

Efisiensi Bahan Bakar Alternatif Dengan Memanfaatkan Limbah Cair Untuk Mensubstitusikan Bahan Bakar Batu Bara Di Pt Solusi Bangun Indonesia Tbk Plant Narogong

Umair^{*)}, dan Nadilah Nur Fajriah

Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya, Indonesia

**) Corresponding author: umairbinsaidi@gmail.com*

Abstract

The purpose of implementing this practical work is to study the potential for using liquid waste as an efficient alternative fuel to substitute coal at PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, as well as its impact on operational costs and the environment. Data collection methods include field studies and literature studies. Field studies include direct observations at the factory, interviews with employees, and collection of technical data regarding the use of liquid waste as fuel. The literature study was carried out by researching literature relevant to the problem at hand, including a literature review on the efficiency of alternative fuels, technical and economic analysis of the use of liquid waste, as well as an evaluation of the environmental impact of substituting coal fuel with alternative fuels using liquid waste. From the analysis and observations made, it can be seen that liquid waste can be used as an alternative fuel, so it is hoped that it can reduce dependence on fossil fuels and reduce carbon emissions.

Abstrak

Pelaksanaan Kerja Praktek ini adalah untuk mempelajari potensi penggunaan limbah cair sebagai bahan bakar alternatif yang efisien untuk mensubstitusi batu bara di PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, serta dampaknya terhadap biaya operasional dan lingkungan. Metode pengumpulan data meliputi studi lapangan dan studi pustaka. Studi lapangan meliputi observasi langsung di pabrik, wawancara dengan karyawan, dan pengumpulan data teknis mengenai penggunaan limbah cair sebagai bahan bakar. Studi pustaka dilakukan dengan penelitian kepustakaan yang relevan dengan masalah yang dihadapi, termasuk tinjauan literatur tentang efisiensi bahan bakar alternatif, analisis teknis dan ekonomis dari penggunaan limbah cair, serta evaluasi dampak lingkungan dari substitusi bahan bakar batu bara dengan bahan bakar alternatif menggunakan limbah cair. Dari analisa dan pengamatan yang dilakukan dapat diketahui bahwa limbah cair dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif, sehingga diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi karbon.

Kata Kunci: *Alternative fuels, efficiency, environmental impact, fossil fuels, liquid waste,*

PENDAHULUAN

Selama pembuatan semen, sejumlah besar bahan bakar digunakan untuk mencapai suhu yang diperlukan untuk menghasilkan semen yang memiliki komposisi kimia yang ideal. Secara tradisional, bahan bakar fosil telah hanya diandalkan untuk produksi semen. Selama beberapa dekade terakhir kekhawatiran akan keberlanjutan dan dampak lingkungan dari bahan bakar fosil telah mempengaruhi penelitian dan pemanfaatan sumber bahan bakar alternatif.

Semen portland dihasilkan dari beberapa bahan baku yang ditambang dari dalam bumi. Ketika dicampur dalam proporsi yang tepat, dan terpapar pada suhu gas lebih dari 1800°C, bahan baku menyatu untuk membentuk produk yang dikenal sebagai klinker. Klinker kemudian digiling dengan penambahan sulfat hingga kehalusan tertentu untuk menghasilkan produk yang dikenal sebagai semen portland.

Untuk menghasilkan suhu tanur yang tinggi, bahan bakar fosil seperti batu bara, kokas minyak bumi, dan gas alam secara teratur digunakan. Tidak jarang pabrik semen modern menggunakan 1.200 ton batu bara setiap hari (Manias 2004). Dengan meningkatnya biaya energi, mudah dipahami mengapa biaya bahan bakar sekitar 40 persen dari anggaran pabrik dan insentif untuk mencari bahan bakar yang lebih murah (Jackson 1998).

Sekitar tahun 1970-an, bahan bakar alternatif mulai digunakan oleh industri semen (Karstensen 2004). Fasilitas modern biasanya menggunakan bahan bakar alternatif untuk menggantikan sebagian bahan bakar fosil dengan tingkat sekitar 20% (PCA 2009). Bahan bakar alternatif merupakan limbah dari hasil produksi yang ditimbun atau dibakar. Contohnya yang telah berhasil digunakan dalam pembuatan semen termasuk oli bekas, limbah padat kota, ban, pelarut, plastik, dan biomassa (Greco dkk. 2004). Bahan bakar limbah tidak hanya dapat memberikan penghematan yang signifikan bagi produsen, jika digunakan dengan benar, bahan bakar alternatif dapat memberikan manfaat bagi masyarakat dan lingkungan. (Mokrzycki and Uliasz-Bocheńczyk 2003). Namun demikian, perlu dilakukan pengujian dan secara menyeluruh memahami semua atribut bahan bakar alternatif dan pengaruhnya terhadap produk akhir dan proses manufaktur.

METODE PENELITIAN

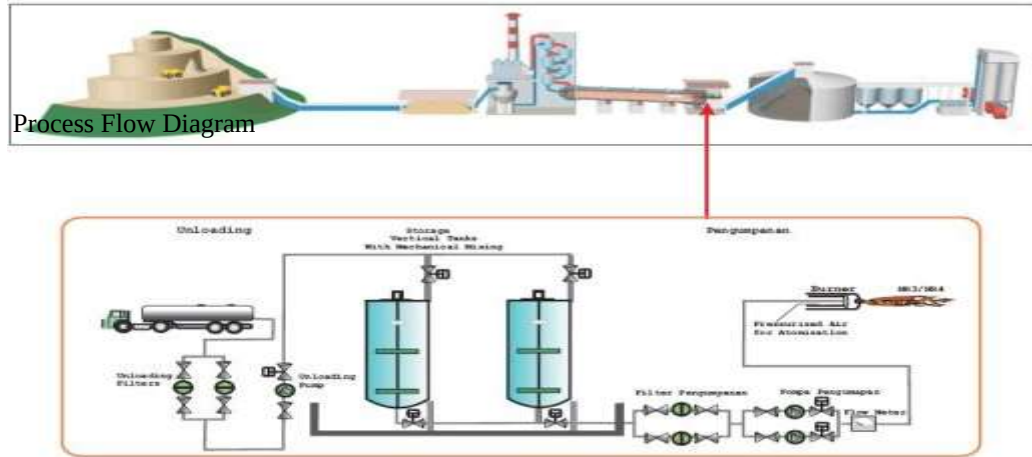
Metode pengumpulan data yang digunakan oleh penulis dalam menyusun laporan ini melalui beberapa metode, yaitu:

1. Metode Wawancara, Pelaksana melakukan metode wawancara untuk pengumpulan data tugas khusus diantaranya seberapa penting bahan bakar alternatif, quality apa saja yang perlu dianalisa, bagaimana proses pembuatannya, safety apa saja yang perlu diperhatikan selama proses pembuatan bahan bakar alternatif, dengan sistem melalui tanya jawab baik itu secara langsung maupun tidak. Kegiatan tersebut dilakukan di PT. Solusi Bangun Indonesia Tbk–Narogong Plant.
2. Metode Observasi, Peneliti melakukan pengamatan secara langsung dan mengikuti seluruh kegiatan selama magang di PT. Solusi Bangun Indonesia Tbk–Narogong Plant untuk mendapatkan data yang dibutuhkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

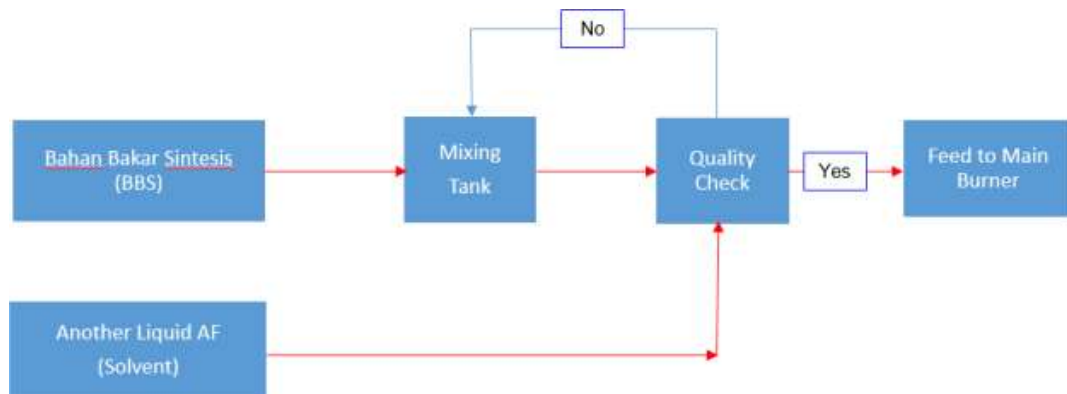
Flow Sheet Liquid Alternative Fuel Facility

Untuk sebuah fasilitas bahan bakar alternatif cair, flow sheet akan menunjukkan tahap-tahap utama dalam proses produksi, mulai dari bahan baku hingga produk akhir.



Gambar 1. Flow Sheet Liquid Alternative Fuel Facility

Blok Diagram



Gambar 1. Blok diagram proses limbah cair dari proses mixing hingga diumpankan ke dalam kiln

Formulasi Bahan Bakar Alternatif Cair

Pertama, sebelum menentukan formulasi Bahan Bakar Alternatif Cair dilakukan tracking material limbah cair yang tersedia di plant, yang didapat dari berbagai sumber perusahaan-perusahaan yang mengirimkan limbah cairnya ke PT Solusi Bangun Indonesia Tbk yang akandiolah oleh departemen Nathabumi.

Tabel 1. Raw Material Bahan Bakar Alternatif Cair

Waste Name	Waste Generator	GCV	Moisture	Chlorine	Sulphur	pH	Viscosity	NCV
		Kcal/kg	%	%	%	-	cP	MJ/T
Resin	A	10104	5	0,04	0,02	4,5	3,6	39196
Resin	B	6498	12,94	0,02	0,03	4,5	9,6	24974
Solvent	C	9081	12,94	0,08	0,02	4,5	9,6	35025
waste white liquid	D	871	35,56	0,08	0,08	8	15,44	2536
Solvent	E	9578	11,25	0,02	0,01	5	15,65	36999
Solvent	F	5390	9,65	0,09	0,09	5,1	7,87	20742
solvent	G	9084	5	0,04	0,02	5,1	4,8	35227
solvent	H	9116	10,15	0,15	0,01	5	9,8	35228
oil recovered	I	10085	10,11	0,08	0,08	5	5,66	38999
NMP Waste	J	2563	40,23	0,28	0,1	6	30,21	9007
Solvent	K	9387	4,82	0,04	0,02	5,1	4,8	36410
Solvent	L	9133	10,23	0,1	0,02	8	15,22	35292
Solvent	M	9535	4,8	0,04	0,02	5,1	4,8	36987
Thinner	N	871	41,03	0,02	0,03	9	14,4	2404

Didapatkan Hasil analisa quality sebagai berikut dari beberapa material limbah cair yang ada di storage.

Kedua, dilakukan Trial secara *lab scale* untuk di *test compatibility* untuk mengetahui ketikadi mixing apakah bereaksi seperti eksotherm, mengeluarkan gas, dan potensi bahaya lainnya.

SOLUSI BANGUN INDONESIA
NATHABUMI ENGINEERING CONSULTING
Bina Karya

Compatibility Test
Lengkap (SCL) / AM

Date of test: 26 Jan 2024
Date of mixing plan: 26 Jan 2024
Test by: Umair & Naufal

No	Waste Name	Waste Generator	Actual Physical Appearance	Compatibility with water
1	Waste A	A	Liquid	Compatible
2	Waste B	B	Liquid	Compatible
3	Waste C	C	Liquid	Compatible
4	Waste D	D	Liquid	Compatible

Test Result

1. Flammability	Flammable (Not Applicable)
2. Boiling Point (°C)	Not Applicable
3. Boiling Point (°F)	Not Applicable
4. Boiling Point (°C)	Not Applicable
5. Boiling Point (°F)	Not Applicable
6. Boiling Point (°C)	Not Applicable
7. Boiling Point (°F)	Not Applicable
8. Boiling Point (°C)	Not Applicable
9. Boiling Point (°F)	Not Applicable
10. Boiling Point (°C)	Not Applicable
11. Boiling Point (°F)	Not Applicable
12. Boiling Point (°C)	Not Applicable
13. Boiling Point (°F)	Not Applicable
14. Boiling Point (°C)	Not Applicable
15. Boiling Point (°F)	Not Applicable

Picture

Other information:

Medium: air / gas / liquid

SP No: 0100
SP Date: 10 Nov 20
Ver: 1.0

Gambar 2. Hasil Compatibility Test

Setelah dilakukan compatibility test, tidak ada timbul bahaya yang significant, tidak terbentuk *layering*, sehingga dari hasil *test compatibility* ini yaitu **Compatible**.

Ketiga, yaitu membuat formula berdasarkan ketersediaan material yang ada di storage dan dianalisa sampai mendapatkan quality yang sesuai dengan SLA (*Service Level Agreement*) yaitu acuan berdasarkan kesepakatan antara Nathabumi dengan Plant.

Tabel 2.
Formula 1

No	Waste Name	Waste Generator	Persentase	GCV	Moisture	Chlorine	Sulphur	pH	Viscosity	NCV
				Kcal/kg	%	%	%	-	cP	MJ/T
1	Solvent	G	25%	9084	5,00	0,04	0,02	5,1	4,80	35227
2	Solvent	E	21%	9578	11,25	0,02	0,01	5,0	15,65	36999
3	Solvent	C	11%	9081	12,94	0,08	0,02	4,5	9,60	35025
4	Waste White Liquid	D	23%	871	35,56	0,08	0,08	8,0	15,44	2536
5	Solvent	F	11%	5390	9,65	0,09	0,09	5,1	7,87	20742
6	Oil Recovered	I	11%	10085	10,11	0,08	0,08	5,0	5,66	38999

Result			SLA		
Volume	350	Liter	Note	Value	Unit
GCV	7416	Kcal/kg	Min	5037	Kcal/kg
Moisture	12,32	%	Max	25	%
Chlorine	0,04	%	Max	0,8	%
Sulphur	0,02	%	Max	0,5	%
pH	5,27	-	Range	5 - 10	-
Viscosity	7,91	cP	Max	400	cP
NCV	28561	MJ/T	Min	19000	MJ/T

Berdasarkan dari hasil analisa formula 1, didapatkan nilai calory yang tinggi yaitu 7416 Kcal/Kg.

Result			SLA		
Volume	350	Liter	Note	Value	Unit
GCV	7057	Kcal/kg	Min	5037	Kcal/kg
Moisture	15,17	%	Max	25	%
Chlorine	0,06	%	Max	0,8	%
Sulphur	0,05	%	Max	0,5	%
pH	5,67	-	Range	5 - 10	-
Viscosity	10,44	cP	Max	400	cP
NCV	27097	MJ/T	Min	19000	MJ/T

Tabel 3.
Formula 2

No	Waste Name	Waste Generator	Persentase	GCV	Moisture	Chlorine	Sulphur	pH	Viscosity	NCV
				Kcal/kg	%	%	%	-	cP	MJ/T
1	Thinner	N	11%	871	41,03	0,02	0,03	9,0	14,4	2404
2	Solvent	G	33%	9084	5,00	0,04	0,02	5,1	4,8	35227
3	Resin	B	33%	6498	12,94	0,02	0,03	4,5	9,6	24974
4	Resin	A	11%	10104	5,00	0,04	0,02	4,5	3,6	39196
5	Solvent	H	11%	9116	10,15	0,15	0,01	5,0	9,8	35228

Berdasarkan dari hasil analisa formula 2, didapatkan nilai calory yaitu 7057 Kcal/Kg.

*Tabel 4.
Formula 3*

No	Waste Name	Waste Generator	Persentase	GCV	Moisture	Chlorine	Sulphur	pH	Viscosity	NCV
				Kcal/kg	%	%	%	-	cP	MJ/T
1	NMP Waste	J	37%	2563	40,23	0,28	0,10	6,0	30,21	9007
2	Solvent	K	33%	9387	4,82	0,04	0,02	5,1	4,8	36410
3	Solvent	L	30%	9133	10,23	0,10	0,02	8,0	15,22	35292

Result			SLA		
Volume	350	Liter	Note	Value	Unit
GCV	6776	Kcal/kg	Min	5037	Kcal/kg
Moisture	19,60	%	Max	25	%
Chlorine	0,15	%	Max	0,8	%
Sulphur	0,05	%	Max	0,5	%
pH	6,30	-	Range	5 - 10	-
Viscosity	17,36	cP	Max	400	cP
NCV	25897	MJ/T	Min	19000	MJ/T

Berdasarkan dari hasil analisa formula 3, didapatkan nilai calory yaitu 6776 Kcal/Kg.

*Tabel 5.
Formula 4*

No	Waste Name	Waste Generator	Persentase	GCV	Moisture	Chlorine	Sulphur	pH	Viscosity	NCV
				Kcal/kg	%	%	%	-	cP	MJ/T
1	solvent	J	50%	2563	40,23	0,28	0,10	6,0	30,21	9007
2	solvent	M	50%	9535	4,80	0,04	0,02	5,1	4,8	36987

Result			SLA		
Volume	350	Liter	Note	Value	Unit
GCV	6049	Kcal/kg	Min	5037	Kcal/kg
Moisture	22,52	%	Max	25	%
Chlorine	0,16	%	Max	0,8	%
Sulphur	0,06	%	Max	0,5	%
Ph	5,55	-	Range	5 - 10	-
Viscosity	17,51	cP	Max	400	cP
NCV	22997	MJ/T	Min	19000	MJ/T

Berdasarkan dari hasil analisa formula 4, didapatkan nilai calory yaitu 6049 Kcal/Kg.

Produksi Bahan Bakar Alternatif Cair

Pada produksi bahan bakar Alternatif cair, alat reactor yang tersedia di PT Solusi Bangun Indonesia Tbk masih secara middle scale dengan kapasitas 500 liter yang nantinya alat tersebut akan menyatukan dari beberapa material limbah cair sesuai formulasi di atas.



Gambar 4. Produksi Bahan Bakar Alternatif Cair

Dari berbagai sumber material limbah cair masing-masing posisi masih berada di dalam drum, kemudian akan dipompa menuju reactor sebanyak sesuai pada formulasinya, setelah itu dilakukan mixing selama 15 menit. Setelah itu, hasil mixingan tersebut disampling dari autosampler yang tersedia pada alat untuk dicek quality. Hasil produk selanjutnya disimpan kedalam IBC dengan kapasitas 1000 liter.

Tabel 6. Data Quality Produk

Produk	Mixing Date	Material	Waste Generator	GCV Kcal/kg	Moisture %	Chlorine %	Sulphur %	pH	Viscosity cP	NCV MJ/T	Volume L	Density Kg/L	Volume Kg	Status
IBC 1	2-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7311	9,54	0,07	0,03	5,8	18,4	28219	1000	0,90	900	Ready to feed
IBC 2	4-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7456	19,83	0,08	0,02	5,5	18,1	28536	1000	0,90	900	Ready to feed
IBC 3	4-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7320	15,04	0,08	0,03	6,0	19,3	28122	1000	0,84	840	Ready to feed
IBC 4	4-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7771	12,54	0,07	0,02	5,5	18,8	29937	1000	0,84	840	Ready to feed
IBC 5	4-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7023	11,14	0,08	0,03	5,0	18,7	27060	1000	0,84	840	Ready to feed
IBC 6	5-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7754	12,63	0,19	0,05	7,0	19,1	29869	1000	0,90	900	Ready to feed
IBC 7	5-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7560	13,71	0,20	0,04	6,0	18,7	29088	1000	0,86	860	Ready to feed
IBC 8	5-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7601	13,48	0,16	0,04	5,0	18,4	29253	1000	0,87	870	Ready to feed
IBC 9	5-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7569	13,66	0,11	0,04	5,0	18,6	29124	1000	0,87	870	Ready to feed
IBC 10	5-Jul-24	Thinner, Solvent, Resin	N, G, B, A, H	7520	13,93	0,14	0,04	5,5	18,8	28927	1000	0,87	870	Ready to feed
IBC 11	8-Jul-24	Solvent, Waste White Liquid, Oil Recovered	G, E, C, D, F, I	7082	12,48	0,28	0,09	6,0	21,1	27257	1000	0,82	820	Ready to feed
IBC 12	8-Jul-24	Solvent, Waste White Liquid, Oil Recovered	G, E, C, D, F, I	7052	14,31	0,27	0,11	6,0	21,3	27097	1000	0,83	830	Ready to feed
IBC 13	9-Jul-24	Solvent, Waste White Liquid, Oil Recovered	G, E, C, D, F, I	7079	14,71	0,30	0,12	6,0	22,7	27192	1000	0,90	900	Ready to feed
IBC 14	9-Jul-24	NMP Waste, Solvent	J, K, L	6737	14,39	0,31	0,15	6,0	21,8	25869	1000	0,78	780	Ready to feed
IBC 15	9-Jul-24	NMP Waste, Solvent	J, K, L	6796	14,62	0,05	0,15	5,0	82,5	26093	1000	0,94	940	Ready to feed
IBC 16	9-Jul-24	NMP Waste, Solvent	J, K, L	6764	12,02	0,20	0,02	5,5	26,7	26031	1000	0,84	840	Ready to feed
IBC 17	10-Jul-24	NMP Waste, Solvent	J, K, L	6741	21,02	0,23	0,11	6,0	26,8	25726	1000	0,90	900	Ready to feed
IBC 18	10-Jul-24	Solvent	J, M	6087	21,88	0,21	0,10	5,5	26,3	23160	1000	0,90	900	Ready to feed
IBC 19	10-Jul-24	Solvent	J, M	6100	21,25	0,22	0,09	6,0	26,9	23226	1000	0,87	870	Ready to feed
IBC 20	10-Jul-24	Solvent	J, M	6013	21,73	0,20	0,12	6,0	28,7	22876	1000	0,94	940	Ready to feed
Average				7067	15,20	0,17	0,07	5,7	24,6	27133		0,87		
Total											20000		17410	
													17,4 Ton	

Didapatkan data quality dari semua produk bahan bakar alternatif cair yang telah dimixing sebanyak 20 IBC dengan jumlah tonase produk 17.4 ton yang siap dijadikan bahan bakar di kiln.

Proses Direct Feeding Bahan Bakar Alternatif Cair

Setelah didapatkan produk bahan bakar alternatif cair, selanjutnya akan difeeding dengan mensubstitusikan bahan bakar batu bara ke dalam kiln.



Gambar 3. Proses direct feeding ke kiln

Dari masing-masing IBC akan di pompa menuju kiln dengan feederate 0.8 sampai 1.5 ton perjam.



Gambar 4. Proses pembakaran di Kiln

Proses yang terjadi pada kiln disebut clinkering (pembakaran dalam kiln). Proses clinkering terjadi pada suhu 1450°C dan menghasilkan produk bernama clinker.

Efisiensi Harga Bahan Bakar

Harga batu bara : Rp2.033.298

Konsumsi batu bara ke kiln: 12 ton perjam

Harga konsumsi batu bara perjam : Rp 2.033.298 X 12 ton = Rp

24.399.576 Harga konsumsi batu bara perhari : Rp 24.399.576 X 24

jam = Rp 585.589.824

Maka, apabila disubstitusi dengan bahan bakar alternatif cair sebanyak 1,5 ton perjam, jumlah batubara yang dikonsumsi sebanyak :

$12 - 1,5 = 10,5$ ton perjam

Harga konsumsi batu bara perjam : Rp 2.033.298 X 10,5 ton = Rp

21.349.629 Harga konsumsi batu bara perhari : Rp 21.349.629 X 24

jam = Rp 512.391.096 Efisiensi harga:

Hemat perjam = Rp 24.399.576 - Rp 21.349.629 = Rp

3.049.947 Hemat perhari = Rp 585.589.824 - Rp

512.391.096 = Rp 73.198.728

Hemat pertahun = Rp 73.198.728 X 365 hari = Rp 26.717.535.720

KESIMPULAN

Dari berbagai formula tersebut formula 1 merupakan formula yang paling optimal karena mengandung nilai calory yang paling tinggi yaitu 7416 Kcal/Kg, kadar air 12.32%, kadar chlor 0.04%, kadar sulfur 0.02%, kadar pH 5.27, dengan kekentalan 7.91 cP, sedangkan ke-3 formula lainnya mengandung nilai calory yang lebih rendah. Namun dari semua formula masih dapat direkomendasikan sebagai alternatif bahan bakar karena dari semua hasil quality masih masuk range SLA (*Service Level Agreement*) yaitu acuan berdasarkan kesepakatan antara Nathabumi dengan Plant pada setiap parameternya. Sehingga dari total jumlah produk sebanyak 17.4 ton sudah berhasil dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk mensubstitusikan bahan bakar batu bara di PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. Dari nilai ekonomi diketahui bahwa harga batu bara terus semakin naik yaitu per ton didapatkan harga Rp. 2.033.298 dengan demikian dapat diketahui penggunaan bahan bakar alternatif dapat memangkas harga bahan bakar sebesar Rp 26.717.535.720 pertahun dengan memanfaatkan limbah cair.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada PT. Solusi Bangun Indonesia-Narogong-plant karena telah membantuk kami dalam pengambilan data dari kerja praktek ini, kami juga mengucapkan terimakasih kepada ibu Dr. Yeti Widyawati, S.T.,M.Si selaku dosen pembimbing kerja praktek kami, kami juga mengucapkan terimakasih kepada orang tua kami yang telah membantu kami dalam menyelesaikan kerja praktek ini dalam bentuk moral maupun dalam bentuk finansial dan juga tidak lupa kami berterimakasih kepada rekan – rekan mahasiswa yang telah membantuk menyemangati kami sehingga kami bisa menyelesaikan kerja praktek kami.

DAFTAR NOTASI

C_p = Centipoise

GCV = Gross Calloric Value, Kkal/Kg

NCV = Net Calloric Value, Mj/t

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SBI, “Solusi Bangun Indonesia,” Semen, 2022. [Online]. Available: <https://Solusibangunindonesia.Com/>. [Diakses 10 Juni 2024].
- [2] Z. Miftach, “BAB IV. PT.Holcim Indonesia Tbk.,” Pp. 53-54, 2018.
- [3] A. Firdaus, “Proses Pembuatan Semen Pada Pt. Holcim Indonesia Tbk.,” Pp. 18-19, 2007.
- [4] “BUMN Akhlak,” Juli 2020. [Online]. Available: <https://Www.Bumn.Go.Id/Profil/Erabarukami/Nilai-Organisasi>. [Diakses 11 Juni 2024].
- [5] Hawlett, Lea's Chemistry Of Cement And Concrete”, 5th Ed. Elsevier Science & TechnologyBooks Pub, 2004.
- [6] MPA, “Silica Sand,” January 2019. [Online]. Available: https://Wwwmineralproducts-Org.Translate.Goog/Mineral-Products/Silicasand.AspX?_X_Tr_Sl=En&_X_Tr_Tl=Id&_X_Tr_Hl=Id&_X_Tr_Pto=Sc. [Diakses 12 Juni 2024].
- [7] S. T. Hasan, “What Is Cement? History-Chemistry-Industries.,” Semen, 2020. [Online]. Available: <https://Civiltoday.Com/Civil-Engineeringmatertials/Cement/81-Cement-De>Nition-And-Full-Details. [Diakses 10 Juni 2024].
- [8] Britannica, “Semen Analysis,” 19 Juni 2023. [Online]. Available: <https://Civiltoday.Com/Civil-Engineering-Matertials/Cement/81-Cementde>Nition-And-Full-Detail. [Diakses 11 Juni 2024].
- [9] M. Glavind , “Batu Kapur,” Sustainability Of Cement, Concrete And Cement Replacement Materials In Construction, No. 27, Pp. 19-21, 2009.
- [10] A. Y. Rahmawati, “Fly Ash Batu Bara,” Pp. 1-23, 2020.
- [11] R. Siddique, “Cement Kiln Dust,” Pemanfaatan Debu Tanur Semen (CKD) Pada MortarSemen Dan Beton-Ikhtisar., 2006.
- [12] Deolkar, “Clinkerzation,” Designing Green Cement Plants., Vol. I, 2009.
- [13] Taylor, “Kiln,” Cement Chemistry, P. 459, 1997.
- [14] Duda, Raw Material For Cement Production, Vol. III, Pp. 95-98, 1988.
- [15] Holcim, “Utilitas,” Laporan Kerja Praktik Tugas Khusus Raw Mill., 2017.
- [16] S. Rahmasari, “Laporan Kerja Praktek,” Cilacap, 2017.
- [17] R. Yanita, “Pcc Cement,” Semen Pcc Sebagai Material Green Construction Dan Kinerja Beton Yang Dihasilkan, Vol. I, No. 19, Pp. 13- 18, 2020.
- [18] T. N. Konstruksindo, Semen, 2018. [Online]. Available: Www.Tunasniagakonstruksindo.Com. [Diakses 10 Juni 2024].
- [19] Depobeta, “Semen,” Jenis Semen, 2022. [Online]. Available: <https://Depobeta.Com>. [Diakses 10 Juni 2024].
- [20] Austin, “Sifat Fisik Semen,” Shreve's Chemical Process Industries, Vol. V, No. 8, 1984.
- [21] A. W. Mogensen, Vibrating Screen Techology, Usa, 1963.
- [22] H. Perison, Cylone Separators And Their Efficiency, Usa, 2005.
- [23] Leirh Dan Licht, Multicyclone Data Sheet, 1972.

- [24]G. Stephen. Et Al. 2012. “Alternative Fuel For Portland Cement Processing”. Auburn University.
- [25]“Cek Detail Harga Batu Bara Per Ton Dalam Rupiah 2024”. Januari 2024 [Online]. Available: <https://www.apbi-icma.org/news/onlineupdates/cek-detail-harga-batu-bara-per-ton-dalam-rupiah-2024> [Diakses 19 Juli 2024].