tanpa mengurangi jumlah dan kualitas kalsin yang dihasilkan.

Proses pengolahan data yang dilakukan pada *rotary kiln* adalah menggunakan data *basic design rotary kiln* dan data operasional pada tahun 2015, 2016 dan 2017. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi nilai efisiensi termal serta *heat loss cost* pada *rotary kiln* dan mencari hal-hal yang

mempengaruhi nilai efisiensi *thermal rotary kiln* sehingga dapat dilakukan upaya penghematan biaya tanpa mengurangi jumlah dan kualitas kalsin yang dihasilkan. Potensi Penghematan dilakukan melalui diversifikasi bahan bakar.

Rotary kiln memiliki bentuk berupa silinder baja yang bagian dalamnya dilapisi oleh batu tahan api (*Fire brick*) yang berfungsi sebagai pelindung *shell kiln* dari kerusakan akibat panas pembakaran dan sebagai isolator untuk mengurangi kehilangan panas secara radiasi dan konduksi.

Proses utama yang terjadi pada *rotary kiln* adalah proses kalsinasi. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan *moisture content* (MC) dan kadar air kristal atau *lost in ignition* (LOI) hingga <1%. Jika masih terdapat LOI pada Ore, maka saat peleburan dapat terjadi ledakan ledakan (*boiling*) akibat terjadinya penguapan air yang berlebihan.

Spesifikasi dari *rotary kiln* adalah sebagai berikut panjang 110 m, diameter 5,3m, dan kapasitas 130ton/jam. *Rotary kiln* dapat dilihat pada **Gambar 1**. Prinsip kerja alat ini, yaitu material akan masuk melalui *inlet chamber* kemudian mengalir sepanjang *rotary kiln* karena adanya putaran dan kemiringan *rotary kiln*, sehingga menyebabkan material kontak dengan udara panas yang berasal dari pembakaran *pulverized coal* oleh *burner*. Material umpan akan dikeringkan dan terkalsinasi oleh aliran *counter current* gas panas.



Gambar 1. *Rotary Kiln* PT "X"

Metode Penelitian

Batubara pada *rotary kiln* memiliki 2 peran, yaitu sebagai pereduksi dan sebagai bahan bakar. Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar menggunakan batubara dengan jenis *pulverized coal*. Batubara yang digunakan PT.X umumnya berjenis Bituminous dengan kalori 6.500 cal/gr, 6.893 cal/gr, dan 7.118 cal/gr.

Sebagai alternatif bahan bakar digunakan biomassa. Di dalam studi energi berkelanjutan, biomassa dapat didefinisikan sebagai seluruh hal yang berkenaan dengan tanaman yang masih hidup termasuk limbah organik yang berasal dari tanaman,

manusia, kehidupan laut, dan hewan (Dan & Di, 2010). Untuk menghindari permasalahan seperti nilai bakar yang terlalu rendah, nilai *bulk density* yang rendah, serta kadar emisi polutan yang tinggi, biomassa diolah terlebih dahulu dengan memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh dari segi pembakaran. Karakteristik pembakaran biomassa sebagian besar dipengaruhi oleh komposisi dari bahan baku yang digunakan (Ohman, 2006). Salah satu cara mengolah biomassa adalah dengan merubahnya menjadi bio-pelet. Pada proses perhitungan, pellet biomassa yang digunakan adalah pellet serabut kelapa dengan kalori 4.161 cal/gr, pellet tandan kosong kelapa sawit dengan kalori 3.996 cal/gr, dan pellet kaliandra merah dengan kalori 4.600 cal/gr.

Alternatif lain adalah pellet biosolid. Pellet biosolid tersusun atas gabungan biosolid lumpur dan biomassa limbah bambu dengan perekat kanji dan air sebagai campurannya. Dalam prosesnya, bahan dikeringkan, dihaluskan dan diayak, dicampur dalam berbagai rasio diantaranya pellet bambu biosolid rasio 90:10 dengan didapatkan kalori 3.692 cal/gr.

Keseimbangan Massa dan Energi dalam Rotary Kiln

Heat balances pada sistem *kiln* dapat memberikan informasi yang sangat berguna dalam kinerja panas pada sistem. *Heat balance* menunjukkan dimana atau bagaimana bahan bakar panas dikonsumsi. Perhitungan neraca massa dan neraca energi dilakukan dengan menggunakan persamaan termodynamika, perpindahan panas serta reaksi kimia yang berlangsung di dalam sistem. Tahapan awal yang harus dilakukan adalah mendapatkan data neraca massa yang selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan neraca energi.

Neraca Massa

Pada dasarnya neraca/kesetimbangan massa di *rotary kiln* adalah untuk mengetahui berapa jumlah komponen massa yang masuk ke dalam *kiln* dan berapa jumlah komponen massa yang berpengaruh pada proses pembakaran. Secara khusus analisis *mass balance* dilakukan untuk mencari banyaknya komponen massa yang hilang dari sistem proses, dan untuk mengetahui faktor koversi dari *raw material* menjadi sejumlah massa produk yang diinginkan dalam proses tersebut.

Perhitungan neraca massa didasarkan atas hukum kekekalan massa yang melewati *rotary kiln*, seperti persamaan sebagai berikut :

$$\Delta \text{massa in} = \Delta \text{massa out} \quad (1)$$

dimana :

$\Delta m_{\text{massa in}} = \text{massa conditioned ore} + \text{debu R/K} + \text{air dalam pellet} + \text{batubara sebagai reduktan} + \text{abu dari bahan bakar batubara}$

$\Delta m_{\text{massa out}} = \text{massa kalsin ore} + \text{massa fixed carbon} + \text{massa abu reduksi} + \text{massa abu bahan bakar}$

Neraca Energi

Umumnya, perhitungan neraca energi/panas ini dilakukan dengan tujuan agar kita dapat mengetahui berapa jumlah kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar (*coal + oil*) sebagai penghasil kalor utama dan berapa jumlah kalor yang diserap oleh material sehingga bisa kita ketahui besarnya efisiensi pada *rotary kiln* tersebut.

Dalam analisis kesetimbangan kalor ini akan dapat kita ketahui berapa jumlah kalor yang masuk ke dalam *rotary kiln* selain yang dihasilkan oleh bahan bakar, dan untuk mengetahui kehilangan kalor yang keluar dari kiln akibat gas buang, radiasi dan lain lain berdasarkan kondisi yang ada di sistem kiln tersebut.

Heat Input

Nilai kalori bahan bakar batubara :

$$Q_1 = F \times H \dots \dots \text{(Kcal/h)} \quad (2)$$

dimana :

F : Konsumsi nilai batu bara per jam (kg/jam)

H : Nilai kalori fuel coal (Kcal/kg)

Panas yang dilepaskan oleh VM pada antrasit :

$$Q_{2.1} = M_c \times K_c \times H_c \dots \dots \text{(kcal/h)} \quad (3)$$

dimana :

M_c : Jumlah antrasit (Kg/h)

K_c : % VM antrasit

H_c : Nilai kalori VM (Kcal/kg)

Panas yang dilepaskan oleh batubara :

$$Q_{2.2} = M_d \times K_d \times H_d \quad (4)$$

dimana :

M_d : Jumlah batu bara (Kg/h)

K_d : % VM batubara

H_d : Nilai kalori VM (Kcal/kg)

Panas dari pembakaran *fixed carbon* dalam antrasit dan batubara :

8% Dari batubara terbakar

$$Q_{3a} = M_1 \times H_d \times 0.08 \quad (5)$$

8% Dari anthrasit terbakar

$$Q_{3b} = M_2 \times H_d \times 0.08 \quad (6)$$

dimana :

M₁: jumlah *fixed carbon* dalam antrasit (Kg/h)

M₂: jumlah *fixed carbon* dalam batubara (Kg/h)

H_d : Nilai kalori FC (kcal/kg-Fc)

Total Heat input

$$Q_{\text{input}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \text{ (KCAL/H)} \quad (7)$$

Heat Output

Panas yang diserap oleh kalsin

$$Q_4 = M_4 \times C_4 \text{ (tm2-to)} \dots \dots \text{(Kcal/h)} \quad (8)$$

dimana :

M₄ : jumlah kalsin (Kg/h)

C₄ : Panas spesifik kalsin (KCAL/Kg C)

tm₂ : temperatur kalsin (°C)

to : temperature keluar (°C)

Panas pembakaran *ash* dan *fixed carbon* antrasit dan batubara.

Panas untuk pembakaran antrasit :

$$Q_{5a} = M_{5a} \times C_{5a} \times (tm2-to) \quad (9)$$

Panas untuk pembakaran batubara

$$Q_{5b} = M_{5b} \times C_{5b} \times (tm2-to) \quad (10)$$

dimana :

M_{5a} : massa *ash* dan FC Antrasit (kg/h)

M_{5b} : massa *ash* dan FC Coal (kg/h)

C_{5a}: Panas spesifik Antrasit (kcal/kg. °C)

C_{5b}: Panas spesifik batubara (kcal/kg. °C)

Kalor laten dan panas yang dibutuhkan untuk menguapkan *moisture* :

$$Q_6 = W_v \times (C_w \times (t_v - 28) + \ddot{y} + C_v \times (t_g - t_v)) \quad (11)$$

dimana:

W_v: *Vaporized moisture* (kg/h)

C_w: panas spesifik air

T_v: temperatur penguapan (degC)

\ddot{y} : Kalor laten penguapan pada t_v (Kcal/kg-H₂O)

C_v: Panas jenis penguapan (Kcal/kg)

t_g: temperatur *exhaust gas* (°C)

Kalor laten dan panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air kristal pada conditioned ore

$$Q_7 = M_a \times K_a \times \{H_a + C_v \times (t_g - t_v)\} \quad (12)$$

dimana :

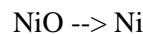
M_a : jumlah conditioned ore (Kg/h)

K_a : kandungan kristal pada C.ore

H_a : panas dekomposisi air Kristal (Kcal/kg)

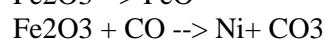
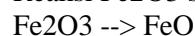
Panas yang diserap untuk pre-reduksi conditioned ore :

Reaksi NiO sebanyak 20 %



$$Q_{8a} = M_a \times K_n \times (\text{Ar Ni} / \text{Mr NiO}) \times H \times 20\% \quad (13)$$

Reaksi Fe₂O₃ sebanyak 80%



$$Q8b = Ma \times Kf \times (1/160) \times H \times 80\% \quad (14)$$

Panas yang diserap debu :

$$Q9 = Me \times Ce \times (tg2-28) \quad (15)$$

dimana :

Me : jumlah debu (kg/h)

Ce : Panas spesifik debu (kcal/kg °C)

Panas yang diserap exhaust

$$Q10 = G \times Cg \times (tg2 - 28) \quad (16)$$

dimana :

G : jumlah exhaust gas (Nm³/h)

Cg : kalor jenis exhaust gas (Kcal/Nm³ °C)

Radiasi panas dari Shell dan Hood Kiln

Kiln Shell

$$Q11a = As \times qs \quad (17)$$

dimana :

As: Luas permukaan kiln shell (m²)

qs : Radiasi kehilangan panas, T: 130 °C
(Kcal/m²h)

kiln hood

$$Q11b = Ah \times qh \quad (18)$$

dimana:

Ah : kiln hood surface area (m²)

qh : Radiasi kehilangan panas pada T: 100 °C
(Kcal/m²h)

Unidentified loss heat

$$Q12 = Qin - (Q4 to Q11) \quad (19)$$

Efisiensi thermal

$$(Q4 To Q8)/Qin \times 100\% \quad (20)$$

Heat Lost Cost

Heat lost cost = %heat lost x (MFO Cost +COAL cost)

Data standard design, data operasional, data kandungan batubara dan bijih nikel pada rotary kiln didapatkan dari manual book rotary kiln yang terdapat pada perpustakaan planning maintenance dan laboratorium kimia PT.X.

Data kandungan biomassa dan bio-pellet yang digunakan didapatkan dari percobaan dari salah satu tugas akhir yang dilakukan mahasiswa Universitas Indonesia, Hanani Fisafarani dengan judul indentifikasi karakteristik sumber daya biomassa dan potensi Bio-Pellet di Indonesia pada tahun 2010. Data kandungan pellet biosolid didapatkan dari hasil percobaan yang ditulis dalam sebuah jurnal yang dibuat pada tahun 2016 oleh Nyoman Sukarta dan Putu Sri Ayuni. Harga batubara yang digunakan pada perhitungan untuk menghitung kerugian merupakan harga terbaru pada tahun 2017 yang

didapatkan dari Harga Batubara Acuan minerba.esdm.go.id. lalu dikalikan dengan harga dollar pada November 2017 yaitu 1 US dollar senilai Rp. 13.547,-.

Peralatan yang digunakan dalam proses pembuatan pellet adalah wood crusher tipe YSG65X55 dengan kapasitas 2t/hr, rotary dryer dengan kapasitas 2t/hr, dan milling pellet dengan kapasitas 3t/hr.

Hasil dan Pembahasan

Perbandingan Data Actual dan Data Basic Design

Berikut adalah data charge material dari data actual design dan data basic design :

Tabel 1. Penggunaan Bahan Bakar Actual

Jam Operasi	24	jam		
Charge Bijih	1999.2	TCO	83.3	ton/jam
Pulverized Coal	34.8139 2557	Kg/TCO	69600	kg
Total fuel consumption	34.8139 2557	Kg/TCO	2900	Kg/jam

Tabel 2. Penggunaan Bahan Bakar Basic Design

Jam Operasi	24	jam		
Charge Bijih	2596.8	TCO	108.2	ton/jam
Pulverized Coal	38.95	Kg/TCO	101164 .32	kg
Total fuel consumption	38.95	Kg/TCO	4215.1 8	Kg/jam

Tabel 3. Material Input dan Output Actual

	ITEM	Jumlah material (Kg/H)
IN	Conditioned Ore	71508.33333
	Fine Ore	1412.5
	Coal for reduction	5358.333333
	Antrasit	0
	Water for pellet	1591.666667
	Dust	4283.333333
	Ash for fuel	0
TOTAL		84154.16667
	ITEM	Dry Base (Kg/H)
OUT	Calcined Ore	53541.66667
	Fixed Carbon + Ash Coal	0
	Fixed Carbon + Ash Antrasit	0
	Total Calcined Ore	53541.66667
	Dust	4283.333333

Tabel 4. Material Input dan Output Basic Design

	ITEM	Jumlah material (Kg/H)
IN	Conditioned Ore	108200
	Fine Ore	0
	Coal for reduction	9000
	Antrasit	0
	Water for pellet	2070
	Dust	10300
	Ash for fuel	340
TOTAL		129910
OUT	ITEM	Dry Base (Kg/H)
	Calcined Ore	78823
	Fixed Carbon + Ash Coal	3512
	Fixed Carbon + Ash Antrasit	0
	Total Calcined Ore	82335
	Dust	10300

Berdasarkan data pada **Tabel 1 – Tabel 4**, banyaknya konsumsi bahan bakar batubara yang diumpulkan ke dalam *rotary kiln* berbanding lurus dengan jumlah material yang diumpulkan. Semakin banyak material yang diumpulkan ke dalam *kiln*, maka konsumsi bahan bakar yang digunakan akan semakin banyak. Pada **Tabel 4.**, material yang diumpulkan lebih banyak dibandingkan dengan material umpan kondisi actual pada **Tabel 3**. Dengan Matrial umpan yang lebih banyak, maka konsumsi bahan bakar batubara pun akan menjadi lebih banyak. Dengan penggunaan bahan bakar yang lebih banyak, maka biaya yang dikeluarkan untuk bahan bakar pun akan menjadi lebih tinggi. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan hasil bahwa nilai efisiensi thermal pada kondisi *standard design* adalah 69,43%. Sedangkan pada kondisi actual, efisiensi termalnya senilai 69,45%. Nilai efisiensi termal pada kedua data ini bisa dikatakan sama. Hal ini menunjukan bahwa dalam rentang waktu dari awal design *rotary kiln* hingga saat ini, belum ada kerusakan fatal yang dapat menyebabkan performa kerja *rotary kiln* menurun.

Data Basic Design dengan Diversifikasi Kalori Batubara

Data yang diolah pada perhitungan ini adalah data *basic design* seperti pada **Tabel 2.** dan **Tabel 4.** yang nilai kalori batubaranya divariasikan menjadi 6500, 6893, dan 7118,3 cal/gr. Perhitungan ini dilakukan untuk mencari tahu pengaruh nilai kalori

batubara terhadap efisiensi termal. Dengan menggunakan data dengan jumlah umpan material yang sama, dan nilai kalori batubara yang berbeda maka akan dihasilkan kualitas kalsin yang berbeda. Apabila kalor pembakaran terlalu tinggi, maka dapat menyebabkan *overheating*. Sedangkan apabila temperatur terlalu rendah, maka kadar LOI tidak kurang dari 1%.

Temperatur merupakan kunci yang sangat penting untuk menentukan kualitas kalsin yang baik. Setelah dilakukan analisis pada *rotary kiln*, berikut adalah hal yang dapat mempengaruhi kualitas kalsin pada *rotary kiln*. Yang pertama adalah *Fullness*. *Fullness* adalah derajat material dalam memenuhi ruangan di dalam *kiln*. Lalu ada *Retention time*. *Retention time* adalah waktu yang dibutuhkan oleh ore untuk melalui seluruh tahapan proses dalam *kiln* (lama ore didalam *kiln*). Selain itu perlu juga diperhatikan kecepatan putar *rotary kiln* dan posisi *burner* pada *rotary kiln*.

Maka dari itu, untuk menyeimbangkan nilai kalor pembakaran dapat dilakukan dengan dua cara. Yang pertama adalah dengan mengubah jumlah material umpan pada *rotary kiln*, dan yang kedua adalah dengan mengubah jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan. Pada kasus ini, kita ingin membandingkan data dengan jumlah umpan material yang sama, dengan kualitas yang sama namun dengan nilai kalori batubara yang berbeda. Maka dari itu, dilakukan cara kedua yaitu dengan mengubah rasio konsumsi bahan bakar yang digunakan. Penyeimbangan rasio konsumsi bahan bakar dapat dituliskan dalam rumus :

$$\text{(Calorific Value X)}/(\text{Total Fuel Consumption X}) = \text{(Calorific Value Y)}/(\text{Total Fuel Consumption Y})$$

Setelah dilakukan perhitungan untuk menyeimbangkan kalor pembakaran, didapatkan hasil bahwa dengan menggunakan kalori batubara senilai 6.500 cal/gr, konsumsi bahan bakar batubara yang digunakan senilai 38,9 Kg/TCO. Untuk kalori batubara senilai 6.893 cal/gr, konsumsi bahan bakar batubara yang digunakan senilai 36,7 Kg/TCO. Sedangkan dengan menggunakan kalori bahan bakar batubara yang lebih tinggi senilai 7118 cal/gr, didapatkan nilai konsumsi bahan bakar batubara sebesar 35,5 Kg/TCO. Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai kalori pembakaran, maka konsumsi energi spesifik akan meningkat.

Pada data juga didapatkan bahwa semakin tinggi nilai kalori bahan bakar batubara yang digunakan, maka nilai efisiensi termal yang didapat akan semakin rendah. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa nilai kalori pembakaran dan nilai konsumsi

energi spesifik berbanding terbalik dengan nilai efisiensi termal. Semakin tinggi nilai kalori pembakaran, maka semakin tinggi pula kalor pembakaran dan konsumsi energi spesifiknya. Sedangkan nilai efisiensi termalnya akan semakin menurun.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Data Kalori

Kalori (cal/gr)	6.500	6.893	7.118
Efisiensi Termal (%)	69.43	69.02	68.96
<i>Heat Lost Cost (Rp)</i>	881,190,37 3.75	986,272, 649.24	932,702,4 68.78

Setelah didapatkan nilai efisiensi termal, dilakukan perhitungan *heat lost cost* dengan harga batubara terkini yang didapatkan dari Harga Batubara Acuan minerba.esdm.go.id. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan data yang dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Kerugian *heat lost* terbesar justru terjadi dengan menggunakan batubara kalori 6.893 cal/gr. Hal ini menandakan bahwa selain nilai efisiensi termal, nilai kerugian *heat lost cost* yang tinggi juga disebabkan oleh jumlah konsumsi bahan bakar dan harga batubara tersebut.

Perbandingan Data Basic Design dengan Diversifikasi Bahan Bakar

Pada proses diversifikasi bahan bakar, batubara tetap digunakan sebagai reduktor. Tujuan dalam melakukan perhitungan ini adalah untuk mencari kemungkinan penggunaan bahan bakar lain selain batubara dalam *rotary kiln* dan pengaruhnya terhadap efisiensi termal dan *heat lost cost*.

Bamboo-Biosolid

Pellet diumpulkan pada *burner* sebagai pengganti *pulverized coal* dengan perbandingan pencampuran 90:10. Setelah dilakukan perhitungan, nilai konsumsi bahan bakar dengan menggunakan *pellet bamboo-biosolid* akan meningkat menjadi 68,58 Kg/TCO. Nilai ini masih cukup baik karena masih dalam batas sasaran mutu *rotary kiln* dimana nilai sasaran mutu konsumsi bahan bakar *rotary kiln* harus berada pada *range* kurang dari 90 Kg/TCO. Setelah dilakukan proses perhitungan menggunakan rumus *heat balance* maka didapatkan nilai efisiensi termal yang sama yaitu 69,43%. Perhitungan ini menunjukkan bahwa langkah diversifikasi bahan bakar batubara dengan menggunakan *pellet bamboo-biosolid* dapat dilakukan. Walaupun biaya awal yang harus dikeluarkan PT.X untuk menanam tumbuhan *bamboo* dan pembelian alat pengolahan

pellet cukup besar. Namun terdapat keuntungan yang akan didapat dengan menggunakan bahan bakar *pellet bamboo-biosolid* ini. Keuntungan dalam penggunaan *pellet bamboo-biosolid* ini adalah selain dapat mengurangi limbah pabrik dan limbah masyarakat sekitar, PT.X juga dapat berikut serta dalam pembudidayaan tanaman *bamboo*. Namun, tumbuhan *bamboo* ini tergolong sulit untuk dirawat, dan memerlukan perhatian khusus. Dan harga dari batang tumbuhan *bamboo* ini masih tergolong mahal, sehingga langkah penghematan dengan menggunakan *pellet bamboo biosolid* ini masih dikategorikan belum tepat.

Pellet Serabut Kelapa

Pellet diumpulkan pada *burner* sebagai pengganti *pulverized coal*. *Pellet* serabut kelapa sawit dapat dengan mudah didapatkan di daerah Pomalaa. Apabila kebutuhan kelapa sawit masih tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan konsumsi bahan bakar *rotary kiln*, penanaman tumbuhan kelapa sawit pada daerah Pomalaa yang masih sangat luas dan belum dimanfaatkan juga menjadi pilihan yang sangat baik. Tumbuhan kelapa ini sangat bernilai dari segi ekonomi dan semua bagian dari tumbuhan ini dapat dimanfaatkan. Selain serabutnya yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan *pellet* sebagai bahan bakar, tandan dan tempurung kelapa sawit juga dapat diolah untuk pembuatan *pellet* sebagai bahan bakar. Selain itu, kayu dari batangnya atau yang biasa disebut kayu glugu juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi seperti papan untuk rumah. Dan buah kelapanya merupakan bagian yang paling bernilai ekonomi yang dapat menghasilkan uang. Setelah dilakukan perhitungan, jumlah konsumsi bahan bakar dengan menggunakan *pellet* serabut kelapa akan bertambah hingga menjadi 60,85 Kg/TCO. Nilai ini masih cukup baik karena masih dalam batas sasaran mutu *rotary kiln* dimana nilai sasaran mutu konsumsi bahan bakar *rotary kiln* harus berada pada range kurang dari 90 Kg/TCO. Setelah dilakukan proses perhitungan menggunakan rumus *heat balance* maka didapatkan nilai efisiensi termal yang sama yaitu senilai 69,43%. Dengan menggunakan data *basic design* sebagai acuan, kita akan mendapatkan jumlah kalsin dengan kualitas yang sama. Dimana kesamaan ini juga ditunjukkan pada nilai efisiensi termal yang sama. Walaupun biaya awal untuk penanaman tumbuhan kelapa dan pembelian alat untuk pengolahan *pellet* cukup besar, namun pada tahun-tahun berikutnya, biaya yang dikeluarkan PT.X. sangat kecil. Selain itu, bagian lain dari tumbuhan ini juga dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam hal. Sehingga menginvestasikan biaya untuk menggunakan bahan

bakar pellet serabut kelapa merupakan pilihan yang baik.

Pellet Tandan Kosong Kelapa Sawit

Dengan nilai kalori pembakaran *pellet* yang lebih rendah, maka dibutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih banyak untuk menyeimbangkan kalor pembakaran yang terjadi di dalam *kiln*. Setelah dilakukan perhitungan, maka nilai konsumsi bahan bakar dengan menggunakan *pellet* tandan kosong kelapa sawit akan meningkat hingga 6,9 t/hr. Nilai ini masih termasuk didalam kategori sasaran mutu yang terdapat pada PT.X. Dengan menggunakan *pellet* tandan kosong kelapa sawit, didapatkan nilai efisiensi termal yang tidak berubah yaitu 69,43%. Tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu bagian dari kelapa sawit yang juga dapat ikut dimanfaatkan dalam pembuatan *pellet* selain serabutnya. Maka dari itu, langkah penghematan biaya tanpa mengurangi jumlah dan kualitas kalsin dengan menggunakan tandan kosong kelapa sawit merupakan pilihan yang tepat.

Pellet Kayu Kaliandra Merah

Nilai kalori dari *pellet* kayu kaliandra merah adalah 4.600 cal/gr. Nilai kalori ini tergolong cukup kecil apabila dibandingkan dengan nilai kalori pembakaran yang biasanya digunakan oleh PT.X. Dengan nilai kalori pembakaran yang kecil, maka konsumsi bahan bakarnya pun akan meningkat hingga menjadi 5,9 t/hr. Nilai efisiensi termal yang dihasilkan dengan menggunakan *pellet* kayu kaliandra merah tidak mengalami perubahan apabila dibandingkan dengan data *basic design*. Hal ini menandakan bahwa kualitas dan jumlah kalsin yang dihasilkan sama dengan data *basic design*. Kayu kaliandra merah awalnya ditanam untuk diambil bunga dan daunnya untuk digunakan sebagai makanan ternak. Hal ini dikarenakan kayu kaliandra merah akan sangat cepat bertunas setelah dipotong. Namun sayangnya, hingga saat ini masih banyak peternak dan petani yang tidak tahu cara mengolah batang kayu dari kaliandra merah. Tumbuhan ini mampu merehabilitasi kandungan air tanah dan mampu menguraikan zat pencemar seperti tanah sisa hasil tambang untuk mengembalikan kesuburan tanah. Maka dari itu, tumbuhan ini sangat cocok untuk ditanamkan di tanah sisa hasil tambang nikel PT.X untuk dikembalikan kesuburan tanahnya dan dimanfaatkan batang kayunya sebagai bahan bakar *rotary kiln*. Selain itu dengan menanamkan tumbuhan kayu kaliandra merah, PT.X dapat melakukan penghijauan kembali dan menjaga kelestarian alam.

Rancangan Anggaran Biaya

Beban listrik dari peralatan yang digunakan dibebankan kepada pembangkit listrik yang dimiliki oleh PT.X sehingga diasumsikan bahwa biaya yang dikeluarkan adalah Rp.0. Berikut adalah Rancangan anggaran biaya dari penggunaan bahan bakar selama 5 tahun ke depan.

Rancangan Anggaran Biaya Batubara

Kebutuhan batubara sebagai bahan bakar selama 1 bulan adalah 3.018 ton/bulan dengan produksi non-stop selama satu tahun dan diasumsikan tidak ada terjadinya *breakdown*, maka kebutuhan konsumsi bahan bakar batubara adalah 36.221 ton/tahun. Apabila harga beli batubara merupakan harga beli pada tahun 2017, maka berdasarkan harga batubara acuan, harga batubara dengan nilai kalori 6.500 Kcal/Kg adalah 954 rupiah/kg., maka didapatkan total biaya yang harus dikeluarkan dalam pembelian batubara selama 5 tahun ke depan adalah senilai 172,9 miliar rupiah.

Rancangan Anggaran Biaya Pellet Tandan Kosong Kelapa Sawit

Dengan melakukan diversifikasi bahan bakar *rotary kiln* menjadi *pellet* tandan kosong kelapa sawit, maka akan terdapat beberapa biaya tambahan yang harus dikeluarkan sebagai biaya investasi awal. Berikut adalah biaya yang diperlukan untuk melakukan pengolahan *pellet* tandan kosong kelapa sawit :

Tabel 6. Harga Peralatan pengolahan Pellet Tandan Kosong Kelapa Sawit

Peralatan	Harga Satuan (Rp)	Qt	Jumlah (Rp)
Wood Crusher YSG65X55 2t/hr	101.265.000	3	303.795.000
Rotary Dryer 2t/hr	1.012.875.000	3	3.038.625.000
Milling Pellet kapasitas 3 t/hr	755.000.000	2	1.510.000.000
Harga Burner 3.1 t/hr	840.472.000	3	2.521.416.000

Dengan kebutuhan bahan bakar sebanyak 6 t/hr., agar produksi bahan bakar mencukupi maka dibutuhkan 3 unit *wood crusher* dengan kapasitas maksimal 2 t/hr, 3 unit *Rotary Dryer* dengan kapasitas maksimal 2t/hr, dan 2 unit *Milling pellet* dengan kapasitas maksimal 3 t/hr. Biaya total yang harus dikeluarkan untuk membeli peralatan pengolah *pellet* TKKS adalah senilai 7,3 Miliar rupiah.

Konsumsi bahan bakar dengan menggunakan *pellet* TKKS akan meningkat hingga menjadi 4.947 ton/bulan. Apabila diasumsikan tidak pernah terjadi *breakdown* selama satu tahun, maka penggunaan

konsumsi bahan bakar *pellet* TKKS selama 1 tahun adalah 59.365 ton/tahun. Dengan harga pembelian tandan kosong seharga 200.000 rupiah/ton., maka biaya yang harus dikeluarkan untuk membeli tandan kosong kelapa sawit selama 1 tahun adalah Rp. 11.873.033.335. Setelah dijumlahkan maka biaya yang harus dikeluarkan selama 5 tahun dalam pengolahan *pellet* tandan kosong kelapa sawit adalah senilai 66,7 miliar rupiah. Bila mengganti bahan bakar batubara menjadi *pellet* tandan kosong kelapa sawit, maka didapat penghematan sebanyak 61,41% atau senilai dengan Rp.106.209.811.671,63 selama 5 tahun.

Rancangan Anggaran Biaya Pellet Kayu Kaliandra Merah

Dengan menggunakan *pellet* kayu kaliandra merah, konsumsi bahan bakar yang digunakan dalam proses *rotary kiln* akan mengalami peningkatan hingga 41,3% atau sebesar 51.182 ton/tahun. Harga batang kayu kaliandra merah saat ini senilai Rp. 550 ribu/ton. Dengan kebutuhan konsumsi bahan bakar sebanyak 51.182 ton/tahun, maka biaya yang harus dikeluarkan untuk membeli bahan baku kayu kaliandra merah dalam 1 tahun adalah sebanyak Rp. 18.767.033.208.

Selain biaya yang harus dikeluarkan untuk membeli kayu kaliandra merah, terdapat juga biaya investasi awal yang harus dikeluarkan untuk membeli peralatan pengolahan *pellet*. Biaya yang harus dikeluarkan untuk membeli peralatan pengolahan *pellet* dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Untuk memenuhi kapasitas bahan bakar sebanyak 6t/hr., maka dibutuhkan peralatan *wood crusher* dengan kapasitas 2 t/hr sebanyak 3 unit, *rotary dryer* dengan kapasitas maksimal 2 t/hr sebanyak 3 unit, dan peralatan *milling pellet* dengan kapasitas maksimal 3 t/hr sebanyak 2 unit. Biaya total yang harus dikeluarkan untuk mengolah bahan bakar *pellet* kayu kaliandra merah hingga menjadi bahan bakar siap pakai selama 5 tahun adalah Rp. 101,2 miliar rupiah. Dengan menggunakan bahan bakar *pellet* kayu kaliandra merah, PT.X dapat menghemat anggaran biaya pembelian bahan bakar hingga 41.48% yaitu sekitar Rp. 71.739.812.309,39 per 5 tahun.

Selain membeli kayu kaliandra merah dari pihak lain untuk diolah menjadi *pellet*, kita juga dapat meningkatkan penghematan anggaran biaya dengan memanfaatkan lahan kosong yang terdapat di PT.X. Sebanyak kurang lebih 7.500 Ha luas lahan PT.X dan hanya sekitar 30% yang baru terpakai untuk kepentingan pembangunan pabrik. Sedangkan sisanya merupakan tanah yang sedang digali untuk diambil kandungan nikel nya dan tanah kosong yang kandungan nikelnnya telah habis dan tidak

termanfaatkan. Lahan-lahan kosong dan lahan sisa pertambangan nikel yang terbengkalai inilah yang dapat dimanfaatkan untuk ditanami kayu kaliandra merah. 1 buah bibit tanaman kayu kaliandra merah dapat dimanfaatkan dan bertahan hidup hingga 29 tahun. Tanaman ini juga memiliki kemampuan untuk bertunas dengan sangat cepat setelah dipotong. Maka dari itu dalam 1 tahun, tumbuhan ini dapat mengalami masa panen hingga 2 kali. Dalam 1 Ha luas lahan yang tersedia, dapat ditanami hingga 5.000 pohon dan dapat menghasilkan 20 – 35 ton tiap tahun nya. Apabila jumlah konsumsi bahan bakar *pellet* kayu kaliandra merah yang dibutuhkan dalam 1 tahun adalah sebanyak 51.182 ton, maka dengan asumsi 1 Ha luas lahan hanya menghasilkan 20 ton/Ha. Setidaknya PT.X memiliki luas lahan sebanyak 2.559 Ha yang siap untuk ditanami bibit kayu kaliandra merah. Dengan asumsi 1 Ha ditanami sebanyak 5.000 bibit pohon. Maka dibutuhkan sebanyak 12.795.704 batang bibit kayu kaliandra merah yang siap ditanam di PT.X. Harga bibit kayu kaliandra merah di Sulawesi Tenggara dijual dengan harga Rp.600,-/batang. Dengan asumsi biaya pembelian bibit kayu kaliandra merah senilai Rp.600,- maka biaya yang harus dikeluarkan untuk membeli bibit selama 1 tahun untuk memenuhi konsumsi bahan bakar *rotary kiln* adalah senilai Rp.7.677.422.676.

Selain biaya pembelian bibit kayu kaliandra merah, terdapat biaya biaya tambahan yang harus dikeluarkan. Biaya tersebut diantaranya adalah biaya biaya pembelian alat, biaya susut dan biaya pembelian pupuk. Setelah dilakukan perhitungan, maka dengan melakukan diversifikasi bahan bakar batubara dengan menggunakan *pellet* kayu kaliandra merah hasil produksi sendiri, PT.X berpotensi untuk melakukan penghematan sebanyak 75,18% atau senilai Rp.130.022.113.507,28,- pada biaya bahan bakar *rotary kiln*.

Kesimpulan

Nilai efisiensi termal dipengaruhi oleh nilai kalor pembakaran. Semakin tinggi nilai kalori bahan bakar yang digunakan, maka kalor pembakaran pun akan meningkat dan konsumsi energi spesifik pun akan semakin meningkat. Namun efisiensi termal nya menurun.

Dengan melakukan diversifikasi bahan bakar dengan kalori yang lebih tinggi, tidak ada perubahan dalam jumlah dan kualitas kalsin yang dihasilkan. Hal ini bisa dilihat dari nilai efisiensi termal yang sama.

Penggunaan bahan bakar *pellet* tandan kosong kelapa sawit hasil produksi *pellet* sendiri, PT.X berpotensi untuk melakukan penghematan anggaran biaya pembelian bahan bakar batubara sebanyak

61,41%. Atau senilai Rp. 106.209.811.671,63/5 tahun.

Penggunaan bahan bakar *pellet* kaliandra merah hasil produksi sendiri, PT.X berpotensi untuk melakukan penghematan anggaran biaya pembelian bahan bakar batubara sebesar 41,48%. Atau senilai Rp. IDR 71.739.812.309,39/5 tahun.

Bila menggunakan pellet kaliandra merah dari hasil penanaman tanaman kayu kaliandra merah dan pengolahan *pellet* sendiri, PT.X berpotensi untuk melakukan penghematan anggaran biaya pembelian bahan bakar batubara sebesar 75,18%. Atau senilai Rp. 130.022.113.507,28/5 tahun.

Referensi

- [1] Holderbank. (1993). Heat balance of kiln and coolers and related topics. Cement Seminar Process Technology.
- [2] Wahyu, D., & Sumiati, R. (n.d.). Analisis Energi Pada Sistem Rotary Kiln Unit Indarung Iv , Pt . Semen Padang.
- [3] Vounatsos, P., Atsonios, K., Agraniotis, M., Panopoulos, K., & Grammelis, P. (2013). Report on RDF / SRF gasification properties. Life, 1–40. Retrieved from <http://www.energywaste.gr/pdf/D4.1 - Report on RDF-SRF gasification properties.pdf>
- [4] Dan, B., & Di, P. B. (2010). Identifikasi karakteristik..., Hanani Fisafarani, FT UI, 2010.
- [5] Sukarta, I. N., & Ayuni, S. (2016). Analisis Proksimat Dan Nilai Kalor Pada Pellet Limbah Bambu, 5(1), 752–761.
- [6] Market Brief Kayu pellet di Korea Selatan ITPC Busan. (2014).
- [7] Alakangas, E. (2005). Properties of wood fuels used in Finland. Project Report PRO2/P2030/05, 104. Retrieved from https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/bio-south_wood_fuel_properties.pdf
- [8] Holubcik, M., Jandacka, J., & Durcansky, P. (2016). Energy properties of wood pellets made from the unusual woody plants. AIP Conference Proceedings, 1768. <https://doi.org/10.1063/1.4963035>
- [9] Download, S., Cite, R., & Nguyen, V. K. (2009).Calorific_value_and_energy_yield_of_refuse_derived_fuel_from_rice_4_-libre.pdf.
- [10] Genedbien, a., Leavens, A., Blackmore, K., Godley, A., Lewin, K., Whiting, K. J., ... Hogg, D. (2003). Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives. Current Practice, (July), 1–219.
- [11] Gerhardt, T., Cenni, R., Siegle, V., Spliethoff, H., & Hein, K. R. G. (1998). Fuel characteristics of sewage sludge and other supplemental fuels regarding their effect on the co-combustion process with coal. ACS Division of Fuel Chemistry, Preprints, 43(1), 197–200.
- [12] Mrus, S. T., & Prendergast, C. a. (1978). Heating value of refuse derived fuel. Proceedings Of... National Waste Processing Conference, 365. Retrieved from <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofo/s/nawtec/1978-National-Waste-Processing-Conference/1978-National-Waste-Processing-Conference-27.pdf>
- [13] Pohl, M., Gebauer, K., & Beckmann, M. (2008). Characterisation of Refuse Derived Fuels (RDF) in reference to the Fuel Technical Properties, (INFUB-8TH EUROPEAN CONFERENCE ON INDUSTRIAL FURNACES AND BOILERS), 1–15.
- [14] Vounatsos, P., Atsonios, K., Agraniotis, M., Panopoulos, K., & Grammelis, P. (2013). Report on RDF / SRF gasification properties. Life, 1–40. Retrieved from <http://www.energywaste.gr/pdf/D4.1 - Report on RDF-SRF gasification properties.pdf>
- [15] Wrap. (2012). A Classification Scheme to Define the Quality of Waste Derived Fuels, (October), 37. Retrieved from www.wrap.org.uk
- [16] Tbk, A., & Industries, H. (2003). P.T. ANTAM TbK, (3).
- [17] Emara, C., & Engineering, S. (n.d.). uwı' *4.,
- [18] Karamarković, V., Marašević, M., Karamarković, R., & Karamarković, M. (2013). Recuperator for waste heat recovery from

- rotary kilns. *Applied Thermal Engineering*, 54(2), 470–480.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.027>
- [19] Giannetti, N., Arnas, A., Rocchetti, A., & Saito, K. (2015). Thermodynamic Analysis of Irreversible Heat-transformers. *Makara Journal of Technology*, 19(2), 90.
<https://doi.org/10.7454/mst.v19i2.3039>
- [20] Full Paper Djamal Sanusi. (n.d.).
- [21] Coal, P., & Brand, M. D. (2015). Harga batubara acuan (hba) & harga patokan batubara (hp) bulan agustus 2015.
- [22] Hassan, D. (n.d.). Potensi Energi Listrik Pellet Kayu Kaliandra Merah. *Inovasi*, 76.
- [23] Saleh, M. (2014). Studi Tentang Efektifitas Campuran Batubara dan Minyak pada Proses Kalsinasi Bijih Nikel di Rotary Kiln Pabrik Feronikel PT. ANTAM UBPN Pomalaa, Sulawesi Tenggara.
- [24] Abidin, M. (n.d.). Kajian Optimasi Proses Pembakaran di Rotary Kiln 3 dengan Penambahan Oksigen. Pomalaa.
- [25] Ardi, D. (2014). Optimasi Batubara sebagai Bahan Bakar dan Reduktor pada Proses Dryer dan Kalsinasi. Pomalaa.
- [26] Membangunkelapasawit.webs.com. (2017). Tentang Kelapa Sawit. Retrieved July 20, 2011, from <http://informasi-kelapasawit.blogspot.co.id/2012/10/tentang-kelapa-sawit.html>
- [27] Setyawan, E. S. (2017). Proses Produksi Wood Pellets dari Biomassa kayu. Retrieved from <https://www.slideshare.net/ekosbsetyawan/proses-produksi-pabrik-wood-pellet>
- [28] Pohan. (2016). Belajar Berbisnis Sawit.
- [29] Hasrul, M. (2016, July 13). Minim Armada. Pemerintah Pomalaa Kewalahan Tangani Sampah Warga. Retrieved from <https://zonasultra.com/minim-armada-pemerintah-pomalaa-kewalahan-tangani-sampah-warga.html>
- [30] Suparman, & Wahyudono, H. (2017, August 8). Produksi Sampah Domestik di Kendari Meningkat. Retrieved from <https://sultra.antaranews.com/berita/289251/produksi-sampah-domestik-di-kendari-meningkat>
- [31] Haiqi. (2017). Biomass Gasifier. Retrieved from <http://www.haiqi-machine.com/products/biomass-msw-gasifier/biomass-and-msw-gasifier.html>
- [32] Haiqi. (2017). Wood Pellet Burner. Retrieved from <http://www.haiqi-machine.com/products/biomass-burning-machine/biomass-wood-pellet-burner.html>
- [33] Haiqi. (2017). Rotary Dryer. Retrieved from <http://www.haiqi-machine.com/products/rotary-dryer/rotary-dryer.html>
- [34] Pellet Milling. (2017).
- [35] Bebeja. (2013). Analisis Usaha Kaliandra Merah.
- [36] Rasman, S. M. (n.d.). Investasi Rp. 200 Milliar, PT UAM Bangun Pabrik Kelapa Sawit di UAM. Retrieved from <https://zonasultra.com/investasi-rp-200-miliar-pt-uam-bangun-pabrik-kelapa-sawit-di-konawe.html>
- [37] Mengubah Tandan Kosong Menjadi Pellet. (2017). Retrieved from <http://www.infosawit.com/news/6268/mengubah-tandan-kosong-sawit-menjadi-pelet>.