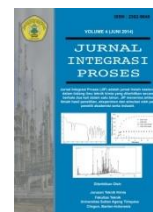




JURNAL INTEGRASI PROSES

Website: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip>



Submitted : 8 May 2025

Revised : 1 June 2025

Accepted : 14 June 2025

PEMODELAN PEMANFAATAN BATUBARA METALURGI BERKUALITAS RENDAH SEBAGAI BAHAN BAKU PARSIAL PRODUKSI KOKAS PADA INDUSTRI BAJA NASIONAL

**Abdul Rozak Kodarif^{1*}, Yazid Bindar², Haykal Yuqdhah³, Basuki Rahmad Saleh⁴,
Pramahadi Febriyanto¹**

¹Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, 35365, Indonesia

²Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 40132, Indonesia

³Coke Oven Plant, PT Krakatau Steel (PERSERO), Tbk, Cilegon, 42435, Indonesia

⁴Direktorat PNPB (MINERBA), Kementerian ESDM, Jakarta Pusat, 10110, Indonesia

*Email: abdul.kodarif@tk.itera.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan negara terbesar ke-5 penghasil Batubara di dunia dengan jenis batubara yang dihasilkan didominasi oleh batubara termal dan sedikit batubara metalurgi dengan kualitas rendah. Pemanfaatan batubara metalurgi menjadi kokas diperlukan untuk menghasilkan besi cair pada proses tanur tiup. Kokas dihasilkan dari campuran beberapa jenis batubara metalurgi mulai dari yang memiliki kekerasan yang sangat keras hingga yang lunak. Indonesia memiliki satu-satunya pabrik produksi kokas yang sampai dengan saat ini menggunakan 100% batubara metalurgi impor. Kadar sulfur batubara metalurgi Indonesia rata-rata melebihi 0,5% (ADB) sehingga tidak masuk kriteria dasar sebagai bahan baku kokas. Namun, kadar karbon yang mencapai 62% (ADB) merupakan potensi yang dapat dimanfaatkan dengan mempertimbangkan efisiensi biaya operasi akibat dari penghematan logistik dan pengurangan jumlah batubara metalurgi kualitas tinggi akibat dari pemakaian batubara metalurgi lokal di Indonesia. Penelitian dilakukan menggunakan dukungan dari perangkat lunak simulasi Aspen Plus V11 dan data operasional aktual salah satu pabrik kokas di Indonesia. Variasi dilakukan dengan substitusi komposisi batubara metalurgi impor mulai dari 15-35% dengan batubara metalurgi lokal dan variasi dilakukan sebanyak 5. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil bahwa penggunaan batubara metalurgi lokal dapat dilakukan untuk mensubstitusi batubara metalurgi sebanyak 25% dengan total potensi penghematan yang didapatkan oleh perusahaan sebesar Rp11,93 miliar/bulan.

Kata Kunci: Batubara metalurgi; Impor; Kokas; Substitusi

Abstract

Indonesia is the fifth-largest coal-producing country in the world, primarily known for its thermal coal reserves, with a smaller portion consisting of low-quality metallurgical coal. Metallurgical coal is essential for producing coke, which serves as a reducing agent for iron oxide in a blast furnace. Coke production involves various types of metallurgical coal, ranging from very hard to soft varieties. Indonesia operates a coke plant that relies entirely on imported metallurgical coal. Unfortunately, the sulfur content of Indonesian metallurgical coal often exceeds 0.5%, making it unsuitable as a raw material for coke production. On the other hand, the carbon content of over 62% presents a potential opportunity for utilization, especially considering the cost savings in logistics and the reduction in the need for high-quality imported metallurgical coal by using local resources. This study, supported by Aspen Plus V11 simulation software and actual operational data from Indonesian coking plants, explored the feasibility of substituting imported metallurgical coal with local alternatives. The composition of imported coal was varied, with local metallurgical coal substituting 15 to 35% in five different scenarios. The results indicated that local

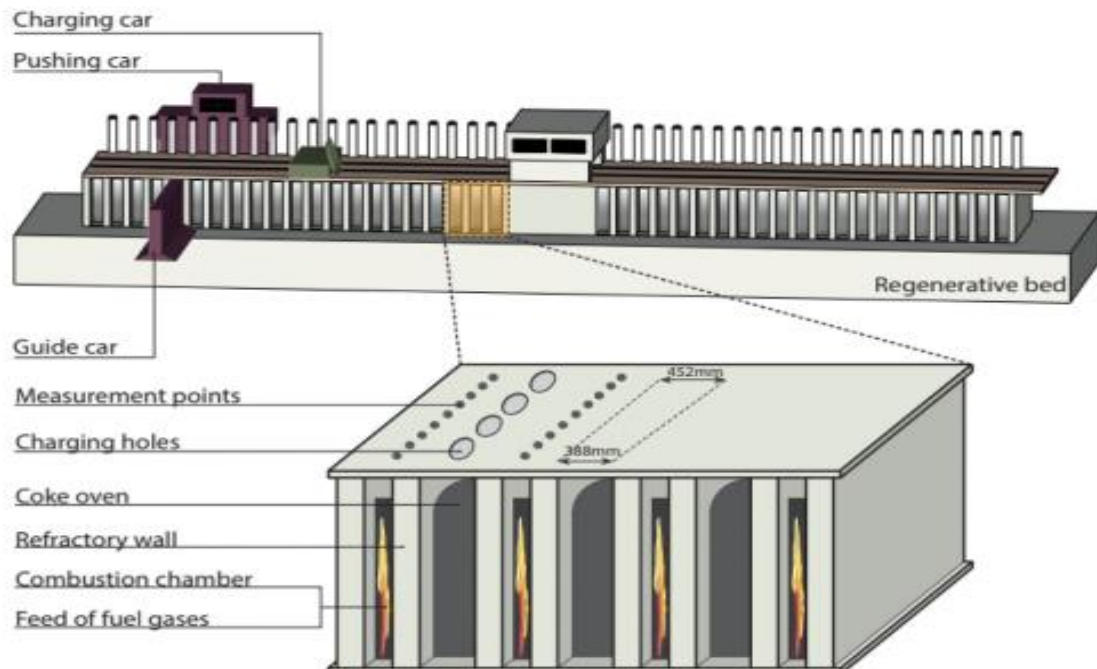
metallurgical coal could effectively replace up to 25% of the metallurgical coal, resulting in significant savings for the company, amounting to approximately Rp11.93 billion per month.

Keywords: Cokes; Coking coal; Import; Substitution

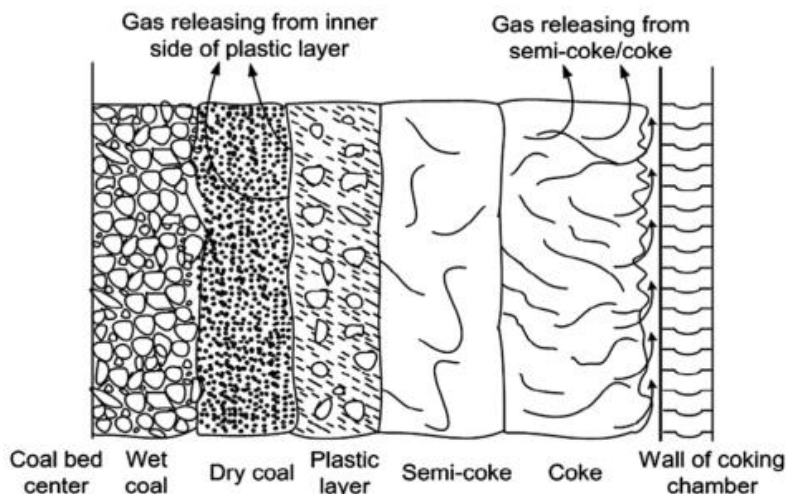
1. PENDAHULUAN

Kokas merupakan agen pereduksi oksida besi menjadi besi pada proses tanur tiup (Hilmawan et al., 2021). Bahan baku pembuatan kokas berasal dari campuran beberapa jenis batubara metalurgi (*coking coal*), yakni *hard coking coal low volatile* (HCC LV), *hard coking coal medium volatile* (HCC MV), *semi hard coking coal* (SHCC), dan *semi soft coking coal* (SSCC) (Handoko, 2020). Produksi kokas berlangsung pada unit pirolisis yang menyerupai *oven* pada temperatur sekitar 1.100-1.200 °C. Proses perpindahan panas berlangsung secara tidak langsung (*indirect heat transfer*) dari

kamar pembakaran ke kamar karbonisasi sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 1 (Neto et al., 2021). Panas yang digunakan dalam proses pembuatan kokas berasal dari gas yang dihasilkan selama proses pembuatan kokas (Bermúdez et al., 2012). Pada proses pembuatan kokas, umpan batubara metalurgi mengalami likuidifikasi dan solidifikasi untuk melepaskan kandungan zat terbang di dalamnya sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 2 (Shen et al., 2021). Sebanyak 24-36% dari massa batubara terkonversi menjadi gas (*coke oven gas*) selama proses pembuatan kokas (Qin & Chang, 2017). Gas yang



Gambar 1. Konfigurasi unit pirolisis kokas (Farias Neto et al., 2021)



Gambar 2. Likuidifikasi-solidifikasi material pada proses pembentukan kokas (Shen et al., 2021)

dihasilkan harus memiliki kandungan sulfur kurang dari 0,525% berat total batubara metalurgi agar tidak merusak unit pirolisis dan unit pemurnian *coke oven gas* (COG) (Krakatau Steel, 2019b). Indonesia merupakan produsen batubara terbesar ke-5 di dunia dengan jumlah produksi sebesar 836 juta ton pada tahun 2024 (Badan Pusat Statistika, 2025). Di samping menjadi produsen, Indonesia juga tetap melakukan impor batubara terutama untuk jenis batubara metalurgi 1,7 juta ton pada tahun 2024 (Badan Pusat Statistika, 2025). Batubara yang diproduksi Indonesia sebagian besar merupakan jenis batubara termal yang digunakan pada unit pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan jumlah cadangan diperkirakan sebesar 128.062 juta ton pada tahun 2019 (Dewan Energi Nasional, 2019). Batubara metalurgi di Indonesia tergolong sebagai SSCC yakni batubara metalurgi berkualitas rendah yang memiliki kadar sulfur lebih besar dari 0,5% dan tingkat kekerasan lunak (Handoko, 2020). Cadangan batubara metalurgi Indonesia tergolong besar karena mencapai 10% dari cadangan batubara total Indonesia pada tahun 2019 (Dewan Energi Nasional, 2019).

Meskipun memiliki cadangan yang sangat besar, batubara metalurgi lokal belum dimanfaatkan oleh perusahaan baja di Indonesia (Dewan Energi Nasional, 2019). Produsen baja dalam negeri masih tergantung dengan batubara metalurgi impor karena dinilai memiliki kualitas lebih baik (S&P Global, 2025). Meskipun batubara metalurgi lokal memiliki kualitas yang rendah, namun kandungan karbonnya tinggi yakni >60% (Hilmawan et al., 2021). Hal tersebut merupakan potensi yang besar mengingat kadar karbon merupakan kunci dalam proses reduksi oksida besi. Selain itu, dengan memanfaatkan batubara metalurgi lokal, produsen baja lokal dapat menghemat biaya yang berasal dari biaya logistik, pajak impor, standar harga internasional, dan dapat meningkatkan tingkat komponen dalam negeri (TKDN) yang berguna untuk persyaratan proyek pembangunan nasional.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka dilakukan pemodelan termodinamika untuk substitusi batubara metalurgi impor dengan lokal yang hasil akhirnya divalidasi menggunakan data produksi aktual pabrik kokas lokal dan literatur lainnya. Pada penelitian juga dilakukan analisis ekonomi dari pemanfaatan batubara metalurgi lokal.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Metode dan Bahan

Model simulasi dirancang menggunakan data operasi aktual dari pabrik kokas dari KS, Indonesia. Spesifikasi batubara metalurgi impor mengikuti data aktual dari pabrik kokas KS (Krakatau Steel, 2019b) dan spesifikasi batubara metalurgi lokal dikumpulkan berdasarkan data referensi dari Data Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (ESDM) yang terindikasi sebagai jenis batubara metalurgi karena memiliki kadar karbon >80% (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Model simulasi dikembangkan dengan melakukan substitusi mulai dari 15 sampai 35% pada

batubara metalurgi impor B (HCC MV) dan impor C (SHCC). Skema variasi jumlah batubara metalurgi lokal ditambahkan sebagai substitusi batubara metalurgi impor mengikuti Tabel 1. Karakterisasi batubara metalurgi impor dan lokal tersaji pada Tabel 2.

Tabel 1. Variasi substitusi batubara metalurgi impor

Skema	Komposisi batubara metalurgi (% b/b basis kering)				
	Impor A	Impor B	Impor C	Lokal D	Lokal E
Skema 0	30	35	35	0	0
Skema 1	30	30	25	10	5
Skema 2	30	30	20	10	10
Skema 3	30	30	15	15	10
Skema 4	30	30	10	15	15
Skema 5	30	30	5	20	15

Simulasi dilakukan dengan dukungan perangkat lunak simulasi proses yakni Aspen Plus yang memiliki bank data lengkap terkait termodinamika batubara. Batubara metalurgi impor A tidak dilakukan substitusi untuk mempertahankan jumlah gas total yang dihasilkan agar sesuai dengan kapasitas unit pirolisis aktual pabrik kokas yang tersedia (Krakatau Steel, 2019b). Batubara impor A tergolong sebagai batubara metalurgi berkualitas sangat tinggi dan rendah kadar zat terbang (*volatile matters*) (S&P Global, 2025). Substitusi batubara metalurgi impor A dengan batubara metalurgi lokal tidak dilakukan karena akan signifikan meningkatkan jumlah COG yang dihasilkan dan menyebabkan resiko ledakan akibat dari kelebihan kapasitas (*over capacity*) (Krakatau Steel, 2019a). Variasi substitusi dilakukan pada rentang 5% dimaksudkan untuk melihat signifikansi perbedaan data yang dihasilkan dari masing-masing skema. Panas yang digunakan untuk mengkonversi umpan campuran batubara metalurgi menjadi kokas berasal dari hasil pembakaran COG dengan udara. COG yang digunakan merupakan COG yang telah diolah dalam unit purifikasi gas dengan komposisi dan kondisi operasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Karakterisasi batubara metalurgi impor dan lokal

Parameter	Satuan	Basis	Impor A	Impor B	Impor C	Lokal D	Lokal E
Nilai kalor	Kkal/Kg	ARB	7800	7750	7750	7600	7525
<i>Proximate</i>							
Moisture	%	ARB	10	10	9	9	9
Karbon	%	ADB	68,8	66,7	66,3	64	54,9
Zat terbang	%	ADB	21,7	24,8	25,2	27	40,3
Abu	%	ADB	9,5	8,5	8,5	9	4,8
<i>Ultimate</i>							
Abu	%	ADB	9,5	8,5	8,5	9	4,8
Karbon	%	ADB	77,83	81,893	81,984	80,808	80,254
Hidrogen	%	ADB	4,525	4,026	4,392	5,005	5,779
Nitrogen	%	ADB	1,991	1,739	1,007	1,684	1,999
Klorin	%	ADB	0	0	0	0	0
Sulfur	%	ADB	0,543	0,512	0,403	0,683	0,305
Oksigen	%	ADB	5,611	3,331	3,715	2,821	6,864
<i>Sulfonate</i>							
Piritik	%	ADB	0	0	0	0	0
Sulfat	%	ADB	0	0	0	0	0
Organik	%	ADB	0,543	0,512	0,403	0,683	0,305

Tabel 3. Kondisi operasi COG dan udara

Parameter	Satuan	COG Bersih	Udara
Tekanan	bar	0,074	5
Temperatur	°C	25	25
Kandungan senyawa dalam persen mol			
H ₂	%	56	-
CH ₄	%	26,5	-
CO	%	9	-
C ₂ H ₄	%	2,6	-
CO ₂	%	4	-
O ₂	%	0,7	21
N ₂	%	1,2	79
Total	%	100	100

$$y_{COG} = k' \sqrt{V_{m_{coal}} - y_{kokas} V_{m_{kokas}}} \quad (1b)$$

$$y_{tar} = -18,36 + 1,53 V_{m_{coal,daf}} - 0,026 (V_{m_{coal,daf}})^2 \quad (1c)$$

$$y_{BTX} = -1,61 + 0,144 V_{m_{coal,daf}} - 0,0016 (V_{m_{coal,daf}})^2 \quad (1d)$$

$$y_{NH_3} = \frac{17}{14} b' N \quad (1e)$$

$$y_{H_2S} = c' S_{daf} \quad (1f)$$

$$y_{H_2O} = \frac{18}{16} a' O_{daf} \quad (1g)$$

Dimana y_{kokas} , y_{COG} , y_{tar} , y_{BTX} , y_{NH_3} , y_{H_2S} , dan y_{H_2O} adalah perolehan produk (*yield*) atas kokas, COG, tar, BTX, NH₃, H₂S, dan H₂O. $V_{m_{coal}}$ dan $V_{m_{kokas}}$ merupakan kadar zat terbang (*volatile matters*) dari batubara metalurgi dan kokas. Lalu, *daf* (*dry ash-free*) adalah definisi kondisi padatan pada kondisi kering dan tanpa abu (% b/b *dry ash-free*). S, O dan N merupakan kadar sulfur, oksigen, dan nitrogen pada kondisi $t_j = 1250$ °C dengan konstanta (k') = 3,3 dan faktor koreksi $a' = 0,42$; $b' = 0,15$; $c' = 0,17$. Laju umpan yang digunakan disesuaikan dengan kondisi aktual pabrik kokas yakni 1.430 kg/jam. Kokas dan COG merupakan produk dominan yang dijadikan data representatif hasil simulasi. Tar, BTX, NH₃, H₂S, dan H₂O merupakan produk turunan yang terkandung dalam COG yang merupakan bagian kecil dari produk utama. Hasil produk utama yang didapatkan dilakukan validasi berdasarkan data KS dan referensi dengan batas galat <5% atas data referensi sebagaimana ditunjukkan Tabel 4.

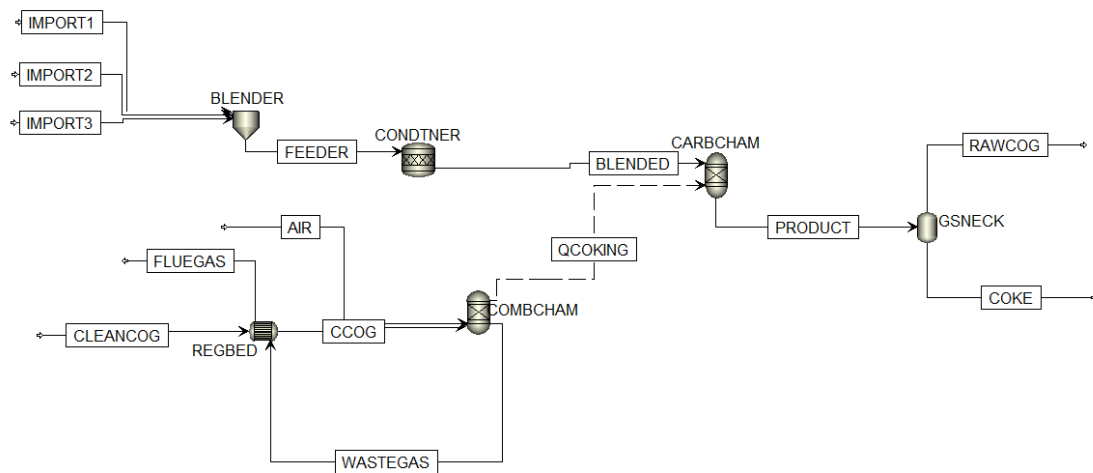
2.2 Proses Simulasi

Model simulasi terdiri atas model *coke oven plant* dan model kamar pembakaran (*combustion chamber*). Model *coke oven plant* terdiri atas unit pencampuran batubara metalurgi dan kamar karbonisasi. Model kamar pembakaran terdiri atas unit pemanasan dan kamar pembakaran.

2.2.1 Model coke oven plant

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, proses dimulai dari pencampuran beberapa jenis batubara metalurgi sesuai dengan skema yang ditentukan. Setelah tercampur, umpan masuk ke kamar karbonisasi pada temperatur 1250 °C. Pemodelan di kamar karbonisasi menggunakan RYIELD dengan pendekatan persamaan 1a-1g (Qin & Chang, 2017).

$$y_{kokas} = 103,19 - 0,75 V_{m_{coal}} - 0,0067 t_j \quad (1a)$$



Gambar 3. Model simulasi substitusi batubara metalurgi impor dengan batubara metalurgi lokal

Tabel 4. Data pembanding *yield*

Produk	Yield Referensi	
	Qin & Chang (2017)	KS
Kokas	76,7	74,0
COG	15,7	15,9
Tar	4,0	3,3
BTX	1,1	0,9
Amonia	0,2	0,9
Sulfur	0,2	0,2
Air	2,2	4,9

Udara yang diumpukan pada proses pembakaran dikondisikan dalam keadaan berlebih (*excess air*) dengan mengikuti persamaan 3 menggunakan RGIBBS dengan persamaan 4.

$$\% EA = \frac{\text{udara aktual} - \text{udara teoritis}}{\text{udara teoritis}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (4)$$

Dimana %EA merupakan persentase udara berlebih, ΔG° adalah nilai energi bebas gibbs pada masing-masing reaksi, ΔH° adalah entalpi pada masing-masing reaksi, T adalah temperatur operasi, dan ΔS° adalah entropi dari reaksi.

2.2.3 Standarisasi kualitas kokas

Hasil kualitas kokas yang dihasilkan dari masing-masing skema dievaluasi berdasarkan standar kualitas produk kokas KS sebagaimana tersaji pada Tabel 5.

Tabel 5. Standar kualitas kokas

Parameter	Basis	Standar acuan (% b/b kering)
Karbon	ADB	>64
Zat Terbang	ADB	24-26
Kadar Abu	ADB	<9
Sulfur	ADB	<0,52

2.2.2 Model kamar pembakaran

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3, kamar pembakaran menghasilkan panas yang berasal dari pembakaran COG yang sudah dipurifikasi. Panas yang dihasilkan oleh kamar pembakaran digunakan untuk memanaskan campuran batubara metalurgi hingga menjadi kokas. COG direaksikan dengan udara hingga terjadi pembakaran pada kamar pembakaran, persamaan reaksi pembakaran COG mengikuti persamaan 2a-2d (Perry & Green, 2008).



Tabel 6. Hasil validasi model simulasi berdasarkan nilai galat

Produk	Skema 1			Skema 2			Skema 3			Skema 4		Skema 5	
	Galat	Qin	KS	Galat	Qin	KS	Galat	Qin	KS	Galat	KS	Galat	KS
Kokas	0,8%	76,1	2,8%	1,5%	75,5	2,0%	1,6%	75,5	1,9%	1,1%	74,9	1,0%	74,8
COG	3,3%	16,2	2,2%	4,6%	16,4	3,6%	4,7%	16,5	3,7%	5,0%	16,7	5,1%	16,7
Tar	2,2%	4,0	24,1%	3,9%	4,1	26,2%	4,1%	4,1	26,4%	27,4%	4,1	27,5%	4,1
BTX	2,8%	1,1	29,5%	6,7%	1,2	34,4%	7,2%	1,2	35,1%	39,7%	1,2	40,3%	1,2
NH ₃	29,8%	0,3	66,1%	33,7%	0,3	65,0%	36,4%	0,3	64,3%	63,3%	0,3	62,6%	0,3
H ₂ S	41,7%	0,1	40,2%	42,4%	0,1	40,9%	40,8%	0,1	39,2%	40,0%	0,1	38,3%	0,1
H ₂ O	2,3%	2,1	56,8%	8,8%	2,4	51,8%	9,8%	2,4	51,4%	45,7%	2,7	45,1%	2,7

2.2.4 Analisis ekonomi

Analisis ekonomi dihitung berdasarkan penghematan terhadap biaya logistik, pajak impor, dan harga standar internasional dengan perhitungan mengikuti persamaan 5. Dihitung juga manfaat berupa Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) yang diterima oleh negara atas pemanfaatan batubara metalurgi lokal menggunakan persamaan 6.

$$\% \text{ Eff} = \frac{\Delta \text{BL} + \Delta \text{HBA}}{\text{HPP}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{PNBP} = 11,5\% \times \text{HB} \quad (6)$$

Dimana %Eff adalah persentase efisiensi dari substitusi batubara metalurgi impor, ΔBL adalah selisih biaya logistik antara batubara metalurgi impor dan lokal, ΔHBA adalah selisih harga batubara acuan antara batubara metalurgi impor dan lokal. PNBP merupakan penerimaan negara bukan pajak, dan HB adalah harga batubara kontrak.

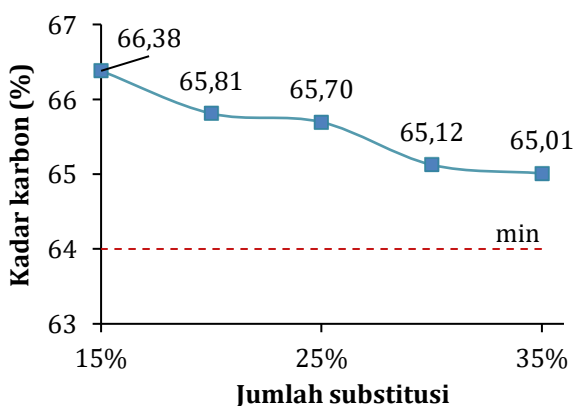
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi Model

Hasil perolehan produk (*yield*) yang dihasilkan dilakukan validasi berdasarkan data referensi dan data produksi aktual KS. Berdasarkan data tersebut didapatkan hasil bahwa galat atas *yield* kokas dan COG pada masing-masing skema memenuhi standar galat yakni <5%, sehingga hasil simulasi secara keseluruhan mewakili kondisi aktual dari pabrik kokas KS sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6. Perubahan *yield* pada masing-masing skema merupakan dampak dari perubahan komposisi umpan akibat dari substitusi batubara metalurgi impor dengan batubara metalurgi lokal.

3.2 Pengaruh Substitusi Batubara Metalurgi Impor Terhadap Kadar Karbon Kokas

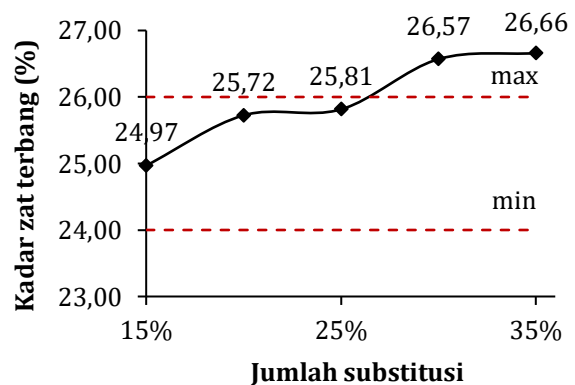
Gambar 4 menunjukkan fenomena perubahan kadar karbon kokas terhadap persentase substitusi batubara metalurgi impor dengan batubara metalurgi lokal. Peningkatan jumlah substitusi batubara metalurgi lokal dapat menurunkan kadar karbon kokas dengan nilai terendah pada jumlah substitusi sebesar 35% yang menghasilkan kadar karbon 65,01%. Dari hasil simulasi diketahui bahwa seluruh skema substitusi batubara metalurgi impor memiliki kadar karbon kokas di atas standar minimum kualitas produk kokas KS.



Gambar 4. Perubahan kadar karbon kokas

3.3 Pengaruh Substitusi Batubara Metalurgi Impor Terhadap Kadar Zat Terbang Kokas

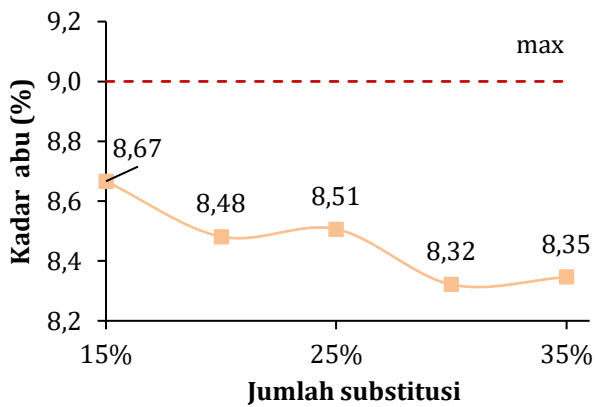
Gambar 5 menunjukkan fenomena perubahan kadar karbon kokas terhadap persentase substitusi batubara metalurgi impor dengan batubara metalurgi lokal. Peningkatan jumlah substitusi batubara metalurgi lokal meningkatkan kadar zat terbang kokas dengan nilai tertinggi sebesar 26,66% pada jumlah substitusi sebesar 35%. Pada nilai substitusi >25% kadar zat terbang kokas sudah melebihi batas standar. Kadar zat terbang dibatasi pada nilai tertentu karena dapat mempengaruhi proses reduksi oksida besi di dalam tanur tiup (Krakatau Steel, 2019b). Kadar zat terbang yang melebihi batas akan mengurangi kekuatan kokas sehingga waktu reaksi pada proses reduksi oksida besi di tanur tiup terganggu (Krakatau Steel, 2019b).



Gambar 5. Perubahan kadar zat terbang kokas

3.4 Pengaruh Substitusi Batubara Metalurgi Impor Terhadap Kadar Abu Kokas

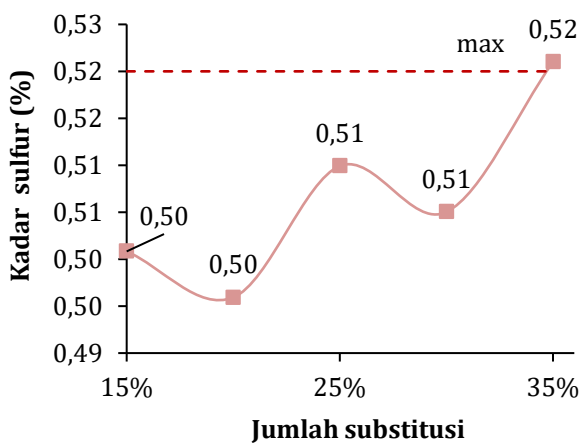
Gambar 6 menunjukkan fenomena perubahan kadar abu kokas terhadap persentase substitusi batubara metalurgi impor dengan batubara metalurgi lokal. Peningkatan jumlah substitusi batubara metalurgi lokal menurunkan kadar abu kokas. Kadar abu terendah sebesar 8,32% dicapai pada substitusi batubara metalurgi impor sebesar 25%. Fenomena ini menunjukkan bahwa batubara metalurgi lokal memiliki potensi untuk menekan kadar abu dari kokas. Kadar abu kokas dikondisikan di bawah nilai standar untuk menjaga nilai polutan (*fly ash*) yang dapat terbawa kembali oleh *blast furnace gas* (BFG) dan akan menyebabkan penyumbatan pada sistem perpipaan BFG serta menurunkan kehandalan produksi (Krakatau Steel, 2019b).



Gambar 6. Perubahan kadar abu kokas

3.5 Pengaruh Substitusi Batubara Metalurgi Impor Terhadap Kadar Sulfur Kokas

Gambar 7 menunjukkan fenomena perubahan kadar sulfur kokas terhadap persentase substitusi batubara metalurgi impor dengan batubara metalurgi lokal. Peningkatan jumlah substitusi batubara metalurgi lokal menurunkan kadar abu kokas. Kadar sulfur meningkat pada setiap peningkatan jumlah substitusi. Pada substitusi 35% kadar sulfur sudah melebihi batas atas standar yakni 0,52%. Kadar sulfur yang tinggi di dalam kokas tidak disukai karena meningkatkan resiko korosi dan akan mempersingkat umur alat (Krakatau Steel, 2019b).

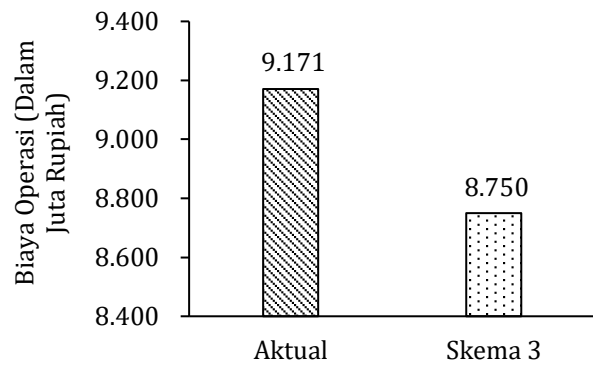


Gambar 7. Perubahan kadar zat terbang kokas

3.6 Dampak dan Manfaat Ekonomi

Gambar 8 menunjukkan nilai potensi penghematan dari substitusi batubara metalurgi impor sebanyak 25% oleh batubara metalurgi lokal dengan nilai penghematan sebesar Rp397 juta/hari atau setara dengan Rp11,93 miliar/bulan. Substitusi dapat diterapkan secara langsung tanpa memerlukan proses persiapan (*pre-treatment process*) karena hasil akhir kualitas kokas sudah sesuai persyaratan. Substitusi 25% batubara lokal dengan melakukan pemanfaatan batubara metalurgi lokal akan menurunkan harga pokok produksi (HPP) hingga 4,59%. Efisiensi tersebut akan berdampak juga pada harga baja yang lebih kompetitif dan dapat memberi manfaat lebih bagi Indonesia. Selain itu, didapatkan juga besaran

kontribusi PNBP ke negara sebesar Rp202 juta/hari atau setara dengan Rp6 miliar/bulan.



Gambar 8. Potensi penghematan biaya produksi

3.7 Dampak Lingkungan dan Keberlanjutan

Gambar 9 menunjukkan bahwa secara keseluruhan, kualitas kokas yang dihasilkan dari campuran batubara metalurgi lokal memiliki kualitas yang setara dengan kondisi tanpa substitusi (aktual). Parameter kritis sulfur memiliki perbedaan sebesar 0,03 dari kondisi saat ini, sehingga resiko pada penurunan kualitas produk sudah termitigasi dengan baik. Kadar abu pada produk kokas hasil substitusi memiliki nilai lebih rendah daripada kondisi aktual yang berpotensi memberikan manfaat lebih di dalam proses reduksi oksida besi.

Pada kondisi substitusi 25% batubara metalurgi lokal terjadi peningkatan perolehan COG semula sebesar 15,9% menjadi 16,5% atau terjadi kenaikan laju alir COG yang setara dengan 180 Nm³/jam. Sehingga dengan mempertimbangkan kondisi laju alir saat ini yang berkisar 27.800 Nm³/jam dan kapasitas pemurnian COG sebesar 32.000 Nm³/jam maka peningkatan laju alir COG akibat dari substitusi batubara metalurgi lokal sebesar 25% masih dalam batas wajar kapasitas pemurnian COG (Krakatau Steel, 2019b).

Sulfur	0,48	0,51
Ash	8,80	8,51
Volatile Matters	24,01	25,81
Fixed Carbon	67,20	65,70
Moisture	9,65	9,60

■ Aktual ■ Substitusi 25%

Gambar 9. Perubahan kualitas kokas skema substitusi

4. KESIMPULAN

Jumlah substitusi optimal yang dapat dilakukan sebesar 25% (skema 3). Model simulasi skema 3 memiliki galat sebesar 2,8% jika dibandingkan dengan kondisi aktual industri dan data referensi. Pada skema 3 dihasilkan kadar karbon, zat terbang, abu, dan sulfur

di dalam kokas sebesar 65,7, 25,81, 8,51, dan 0,51%. Pada jumlah substitusi sebesar 35% kadar sulfur mengalami peningkatan hingga melebihi batas standar kualitas kokas. Lalu, pada substitusi sebesar 30% dan 35% terjadi peningkatan kadar zat terbang yang melebihi batas standar kualitas kokas. Kadar sulfur dan kadar zat terbang yang melebihi batas standar kualitas kokas akan berdampak pada proses reduksi oksida besi di tanur tiup. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut terkait dampak substitusi batubara metalurgi impor menggunakan batubara metalurgi lokal pada parameter *coke strength after reaction* (CSR) dan *coke reactivity index* (CRI) untuk mengetahui fenomena kekuatan dan reaksi kokas yang dihasilkan terhadap proses reduksi oksida besi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistika. (2025). Laporan Ekspor-Impor Komoditas Batubara.
- Bermúdez, J. M., Arenillas, A., & Menéndez, J. A. (2012). Equilibrium prediction of CO₂ reforming of coke oven gas: Suitability for methanol production. *Chemical Engineering Science*, 82, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2012.07.012>
- Dewan Energi Nasional. (2019). Energi Indonesia 2019.
- Neto, G. F., Leite, M. B. M., Marcelino, T. O. A. C., Carneiro, L. O., Brito, K. D., & Brito, R. P. (2021). Optimizing the coke oven process by adjusting the temperature of the combustion chambers. *Energy*, 217, 119419. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119419>
- Handoko, S. (2020). kajian pembuatan campuran batubara bahan baku kokas metalurgi dan pembuatan semikokas dari batubara PT Bukit Asam.
- Hilmawan, E., Fitriana, I., Pengkajian, B., Teknologi, P., & Sugiyono, A. (2021). Outlook energi indonesia 2021: Perspektif teknologi energi indonesia-tenaga surya untuk penyediaan energi charging station. <https://www.researchgate.net/publication/354177750>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). Kajian cadangan batubara Indonesia.
- Krakatau Steel. (2019a). Proses produksi coke oven plant. Cilegon: PT Krakatau Steel.
- Krakatau Steel. (2019b). Proses produksi hot metal blast furnace complex.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*.
- Qin, S., & Chang, S. (2017). Modeling, thermodynamic and techno-economic analysis of coke production process with waste heat recovery. *Energy*, 141, 435–450. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.105>
- Shen, Y., Hu, Y., Wang, M., Bao, W., Chang, L., & Xie, K. (2021). Speciation and thermal transformation of sulfur forms in high-sulfur coal and its utilization in coal-blending coking process: A review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 35, 70-82. <https://doi.org/10.1016/j.ciche.2021.04.007>
- S&P Global. (2025). Coal Trader International. www.spglobal.com/commodityinsights