

Usulan Peningkatan Efisiensi Dan Produktivitas Mesin Boiler Dengan Metode *Data Envelopment Analysis* Dan *Malmquist Productivity Index* Di PT. X

Andhita Dianponti Putri Kurnia¹, Achmad Bahauddin², Ratna Ekawati³

^{1, 2, 3}Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

andhita.dianponti@gmail.com¹, baha@ft-untirta.ac.id², ratna_ti@ft-untirta.ac.id³

ABSTRAK

PT. X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang produksi pembuatan gula rafinasi. Proses produksi perusahaan ini tidak lepas dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang diterapkan, dengan pembangkit utamanya adalah mesin Boiler. Permasalahan yang terjadi adalah dalam penggunaan input material yang cukup besar sehingga output yang dihasilkan oleh mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 tergolong tetap dan terkadang menurun. Oleh sebab itu diperlukan suatu pengukuran efisiensi dan produktivitas untuk perbaikan permasalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tingkat efisiensi dan produktivitas mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 dengan menggunakan metode Data Envelopment Analysis (DEA) dan Malmquist Productivity Index (MPI), mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadi penurunan efisiensi dan produktivitas, dan usulan rancangan perbaikan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Penelitian ini dimulai dari mengidentifikasi DMU yang akan diteliti, lalu mengidentifikasi input dan output yang mempengaruhi efisiensi dan produktivitas, kemudian menentukan model DEA yang sesuai, lalu menghitung nilai efisiensi dan produktivitas dengan software Win4DEAP, lalu menentukan faktor penyebab penurunan efisiensi dan produktivitas, merancang usulan perbaikan dan membuat usulan nilai perbaikan. Penelitian ini menghasilkan tingkat efisiensi mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 pada tahun 2013 adalah sebesar 66,67%. Sedangkan tingkat produktivitas mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 pada tahun 2013 mengalami peningkatan. Faktor-faktor yang menyebabkan penurunan efisiensi terkait masalah terhadap manusia, metode, material, mesin dan lingkungan, sedangkan faktor yang menyebabkan penurunan produktivitas adalah faktor perubahan teknologi. Usulan perbaikan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas adalah meningkatkan kualitas dari bahan baku mesin, melakukan pengawasan, melakukan pembersihan area mesin, membuat SOP, melakukan maintenance, sedangkan usulan perbaikan terhadap produktivitas adalah dengan melakukan pembaharuan dari segi teknologi mesin Boiler.

Kata kunci: Efisiensi, Produktivitas, Mesin Boiler, Data Envelopment Analysis (DEA), Malmquist Productivity Index (MPI)

PENDAHULUAN

Pada masa sekarang perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat. Peranan dari kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk meningkatkan proses produksi yang efisien dan produktif agar kinerja perusahaan meningkat. Ketatnya persaingan suatu usaha membuat perusahaan harus memiliki strategi dalam mengatur sumber daya yang ada dengan baik. Menurut Nasution (2006) dalam Hakim (2010), pengukuran efisiensi dan produktivitas penting dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi dan produktivitas dari proses bisnis yang telah dijalankan oleh perusahaan, sehingga akan diketahui terjadi peningkatan atau penurunan. Peningkatan produktivitas merupakan motor penggerak kemajuan ekonomi dan keuntungan perusahaan.

PT. X adalah perusahaan yang bergerak di bidang produksi pembuatan gula rafinasi. Proses produksi perusahaan ini tidak lepas dari sistem Pembangkit Listrik

Tenaga Uap (PLTU) yang diterapkan, dengan pembangkit utamanya adalah mesin Boiler. Permasalahan yang sering terjadi pada mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 yaitu penggunaan *input* material yang cukup besar sedangkan hasil *output* yang dihasilkan oleh mesin tersebut tergolong tetap dan terkadang menurun. Selama ini, perusahaan mengukur kinerja mesin tersebut secara sederhana berdasarkan perbandingan *input* dan *output* saja. Sehingga perusahaan tidak dapat mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap efisiensi dan produktivitas produksi. Pada penelitian ini diusulkan suatu metode untuk pengukuran efisiensi dan produktivitas produksi dengan menggunakan metode *Data Envelopment Analysis* (DEA) dan *Malmquist Productivity Index* (MPI). Dengan menggunakan metode ini, perusahaan dapat mengukur kinerja efisiensi, produktivitas dan mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi dan produktivitas tersebut.

Adapun tujuan penelitian ini adalah menentukan tingkat efisiensi dan produktivitas mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 dengan menggunakan metode *Data Envelopment Analysis* (DEA) dan *Malmquist Productivity Index* (MPI), mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadi penurunan efisiensi dan produktivitas, dan usulan rancangan perbaikan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan tingkat efisiensi dan produktivitas, pada mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 dengan metode DEA dan MPI. Sebelum dilakukannya perhitungan DEA dan MPI, pertama-tama yang harus dilakukan adalah dengan mengidentifikasi DMU (*Decision Making Unit*) yang akan diteliti. Pada penelitian ini DMU yang dianalisis adalah terhadap bulan berlangsungnya proses produksi energi selama tahun 2013. Setelah mengidentifikasi DMU yang diteliti, langkah kedua adalah mengidentifikasi input dan output yang mempengaruhi efisiensi produksi. Variabel input yang digunakan sebanyak 3 variabel yang terdiri dari penggunaan batubara, *condensate water* dan *chemical*, sedangkan variabel output sebanyak 1 yaitu hasil produksi dari mesin Boiler yang berupa steam.

Langkah ketiga adalah menentukan model DEA yang sesuai, model DEA yang digunakan dengan pendekatan asumsi VRS *output oriented*. Pemilihan pendekatan dengan asumsi ini didasarkan bahwa perusahaan tidak beroperasi pada skala yang optimal dikarenakan *output* yang dihasilkan cenderung tetap ataupun menurun terhadap peningkatan jumlah *input*. Sedangkan, *output oriented* dipilih karena perusahaan menginginkan hasil *output* yang meningkat dengan jumlah *input* tetap ataupun menurun. Dalam perhitungan DEA model VRS terdapat 3 unsur nilai yang diperhitungkan yaitu nilai TE_{CRS} , TE_{VRS} dan nilai SE. Nilai SE ini akan menunjukkan apakah DMU beroperasi dengan optimal atau tidak. Dikatakan optimal bila nilai $TE_{VRS} > SE$, dan tidak optimal bila nilai $TE_{VRS} < SE$. Perhitungan nilai TE_{CRS} menggunakan model CCR *output oriented* dengan model rumus primal sedangkan perhitungan nilai TE_{VRS} menggunakan model BCC *output oriented* dengan model rumus dual. Model primal dan model dual pada prinsipnya akan menghasilkan nilai yang sama terhadap nilai TE yang dihitung, yang membedakannya adalah model dual dalam batasan masalah menggunakan data terkait input dan output, sedangkan pada model primal menggunakan batasan masalah berdasarkan data dari setiap DMU dan model dual dapat pula menghasilkan nilai slack input dan output. Sehingga pada penelitian ini pada perhitungan TE_{VRS} menggunakan perhitungan model dual karena penelitian ini lebih berfokus kepada asumsi VRS.

Langkah keempat adalah menghitung efisiensi dan produktivitas dengan menggunakan *software* Win4DEAP. Setelah mengetahui tingkat efisiensi maupun produktivitas dari mesin Boiler Wuxi 1 dan 2, hal yang dilakukan selanjutnya adalah dengan

menentukan faktor penyebab penurunan efisiensi dan produktivitas dengan menggunakan tools diagram sebab akibat. Lalu, merancang suatu usulan perbaikan dengan tools 5W+1H dan membuat usulan nilai perbaikan yang ingin dicapai.

Berikut ini adalah penjelasan terkait metode-metode yang digunakan:

Data Envelopment Analysis (DEA)

Menurut Ramanathan (2003), metode DEA merupakan suatu metode analisis non parametrik yang khusus digunakan untuk mengukur efisiensi unit kegiatan ekonomi yang dinamakan *Decision Making Unit* (DMU). Sedangkan menurut Purwantoro (2006) dalam Primatami (2012), DEA merupakan teknik pemrograman matematis yang digunakan untuk mengevaluasi efisiensi relatif dari sekumpulan unit pembuat keputusan dalam mengelola *input* menjadi *output*. Metode DEA mampu menganalisis banyak *input* dan banyak *output* (*multi input-multi output*) dengan menggunakan program linier guna menghasilkan nilai efisiensi tunggal untuk setiap DMU. Terdapat 2 model DEA yaitu model dengan asumsi CRS dan VRS.

Pada model CRS mengasumsikan bahwa rasio antara penambahan *input* dan *output* adalah sama. Artinya, jika ada tambahan *input* sebesar x kali, maka *output* akan meningkat sebesar x kali juga. Asumsi lain yang digunakan dalam model ini adalah bahwa setiap perusahaan atau DMU beroperasi pada skala optimal.

Ada 2 pendekatan dalam model CCR, yaitu *input oriented* dan *output oriented*, yang dapat diperlihatkan dari rumus berikut ini (Cooper et al, 2011) :

Input-Oriented	
Envelopment model (Dual)	Multiplier model (Primal)
$\min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$	$\max z = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro}$
<p><i>Subject to</i></p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{io}$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{ro}$ $\lambda_j \geq 0$	<p><i>Subject to</i></p> $\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$ $\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$ $\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$

Output-Oriented	
Envelopment model (Dual)	Multiplier model (Primal)
$\max \varphi + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$	$\min q = \sum_{i=1}^m x_{io} v_i$
<p><i>Subject to</i></p> $\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{io}$ $\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \varphi y_{ro}$ $\lambda_j \geq 0$	<p><i>Subject to</i></p> $\sum_{i=1}^m x_{ij} v_i - \sum_{r=1}^s y_{rj} \mu_r \geq 0$ $\sum_{i=1}^m y_{ro} \mu_r = 1$ $\mu_r, v_i \geq \varepsilon > 0$

Pada model Asumsi VRS rasio antara penambahan *input* dan *output* tidak sama. Artinya penambahan *input* sebesar x kali, bisa lebih kecil atau lebih besar dari x kali

Ada 2 pendekatan dalam model BCC, yaitu input oriented dan output oriented, yang dapat diperlihatkan dari rumus berikut ini (Luptacik, 2010):

<i>Input-Oriented</i>	
<i>Envelopment model (Dual)</i>	<i>Multiplier model (Primal)</i>
$\min g_0(\theta) = \theta$ Subject to $\sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j \leq \theta x_{io}$ $\sum_{j=1}^n y_{rj}\lambda_j \geq y_{ro}$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1,$ $\lambda_j \geq 0$	$\max w_0(\mu, z) = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} + \mu_0$ Subject to $\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \mu_0 \leq 0$ $\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1$ $\mu_r, v_i \geq 0$
(3)	
<i>Output-Oriented</i>	
<i>Envelopment model (Dual)</i>	<i>Multiplier model (Primal)</i>
$\max q_0 = \varphi + \varepsilon$ $\left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$ Subject to $\sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j + s_i^- = x_{io}$ $\sum_{j=1}^n y_{rj}\lambda_j - s_r^+ = \varphi y_{ro}$ $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ $\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0$	$\min f_0(v, v_0) = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} + v_0$ Subject to $- \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + v_0 \geq 0$ $\sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} = 1$ $\mu_r, v_i \geq \varepsilon$ $v_0 \text{ free}$
(4)	

Dimana:

- $\theta, w_0, g_0, \varphi$ = nilai efisiensi untuk DMU yang diamati
- $j = \text{DMU}, j = 1, \dots, n$
- λ = bobot lambda
- $k = \text{DMU yang sedang diteliti}$
- $s_i^- = \text{input slack}$
- $s_r^+ = \text{output slack}$
- ε = elemen non-Archimedes lebih kecil daripada bilangan real positif
- $s = \text{jumlah pengukuran output}$
- $m = \text{jumlah pengukuran input}$
- $i = \text{input}, i = 1, \dots, m$
- $r = \text{output}, r = 1, \dots, s$
- $v_i = \text{bobot input}$
- $\mu_r = \text{bobot output}$

Berikut ini adalah formula dari *Scale Efficiency* (SE):

$$SE = \frac{TE_{CRS}}{TE_{VRS}} \quad (5)$$

Dimana :

- SE = *scale efficiency* ≤ 1
- TE_{CRS} = nilai efisiensi model CRS
- TE_{VRS} = nilai efisiensi model VRS

Produktivitas

Pengertian produktivitas dikemukakan dengan menunjukkan rasio output terhadap input. Input dapat

mencakup biaya produksi dan peralatan. Sedangkan output bisa terdiri dari penjualan, pendapatan, market share, dan kerusakan. Produktivitas merupakan suatu kombinasi dari efektivitas dan efisiensi. Efektivitas berkaitan dengan output yang diharapkan sesuai target. Sedangkan efisiensi berkaitan dengan penggunaan sumberdaya yang seminimal mungkin dengan hasil yang maksimal, sehingga produktivitas dapat dirumuskan (Gaspersz, 1998) dalam (Sahupala, 2012).

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Output yang dihasilkan}}{\text{Input yang digunakan}} = \frac{\text{Efektivitas}}{\text{Efisiensi}} \quad (6)$$

Pengukuran *Total Factor Productivity* (TFP)

TFP diartikan sebagai salah satu ukuran pertumbuhan kinerja produktivitas yang ditunjukkan dari kelebihan pertumbuhan *output* nilai tambah setelah sumber daya dikeluarkan (Sulthani, 2011 :11) dalam (Sahupala, 2012). Proxy TFP adalah perbandingan *output* terhadap *input*. Dengan demikian, indikator TFP adalah rasio antara efektivitas pencapaian tujuan pada tingkat kualitas tertentu (*output*) dan efisiensi penggunaan sumber daya (*input*). TFP dapat diartikan pula sebagai ukuran produktivitas yang melibatkan semua faktor produksi. Indeks TFP mengukur perubahan total *output* yang dihasilkan relatif terhadap perubahan atas seluruh *input* yang digunakan. Pada penelitian ini pengukuran nilai TFP menggunakan metode MPI, berikut ini adalah rumus dari metode MPI:

$$M^{Fare}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\frac{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^t(x^t, y^t)} x \frac{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$\frac{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^t(x^t, y^t)} x \left[\frac{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D_c^t(x^t, y^t)}{D_c^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (8)$$

(EFFCH_c) (TECHCH_c)

Biasanya, jika VRS diasumsikan maka ada nilai SE yang mewakili efisiensi skala

$$D_c(x, y) = D_v(x, y) x SE(x, y) \quad (9)$$

Berdasarkan Persamaan 6, (Fare *et al*, 1994) dalam (Yang, 2007) lanjut menurunkan istilah EFFCH menjadi dua komponen bawah untuk frontier VRS, yaitu murni perubahan efisiensi teknis (PEFFCH) dan skala perubahan efisiensi (SCH).

$$\frac{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^t(x^t, y^t)} = \frac{D_b^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_b^t(x^t, y^t)} x \frac{SE^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{SE^t(x^t, y^t)} \quad (10)$$

(PEFFCH_v) (SCH)

Akhirnya, indeks perubahan *Malmquist* TFP untuk asumsi VRS, didekomposisikan sebagai berikut:

$$M^{Fare}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = PEFFCH_v x SCH x TECHCH_c \quad (11)$$

Keterangan:

EFFCH = *Technical Efficiency Change (relative to CRS technology)*, perubahan tingkat efisiensi teknikal (berdasarkan asumsi CRS)

TECHCH = *Technological Change*, perubahan kemampuan manajemen dalam menjalankan operasi perusahaan (adanya perubahan prosedur, manajemen biaya, atau bentuk operasi perusahaan untuk meningkatkan efisiensi).

PECH = *Pure Technical Efficiency Change (Relative to a VRS technology)*, perubahan tingkat efisiensi teknikal (berdasarkan asumsi VRS).

SECH = *Scale Efficiency Change*, perubahan tingkat efisiensi skala operasi

TFPCH = *Total Factor Productivity (TFP) Change*, perubahan faktor produktivitas total (gabungan antara efisiensi teknikal dan efisiensi skala).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan yang telah dilakukan maka akan menghasilkan suatu hasil dan pembahasan sebagai berikut ini:

1. Hasil tingkat efisiensi Boiler Wuxi 1

Tabel 1 Hasil Efisiensi Mesin Boiler Wuxi 1

DMU	TE _{CRS}	TE _{VRS}	SE	Returns to Scale	Indikator	Keterangan
Januari	0.885	0.99	0.894	DRS	TE _{VRS} > SE	efisien
Februari	0.933	0.935	0.998	DRS	TE _{VRS} < SE	inefisien
Maret	0.916	0.986	0.929	DRS	TE _{VRS} > SE	efisien
April	0.94	0.944	0.996	DRS	TE _{VRS} < SE	inefisien
Mei	1	1	1	-	TE _{VRS} = SE	efisien
Juni	1	1	1	-	TE _{VRS} = SE	efisien
Juli	0.908	0.922	0.984	DRS	TE _{VRS} < SE	inefisien
Agustus	0.909	0.91	0.999	DRS	TE _{VRS} < SE	inefisien
September	1	1	1	-	TE _{VRS} = SE	efisien
Oktober	0.951	1	0.951	DRS	TE _{VRS} > SE	efisien
November	0.968	1	0.968	DRS	TE _{VRS} > SE	efisien
Desember	1	1	1	-	TE _{VRS} = SE	efisien
Mean	0.951	0.974	0.977			

Pada tingkat efisiensi mesin Boiler Wuxi 1 selama satu tahun terdapat 4 bulan yang mengalami inefisien dan 8 bulan yang mencapai efisien. Bulan yang mengalami inefisien yaitu pada bulan Februari, April, Juli dan Agustus, hal tersebut dikarenakan nilai TE_{VRS} < SE. Oleh karena itu efisiensi mesin Boiler Wuxi 1 selama satu tahun yaitu sebesar 66,67%. Pada keempat bulan tersebut mesin Boiler Wuxi 1 mengalami *Decreasing Return to Scale* (DRS) atau dapat diartikan sebagai peningkatan jumlah seluruh *input* akan menghasilkan peningkatan *output* yang kecil. Sehingga keempat bulan tersebut yang akan dibuat rancangan perbaikannya.

Diantara 8 bulan yang efisien terdapat 4 bulan yang mengalami *Most Productive Scale Size* (MPSS) atau suatu DMU mengalami efisiensi pada kedua model, baik pada model CCR maupun BCC. Dengan kata lain DMU

tersebut efisien secara global dan efisien secara lokal. Keempat DMU yang mengalami MPSS yaitu pada bulan Mei, Juni, September dan Desember. Hasil ini jika dibandingkan dengan nilai efisiensi real di perusahaan terdapat perbedaan. Hasil dari perusahaan memperlihatkan terdapat 12 DMU yang inefisien. Hal ini disebabkan dalam pengukuran efisiensi dari perusahaan hanya melihat dari 1 faktor efisiensi yaitu hasil *output* produksi yang hanya dibandingkan dengan *input* penggunaan batubara. Sedangkan faktor-faktor *input* lainnya yang juga memiliki peranan penting dalam efisiensi mesin Boiler yaitu penggunaan *condensate water* dan penggunaan *chemical* tidak diperhitungkan.

2. Hasil tingkat efisiensi Boiler Wuxi 2

Tabel 2 Hasil Efisiensi Mesin Boiler Wuxi 2

DMU	TE _{CRS}	TE _{VRS}	SE	Returns to Scale	Indikator	Keterangan
Januari	0.921	0.922	0.999	DRS	TE _{VRS} < SE	Inefisien
Februari	0.893	0.899	0.993	DRS	TE _{VRS} < SE	Inefisien
Maret	0.923	1	0.923	DRS	TE _{VRS} > SE	Efisien
April	1	1	1	-	TE _{VRS} = SE	Efisien
Mei	1	1	1	-	TE _{VRS} = SE	Efisien
Juni	0.907	0.907	1	-	TE _{VRS} < SE	Inefisien
Juli	0.94	0.957	0.982	DRS	TE _{VRS} < SE	Inefisien
Agustus	0.998	1	0.998	DRS	TE _{VRS} > SE	Efisien
September	0.913	1	0.913	IRS	TE _{VRS} > SE	Efisien
Oktober	1	1	1	-	TE _{VRS} = SE	Efisien
November	0.915	0.972	0.941	DRS	TE _{VRS} > SE	Efisien
Desember	1	1	1	-	TE _{VRS} = SE	Efisien
Mean	0.951	0.971	0.979			

Pada mesin Boiler Wuxi 2 selama satu tahun terdapat 4 bulan yang mengalami inefisien dan 8 bulan yang mencapai efisien. Bulan yang mengalami inefisien yaitu pada bulan Januari, Februari, Juni dan Juli, sehingga nilai efisiensi mesin Boiler Wuxi 1 selama tahun 2013 yaitu sebesar 66,67%. Dari keempat bulan yang inefisien terdapat tiga bulan yang mengalami DRS, yaitu pada bulan Januari, Februari, dan Juli. Dari keempat bulan yang inefisien tersebut akan dibuat rancangan perbaikannya.

Diantara 8 bulan yang efisien terdapat 5 bulan yang mengalami MPSS yaitu, pada bulan April, Mei, Juni, Oktober dan Desember. Hasil ini jika dibandingkan dengan nilai efisiensi real di perusahaan terdapat perbedaan. Hasil dari perusahaan memperlihatkan dari 12 DMU yang diukur terdapat 2 DMU yang mencapai efisien yaitu pada bulan April dan Oktober. Hal tersebut terbukti dengan perhitungan nilai efisiensi dengan metode DEA yang mencapai efisiensi dan termasuk dalam kategori MPSS.

Pada metode DEA dikatakan efisien atau inefisien, dengan melihat perbandingan dari seluruh DMU yang diamati dan dari unsur *input-output* yang menunjang dari suatu DMU. Sedangkan dikatakan efisien dan inefisien dari penilaian perusahaan hanya melihat dari nilai perbandingan *output* dan *input* pada DMU yang diamati dan dibandingkan dengan target yang dimiliki oleh perusahaan.

3. Hasil tingkat produktivitas Boiler Wuxi 1

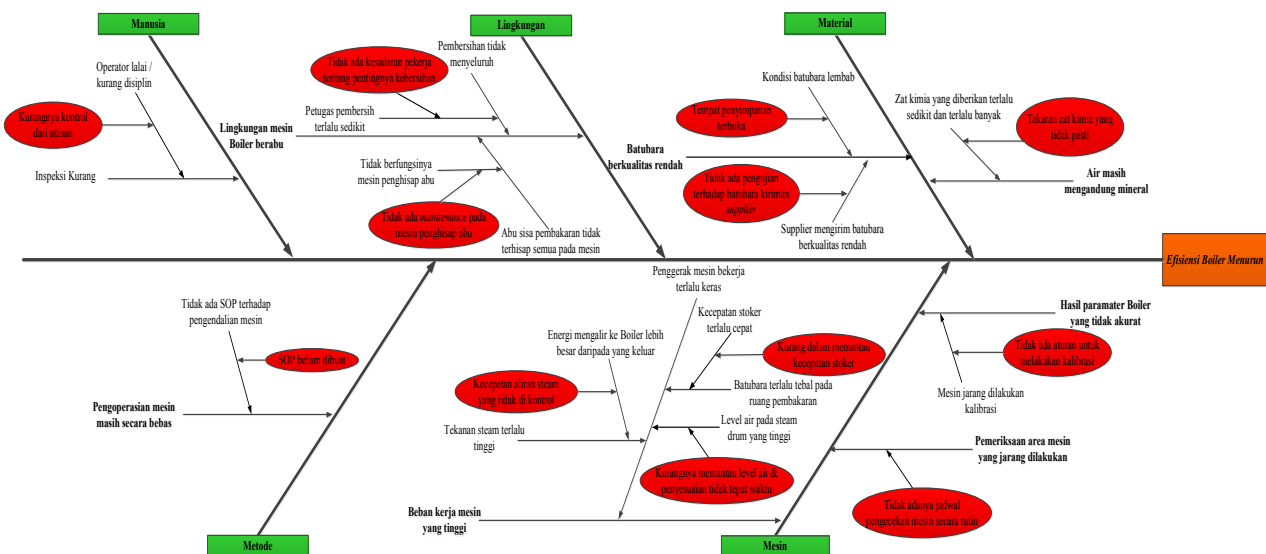
Tabel 3. Hasil Malmquist Index TFPC Boiler Wuxi 1 Periode Jan-Des 2013

Period	EFFCH	TECHCH	PECH	SECH	TFPCH	Keterangan
Jan-Feb	1	1.295	1	1	1.295	Produktif
Feb-Mar	1	1.096	1	1	1.096	Produktif
Mar-Apr	1	1.067	1	1	1.067	Produktif
Apr-Mei	1	1.363	1	1	1.363	Produktif
Mei-Jun	1	0.551	1	1	0.551	Tdk. Produktif
Jun-Jul	1	1.009	1	1	1.009	Produktif
Jul-Agust	1	0.951	1	1	0.951	Tdk. Produktif
Agust-Sep	1	1.532	1	1	1.532	Produktif
Sep-Okt	1	0.702	1	1	0.702	Tdk. Produktif
Okt-Nov	1	1.29	1	1	1.29	Produktif
Nov-Des	1	1.378	1	1	1.378	Produktif
Mean	1	1.069	1	1	1.069	Produktif

Hasil penelitian pada mesin Boiler Wuxi 1 menunjukkan bahwa selama tahun 2013 rata-rata mesin mengalami peningkatan produktivitas sebesar 6,9%. Pertumbuhan TFP positif terlihat dari nilai TFPCH > 1 yang terjadi pada selang periode Januari hingga Mei, selang periode Juni hingga Juli, selang periode Agustus hingga September, dan selang periode Oktober hingga Desember. Sedangkan penurunan TFP yang dialami mesin Boiler terjadi akibat adanya perubahan teknologi yang terjadi pada selang periode Mei hingga Juni dengan penurunan teknologi sebesar 44,9%, selang periode Juli hingga Agustus dengan penurunan teknologi sebesar 4,9%, dan selang periode September hingga Oktober dengan penurunan teknologi sebesar 29,8%. Penurunan TFP ini terlihat dari nilai TFPCH < 1.

5. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi dan produktivitas

Penurunan yang terjadi pada tingkat efisiensi maka akan dilakukan analisis terhadap faktor penyebab yang mempengaruhinya dengan tools diagram sebab akibat.



Gambar 1 Diagram Sebab Akibat Penurunan Efisiensi Mesin Boiler

4. Hasil tingkat produktivitas Boiler Wuxi 2

Tabel 4. Hasil Malmquist Index TFPC Boiler Wuxi 2 Periode Jan-Des 2013

Period	EFFCH	TECHCH	PECH	SECH	TFPCH	Keterangan
Jan-Feb	1	1.275	1	1	1.275	Produktif
Feb-Mar	1	1.114	1	1	1.114	Produktif
Mar-Apr	1	1.168	1	1	1.168	Produktif
Apr-Mei	1	0.939	1	1	0.939	Tdk. Produktif
Mei-Jun	1	0.697	1	1	0.697	Tdk. Produktif
Jun-Jul	1	0.984	1	1	0.984	Tdk. Produktif
Jul-Agust	1	1.004	1	1	1.004	Produktif
Agust-Sep	1	1.429	1	1	1.429	Produktif
Sep-Okt	1	0.85	1	1	0.85	Tdk. Produktif
Okt-Nov	1	1.052	1	1	1.052	Produktif
Nov-Des	1	2.124	1	1	2.124	Produktif
Mean	1	1.102	1	1	1.102	Produktif

Hasil penelitian pada mesin Boiler Wuxi 2 menunjukkan bahwa selama tahun 2013 rata-rata mesin mengalami peningkatan produktivitas sebesar 10,2%. Pertumbuhan TFP positif terlihat dari nilai TFPCH > 1 yang terjadi pada selang periode Januari hingga April, selang periode Juli hingga September dan selang periode Oktober hingga Desember. Sedangkan penurunan TFP terlihat pada selang periode April hingga Mei dengan penurunan teknologi sebesar 6,1%, selang periode Mei hingga Juni dengan penurunan teknologi sebesar 30,3%, selang periode Juni hingga Juli dengan penurunan teknologi sebesar 1,6%, dan selang periode September hingga Oktober dengan penurunan teknologi sebesar 15%. Penurunan TFP ini terlihat dari nilai TFPCH < 1.

Berikut ini adalah diagram sebab akibat dari penurunan efisiensi mesin Boiler:

Pada gambar 1 diatas merupakan diagram untuk mengetahui sebab dari penurunan tingkat efisiensi mesin Boiler. Dalam diagram sebab akibat ini terdapat beberapa faktor yang diteliti yaitu faktor manusia, lingkungan, material, metode dan mesin. Dari faktor manusia yang mempengaruhi adalah kurangnya inspeksi, hal ini dikarenakan kurangnya kontrol dari atasan terhadap operator yang laai.

Dari faktor lingkungan yang mempengaruhi adalah petugas pembersih terlalu sedikit, hal ini dikarenakan tidak ada kesadaran pekerja tentang pentingnya kebersihan dan faktor lain yang mempengaruhi lingkungan adalah abu sisa pembakaran tidak terhisap semua pada mesin, hal ini dikarenakan tidak ada maintenance pada mesin penghisap debu.

Dari faktor material yang mempengaruhi adalah batubara berkualitas rendah, hal ini dikarenakan tempat penyimpanan yang terbuka, dan tidak ada pengujian terhadap batubara kiriman supplier. Faktor lain yang mempengaruhi material adalah air masih mengandung mineral, hal ini dikarenakan takaran zat kimia yang tidak pasti. Dari faktor metode yang mempengaruhi adalah pengoperasian mesin masih secara bebas, hal ini dikarenakan SOP yang belum dibuat.

Dari faktor mesin yang mempengaruhi adalah beban kerja mesin yang tinggi, hal ini dikarenakan kecepatan aliran steam yang tidak di kontrol, kurang dalam memantau kecepatan stoker, kurangnya memantau level air dan penyesuaian tidak tepat waktu. Faktor lain yang mempengaruhi mesin adalah hasil parameter boiler yang tidak akurat, hal ini dikarenakan tidak ada aturan untuk melakukan kalibrasi. Dan faktor lain yang mempengaruhi mesin adalah pemeriksaan area mesin yang jarang dilakukan hal ini dikarenakan tidak adanya jadwal pengecekan mesin secara rutin.

Faktor-faktor yang mempengaruhi dari produktivitas sendiri adalah dari unsur perubahan teknologi, karena terlihat dari perhitungan terhadap metode MPI terjadi peningkatan dan penurunan pada nilai perubahan teknologi. Unsur lainnya baik perubahan nilai efisiensi dan perubahan nilai efisiensi skala dan perubahan efisiensi teknis murni cenderung tetap.

6. Usulan Rancangan Perbaikan

Faktor-faktor penyebab yang telah dianalisa dengan menggunakan tools diagram sebab akibat, maka diperlukan rancangan perbaikan dengan tools 5W+1H. Berikut ini adalah rancangan perbaikan dengan 5W+1H terhadap penurunan efisiensi mesin Boiler:

Tabel 5 Rancangan Perbaikan Untuk Peningkatan Efisiensi Mesin Boiler

NO	Faktor	What	Why	Where	When	Who	How
Material							
1	Takaran zat kimia yang tidak pasti	Melakukan perbaikan, perawatan pada kualitas air dan penentuan takaran secara tepat.	Agar tidak menimbulkan kerak dan korosi yang dapat menimbulkan masalah-masalah pada mesin Boiler dan agar hasil kualitas Steam yang dihasilkan baik.	Dibagian <i>Demin Plant</i>	Ketika mesin beroperasi	Divisi <i>Power Plant</i> dan Divisi QC	Membuat suatu takaran zat kimia yang tepat berdasarkan dari kondisi mesin dan kualitas air.
2	Tempat penyimpanan terbuka	Melakukan perbaikan gudang dan pemindahan batubara	Agar proses produksi steam pada mesin Boiler berjalan dengan lancar karena jika batubara tidak sesuai maka mesin Boiler tidak berjalan	Dibagian <i>Power Plant</i> dan gudang batubara	Ketika batubara sampai di kawasan Pabrik	Divisi <i>Power Plant</i> dan QC	Membuat suatu tempat penyimpanan yang tertutup, dan memindahkan batubara pada bagian tengah di area gudang penyimpanan yang tertutup.
3	Tidak ada pengujian terhadap batubara kiriman supplier	Melakukan pengecekan atau pengujian kualitas batubara	Agar hasil produksi steam jauh lebih banyak dan dengan kualitas yang maksimal, sehingga tidak terjadi pemborosan dan kerusakan pada mesin Boiler	Dibagian <i>Power Plant</i> dan gudang batubara	Ketika batubara sebelum dan sampai di kawasan Pabrik	Divisi <i>Power Plant</i> dan QC	Melakukan pengecekan atau pengujian terhadap kualitas batubara pada saat sebelum dan sampainya batubara pada area pabrik. Bila pada saat sampainya batubara tersebut dalam kualitas buruk segera melakukan pengajuan klaim terhadap supplier.
Lingkungan							
4	Tidak ada <i>maintenance</i> pada mesin penghisap abu	Melakukan perawatan dan perbaikan	Agar debu hasil pembakaran tidak mengotori area mesin Boiler, dan agar mesin Boiler tidak mengalami kerusakan akibat adanya abu.	Dibagian mesin Boiler	Ketika mesin beroperasi	Operator Divisi <i>Power Plant</i> dan P2M	Melakukan <i>maintenance</i> dan perbaikan pada alat yang berfungsi sebagai penampung atau penyalur abu hasil pembakaran setiap 4 bulan sekali agar abu tidak berhamburan pada area mesin Boiler.
5	Tidak ada kesadaran pekerja tentang pentingnya kebersihan	Pembersihan abu dan melakukan kebijakan kebersihan area mesin Boiler	Agar mesin Boiler tidak mengalami kerusakan akibat adanya abu.	Dibagian mesin Boiler	Ketika mesin beroperasi	Divisi <i>Power Plant</i>	Menetapkan kebijakan pentingnya kebersihan area mesin. Melakukan pembersihan pada area lingkungan mesin Boiler apabila adanya abu, melakukan pengecekan terkait mesin-mesin yang dikawatirkan akan terkena abu.
Manusia							
6	Kurangnya kontrol dari atasan	Menetapkan aturan dan pemberian peringatan	Agar proses produksi steam pada mesin Boiler berjalan dengan baik.	Dibagian mesin Boiler	Ketika mesin beroperasi	Divisi <i>Power Plant</i>	Memberlakukan peraturan terhadap kedisiplinan operator untuk bekerja lebih baik dan disiplin. Atasan melakukan pengawasan dan melakukan teguran pada operator yang kurang disiplin
Mesin							
7	Tidak ada aturan untuk melakukan kalibrasi	Melakukan perawatan terhadap mesin	Agar hasil parameter dari mesin Boiler sesuai dengan keadaan yang sesungguhnya.	Dibagian mesin Boiler	Ketika mesin dilakukan <i>maintenance</i>	Operator Divisi <i>Power Plant</i> dan P2M	Melakukan kalibrasi kepada mesin pada saat <i>maintenance</i> , dan pada saat mesin memperlihatkan suatu hasil yang berbeda antara parameter di mesin dan diruang pengontrolan.
8	Tidak adanya jadwal pengecekan mesin secara rutin	Menerapkan jadwal monitoring terhadap mesin.	Agar menjaga mesin tetap prima dan tidak mengalami kendala pada saat proses produksi Steam berlangsung.	Dibagian mesin Boiler	Ketika mesin beroperasi	Operator Divisi <i>Power Plant</i>	Dibuat jadwal monitoring dan perkembangan kondisi mesin yang mengalami rawan masalah
9	Kurang dalam memantau kecepatan stoker	Melakukan pengontrolan dan pengoperasian secara tepat	Agar mesin dapat bekerja dengan lancar dan tidak berhenti secara tiba-tiba karena beban yang tinggi, dan tidak ada pemborosan bahan bakar sehingga menghasilkan hasil yang maksimal	Dibagian mesin Boiler	Ketika mesin beroperasi	Operator Divisi <i>Power Plant</i>	Selalu memperhatikan ketebalan batubara dan kecepatan stoker pada kondisi ketebalan batubara tertentu. Memastikan posisi batubara berada ditengah pada jalur stoker agar pembakaran dapat secara merata dan kecepatan dapat stabil
10	Kurangnya memantau level air & penyesuaian tidak tepat waktu	Pemantauan level air dan pengoperasian secara tepat	Agar tidak mengakibatkan uap basah masuk menuju turbin yang akan merusak turbin dan membuat kerja mesin semakin berat	Dibagian mesin Boiler dan di ruang pengontrolan mesin Boiler	Ketika mesin beroperasi	Operator Divisi <i>Power Plant</i>	Melakukan pengeluaran steam sehingga steam menjadi berkurang dengan mengatur <i>safety valve</i> . Melakukan pemantauan level air setiap 1 jam sekali, dan melakukan pengoperasian secara tepat.
11	Kecepatan aliran steam yang tidak di kontrol	Pemantauan dan pengaturan kecepatan steam	Agar membuat kinerja mesin Boiler tidak berat dan tidak merusak mesin akibat tekanan yang tinggi	Dibagian mesin Boiler dan di ruang pengontrolan mesin Boiler	Ketika mesin beroperasi	Operator Divisi <i>Power Plant</i>	Melakukan pengaturan kecepatan aliran steam dengan menggunakan kran pada mesin dan memantau dengan alat pemantau tekanan setiap 1 jam sekali.
Metode							
12	SOP belum dibuat	Melakukan pengoperasian mesin secara baik dengan petunjuk-petunjuk yang ada	Agar mesin jauh lebih efisien karena dengan pengawasan yang baik maka akan dapat melakukan penghematan terhadap bahan bakar dan hasil steam yang jauh lebih baik	Dibagian mesin Boiler	Ketika mesin beroperasi	Operator Divisi <i>Power Plant</i>	Membuat SOP terhadap permasalahan yang sering terjadi, baik terhadap air, batubara dan tekanan aliran steam.

7. Usulan nilai perbaikan yang ingin dicapai Setelah melalui rancangan perbaikan melalui penelusuran penyebab menurunnya nilai efisiensi mesin Boiler dengan menggunakan diagram sebab akibat dan dengan menggunakan perbaikan 5W+1H. Usaha untuk memperbaiki *input-output* dilakukan agar DMU yang inefisien menjadi efisien. Perbaikan variabel *input* dan *output* pada DMU yang inefisien tersebut dibandingkan dengan *peer group* nya (λ / DMU pembandingan). *Peer group* tersebut dapat menjadi acuan bagi DMU yang inefisien agar menjadi efisien. Berikut ini adalah usulan perbaikan terhadap DMU yang mengalami inefisien:

Tabel 6 Nilai Usulan dan Evaluasi Perbaikan Mesin Boiler

Usulan Perbaikan Mesin Boiler				
	Faktor	Nilai Aktual	Nilai perbaikan yang mungkin dicapai	Persentase perbaikan
Bulan Februari Boiler Wuxi 1				
Output	Hasil Produksi Steam	20189.15	21599.083	6.984%
Input	Penggunaan Condensate water	21929.69	21656.027	1.248%
Bulan April Boiler Wuxi 1				
Output	Hasil Produksi Steam	17154.26	18177.516	5.965%
Bulan Juli Boiler Wuxi 1				
Output	Hasil Produksi Steam	21200.17	22983.106	8.410%
Bulan Agustus Boiler Wuxi 1				
Output	Hasil Produksi Steam	19603.77	21549.202	9.924%
Input	Penggunaan Condensate water	24356.07	21511.683	11.678%
Bulan Januari Boiler Wuxi 2				
Output	Hasil Produksi Steam	15615.44	16938.586	8.473%
Input	Penggunaan Chemical	92.80	69.256	25.371%
Bulan Februari Boiler Wuxi 2				
Output	Hasil Produksi Steam	16104.49	17915.659	11.246%
Input	Penggunaan Batubara	3489.93	3451.062	1.114%
Bulan Juni Boiler Wuxi 2				
Output	Hasil Produksi Steam	17113.07	18862.587	10.223%
Input	Penggunaan Chemical	98.8	66.494	32.698%
Bulan Juli Boiler Wuxi 2				
Output	Hasil Produksi Steam	12733.45	13300.760	4.455%
Input	Penggunaan Batubara	3545.18	2885.627	18.604%

Nilai perbaikan yang mungkin dicapai diperoleh dari nilai *projected value* dari hasil *software* Win4DEAP. *Projected value* didapatkan berdasarkan nilai *radial movement* dan *slack movement* dan juga dengan mempertimbangkan nilai bobot *peer group* nya. Sedangkan persentase perbaikan merupakan rasio *projected value* atau nilai yang ingin dicapai dengan nilai aktual. Nilai yang mungkin dicapai dari evaluasi merupakan nilai usulan bagi DMU yang inefisien agar menjadi efisien. Dengan diterapkannya perbaikan tersebut diharapkan proses produksi dimasa mendatang menjadi lebih baik dan efisien.

Produktivitas yang dialami pada mesin Boiler Wuxi 1&2 mengalami peningkatan TFP secara rata-rata keseluruhan, akan tetapi ada pula penurunan perubahan TFP dari beberapa periode hasil perhitungan metode MPI disebabkan adanya perubahan teknologi (TECHCH). Nilai perubahan teknologi masih dalam batas yang wajar sehingga perbaikan yang dilakukan hanya mengidentifikasi perlu adanya pembaharuan teknologi mesin, dengan mengganti mesin dengan kapasitas mesin Boiler yang lebih besar, dan mengganti dari sistem bahan bakar yang sebelumnya menggunakan batubara beralih kepada sistem gas atau bahan bakar lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Tingkat efisiensi produksi energi mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 pada tahun 2013 adalah sebesar 66,67%. Sedangkan tingkat produktivitas produksi energi mesin Boiler Wuxi 1 pada tahun 2013 adalah 1,069 atau mengalami peningkatan sebesar 6,9% dan pada mesin Boiler Wuxi 2 tingkat produktivitas pada tahun 2013 adalah 1,102 atau mengalami peningkatan sebesar 10,2%. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi produksi energi pada mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 yaitu tidak adanya pengujian terhadap kualitas batubara, kurangnya perawatan mesin, kesadaran operator yang kurang akan kebersihan, tidak adanya SOP, kurangnya memantau kecepatan atau level air pada mesin Boiler, tidak ada aturan pengecekan mesin dan kalibrasi mesin. Sedangkan faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan produktivitas produksi energi pada mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 yaitu faktor perubahan teknologi. Usulan perbaikan untuk meningkatkan efisiensi produksi energi mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 yaitu meningkatkan kualitas dari bahan baku input mesin, melakukan pengawasan secara berkala, melakukan *maintenance*, melakukan pembersihan pada area mesin, membuat SOP terkait masalah yang terjadi dan mengatur kecepatan mesin secara tepat. Sedangkan usulan perbaikan untuk meningkatkan produktivitas produksi energi mesin Boiler Wuxi 1 dan 2 yaitu perlu adanya pembaharuan teknologi mesin, dengan mengganti mesin dengan kapasitas mesin Boiler yang lebih besar, mengganti sistem pembakaran dan mengganti dari sistem bahan bakar yang sebelumnya menggunakan batubara beralih kepada sistem gas atau bahan bakar lainnya.

Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian adalah perusahaan sebaiknya melakukan evaluasi secara berkala agar penggunaan sumber daya teralokasi dengan baik. Perusahaan sebaiknya melihat dari segala faktor-faktor yang ada dalam penentuan efisiensi dan produktivitas. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan model CCR dengan asumsi CRS (*Constant Return to Scale*) sebagai asumsi penelitian.

Menggunakan model *Cost Efficiency* DEA pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alviya, I. 2011. Efisiensi Dan Produktivitas Industri Kayu Olahan Indonesia Periode 2004 - 2007 Dengan Pendekatan Non Parametrik Data Envelopment Analysis. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan Vol. 8 No. 2*. Hal. 122 – 138.
- Ananta, P. 2013. Pemilihan Supplier Gunning Material dan Hot Ramming Material Menggunakan Data Envelopment Analysis (Studi Kasus di PT.XYZ). *Skripsi*, Jurusan Teknik Industri, FT UNTIRTA, Cilegon. (tidak publikasi)
- Anggela, P. 2012. Model Pemilihan Supplier dengan Menggunakan Data Envelopment Analysis (DEA) dan Teknik Data Mining. *Tesis*, Program Studi Teknik Industri, FTUI, Depok. (tidak publikasi)
- Coelli et al. 1998. *An Introduction To Efficiency And Productivity Analysis Second Edition*. Springer : New York.
- Cooper et al. 2011. *Handbook on Data Envelopment Analysis Second Edition*. Springer : New York, Dordrecht Heidelberg, London.
- Effendy, D.A. 2013. Rancang Bangun Boiler untuk Proses Pemanasan Sistem Uap pada Industri Tahu dengan Menggunakan CATIA V5. *Skripsi*, Jurusan Teknik Mesin, FTUNNES, Semarang. (tidak publikasi)
- Hakim, A. 2010. Analisa Efisiensi dan Produktivitas dengan Menggunakan Metode Data Envelopment Analysis dan Malmquist Productivity Index (Studi Kasus di PT. Semen Gresik (PERSERO) Tbk). *Skripsi*, Teknik Industri, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta. (tidak publikasi)
- Haryadi, A. 2011. Analisis Efisiensi Teknis Bidang Pendidikan (Penerapan Data Envelopment Analysis). *Tesis*, Magister Perencanaan Kebijakan Publik, FEUI, Depok. (tidak publikasi)
- Luptacik, M. 2010. *Mathematical Optimization And Economic Analysis*. Springer : New York.
- Marbun, A.U.H. 2013. Pengukuran Efisiensi Produksi Dengan Metode DEA (Data Envelopment Analysis) Di Divisi WRM PT.XYZ. *Skripsi*, Jurusan Teknik Industri, FT UNTIRTA, Cilegon. (tidak publikasi)
- Primatami, A. 2012. Evaluasi Efisiensi Kereta Api Penumpang di Pulau Jawa dengan Metode Data Envelopment Analysis (DEA) Tahun 2008-2010. *Tesis*, Program Studi Magister Perencanaan dan Kebijakan Publik, FEUI, Depok. (tidak publikasi)
- Ramanathan, R. 2003. *An Introduction to Data Envelopment Analysis : A tool for Performance Measurement*. Sage Publication : New Delhi, Thousand Oaks, London.
- Rifa'i, A. 2013. Pendidikan dan efisiensi: Metode Data Envelopment Analysis. *Jurnal Perspektif Bisnis Vol.1, No.1, ISSN: 2338-5111*.
- Sahupala, V.N.A. 2012. Pengaruh Foreign Direct Investment (FDI) terhadap Pertumbuhan Total Factor Productivity (TFP) pada Industri Perbankan Di Indonesia Periode 2006-2010. *Skripsi*, Program Studi Ilmu Administrasi Niaga, FISIP UI, Depok. (tidak publikasi)
- Singgih, M. 2006. Pengukuran Efisiensi Jasa Pelayanan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) dengan Metode Data Envelopment Analysis (Dea). *Jurnal Penelitian Jurusan Teknik Industri ITS FTI-ITS*.
- Wardana, S.K. 2012. Analisis Tingkat Efisiensi Perbankan Dengan Pendekatan Non Parametrik Data Envelopment Analysis (DEA). *Jurnal Penelitian Fakultas Ekonomi dan Bisnis UNBRAW*.
- Yang, H dan Pollitt, M. 2007. Incorporating Undesirable Outputs Into Malmquist TFP Index: Environmental Performance Growth of Chinese Coal-Fired Power Plants. *Working Paper no. CWPE 0740 and EPRG 0716 Cambridge Electricity Policy Research Group*, University of Cambridge.