



ANALISIS EFISIENSI EMISI KARBON PERUSAHAAN INDUSTRI BATUBARA MENGGUNAKAN METODE DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

NUR HALIZA ROSITASARI^{1*}, WAHYU WIBOWO², ZAKIATUL WILDANI³.

^{1, 2, 3} Departemen Statistika Bisnis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

*nurhaliza0601@gmail.com

ABSTRAK

Tingkat efisiensi perusahaan industri batubara dalam mengelola sumber daya yang dimiliki menjadi kunci untuk memahami sejauh mana perusahaan mampu meminimalkan biaya dan memaksimalkan manfaat dari upaya pengurangan emisi karbon. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis efisiensi dalam mengelola emisi karbon pada perusahaan industri batu bara dengan menggunakan metode *Data Envelopment Analysis* (DEA), khususnya model SBM dibandingkan model SBM dengan *Undesirable Output*. Hasil analisis menunjukkan bahwa berdasarkan model SBM dan SBM dengan *Undesirable Output*, tingkat efisiensi perusahaan batubara di Indonesia bervariasi, dengan 4 dari 24 DMU (ADMR, BIPI, BYAN, GEMS) telah mencapai efisiensi optimal dalam menghasilkan laba bersih dan pengelolaan emisi karbon. DMU yang paling tidak efisien meliputi TOBA, INDY, dan TCPI. Hasil uji *Ranking-Bertanda Wilcoxon* terdapat perbedaan hasil efisiensi antara model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output*. Upaya penyesuaian efisiensi bagi DMU yang tidak efisien meliputi optimalisasi pengelolaan *input* (total aset, jumlah ekuitas, jumlah karyawan, penggunaan energi) dan *undesirable output* (emisi karbon), serta peningkatan *desirable output* (laba bersih).

Kata Kunci: *Data Envelopment Analysis*, Efisiensi, Emisi Karbon, Industri Batubara.

ABSTRACT

The level of efficiency of coal industry companies in managing their resources is key to understanding the extent to which companies can minimize costs and maximize the benefits of carbon emission reduction efforts. Therefore, in this study, an efficiency analysis was carried out in managing carbon emissions in new stone industry companies using the *Data Envelopment Analysis* (DEA) method, especially the SBM model compared to the SBM model with *Undesirable Output*. The results of the analysis show that based on the SBM and SBM models with *Undesirable Output*, the efficiency level of coal companies in Indonesia varies, with 4 out of 24 DMUs (ADMR, BIPI, BYAN, GEMS) achieving optimal efficiency in generating net profits and managing carbon emissions. The least efficient DMUs include TOBA, INDY, and TCPI. The results of the *Wilcoxon Ranking-Mark* test showed a difference in efficiency results between the SBM model and the SBM model with the *Undesirable Output*. Efficiency adjustment efforts for inefficient DMUs include optimizing the management of inputs (total assets, number of equity, number of employees, energy use) and undesirable outputs (carbon emissions), as well as increasing desirable outputs (net profit).

Keywords: *Carbon Emissions, Coal Industry, Data Envelopment Analysis, Efficiency.*

1 Pendahuluan

Emisi karbon merupakan salah satu kontributor terbesar dalam perubahan iklim dan pemanasan global. Emisi karbon menjadi isu utama permasalahan keberlanjutan lingkungan di seluruh dunia. Berdasarkan laporan yang disusun oleh tim ilmuwan Global Carbon Project, pada tahun 2022 Indonesia masih menjadi salah satu dari sepuluh negara penghasil emisi karbon terbesar di dunia, dengan jumlah emisi karbon yang dihasilkan sebesar 728,88 MtCO₂e [1]. Berdasarkan data BPS sektor pengadaan listrik dan gas merupakan salah satu sektor yang berkontribusi dalam menghasilkan emisi karbon terbesar di Indonesia dengan total emisi karbon yang dihasilkan pada tahun 2022 sebesar 297,221 MtCO₂e [2]. Industri batubara memegang peranan penting dalam upaya pengurangan emisi karbon karena batubara merupakan sumber energi dari pembangkit listrik utama di Indonesia dengan persentase sebesar 36,85% [3]. Industri batubara di Indonesia telah memberikan kontribusi besar terhadap pertumbuhan ekonomi nasional melalui penciptaan lapangan kerja, pendapatan ekspor, dan penyediaan energi yang relatif murah. Namun, dampak lingkungan yang ditimbulkan, seperti polusi udara, kerusakan ekosistem, dan peningkatan emisi karbon perlu diperhatikan lebih serius untuk mencegah perubahan iklim. Tingkat efisiensi keberlanjutan lingkungan perusahaan dalam mengelola sumber daya yang dimiliki menjadi kunci untuk memahami sejauh mana perusahaan mampu meminimalkan biaya dan memaksimalkan manfaat dari upaya pengurangan emisi karbon.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah perusahaan industri batubara telah efisien dalam upaya pengurangan emisi karbon. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara keluaran (*output*) dengan masukan (*input*) [4]. Pengukuran efisiensi kinerja perusahaan tidak cukup hanya menggunakan satu kriteria, namun juga dapat melibatkan multi-*input* dan multi-*output* [5]. Demikian halnya dalam perusahaan industri batubara, untuk mengetahui tingkat efisiensi dari suatu perusahaan dibandingkan antara *input* dan *output* dari perusahaan. Dengan adanya beberapa *input* dan *output* diperlukan sebuah metode tersendiri yaitu *Data Envelopment Analysis* (DEA). DEA merupakan metode yang mampu menangani *multiple input* dan *output* tanpa asumsi bentuk fungsi produksi, serta memberikan informasi *benchmark* langsung antar Decision Making Unit (DMU). DEA pertama kali diperkenalkan oleh Charnes, Cooper, Rhodes pada tahun 1978. Metode DEA banyak digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dari berbagai macam organisasi karena metode DEA menggunakan pendekatan non-parametrik sehingga tidak terlalu terikat dengan asumsi distribusi dan asumsi klasik [6].

Dalam menganalisis efisiensi keberlanjutan lingkungan perusahaan industri batubara, perlu dipertimbangkan *output* yang tidak diinginkan, yaitu emisi karbon. Model DEA konvensional biasanya tidak memodelkan *output* yang tidak diinginkan, sehingga kurang optimal untuk analisis yang memerlukan perhatian khusus terhadap faktor-faktor yang tidak diinginkan. Untuk mengatasi hal ini, model *Slack Based Measure* (SBM) dengan memperlakukan *undesirable output* sebagai *input* dan model SBM dengan *Undesirable Output* dapat digunakan. Model SBM-DEA dapat memperbaiki kelemahan model DEA berbasis konteks yang sebelumnya mengkategorikan sebuah DMU dengan skor efisiensi satu dan nilai *slack* (kelebihan *input*/kekurangan *output*) yang tidak bernilai nol sebagai efisien, meskipun sebenarnya DMU tersebut tidak efisien. Model SBM dengan *undesirable output* adalah pengembangan dari model SBM yang bertujuan mencapai keseimbangan antara pengurangan *output* yang tidak diinginkan dan peningkatan *output* yang diinginkan [7]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis efisiensi emisi karbon perusahaan industri batubara menggunakan metode DEA model SBM dengan memperlakukan *output* yang tidak diinginkan sebagai *input* dan model SBM dengan *undesirable output*. Penelitian ini diharapkan diperoleh hasil analisis yang dapat mendorong perusahaan untuk lebih efisien dalam upaya pengurangan emisi karbon.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 *Slack Based Measure*

Slack Based Measure (SBM) merupakan metode dalam DEA yang diperkenalkan untuk mengevaluasi efisiensi berdasarkan nilai *slack*. Nilai *slack* merupakan kelebihan yang terjadi pada *input* atau kekurangan yang terjadi pada *output*. Model SBM-DEA memperbaiki kelemahan model DEA berbasis konteks yang sebelumnya mengategorikan sebuah DMU dengan skor efisiensi satu dan nilai *slack* yang tidak bernilai nol sebagai efisien, meskipun sebenarnya DMU tersebut tidak efisien. Dengan menggunakan metode SBM-DEA, efisiensi DMU dapat dievaluasi secara lebih akurat berdasarkan konteks atau lingkungan operasi yang berbeda, sehingga tingkat kinerja DMU dapat dikelompokkan dengan tepat [8].

SBM-DEA memiliki beberapa keunggulan, diantaranya sebagai berikut [9]:

1. Hasil efisiensi tidak terpengaruh oleh perubahan satuan pengukuran *input* dan *output*.
2. Efisiensi akan berkurang jika *slack* pada *input* atau *output* meningkat.
3. Efisiensi ditentukan hanya oleh kumpulan referensi, bukan oleh keseluruhan data.
4. Tidak memerlukan orientasi khusus pada *input* atau *output*, memberikan hasil efisiensi yang seimbang.

Nilai efisiensi SBM-DEA diperoleh dari rumus pada persamaan berikut [10].

Fungsi tujuan:

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{p} \sum_{r=1}^p \frac{s_r^+}{y_{ro}}} \quad (1)$$

Fungsi batasan:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- &= x_{io} \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= y_{ro} \\ \lambda_j &\geq 0, s_i^- \geq 0, s_r^+ \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan:

- ρ : nilai efisiensi model DEA SBM
 x_{io} : nilai pada *input* ke-*i* dari DMU yang dievaluasi
 y_{ro} : nilai *output* ke-*r* dari DMU yang dievaluasi
 s_i^- : jumlah *slack* yang harus dikurangi pada *input* ke-*i* agar mencapai garis *frontier*
 s_r^+ : jumlah *slack* yang harus ditambahkan pada *output* ke-*r* agar mencapai garis *frontier*
 λ_j : tingkat intensitas (bobot) pada DMU ke-*j*

Masalah umum dalam DEA adalah cara menangani *output* yang tidak diinginkan dalam fungsi produksi. DEA model SBM tidak dapat secara langsung menangani *output* yang tidak diinginkan. Sehingga untuk menangani *output* yang tidak diinginkan terdapat beberapa pendekatan, di mana dalam penelitian ini untuk menangani *output* yang tidak diinginkan dilakukan pendekatan memperlakukan *output* yang tidak diinginkan sebagai *input*. Memperlakukan *output* yang tidak diinginkan sebagai *input*, berdasarkan argumen ekonomi bahwa baik *input* maupun *output* yang tidak diinginkan menimbulkan biaya untuk DMU dan dengan demikian DMU biasanya ingin mengurangi kedua jenis variabel tersebut sebanyak mungkin. Dengan kata lain, perspektif ini menyatakan bahwa keluaran yang tidak diinginkan dapat dikurangi sesuai keinginan manajemen [11].

2.2 *Slack Based Measure dengan Undesirable Output*

SBM dengan *undesirable output* adalah model DEA yang dirancang untuk mengukur efisiensi relatif dengan mempertimbangkan *output* yang tidak diinginkan. Model SBM standar berfokus pada efisiensi dengan mempertimbangkan *slack input* dan *output* tanpa memperhatikan sifat positif atau negatif dari *output* yang dihasilkan [12]. Nilai efisiensi SBM dengan *Undesirable Output* diperoleh dari pengembangan model SBM pada persamaan 2.3 dan

2.4, sehingga terbentuk fungsi tujuan dan fungsi batasan untuk masing-masing DMU yang ditampilkan pada persamaan 2.6 dan 2.7 [13].

Fungsi tujuan:

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{p_1 + p_2} \left(\sum_{r=1}^{p_1} \frac{s_r^g}{y_{ro}^g} + \sum_{r=1}^{p_2} \frac{s_r^b}{y_{ro}^b} \right)} \quad (3)$$

Fungsi batasan:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- &= x_{io} \\ \sum_{j=1}^n y_{rj}^g \lambda_j - s_r^g &= y_{ro}^g \\ \sum_{j=1}^n y_{rj}^b \lambda_j + s_r^b &= y_{ro}^b \\ s_i^- &\geq 0, s_r^g \geq 0, s_r^b \geq 0, \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Di mana, nilai efisiensi bernilai $0 \leq \rho \leq 1$, m, p_1, p_2 masing-masing mewakili jumlah *input*, *desirable output*, dan *undesirable output*. $x_{io}, y_{ro}^g, y_{ro}^b$ masing-masing mewakili *input*, *desirable output*, dan *undesirable output* dari DMU yang dievaluasi. s_i^-, s_r^g, s_r^b masing-masing mewakili nilai *slack* dari variabel *input*, *desirable output*, dan *undesirable output*.

2.3 Target

Target merujuk pada nilai efisiensi relatif suatu DMU. Tujuan dari nilai target pada DEA adalah untuk memberikan referensi bagi DMU untuk mencapai *frontier* dan meningkatkan efisiensinya. Nilai target memberikan referensi yang harus dicapai oleh DMU untuk mencapai efisiensi optimal dalam penggunaan sumber daya atau pencapaian hasil yang optimal [12]. Rumus nilai target pada tiap DMU berdasarkan model SBM dengan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} x_{io}^* &= x_{io} - s_i^- \\ y_{ro}^* &= y_{ro} + s_r^+ \end{aligned} \quad (5)$$

Rumus nilai target pada tiap DMU berdasarkan model SBM dengan *Undesirable Output* adalah sebagai berikut [14].

$$\begin{aligned} x_{io}^* &= x_{io} - s_i^- \\ y_{ro}^{g*} &= y_{ro}^g + s_r^g \\ y_{ro}^{b*} &= y_{ro}^b - s_r^b \end{aligned} \quad (6)$$

Keterangan:

- x_{io}^* : nilai target optimal untuk variabel *input* ke- i
- y_{ro}^* : nilai target optimal untuk variabel *output* ke- r
- y_{ro}^{g*} : nilai target optimal untuk variabel *desirable output* ke- r
- y_{ro}^{b*} : nilai target optimal untuk variabel *undesirable output* ke- r

2.4 Uji *Ranking-Bertanda Wilcoxon* untuk Data Berpasangan

Uji *Ranking-Bertanda Wilcoxon* untuk data berpasangan digunakan untuk menentukan apakah dua perlakuan berbeda secara signifikan, atau suatu perlakuan “lebih baik” daripada perlakuan yang lain. Uji *Ranking-Bertanda Wilcoxon* memanfaatkan informasi tentang arah perbedaan di dalam pasangan-pasangan dan juga besar (*magnitude*) relatif perbedaan tersebut untuk memberikan bobot yang lebih besar kepada pasangan yang menunjukkan perbedaan yang besar untuk kedua kondisinya, dibandingkan dengan pasangan yang menunjukkan perbedaan yang kecil [15]. Dalam penelitian ini, uji *Ranking-Bertanda Wilcoxon* untuk data berpasangan digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan nilai efisiensi berdasarkan model SBM dengan model SBM dengan *Undesirable Output*.

Perumusan hipotesis pengujian *Ranking-Bertanda Wilcoxon* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} H_0: MD &\leq 0 \\ H_1: MD &> 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{Statistik uji: } T = T- \quad (8)$$

Dengan taraf signifikan sebesar α maka H_0 ditolak apabila harga $T- \leq d_{(n, \alpha)}$.

3 Metodologi Penelitian

3.1 Deskripsi Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh melalui laporan keuangan dan laporan keberlanjutan tahun 2023 dari perusahaan yang terdaftar IDX Sektor Energi yang beroperasi pada industri batubara pada 1 Juli 2024 hingga 30 Juni 2025 dengan kriteria yang menerbitkan laporan keuangan dan laporan keberlanjutan tahun 2023 dengan kriteria memperoleh laba bersih pada tahun berjalan, mengungkapkan jumlah konsumsi energi dan mengungkapkan total emisi karbon cakupan 1 & 2 yang dihasilkan. Variabel penelitian yang digunakan ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Proses	Variabel	Keterangan	Skala	Satuan
<i>Input</i>	X_1	Total Aset	Rasio	Miliar Rupiah
	X_2	Jumlah Ekuitas	Rasio	Miliar Rupiah
	X_3	Jumlah Karyawan	Rasio	Orang
	X_4	Penggunaan Energi	Rasio	Giga Joule (GJ)
<i>Undesirable Output</i>	Y^b	Emisi Karbon	Rasio	Ton CO ₂ e
<i>Desirable Output</i>	Y^g	Laba Bersih	Rasio	Miliar Rupiah

3.2 Langkah Analisis

Langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan DMU, di mana dalam penelitian ini yang digunakan adalah perusahaan industri batubara.
2. Menentukan variabel *input*, *undesirable output*, dan *desirable output* untuk mengukur efisiensi perusahaan.
3. Mengumpulkan data penelitian dari laporan keuangan dan laporan keberlanjutan usaha masing-masing perusahaan industri batubara.
4. Menganalisis karakteristik total aset, jumlah ekuitas, jumlah karyawan, penggunaan energi, emisi karbon, dan laba bersih.
5. Menganalisis nilai efisiensi perusahaan industri batubara menggunakan model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output*.
6. Menguji perbedaan nilai efisiensi model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output*.
7. Menentukan referensi DMU bagi DMU yang tidak efisien berdasarkan nilai lambda yang paling besar terhadap DMU yang diamati.
8. Menganalisis potensi pengurangan dalam variabel *input*, *undesirable output*, serta potensi peningkatan pada variabel *desirable output* untuk meningkatkan efisiensi meliputi:
 - a. Menganalisis nilai *slack*.
 - b. Menghitung nilai target.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakteristik Data

Berdasarkan Tabel 2 karakteristik variabel *input* dan *ouput* perusahaan industri batubara di mana DMU Adaro Minerals Indonesia (ADRO) memiliki nilai total aset, jumlah ekuitas, jumlah karyawan, penggunaan energi, dan laba bersih tertinggi dibanding 23 perusahaan industri batubara lainnya. Sementara Indo Tambangraya Megah (ITMG) menghasilkan emisi karbon tertinggi. Disisi lain perusahaan yang memiliki nilai total aset, jumlah ekuitas, jumlah karyawan, dan laba bersih terendah adalah perusahaan Pelayaran Nasional Bina Buana Raya (BBRM), perusahaan dengan penggunaan energi terendah adalah Dana Brata Luhur (TEBE), dan perusahaan dengan emisi terendah adalah Astrindo Nusantara Infastruktur (BIPI).

Tabel 2. Karakteristik Data

Variabel	Rata-rata	Varians	Nilai Minimum	Median	Nilai Maksimum
Total Aset	23.668	1.156.901.840	536	13.047	161.447
Jumlah Ekuitas	14.228	546.399.287	459	7.688	114.213
Jumlah Karyawan	2.174	13.007.493	98	777	15.204
Penggunaan Energi	4.335.742	34.351.290.330.901	163.282	1.091.391	20.527.000
Emisi Karbon	327.197	240.985.785.833	112	72.850	1.817.712
Laba Bersih	4.479	50.641.492	62	522	28.595

4.2 Analisis Efisiensi Perusahaan Industri Batubara

Perhitungan efisiensi dari 24 perusahaan industri batubara di Indonesia pada analisis ini menggunakan metode DEA model SBM di mana *undesirable output* diperlakukan sebagai *input* dan model SBM dengan *Undesirable Output*. Analisis efisiensi dari 24 perusahaan industri batubara di Indonesia meliputi analisis nilai efisiensi dan referensi set bagi perusahaan industri batubara yang tidak efisien sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai Efisiensi

No.	DMU	Nilai Efisiensi		No.	DMU	Nilai Efisiensi	
		SBM	SBM UO			SBM	SBM UO
1	ABMM	0,306	0,221	13	ITMG	0,363	0,300
2	ADMR	1	1	14	KKGI	0,173	0,139
3	ADRO	0,302	0,248	15	MAHA	0,114	0,092
4	ALII	0,257	0,205	16	MBAP	0,126	0,100
5	BBRM	0,179	0,124	17	MBSS	0,149	0,113
6	BIPI	1	1	18	MCOL	0,390	0,321
7	BYAN	1	1	19	PSSI	0,487	0,362
8	CUAN	0,128	0,102	20	PTBA	0,333	0,277
9	DSSA	0,584	0,486	21	SMMT	0,403	0,330
10	GEMS	1	1	22	TCPI	0,099	0,066
11	HRUM	0,268	0,216	23	TEBE	0,256	0,199
12	INDY	0,067	0,054	24	TOBA	0,044	0,035

Nilai efisiensi 24 perusahaan industri batubara ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, pada model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output* terdapat 4 DMU yang telah efisien (memiliki nilai efisiensi 1) yaitu meliputi ADMR, BIPI, BYAN, dan GEMS. Sementara 20 DMU lainnya belum efisien, untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai efisiensi pada model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output* dilakukan uji perbedaan dengan hipotesis ditampilkan pada persamaan 7, diperoleh statistik uji sebagai berikut.

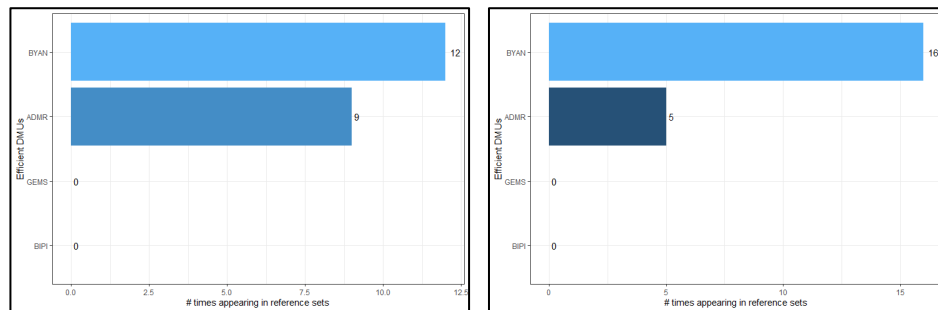
Tabel 4. Statistik Uji *Ranking*-Bertanda Wilcoxon

T+	T-	$d_{(20; 0,05)}$
210	0	52

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh statistik uji *Ranking*-Bertanda Wilcoxon pada perbedaan nilai efisiensi berdasarkan model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output* diperoleh harga T- yaitu sebesar 0 yang bernilai lebih kecil dari $d_{(20; 0,05)}$ yaitu sebesar 52, sehingga dapat diputuskan tolak H_0 yang memiliki arti median selisih nilai efisiensi antara model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output* lebih dari nol atau dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi DMU yang belum efisien pada model SBM signifikan lebih besar dibanding model SBM dengan *Undesirable Output*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa model SBM tidak secara spesifik dalam menangani dampak negatif dari *undesirable output* sehingga memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibanding model SBM dengan *Undesirable Output*.

4.3 Referensi Set

Analisis referensi set yang menunjukkan seberapa sering DMU yang efisien muncul sebagai referensi bagi DMU lain yang tidak efisien. Semakin sering DMU muncul sebagai referensi untuk DMU yang tidak efisien, kemungkinan DMU tersebut akan menjadi DMU yang paling baik dan akan tetap efisien kecuali ada perubahan yang signifikan pada *input* dan *output*, DMU yang menjadi referensi set bagi DMU lain. Berdasarkan Gambar 1, DMU yang menjadi referensi set meliputi Bayan Resource (BYAN) dengan frekuensi sebagai referensi set sebanyak 12 kali pada model SBM dan 16 kali pada model SBM dengan *Undesirable Output*, serta DMU Adaro Minerals Indonesia (ADMR) dengan frekuensi sebagai referensi set sebanyak 9 kali pada model SBM dan 5 kali pada model SBM dengan *Undesirable Output*. Adapun untuk DMU yang efisien namun tidak dijadikan referensi oleh DMU lain dikenal sebagai DMU yang “efisien secara *default*” yang artinya DMU tersebut tidak memiliki karakteristik yang harus diikuti oleh DMU lain yang tidak efisien, yaitu meliputi DMU Golden Energi Mines (GEMS) dan Astrindo Nusantara Infrastruktur (BIPI) dengan frekuensi muncul sebagai referensi set sebanyak 0 kali.



Gambar 1. Referensi Set Model SBM (Kiri) dan SBM dengan *Undesirable Output* (Kanan)

Perbaikan DMU yang tidak efisien dapat dilakukan dengan mencari nilai lambda yang juga dikenal sebagai tingkat intensitas yang ditampilkan pada Tabel 5. Contohnya adalah untuk DMU TBS Energi Utama (TOBA) yang merupakan DMU dengan nilai efisiensi terendah, pada model SBM didapatkan nilai lambda sebesar 0,214 sementara pada model SBM dengan *Undesirable Output* didapatkan nilai lambda sebesar 0,016 dari DMU₇ atau Bayan Resources (BYAN). Berdasarkan nilai lambda tersebut terlihat bahwa berdasarkan model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output*, DMU TOBA cenderung menjadikan BYAN sebagai referensi set untuk meningkatkan efisiensinya.

Tabel 5. Nilai Lambda

No.	DMU	SBM	SBM UO	No.	DMU	SBM	SBM UO
1	ABMM	$\lambda_7 = 0,384$	$\lambda_7 = 0,247$	13	ITMG	$\lambda_7 = 0,593$	$\lambda_7 = 0,391$
2	ADMR	$\lambda_2 = 1$	$\lambda_2 = 1$	14	KKGI	$\lambda_7 = 0,058$	$\lambda_7 = 0,021$
3	ADRO	$\lambda_2 = 6,177$	$\lambda_7 = 1,450$	15	MAHA	$\lambda_7 = 0,048$	$\lambda_7 = 0,014$
4	ALII	$\lambda_2 = 0,040$	$\lambda_2 = 0,027$	16	MBAP	$\lambda_7 = 0,067$	$\lambda_7 = 0,017$
5	BBRM	$\lambda_2 = 0,021$	$\lambda_7 = 0,003$	17	MBSS	$\lambda_7 = 0,072$	$\lambda_7 = 0,019$
6	BIPI	$\lambda_6 = 1$	$\lambda_6 = 1$	18	MCOL	$\lambda_7 = 0,216$	$\lambda_7 = 0,184$
7	BYAN	$\lambda_7 = 1$	$\lambda_7 = 1$	19	PSSI	$\lambda_2 = 0,097$	$\lambda_2 = 0,093$
8	CUAN	$\lambda_7 = 0,061$	$\lambda_7 = 0,012$	20	PTBA	$\lambda_2 = 1,348$	$\lambda_2 = 0,926$
9	DSSA	$\lambda_2 = 1,074$ $\lambda_7 = 0,306$	$\lambda_2 = 1,074$ $\lambda_7 = 0,306$	21	SMMT	$\lambda_2 = 0,039$	$\lambda_7 = 0,013$
10	GEMS	$\lambda_{10} = 1$	$\lambda_{10} = 1$	22	TCPI	$\lambda_2 = 0,131$	$\lambda_7 = 0,010$
11	HRUM	$\lambda_2 = 0,963$	$\lambda_2 = 0,444$	23	TEBE	$\lambda_7 = 0,022$	$\lambda_7 = 0,011$
12	INDY	$\lambda_7 = 0,696$	$\lambda_7 = 0,085$	24	TOBA	$\lambda_7 = 0,214$	$\lambda_7 = 0,016$

Tabel 6. Nilai Slack

DMU	Total Aset		Jumlah Ekuitas		Jumlah Karyawan		Penggunaan Energi		Emisi Karbon		Laba Bersih	
	SBM	SBM UO	SBM	SBM UO	SBM	SBM UO	SBM	SBM UO	SBM	SBM UO	SBM	SBM UO
ABMM	12.883	20.150	0	4.175	9.730	10.253	11.191.244	11.496.846	48.892	71.230	2.700	0
ADMR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ADRO	0	84.477	15.364	69.993	11.757	9.668	19.191.705	17.290.189	1.083.303	917.282	13.385	0
ALII	883	1.216	0	204	103	110	257.890	260.647	2.655	2.800	87	0
BBRM	0	369	131	363	87	86	527.427	524.812	1.223	942	77	0
BIPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BYAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CUAN	308	2.920	0	1.501	0	188	542.254	652.120	41.136	49.167	971	0
DSSA	2.893	2.893	0	0	599	599	5.305.208	5.305.208	663.225	663.225	0	0
GEMS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HRUM	0	13.575	2.695	11.007	248	537	838.461	950.737	52.336	58.270	3.530	0
INDY	11.039	43.474	0	18.635	921	3.254	13.240.681	14.604.679	916.422	1.016.123	12.050	0
ITMG	2.236	12.996	9.480	15.661	0	774	10.667.914	11.120.370	1.720.912	1.753.984	3.997	0
KKGI	0	1.979	372	1.509	422	564	1.006.092	1.089.326	67.176	73.260	735	0
MAHA	0	1.837	340	1.396	2.301	2.433	1.462.197	1.539.466	91.673	97.321	683	0
MBAP	0	2.642	632	2.150	520	710	486.051	597.154	58.129	66.250	982	0
MBSS	0	2.786	1.062	2.663	284	484	373.607	490.782	25.665	34.230	1.035	0
MCOL	0	1.735	2.431	3.428	1.239	1.364	5.317.811	5.390.776	395.993	401.326	645	0
PSSI	615	719	1.052	1.115	478	480	530.456	531.312	0	45	27	0
PTBA	3.547	14.565	0	6.746	809	1.044	13.278.795	13.369.927	1.012.835	1.017.652	2.865	0
SMMT	0	319	182	404	116	88	197.502	176.863	4.186	2.509	6	0
TCPI	86	3.001	0	1.804	705	741	529.114	536.070	5.604	5.539	701	0
TEBE	0	554	426	744	207	247	114.883	138.185	9.038	10.742	206	0
TOBA	3.243	13.747	0	6.035	303	1.059	1.669.067	2.110.780	192.456	224.743	3.902	0

4.4 Potensi Optimalisasi *Input* dan *Output* Perusahaan Industri Batubara

Hasil analisis nilai *slack input* dan *slack output* perusahaan industri batubara di Indonesia dengan menggunakan model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output* ditampilkan pada Tabel 6. DMU yang telah efisien memiliki nilai *slack input* dan *slack output* sebesar nol. Sedangkan DMU yang tidak efisien memerlukan nilai *slack* untuk mencapai efisiensi pada garis frontier. Salah satu DMU yang tidak efisien pada model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output* adalah TBS Energi Utama (TOBA).

TOBA memiliki nilai *slack input* mewakili nilai yang perlu dioptimalkan dalam pengelolaannya pada total aset, jumlah ekuitas, jumlah karyawan, penggunaan energi, dan emisi karbon pada model SBM secara berturut-turut sebesar 3.243,05 miliar rupiah, 0 miliar rupiah, 303 orang, 1.669.066,89 giga joule, dan 192.456,10 Ton CO₂e. Sementara *slack output* mewakili nilai yang perlu ditingkatkan pada model SBM meliputi laba bersih perlu ditingkatkan sebesar 3.902,20 miliar rupiah untuk mencapai efisiensi relatif. Sedangkan pada model SBM dengan *Undesirable Output*, TOBA memiliki nilai *slack input* mewakili nilai yang perlu dioptimalkan dalam pengelolaannya pada total aset, jumlah ekuitas, jumlah karyawan, dan penggunaan energi secara berturut-turut sebesar 13.746,83 miliar rupiah, 6.034,59 miliar rupiah, 1.059 orang, dan 2.110.779,50 giga joule. Sementara *slack output* pada model SBM dengan *Undesirable Output* terdiri dari *slack undesirable output* emisi karbon yang perlu dikurangi sebesar 224.743,01 Ton CO₂e dan *slack desirable output* mewakili nilai yang perlu ditingkatkan yaitu laba bersih yang di mana dalam hal ini telah bernilai nol, sehingga tidak perlu ditingkatkan lagi untuk mencapai efisiensi relatif.

Berdasarkan model SBM dibandingkan dengan model SBM dengan *Undesirable Output*, TOBA cenderung perlu melakukan penyesuaian *input* yang lebih sedikit, menyesuaikan *undesirable output* yang relatif setara, namun perlu menyesuaikan laba bersih yang cenderung lebih besar dibanding menggunakan model SBM dengan *Undesirable Output*. Apabila TOBA berfokus pada peningkatan laba bersih dengan sumber daya semaksimal mungkin dalam menangani emisi karbon, maka model SBM dapat dijadikan acuan dalam penyesuaian nilai *slack*, dan apabila TOBA berfokus pada penggunaan sumber daya seminimal mungkin dalam menghasilkan laba dan pengurangan emisi karbon, maka model SBM dengan *Undesirable Output* dapat dijadikan acuan.

Selanjutnya dilakukan analisis nilai target peningkatan atau penurunan jumlah *input* dan *output* untuk mencapai efisiensi yang optimum. Nilai target diperoleh melalui perhitungan seperti yang ditampilkan pada persamaan 5 dan 6. Contoh perhitungan nilai target pada DMU TBS Energi Utama (TOBA) untuk setiap variabel adalah sebagai berikut.

1. Model SBM

Berikut adalah hasil perhitungan dari persamaan 5, untuk setiap variabel *input* dan *output* pada DMU TOBA untuk mencapai target pada model SBM.

- Total aset

$$x_{1o}^* = x_{1o} - s_1^-$$

$$x_{1o}^* = 14.611,87 - 3.243,05$$

$$x_{1o}^* = 11.368,82$$

- Jumlah ekuitas

$$x_{2o}^* = x_{2o} - s_2^-$$

$$x_{2o}^* = 6.531,57 - 0$$

$$x_{2o}^* = 6.531,57$$

- Jumlah karyawan

$$x_{3o}^* = x_{3o} - s_3^-$$

$$x_{3o}^* = 1.121 - 303$$

$$x_{3o}^* = 818$$

- Penggunaan energi

$$x_{4o}^* = x_{4o} - s_4^-$$

$$x_{4o}^* = 2.147.156,79 - 1.669.066,89$$

$$x_{4o}^* = 478.089,90$$

- Emisi karbon

$$y_{1o}^* = y_{1o} - s_5^-$$

$$y_{1o}^{b*} = 227.402 - 192.456,10$$

$$y_{1o}^{b*} = 34.945,90$$

- Laba bersih

$$y_{1o}^* = y_{1o} + s_1^+$$

$$y_{1o}^{g*} = 321.37 + 3.902,20$$

$$y_{1o}^{g*} = 4.223,57$$

Pada variabel total aset memiliki nilai asli sebesar 14.611,87 miliar rupiah, di mana nilai *slack* adalah sebesar 3.243,05 miliar rupiah. Sehingga didapatkan nilai target untuk variabel total aset pada DMU TOBA berdasarkan model SBM 11.368,82 untuk dapat menjadi efisien. Perhitungan dan cara membaca ini juga berlaku untuk nilai target pada setiap variabel masing-masing DMU pada model SBM maupun model SBM dengan *Undesirable Output*.

2. Model SBM dengan *Undesirable Output*

Berikut adalah hasil perhitungan dari persamaan 6, untuk setiap variabel *input* dan *output* pada DMU TOBA untuk mencapai target pada model SBM dengan *Undesirable Output*.

- Total aset

$$x_{1o}^* = x_{1o} - s_1^-$$

$$x_{1o}^* = 14.611,87 - 13.746,83$$

$$x_{1o}^* = 865,04$$

- Jumlah ekuitas

$$x_{2o}^* = x_{2o} - s_2^-$$

$$x_{2o}^* = 6.531,57 - 6.034,59$$

$$x_{2o}^* = 496,98$$

- Jumlah karyawan

$$x_{3o}^* = x_{3o} - s_3^-$$

$$x_{3o}^* = 1.121 - 1.059$$

$$x_{3o}^* = 62$$

- Penggunaan energi

$$x_{4o}^* = x_{4o} - s_4^-$$

$$x_{4o}^* = 2.147.156,79 - 2.110.779,50$$

$$x_{4o}^* = 36.377,29$$

- Emisi karbon

$$y_{1o}^{b*} = y_{1o}^b - s_5^-$$

$$y_{1o}^{b*} = 227.402 - 224.743,01$$

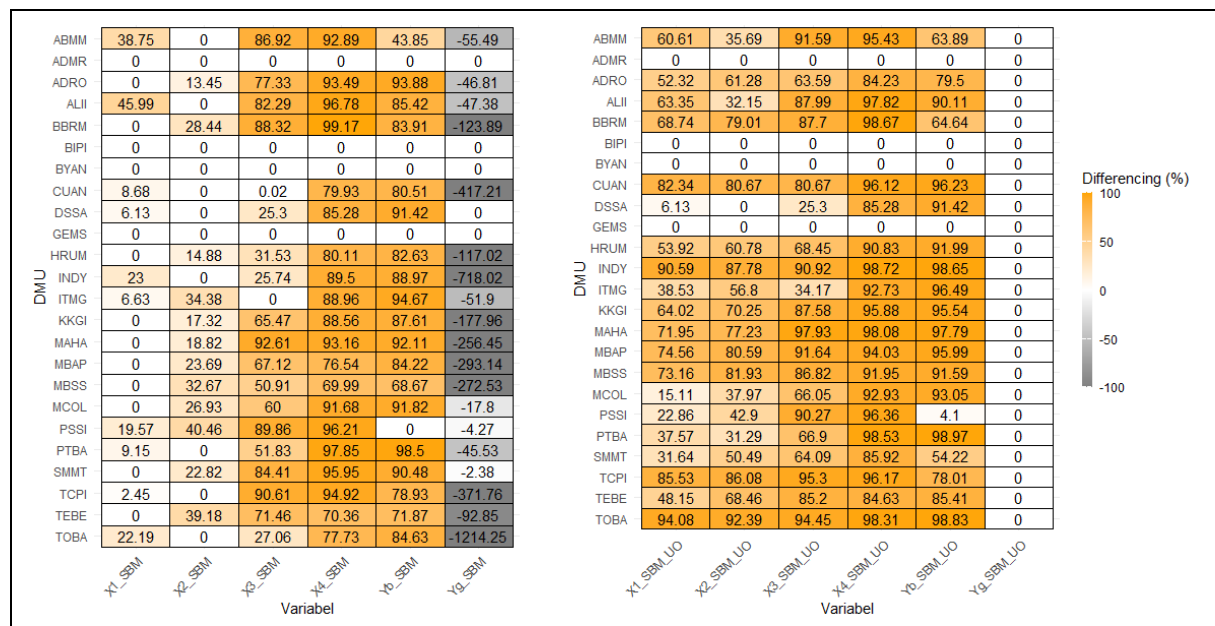
$$y_{1o}^{b*} = 2.658,90$$

- Laba bersih

$$y_{1o}^{g*} = y_{1o}^g + s_1^g$$

$$y_{1o}^{g*} = 321,37 + 0$$

$$y_{1o}^{g*} = 321,37$$



Gambar 2. Heatplot Difference Model SBM (Kiri) dan Model SBM dengan *Undesirable Output* (Kanan)

Persentase selisih perbedaan nilai asli dengan nilai target divisualisasikan dalam bentuk *heatplot differencing* pada Gambar 2. Semakin berwarna oranye maka semakin tinggi pula perbedaan di mana variabel *input* yang perlu dikurangi antara nilai asli dengan nilai target. Semakin berwarna putih semakin rendah pula perbedaan antara nilai asli dengan nilai target. Sementara semakin berwarna abu-abu maka semakin tinggi pula perbedaan di mana variabel *output* yang perlu ditingkatkan antara nilai asli dengan nilai target.

Sebagai contoh berdasarkan model SBM pada Gambar 2. DMU TOBA memiliki persentase *differencing* variabel *input* dan *undesirable output*, yang lebih rendah, namun persentase *differencing desirable output* lebih tinggi dibanding model SBM dengan *Undesirable Output*. Hal ini mengindikasikan bahwa pada model SBM, DMU TOBA perlu menyesuaikan sedikit

dalam pengelolaan sumber daya yang dimiliki, serta perlu memaksimalkan dalam menghasilkan laba bersih untuk mencapai efisien. Sementara pada model SBM dengan *Undesirable Output*, DMU TOBA perlu mengoptimalkan pengelolaan sumber daya yang dimiliki dalam menghasilkan laba bersih dan dalam upaya pengurangan emisi karbon.

5 Kesimpulan

Berdasarkan model SBM dan model SBM dengan *Undesirable Output* menunjukkan bahwa terdapat 4 dari 24 DMU yang telah mencapai efisiensi optimal dalam menghasilkan laba bersih dan pengelolaan emisi karbon meliputi ADMR, BIPI, BYAN, dan GEMS. Sementara untuk DMU yang lainnya yang belum efisien memerlukan upaya lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi, terutama dalam pengelolaan emisi karbon sebagai *output* yang tidak diinginkan. DMU yang paling tidak efisien meliputi TOBA, INDY, dan TCPI. Hasil pengujian *Ranking-Bertanda Wilcoxon* menunjukkan bahwa terdapat perbedaan efisiensi antara model SBM dengan SBM dengan *Undesirable Output*. Berdasarkan model SBM perusahaan industri batubara di Indonesia yang belum efisien perlu melakukan penyesuaian sesuai nilai target dalam menghasilkan laba maupun dalam mengelola emisi karbon. Sementara berdasarkan model SBM dengan *Undesirable Output* perusahaan industri batubara di Indonesia yang belum efisien telah menghasilkan laba bersih sesuai dengan nilai target namun perlu melakukan penyesuaian dalam mengelola emisi karbon.

Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam homogenitas skala usaha perusahaan sehingga tidak dilakukan pengelompokan perusahaan berdasarkan skala usaha. Sehingga untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat lebih memperhatikan faktor-faktor lain yang dapat mempresentasikan homogenitas skala usaha perusahaan untuk diketahui efisiensi perusahaan industri batubara berdasarkan skala usaha yang sama dalam mengelola emisi karbon.

Daftar Pustaka

- [1] P. Friedlingstein *et al.*, “Global Carbon Budget 2023,” *Earth Syst Sci Data*, vol. 15, no. 12, pp. 5301–5369, Dec. 2023, doi: 10.5194/essd-15-5301-2023.
- [2] BPS, “Neraca Arus Energi dan Neraca Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia,” Jakarta, Jun. 2024.
- [3] Sansuadi, N. Mazidah, and R. C. Nugroho, “Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2022,” Jakarta, 2023.
- [4] R. Hidayat, *Efisiensi Perbankan Syariah Teori dan Praktik*. Bekasi: Gramata Publishing, 2014.
- [5] F. Hafidz and M. F. Rizal, *Analisis Efisiensi Fasilitas Kesehatan: Aplikasi Menggunakan Software R*. Sleman: Gadjah Mada University Press, 2021.
- [6] A. Charnes, W. W. Cooper, and E. Rhodes, “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *Eur J Oper Res*, vol. 2, no. 6, pp. 429–444, Nov. 1978, doi: 10.1016/0377-2217(78)90138-8.
- [7] G. Halkos and K. N. Petrou, “Treating Undesirable Outputs in DEA: A Critical Review,” *Econ Anal Policy*, vol. 62, pp. 97–104, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.eap.2019.01.005.
- [8] H. Morita, K. Hirokawa, and J. Zhu, “A Slack-Based Measure of Efficiency in Context-Dependent Data Envelopment Analysis,” *Omega (Westport)*, vol. 33, no. 4, pp. 357–362, Aug. 2005, doi: 10.1016/j.omega.2004.06.001.
- [9] K. Tone, “A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis,” *Eur J Oper Res*, vol. 130, no. 3, pp. 498–509, May 2001, doi: 10.1016/S0377-2217(99)00407-5.
- [10] M. A. Tali, T. R. Padi, and Q. F. Dar, “Slack-Based Measures of Efficiency in Two-Stage Process: An Approach Based on Data Envelopment Analysis With Double

- Frontiers,” *Int. J Latest Trends Fin. Eco. Sc*, vol. 6, no. 3, pp. 1194–1204, 2016, [Online]. Available: <http://excelingtech.co.uk/>
- [11] H. Yang and M. Pollitt, “The Necessity of Distinguishing Weak and Strong Disposability Among Undesirable Outputs in DEA: Environmental Performance of Chinese Coal-Fired Power Plants,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 8, pp. 4440–4444, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.03.075.
 - [12] J. Zhu, Ed., *Data Envelopment Analysis: A Handbook of Models and Methods*, vol. 221. Boston, MA: Springer US, 2015. doi: 10.1007/978-1-4899-7553-9.
 - [13] S. Zhou and Z. Xu, “Energy Efficiency Assessment of RCEP Member States: A Three-Stage Slack Based Measurement DEA with Undesirable Outputs,” *Energy*, vol. 253, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.124170.
 - [14] K. Tone, “Dealing With Undesirable Outputs in DEA: A Slacks-Based Measure (SBM) Approach,” Tokyo, Dec. 2003. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/284047010>
 - [15] S. Siegel, *Statistika Nonparametrik untuk Ilmu-ilmu Sosial*, 4th ed. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 1990.