

Sertifikat

Di berikan kepada :

Ahmad Mubin

atas partisipasi sebagai :

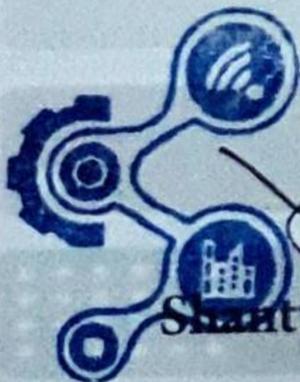
Pemakalah

SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI DAN REKAYASA

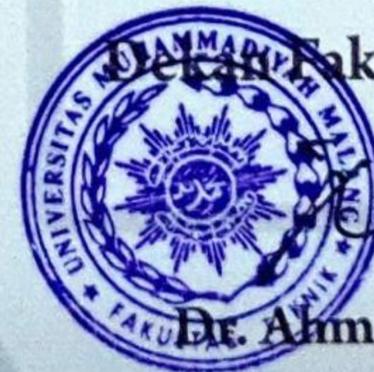
**“Industrial Revolution 4.0 : Sustainable Technology
Development for Competitiveness and Responsiveness”**

Malang, 6 – 7 Desember 2018

Ketua Pelaksana



Shanty Kusuma Dewi . ST., MT



Dekan Fakultas Teknik UMM

Dr. Ahmad Mubin. ST., MT

DATA ENVELOPMENT ANALYSIS UNTUK PENGUKURAN DAN PENINGKATAN ECO-EFFICIENCY PADA AGROINDUSTRI

Ahmad Mubin^{*1}, M.F. Furqoni², M. Muyaehdi A.A.³
Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Malang

Kontak Person:

Ahmad Mubin

Universitas Muhammadiyah Malang

E-mail: ahmadm@umm.ac.id

Abstrak

Eco-efficiency merupakan strategi yang menggabungkan konsep efisiensi ekonomi berdasarkan prinsip efisiensi penggunaan sumber daya alam. Studi ini bertujuan untuk menentukan dan meningkatkan eco-efficiency agroindustri gula dengan metode Data Envelopment Analysis (DEA). Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa aspek-aspek yang berkaitan dengan eco-efficiency pada agroindustri yaitu variabel input dan variabel output. Variabel input meliputi: biaya bahan baku dan biaya operasional. Sedangkan variabel output meliputi hasil penjualan produk, hasil penjualan produk samping (by-product) dan hasil pemanfaatan limbah. Tingkat eco-efficiency menggunakan software dan model ECODEA-1, diperoleh DMU yang eko-efisien meliputi DMU 1 (periode 1), DMU 4 (periode 4), DMU 5 (periode 5) dan DMU 6 (periode 6). Sedangkan DMU yang tidak eko-efisien yaitu DMU 2 (periode 2) dan DMU 3 (periode 3) dengan nilai masing-masing sebesar 0,8166605 dan 0,847921. DMU yang paling tidak efisien adalah DMU 2 (periode 2) karena nilai eko-efisiensinya paling kecil. Berdasarkan hasil nilai DMU dan penyebabnya yang mengakibatkan tidak eko-efisien, maka usulan perbaikan yang diberikan yaitu mengurangi pemakaian energi listrik PLN, meningkatkan produksi dan memaksimalkan recycle limbah untuk dimanfaatkan, sehingga dapat meningkatkan pendapatan dan keuntungan perusahaan.

Kata kunci: Eco-efficiency, ECODEA-1, DEA, DMU, Agroindustri.

1. Pendahuluan

Eco-efficiency merupakan salah satu bagian dari Ekologi Industri. Terminologi *eco-efficiency* pertama kali diperkenalkan oleh WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*) pada tahun 1992. *Eco-efficiency* sebagai suatu konsep efisiensi yang memasukkan aspek sumber daya alam dan energi atau suatu proses produksi yang meminimumkan penggunaan bahan baku, air, energi serta dampak lingkungan per unit produk.

Eco-efficiency adalah strategi yang menggabungkan konsep efisiensi ekonomi berdasarkan prinsip efisiensi penggunaan sumber daya alam. *Eco-efficiency* juga dapat diartikan sebagai suatu strategi yang menghasilkan suatu produk dengan kinerja yang lebih baik, dengan menggunakan sedikit energi dan sumber daya alam. Tujuan *eco-efficiency* yaitu untuk mengurangi dampak lingkungan per unit produk yang diproduksi dan dikonsumsi sehingga dapat mencapai keuntungan karena mempunyai daya saing dengan cara mengurangi sumber daya yang diperlukan bagi terbentuknya produk serta pelayanan yang lebih baik [1].

Menurut Basuki [2] *Eco-efficiency* terkait dengan kegiatan yang dilakukan oleh perusahaan untuk menghasilkan barang atau jasa yang bermanfaat dan ramah lingkungan, dan pada saat yang bersamaan dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan dapat mengurangi konsumsi sumber daya. Sebagai alat penting pengukuran keberlanjutan yang akan mencari peningkatan perbaikan lingkungan yang menghasilkan manfaat ekonomi paralel. *Eco-efficiency* berkaitan dengan 3 tujuan umum, yaitu yang berhubungan dengan konsumsi sumber daya, yang berpengaruh pada alam dan nilai produk. *Eco-efficiency ratio* mengungkapkan seberapa efisien aktivitas ekonomi yang berkaitan dengan barang dan jasa. Peningkatan *eco-efficiency* dapat dicapai dengan mengurangi efek lingkungan sekaligus meningkatkan nilai tambah ekonomi bagi produk atau jasa selama siklus hidupnya [3], [9].

Eco-efficiency ratio selanjutnya dihitung dengan menggunakan DEA. Pembobotan setiap efek kategori ditugaskan oleh DEA melalui pemrograman matematika yang teliti. Selain itu, DEA cukup fleksibel untuk menggabungkan berbagai tingkat subjektivitas yang diperlukan [4], [5]. DEA melibatkan penggunaan metode pemrograman linear untuk menyusun sebuah bagian demi bagian

daerah atau wilayah non-parametrik (daerah atau garis batas) atas data tersebut. Pengukuran efisiensi kemudian dihitung relatif terhadap daerah atau wilayah ini. Menurut Ramanathan [6], DEA adalah teknik berbasis program linier untuk mengukur efisiensi unit yang dinamakan Unit Pengambilan Keputusan atau *Decision Making Unit* (DMU). DEA menggunakan teknis program matematis yang dapat menangani variabel dan batasan yang banyak, dan tidak membatasi *input* dan *output* yang akan dipilih karena teknis yang dipakai dapat mengatasinya [7]. Menurut Tatari [4], model DEA dikembangkan menjadi model ECODEA-1 berbasis model CCR. Kuosmanen [5], memperkenalkan pertama kali kelayakan dari model ini untuk perhitungan *eco-efficiency ratio*. Model CCR bertransformasi ke dalam persamaan berikut ini untuk memaksimalkan z atau eko-efisiensi relatif DMU yang dicari. Model ECODEA-1 adalah model utama yang dipakai untuk menghitung nilai *eco-efficiency* tiap unit DMU. DMU dikatakan eko-efisien jika sama dengan 1 ($= 1$) dan tidak eko-efisien jika kurang dari 1 (< 1) [10], [11], [12].

Perusahaan yang menjadi obyek dalam penelitian ini yaitu PG ABC, sebuah agroindustri dengan *output* utama adalah gula produk SHS (*Superieure Hoofd Suiker*), produk samping (*by-product*) berupa tetes dan limbah (padat, gas, cair). Meskipun perusahaan telah berusaha melakukan proses produksi dan pengolahan limbah yang baik, akan tetapi masih terjadi beberapa ketidakekoefisienan seperti pemakaian energi yang masih memakai energi dari PLN sebesar 23,59% dari rata-rata total pemakaian energi. Pada periode yang sama juga terjadi penurunan output gula, sehingga dapat menurunkan tingkat *eco-efficiency*-nya. Untuk itu, diperlukan pengukuran *eco-efficiency* untuk peningkatan nilai *eco-efficiency* perusahaan secara berkesinambungan.

Berdasarkan uraian diatas, maka diperlukan kajian untuk mengukur dan meningkatkan *eco-efficiency* perusahaan dengan menggunakan metode DEA (*Data Envelopment Analysis*). Menurut Ramanathan [6], metode DEA adalah teknik berbasis program linier untuk mengukur efisiensi unit organisasi yang dinamakan *Decision Making Unit* (DMU). Metode DEA yang dipakai dalam kajian ini yaitu model ECODEA-1. Model tersebut bertujuan untuk mengukur *eco-efficiency* DMU. Setelah dilakukan pengukuran *eco-efficiency* dengan menggunakan model ECODEA-1, maka diharapkan perusahaan mendapatkan nilai *eco-efficiency* pada kondisi eksisting. Manfaat lain dari pengukuran *eco-efficiency* ini agar dapat memberikan penilaian terhadap baik buruknya pengelolaan *eco-efficiency* suatu perusahaan, karena dapat diketahui bahwa jika semakin efisien sebuah perusahaan tersebut dapat ditunjukkan dengan semakin minimalnya penggunaan sumber daya utamanya dalam penggunaan sumber daya energi listrik PLN yang pemakaiannya masih relatif tinggi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi aspek-aspek yang berkaitan dengan *eco-efficiency*, menentukan tingkat *eco-efficiency* perusahaan dengan metode DEA, dan memberikan usulan perbaikan untuk peningkatan nilai *eco-efficiency* perusahaan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PG ABC yakni perusahaan agroindustri dengan *output* utama adalah gula produk SHS (*Superieure Hoofd Suiker*), produk samping (*by-product*) berupa tetes dan limbah (padat, gas, cair), pada periode 1 – 6.

Tahapan utama yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi: (1) identifikasi aspek *eco-efficiency*, (2) penentuan tingkat *eco-efficiency*, dan (3) usulan perbaikan untuk peningkatan nilai *eco-efficiency* perusahaan. Tahap identifikasi aspek *eco-efficiency* dilakukan berdasarkan konsep *eco-efficiency* dan kondisi perusahaan. Aspek *eco-efficiency* diperlukan untuk penentuan nilai *eco-efficiency*.

Tahap penentuan tingkat *eco-efficiency* meliputi: (1) pemilihan *Decision Making Unit* (DMU), (2) konversi data *input* dan *output*, (3) penetapan *input* dan *output*, (4) perhitungan *eco-efficiency* relatif tiap DMU, dan (5) penentuan DMU yang eko-efisien dan tidak eko-efisien. Variabel *input* yakni biaya bahan baku tebu dan biaya operasional, sedangkan variabel *output* menjadi *single output* karena model ECODEA-1 yang mengharuskan *output* menjadi *single output*. Menurut Astina [8], menjelaskan bahwa penetapan *output* dengan nilai-nilai *output* berdasarkan hasil konversi *output* adalah dengan menjumlahkan semua variabel *output*.

Tahap perhitungan *eco-efficiency* relatif menggunakan model matematis ECODEA-1 dengan bantuan *software*. Model ECODEA-1 yakni model utama yang dipakai untuk menghitung nilai *eco-efficiency* tiap unit DMU. DMU dikatakan eko-efisien jika sama dengan 1 ($= 1$) dan tidak eko-efisien

jika kurang dari 1 (<1). Model DEA dikembangkan menjadi model ECODEA-1 berbasis model CCR. Model CCR bertransformasi ke dalam Persamaan 1 berikut ini untuk memaksimalkan z atau *eco-efficiency* relatif DMU yang dicari.

$$\begin{aligned} \text{Max} z &= \frac{Y_j}{\sum_{i=1}^m (v_i, x_{ij})} \\ \text{Subject} &\frac{Y_j}{\sum_{i=1}^m (v_i, x_{ij})} \leq 1 \end{aligned} \quad (1)$$

$$V_i \geq 0$$

Dimana notasi yang digunakan dalam model ECODEA-1 adalah:

Indeks : j : DMU, $j = 1, \dots, n$

i : *Input*, $i = 1, \dots, m$

Data : Y_j : Nilai dari *output* dari DMU ke- j

X_{ij} : Nilai dari *input* ke- i dari DMU ke- j

Variabel : V_i : Bobot untuk *input* i

Inverse dari *eco-efficiency ratio* sebagai Persamaan 2 berikut untuk meminimasi z^{-1} atau invers dari z yang berarti eko-efisiensi relatif DMU yang dicari:

$$\begin{aligned} \text{Min} z^{-1} &= \frac{\sum_{i=1}^m (v_i, x_{ij})}{Y_j} \\ \text{Subject} &\frac{\sum_{i=1}^m (v_i, x_{ij})}{Y_j} \geq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$V_i \geq 0$$

Keterangan:

Indeks : j : DMU, $j = 1, \dots, n$

i : *Input*, $i = 1, \dots, m$

Data : Y_j : Nilai *output* dari DMU ke- j

X_{ij} : Nilai dari *input* ke- i dari DMU ke- j

Variabel : V_i : Bobot untuk *input* i

Model matematis ini diselesaikan melalui *linear programming*, dan *eco-efficiency ratio* diperoleh dengan melakukan *inverse* dari z .

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil identifikasi aspek *eco-efficiency* berdasarkan konsep ekologi industri dan *eco-efficiency* serta kondisi perusahaan diperoleh dua variabel yakni variabel *input* dan variabel *output*. Variabel *input* meliputi: (1) biaya bahan baku, dan (2) biaya operasional. Sedangkan variabel *output* meliputi: (1) hasil penjualan produk, (2) hasil penjualan produk samping (*by-product*), dan (3) hasil pemanfaatan limbah.

3.1 Penentuan Tingkat *Eco-Efficiency*

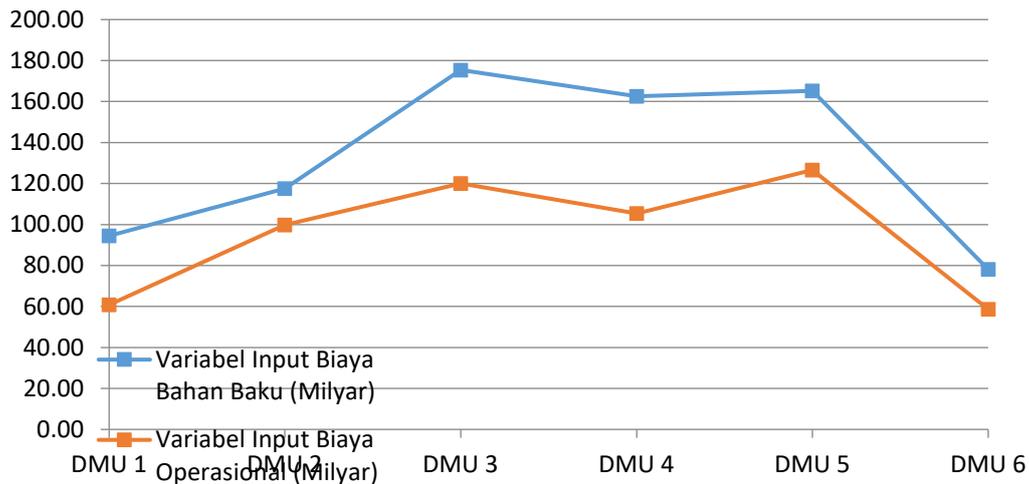
Penentuan tingkat *eco-efficiency* melalui pemilihan *Decision Making Unit* (DMU), konversi data *Input* dan *Output*, penetapan *Input* dan *Output*, perhitungan *eco-efficiency* relatif tiap DMU, penentuan DMU yang eko-efisien dan tidak Eko-efisien.

DMU yang dipilih sesuai periode pengukuran yaitu DMU 1 sampai dengan DMU 6. Hasil konversi data input dan output menjadi variabel input dan output pada DMU 1 – DMU 6 dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

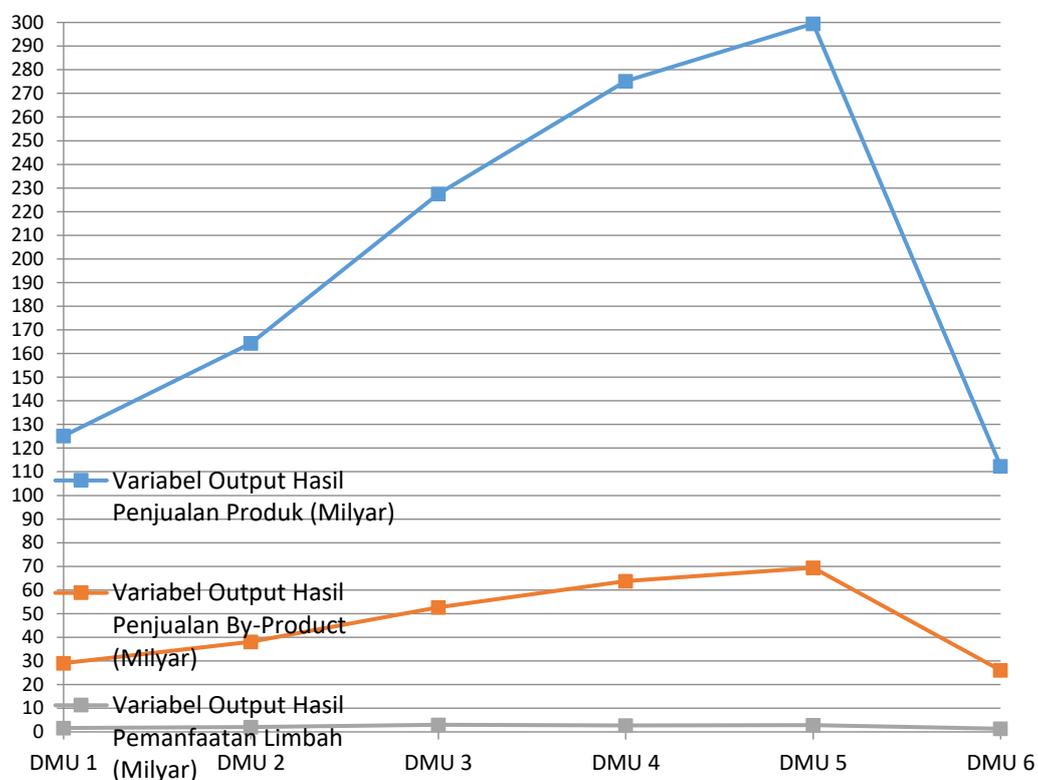
Hasil perhitungan model ECODEA-1 dengan *software*, diperoleh nilai *eco-efficiency* relatif tiap DMU yang dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan bobot masing-masing variabel dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa variabel yang mendapatkan nilai bobot rata-rata yang terbesar adalah variabel biaya operasional sebesar 1,059981. Hal tersebut berarti bahwa variabel biaya operasional memiliki kontribusi atau pengaruh yang kuat dan besar terhadap *Eco-Efficiency*

DMU. Variabel ini memiliki pengaruh yang kuat karena jika perusahaan dapat menurunkan biaya operasional, salah satunya adalah dengan cara mengurangi pemakaian energi listrik PLN dengan menggunakan listrik secara bijaksana seperti mengontrol sikap pegawai untuk menghemat pemakaian listrik, penggantian lampu dengan lampu LED yang lebih hemat energi, mendownkan mesin saat tidak terpakai agar dapat menghemat pemakaian listrik. Sedangkan variabel dengan nilai bobot rata-rata yang terkecil adalah variabel biaya bahan baku sebesar 1,008175. Hal ini berarti variabel biaya bahan baku memiliki pengaruh yang kecil dan lemah terhadap *eco-efficiency* DMU dikarenakan jumlah atau biaya pembelian bahan baku yang digunakan berbanding lurus dengan target produksi, yang berarti jika target produksi menurun maka jumlah atau biaya pembelian bahan baku yang digunakan juga akan menurun dan sebaliknya.



Gambar 1 Variabel input hasil konversi



Gambar 2 Variabel output hasil konversi

Tabel 1 Nilai *Eco-Efficiency* relatif DMU Model ECODEA-1

No.	DMU	<i>Eco-Efficiency</i> Relatif
1	DMU 1	1,000000
2	DMU 2	0,816661
3	DMU 3	0,847921
4	DMU 4	1,000000
5	DMU 5	1,000000
6	DMU 6	1,000000

Tabel 2 Rekapitulasi bobot dan bobot rata-rata variabel masing-masing DMU

Variabel	Bobot Variabel						Bobot Rata-rata
	DMU 1	DMU 2	DMU 3	DMU 4	DMU 5	DMU 6	
Biaya Bahan Baku	1,16218	0,660775	0,690469	1,286655	1,258978	0,989991	1,008175
Biaya Operasional	0,755784	0,99466	0,992606	1,257776	1,293855	1,065206	1,059981
<i>Eco-Efficiency</i>	1,000000	0,8166605	0,847921	1,000000	1,000000	1,000000	

3.2 Penentuan DMU yang Eko-efisien dan Tidak Eko-efisien

Berdasarkan nilai *eco-efficiency* relatif pada Tabel 2, maka dapat ditentukan bahwa DMU yang eko-efisien dan tidak eko-efisien sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 DMU eko-efisien dan tidak eko-efisien

DMU	Eko-efisiensi Relatif	Keterangan
DMU 1	1,000000	Eko-efisien
DMU 2	0,8166605	Tidak Eko-efisien
DMU 3	0,847921	Tidak Eko-efisien
DMU 4	1,000000	Eko-efisien
DMU 5	1,000000	Eko-efisien
DMU 6	1,000000	Eko-efisien

3.3 Usulan Perbaikan untuk Peningkatan Nilai *Eco-Efficiency*

Berdasarkan hasil pengolahan data, maka dapat diketahui DMU-DMU yang tidak eko-efisien, yaitu DMU 2 (periode 2) dan DMU 3 (periode 3). Usulan perbaikan agar DMU yang tidak eko-efisien menjadi eko-efisien adalah mengurangi pemakaian energi listrik PLN dengan cara menggunakan listrik secara bijaksana seperti mengontrol sikap pegawai untuk menghemat pemakaian listrik, penggantian lampu dengan lampu LED yang lebih hemat energi, mendownkan mesin saat tidak terpakai agar dapat menghemat pemakaian listrik, meningkatkan produksi produk dengan cara meningkatkan efisiensi di setiap stasiun yang ada dalam proses produksi agar dapat menghasilkan produk yang lebih besar dan meningkatkan kapasitas produksi, serta memaksimalkan pengolahan limbah untuk di *recycle* untuk dapat dimanfaatkan, sehingga dapat meningkatkan keuntungan perusahaan.

4. Kesimpulan

Aspek-aspek yang berkaitan dengan *eco-efficiency* pada agroindustri yaitu variabel *input* dan variabel *output*. Variabel *input* meliputi: biaya bahan baku dan biaya operasional. Sedangkan variabel *output* meliputi hasil penjualan produk, hasil penjualan produk samping (*by-product*) dan hasil pemanfaatan limbah.

Tingkat *eco-efficiency* berdasarkan hasil perhitungan, pengolahan dan analisis data menggunakan *software* dan model ECODEA-1, diperoleh DMU yang eko-efisien meliputi DMU 1 (periode 1), DMU 4 (periode 4), DMU 5 (periode 5) dan DMU 6 (periode 6). Sedangkan DMU yang tidak eko-efisien yaitu DMU 2 (periode 2) dan DMU 3 (periode 3) dengan nilai masing-masing

sebesar 0,8166605 dan 0,847921. DMU yang paling tidak efisien adalah DMU 2 (periode 2) karena nilai eko-efisiensinya paling kecil.

Berdasarkan hasil nilai DMU dan penyebabnya yang mengakibatkan tidak eko-efisiensi, maka usulan perbaikan yang diberikan yaitu mengurangi pemakaian energi listrik PLN, meningkatkan produksi dan memaksimalkan *recycle* limbah untuk dimanfaatkan, sehingga dapat meningkatkan pendapatan dan keuntungan perusahaan.

Referensi

- [1] Sari, D. P., Hartini, S., Rinawati, D. I., & Wicaksono, T. S., "Pengukuran Tingkat Eko-efisiensi Menggunakan Life Cycle Assessment untuk Menciptakan Sustainable Production di Industri Kecil Menengah Batik", *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 14, No. 2, Pp. 137-144, 2012.
- [2] Basuki, B., *Eco-Efficiency and Sustainable Development as Efforts to Produce Environmentally Friendly Product: An Exploratory Case Study*, *Social and Environmental Accounting*, Vol. 9, No. 3, 2015, Pp. 199-218, 2015.
- [3] WBCSD, World Business Council for Sustainable Development – Cleaner Production and Eco-Efficiency, *Complementary Approaches to Sustainable Development*, UNEP, 2000.
- [4] Tatari, O., and Kucukvar, M. "Eco-Efficiency of Construction Materials: Data Envelopment Analysis.", *Journal of Construction Engineering and Management*, Pp. 733-741, 2012.
- [5] Kuosmanen, T., and Kortelainen, M. "Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis." *J. Ind. Ecol*, 9(4), Pp. 59-72, 2005.
- [6] Ramanathan, R. *An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement*, Sage Publications. New Delhi, 2003.
- [7] Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E. "Measuring the efficiency of decision making units." *European Journal of Operation Research*, Vol. 2, Pp. 429-444, 1978.
- [8] Astina, I. M., & Hariyanto, A. "Kajian Kelayakan Sistem Kogenerasi Turbin Gas Bandara Udara", *KNEP VI 2015*, Vol. 3, No. 1, Pp. 9-20, 2015.
- [9] Pulansari, F. "Pengukuran Efisiensi pada Bagian Produksi Genteng di PT Wisma Wira Jatim Surabaya dengan menggunakan Metode Data Envelopment Analysis (DEA)", *Seminar Nasional Waluyo Jatmiko II FTI-UPN "Veteran" Jawa Timur*, F-1-F11, 2010.
- [10] Singgih, M. L., & Chandra, V. "Pengukuran Efisiensi Jasa Pelayanan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) Dengan Metode Data Envelopment Analysis (DEA)", *Seminar Teknosim, Universitas Gajah Mada Yogyakarta*, Pp. 1-7, 2008.
- [11] Thanassoulis, E. *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: a Foundation Text with Integrated Software*, Kluwer Academic, Massachusetts, 2001.
- [12] Utama, A. H.M., Bahauddin, A., Ferdinant, P. F. "Pengukuran Efisiensi Produksi dengan Metode Data Envelopment Analysis di Divisi Wire Rod Mill", *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 1, No. 3, Pp. 233-238, 2013.