

Analisa Produktivitas dengan Model Fungsi Produksi *Cobb Douglas* dan *Grey System Theory*

Triani Wulandari¹, Ratna Ekawati², Putro Ferro Ferdinant³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
triani_wul@yahoo.com¹, ratna_ti@ft-untirta.ac.id², putro_ferro@ft-untirta.ac.id³

ABSTRAK

PT. KHI merupakan salah satu perusahaan penghasil pipa baja las terbesar di Indonesia. Dalam proses produksi pipa gas API 5L X 60M pada mesin SPM 2000 masih terjadi hambatan-hambatan yang mengakibatkan kurang efektifnya proses produksi seperti keterlambatan proses produksi yang mengakibatkan penurunan hasil produksi yang disebabkan oleh kerusakan mesin, faktor kesalahan operator, masih terdapat reject, dan lain sebagainya. Hal tersebut menunjukkan terdapatnya produktivitas yang menurun sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengukur produktivitas perusahaan dalam proses produksi pipa gas API 5L X 60M pada mesin SPM 2000 dengan memodelkan fungsi produksi menggunakan model cobb douglas (regresi linier berganda) untuk mengetahui nilai elastisitas masing-masing faktor produksi (mesin, operator, bahan baku) serta pengaruhnya terhadap hasil produksi berupa pipa gas API 5L X 60M. Nilai elastisitas yang dimaksud adalah nilai yang mengukur respon dari sebuah variabel karena variabel lainnya. Elastisitas produksi menggambarkan persentase perubahan output sebagai akibat persentase perubahan input. Selain itu dapat jg diketahui return to scale atau kondisi skala hasil perusahaan dan evaluasi nilai kontribusi masing-masing faktor tiap periode. Return to scale yang dimaksud yaitu proporsi perubahan seluruh total input terhadap total output. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah fungsi produksi cobb douglas (regresi linier berganda) yang digunakan untuk memodelkan fungsi produksi serta dapat diketahui nilai elastisitas masing-masing faktor dan pengaruhnya terhadap hasil produksi. Selain itu dilakukan pula perhitungan nilai kontribusi masing-masing faktor produksi dengan penggabungan model fungsi produksi cobb douglas dan grey system theory. Tahap awal yang dilakukan yaitu uji kesesuaian model, uji asumsi klasik pada data berupa uji normalitas, multikolinearitas, heteroskedastisitas, dan autokorelasi agar hasil regresi tidak bias. Kemudian melakukan uji F dan uji t sehingga didapat model fungsi produksi cobb douglas. Dan terakhir menghitung nilai kontribusi masing-masing faktor dengan grey system theory. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai elastisitas mesin sebesar 0,296, operator sebesar 0,0271, dan bahan baku (coil) sebesar 0,717. Faktor mesin dan bahan baku secara parsial berpengaruh signifikan terhadap pipa, dan dari hasil uji F faktor secara simultan berpengaruh signifikan terhadap pipa. Dari penjumlahan koefisien elastisitas didapat bahwa perusahaan mengalami increasing return to scale karena $1,040 > 1$. Nilai kontribusi mesin terbesar pada bulan Maret 24,583%, kontribusi operator terbesar pada bulan Februari 4,326% , dan kontribusi bahan baku terbesar pada bulan April 87,985%.

Kata Kunci : *cobb douglas, elastisitas, grey system theory, produktivitas, return to scale.*

PENDAHULUAN

Pengertian produktivitas dikemukakan dengan menunjukkan rasio *output* terhadap *input*. Produktivitas tidak sama dengan produksi, tetapi produksi merupakan komponen dari usaha produktivitas. Produktivitas faktor adalah kunci untuk menetapkan kombinasi, atau proporsi input (*variable proportion*) yang optimal yang harus dipergunakan untuk menghasilkan satu produk yang mengacu pada *the law of variable proportion*. Produktivitas faktor memberikan dasar untuk penggunaan sumber daya yang efisien dalam sebuah sistem produksi.

Proses produksi adalah serangkaian kegiatan untuk menghasilkan *output* tertentu, dimana *output* yang dihasilkan tersebut dipengaruhi oleh *input* yang digunakan dalam proses produksi. Setiap proses produksi mempunyai landasan teknis yang disebut fungsi produksi. Dengan menggunakan fungsi produksi maka dapat menentukan tingkat *output* maksimum yang bisa diproduksi dengan sejumlah *input* tertentu,

atau menentukan jumlah *input* minimum untuk menghasilkan tingkat *output* tertentu.

Menurut Masyhuri (2007), ada beberapa model fungsi produksi seperti fungsi produksi linier sederhana, fungsi produksi kuadratik, fungsi produksi polinomial akar pangkat dua, dan fungsi produksi *Cobb Douglas*. Salah satu fungsi produksi yang paling sering digunakan dalam memecahkan masalah adalah model fungsi produksi *Cobb Douglas*. Fungsi produksi *Cobb Douglas* adalah suatu fungsi atau persamaan yang melibatkan dua atau lebih variabel independen dan variabel dependen. Variabel independen yang dimaksud adalah input dari proses produksi (tenaga kerja, bahan baku, mesin) dan variabel dependen yang dimaksud adalah *output* dari proses produksi yang berupa barang.

Menurut Aman Djauhari (1999), dalam penggunaan teknik produksi yang berbeda pada suatu industri, maka dimungkinkan elastisitas produksi parsial dan skala usaha yang dianalisis menggunakan fungsi produksi

Cobb Douglas akan berbeda nyata diantara teknik produksi tersebut. Analisis produktivitas perusahaan dapat dijadikan sebagai informasi perbaikan dalam pola pertumbuhan perusahaan yang dilakukan secara berkala dan berkesinambungan disuatu periode tertentu yang kemudian dapat diproyeksikan pada periode mendatang .

PT. KHI merupakan salah satu perusahaan yang membuat pipa baja las. Pipa baja las yang dihasilkan berupa pipa baja las spiral dan longitudinal. Pipa yang dihasilkan berupa pipa minyak, pipa gas, pipa air, dan pipa pancang. PT. KHI dalam memproduksi pipa baja senantiasa berupaya untuk menghasilkan pipa baja sesuai dengan standarisasi dan memproduksi dengan tepat waktu sehingga dalam hal ini PT. KHI juga berupaya meningkatkan produktivitas perusahaan. Produktivitas perusahaan dalam memproduksi pipa baja ini dipengaruhi oleh faktor-faktor produksi yang terlibat. Faktor terpenting dalam produksi pipa baja ini yaitu mesin, tenaga kerja, dan bahan baku. Pada penelitian ini, bagian yang dikaji berdasarkan pada *Work Order* (WO) pipa spiral gas API 5L X60M bulan Januari-April 2013. Terpusatnya penelitian pada pipa spiral disebabkan karena tingkat kompleksitas yang tinggi dalam proses produksinya dan perlu perhatian lebih. Selain itu mesin yang digunakan yaitu SPM 2000 yang sering digunakan dalam produksi pipa baja spiral. Produktivitas yang dicapai dalam produksi pipa gas API 5L X60M ini sangat bergantung pada mesin SPM 2000 yang digunakan, tenaga kerja yang terlibat, dan bahan baku utama berupa *coil*.

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak divisi produksi PT. KHI, dalam produksi pipa gas API 5L X60M pada SPM 2000 ini sering terjadi hambatan seperti terjadinya kerusakan mesin, masih terdapat *reject* produk, penggunaan bahan baku yang kurang efisien serta masih banyak lagi permasalahan yang dapat dikaitkan dan dianalisa dengan faktor-faktor lain yang terlibat dalam produksi.

Berdasarkan alasan tersebut, maka dalam hal ini peneliti akan melakukan penelitian mengenai analisa produktivitas proses produksi pipa gas API 5L X60M pada SPM 2000 dengan model fungsi produksi *cobb douglas* dan evaluasi nilai kontribusi dengan metode *grey system theory* yang digabungkan dengan metode *cobb douglas*. Model fungsi produksi *cobb douglas* ini bertujuan untuk memodelkan fungsi produksi yang menghasilkan nilai elastisitas faktor produksi dan mengetahui kondisi *return to scale*, yang digunakan untuk perbaikan produksi secara berkesinambungan dengan mengkombinasikan faktor-faktor produksi secara efektif dan efisien. Sedangkan gabungan *grey system theory* dan *cobb douglas* yang menghitung nilai kontribusi masing-masing faktor digunakan untuk evaluasi faktor-faktor produksi yaitu mesin, tenaga kerja, dan operator apakah sudah terlaksana dengan baik atau belum. Sehingga sumber kesalahan yang menjadi penghambat produksi dapat diperbaiki dan

faktor-faktor produksi dapat dikombinasikan dengan baik untuk perbaikan di masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan melakukan identifikasi mengenai produktivitas yaitu melakukan wawancara dengan pihak divisi produksi dan observasi atau pengamatan langsung proses produksi pipa gas API 5L X60M pada SPM 2000. Setelah itu, pengambilan data produksi bulan Januari sampai April 2013 yang berupa data faktor independen yaitu data waktu produksi mesin, waktu kerja tenaga kerja, dan bahan baku utama (*coil*) serta hasil produksi pipa baja spiral sebagai faktor dependen. Kemudian melakukan pengolahan data yang pertama yaitu uji kesesuaian model masing-masing faktor independen terhadap dependen dari data asli untuk menentukan model regresi yang sesuai. Tahap selanjutnya transformasi data asli ke bentuk logaritma natural untuk dikaji dengan regresi linier berganda. Dimulai dengan uji asumsi klasik berupa uji normalitas, uji multikolinearitas, uji heteroskedastisitas, dan uji autokorelasi agar hasilnya memenuhi asumsi regresi linier berganda. Tahap selanjutnya uji t dan uji F untuk mengetahui hubungan masing-masing faktor independen terhadap dependen serta hubungan secara simultan. Dari hasil uji t juga didapat model regresi linier berganda (fungsi produksi *cobb douglas*) sehingga didapat juga nilai elastisitas masing-masing faktor independen serta kondisi *return to scale*. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai kontribusi masing-masing faktor untuk evaluasi hasil yang dicapai per periode.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- Uji kesesuaian model regresi variabel mesin (M) terhadap pipa (Y)

Dari uji kesesuaian model regresi didapat model regresi eksponensial dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Uji Rsquare

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.959	.920	.919	.034

The independent variable is M.

Dari hasil tabel di atas didapat nilai *adjust Rsquare* sebesar 0,919 yang berarti sebesar 91,9% hasil produksi pipa disebabkan oleh faktor mesin. Nilai pada model ini lebih besar dibanding model lain.

Tabel 2. Uji ANOVA

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1.065	1	1.065	900.690	.000
Residual	.092	78	.001		
Total	1.157	79			

The independent variable is M.

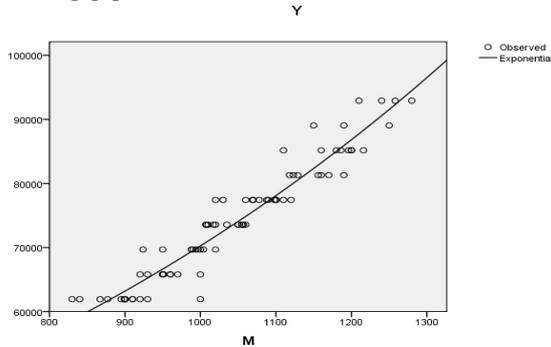
Pada tabel didapat nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $900,690 > 3,963$ yang berarti variabel mesin berpengaruh signifikan terhadap pipa.

Tabel 3. Uji t
Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
M	.001	.000	.959	30.012	.000
(Constant)	24379.775	904.067		26.967	.000

The dependent variable is ln(Y).

Pada tabel di atas didapat nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, yaitu $30,012 > 1,645$ dan nilai signifikansi $0,000 < 0,05$ yang berarti variabel mesin berpengaruh signifikan terhadap pipa.



Gambar 1. Kurva Eksponensial

Kurva di atas menunjukkan model eksponensial yang lebih sesuai dengan data sehingga model yang didapat yaitu:

$$Y = 24379,775 e^{0,001M}$$

dan dapat dilinierkan menjadi:

$$Y = 24379,775 + 0,001M$$

- Uji kesesuaian model regresi variabel operator (O) terhadap pipa (Y)

Dari uji kesesuaian model regresi didapat model regresi power dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Uji R Square

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.496	.246	.237	.106

The independent variable is O.

Dari hasil tabel di atas didapat nilai *adjust R square* sebesar 0,237 yang berarti sebesar 23,7% hasil produksi pipa disebabkan oleh faktor operator. Nilai pada model ini lebih besar dibanding model lain.

Tabel 5. Uji ANOVA

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	.285	1	.285	25.496	.000
Residual	.872	78	.011		
Total	1.157	79			

The independent variable is O.

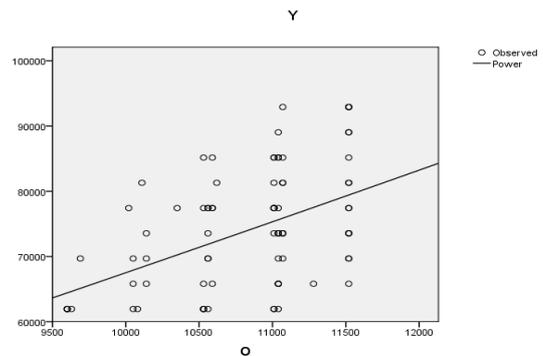
Pada tabel didapat nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $25,496 > 3,963$ yang berarti variabel operator berpengaruh signifikan terhadap pipa.

Tabel 6. Uji t
Coefficients

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
ln(O)	1.149	.228	.496	5.049	.000
(Constant)	1.715	3.625		.473	.637

The dependent variable is ln(Y).

Pada tabel di atas didapat nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, yaitu $5,049 > 1,645$ dan nilai signifikansi $0,000 < 0,05$ yang berarti variabel operator berpengaruh signifikan terhadap pipa.



Gambar 2. Kurva Power

Kurva di atas menunjukkan model power yang lebih sesuai dengan data sehingga model yang didapat yaitu:

$$Y = 1,715 O^{1,149}$$

dan dapat dilinierkan menjadi:

$$Y = 0,539 + 1,149O$$

- Uji kesesuaian model regresi variabel bahan baku (C) terhadap pipa (Y)

Dari uji kesesuaian model regresi didapat model regresi power dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 7. Uji R Square

Model Summary			
R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.991	.981	.981	.017

The independent variable is C.

Dari hasil tabel di atas didapat nilai *adjust R square* sebesar 0,981 yang berarti sebesar 98,1% hasil produksi pipa disebabkan oleh faktor bahan baku. Nilai pada model ini lebih besar dibanding model lain.

Tabel 8. Uji ANOVA

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1.136	1	1.136	4135.874	.000
Residual	.021	78	.000		
Total	1.157	79			

The independent variable is C.

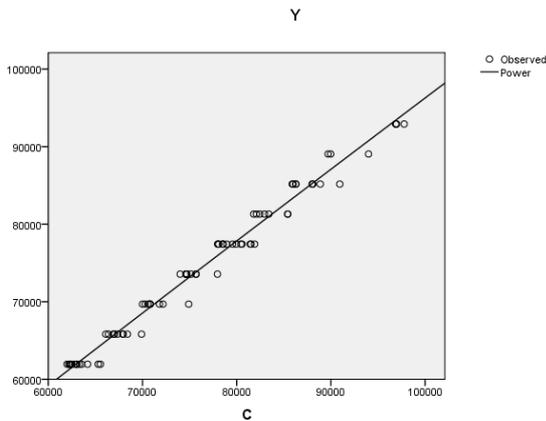
Pada tabel didapat nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $4135,874 > 3,963$ yang berarti variabel bahan baku berpengaruh signifikan terhadap pipa.

Tabel 9. Uji t

	Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	B	Std. Error	Beta		
ln(C)	.953	.015	.991	64.311	.000
(Constant)	1.661	.276		6.009	.000

The dependent variable is ln(Y).

Pada tabel di atas didapat nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$, yaitu $64,311 > 1,645$ dan nilai signifikansi $0,000 < 0,05$ yang berarti variabel bahan baku berpengaruh signifikan terhadap pipa.



Gambar 3. Kurva Power

Kurva di atas menunjukkan model power yang lebih sesuai dengan data sehingga model yang didapat yaitu:

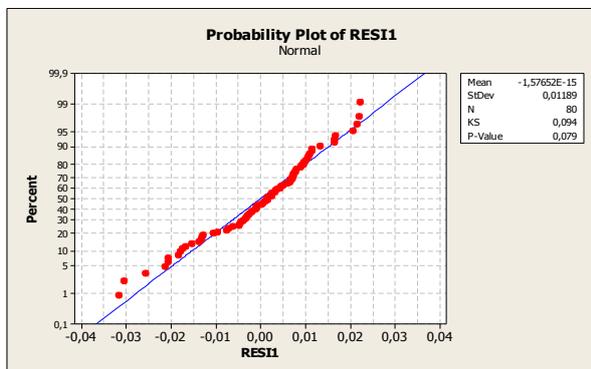
$$Y = 1,661 C^{0,953}$$

dan dapat dilinierkan menjadi:

$$Y = 0,507 + 0,953C$$

- Uji Normalitas

Berikut ini adalah hasil uji normalitas:



Gambar 4. Uji One Sample Kolmogorov-Smirnov

Dari hasil gambar 4 diketahui bahwa nilai KS 0,094 dan p -value 0,079 dan $> 0,05$ maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

- Uji Multikolinearitas

Hasil uji multikolinearitas:

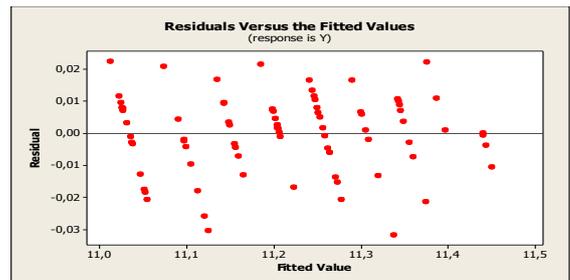
Tabel 10. Hasil Uji Multikolinearitas

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,8498	0,2561	3,32	0,001	
M	0,29572	0,03607	8,20	0,000	7,7
O	0,02706	0,02992	0,90	0,369	1,3
C	0,71688	0,03021	23,73	0,000	7,8

Dari tabel 10 dapat dilihat bahwa tidak ada variabel bebas yang memiliki nilai VIF > 10 . Sehingga dapat disimpulkan tidak terjadi multikolinearitas diantara variabel bebas dalam model regresi.

- Uji Heteroskedastisitas

Berikut ini adalah uji heteroskedastisitas:



Gambar 5. Scatterplot Diagram

Berdasarkan gambar 5 dapat dilihat bahwa titik-titik menyebar secara acak tanpa membentuk pola yang jelas. Hal ini berarti tidak terjadi heteroskedastisitas. Sehingga model regresi ini layak digunakan untuk melihat pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen.

- Uji Autokorelasi

Berdasarkan hasil *software minitab 16* nilai *Durbin Watson* pada data bulan Januari-April 2013 sebesar 1,90260. Syarat tidak terjadi autokorelasi jika $du < dw < 4-du$. Dengan data 11 sampel dan 3 variabel independen, diketahui nilai du sebesar 1,68823 dan $4-du$ sebesar 2,31177, maka $1,68823 < 1,90260 < 2,31177$. Sehingga dapat diambil kesimpulan tidak terjadi autokorelasi.

- Uji F

Tabel 11. ANOVA Hasil Uji F

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1,14610	0,38203	2601,740	0,00
Residual Error	76	0,01116	0,00015		
Total	79	1,15726			

Dari tabel 4.13 dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, $2601,74 > 2,74$. Yang berarti mesin, operator dan bahan baku secara simultan berpengaruh terhadap pipa.

- Uji t
Berikut ini adalah uji t:

Tabel 12. Hasil Uji t

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,8498	0,2561	3,32	0,001	
M	0,29572	0,03607	8,20	0,000	7,7
O	0,02706	0,02992	0,90	0,369	1,3
C	0,71688	0,03021	23,73	0,000	7,8

Karena nilai t_{hitung} sebesar $8,20 > t_{tabel}$ sebesar $1,959$, nilai probabilitas sebesar $0,000 < \alpha (0,05)$ sehingga dapat disimpulkan bahwa mesin berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan.

Karena nilai t_{hitung} sebesar $0,90 < t_{tabel}$ sebesar $1,959$, nilai probabilitas $0,369 > \alpha (0,05)$, maka dapat disimpulkan bahwa operator tidak berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan.

Karena nilai t_{hitung} sebesar $23,73 > t_{tabel}$ sebesar $1,959$ dan nilai probabilitas sebesar $0,000 < \alpha (0,05)$, maka dapat disimpulkan bahwa bahan baku berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan.

- Hasil Model Regresi
Dari hasil uji regresi yang telah dilakukan, didapat model regresi berganda bulan Januari-April 2013 yaitu:

$$\ln Y = \ln 0,850 + 0,296 \ln M + 0,0271 \ln O + 0,717 \ln C$$

- Grey System Theory
Berikut ini adalah perhitungan nilai kontribusi faktor produktivitas total (A) menggunakan grey system theory dan cobb douglas:

Tabel 13. Perhitungan Nilai Kontribusi Produktivitas Total

Periode	α	β	γ	$\Delta Y/Y$	$\Delta A/A$	EA (%)
JAN	0,296	0,0271	0,717	0,158	0,007	4,486
FEB	0,296	0,0271	0,717	0,053	0,013	25,029
MAR	0,296	0,0271	0,717	0,056	0,033	58,873
APR	0,296	0,0271	0,717	0,048	-	-

Contoh Perhitungan:
Perhitungan pada bulan Januari

$$\frac{\Delta \hat{Y}}{\hat{Y}} = \frac{\hat{Y}_{akhir} - \hat{Y}_{awal}}{\hat{Y}_{akhir}} = \frac{73559 - 61945}{73559} = 0,158$$

$$\frac{\Delta \hat{A}}{\hat{A}} = \frac{\Delta \hat{Y}}{\hat{Y}} - \alpha \frac{\Delta \hat{M}}{\hat{M}} - \beta \frac{\Delta \hat{O}}{\hat{O}} - \gamma \frac{\Delta \hat{C}}{\hat{C}}$$

$$= 0,158 - 0,032 - 0,001 - 0,117$$

$$= 0,007$$

$$E_A = \left[\frac{\Delta \hat{A}}{\hat{A}} \div \frac{\Delta \hat{Y}}{\hat{Y}} \right] \times 100\%$$

$$= [0,007 \div 0,158] \times 100\%$$

$$= 4,486$$

Di bawah ini adalah perhitungan nilai kontribusi faktor mesin, operator, dan bahan baku.

Tabel 14. Perhitungan Nilai Kontribusi Faktor Mesin, Tenaga Kerja, dan Operator

Period	$\alpha \frac{\Delta \hat{M}}{\hat{M}}$	$\beta \frac{\Delta \hat{O}}{\hat{O}}$	$\gamma \frac{\Delta \hat{C}}{\hat{C}}$	$E_M (\%)$	$E_O (\%)$	$E_C (\%)$
JAN	0,032	0,001	0,117	20,417	0,914	74,183
FEB	0,009	0,002	0,028	16,541	4,326	54,104
MAR	0,014	$8 \cdot 10^{-5}$	0,009	24,583	0,139	16,406
APR	0,005	0,001	0,042	10,461	2,519	87,983

Contoh Perhitungan:
Perhitungan pada bulan Januari

$$\frac{\Delta \hat{M}}{\hat{M}} = \frac{\hat{M}_{akhir} - \hat{M}_{awal}}{\hat{M}_{akhir}} = \frac{1010 - 900}{1010}$$

$$= 0,1089$$

$$\alpha \frac{\Delta \hat{M}}{\hat{M}} = 0,296 \times 0,1089$$

$$= 0,032$$

$$\frac{\Delta \hat{O}}{\hat{O}} = \frac{\hat{O}_{akhir} - \hat{O}_{awal}}{\hat{O}_{akhir}} = \frac{10140 - 9600}{10140}$$

$$= 0,053$$

$$= 0,001$$

$$\beta \frac{\Delta \hat{O}}{\hat{O}} = 0,0271 \times 0,053$$

$$= 0,001$$

$$\frac{\Delta \hat{C}}{\hat{C}} = \frac{\hat{C}_{akhir} - \hat{C}_{awal}}{\hat{C}_{akhir}} = \frac{75660 - 63300}{75660}$$

$$= 0,163$$

$$= 0,117$$

$$\gamma \frac{\Delta \hat{C}}{\hat{C}} = 0,717 \times 0,163$$

$$= 0,117$$

$$E_M = \left[\alpha \frac{\Delta \hat{M}}{\hat{M}} \div \frac{\Delta \hat{Y}}{\hat{Y}} \right] \times 100\%$$

$$= [0,032 \div 0,158] \times 100\%$$

$$= 20,417\%$$

$$E_o = \left[\beta \frac{\Delta \hat{O}}{\hat{O}} \div \frac{\Delta \hat{Y}}{\hat{Y}} \right] \times 100\%$$

$$= [0,001 \div 0,158] \times 100\%$$

$$= 0,914\%$$

$$E_c = \left[\gamma \frac{\Delta \hat{C}}{\hat{C}} \div \frac{\Delta \hat{Y}}{\hat{Y}} \right] \times 100\%$$

$$= [0,117 \div 0,158] \times 100\%$$

$$= 74,183\%$$

- Uji Kesesuaian Model

Variabel M terhadap Y:

Dari hasil uji yang didapat, model regresi eksponensial lebih sesuai dengan hubungan variabel mesin terhadap pipa. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai *Adjusted Rsquare* yaitu 0,919, dilihat juga dari SEE (*Standard Error of the Estimate*), nilai SEE yang lebih kecil yang dipilih sebagai model.

Pada tabel ANOVA dapat dilihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$. F_{tabel} didapat dari tabel distribusi F dengan melihat angka df (*degree freedom*) yaitu $df_1=1$ dan $df_2=78$ dan nilai signifikansi (α) sebesar 0,05. F_{tabel} sebesar 3,963 dan F_{hitung} sebesar 900,690. $900,960 > 3,963$ yang berarti faktor mesin berpengaruh signifikan terhadap pipa baja spiral yang dihasilkan. Kemudian nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$. t_{tabel} didapat dari tabel distribusi t dengan angka df 78 dan $\alpha = 0,05$ yaitu didapat 1,645. Sehingga $30,012 > 1,645$ dan nilai signifikansi $0,000 < 0,05$ yang berarti bahwa faktor mesin berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan.

Variabel O terhadap Y:

Dari hasil uji yang didapat, model regresi *power* lebih sesuai dengan hubungan variabel operator terhadap pipa. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai *Adjusted Rsquare* yaitu 0,237, dilihat juga dari SEE (*Standard Error of the Estimate*), nilai SEE yang lebih kecil yang dipilih sebagai model.

Pada tabel ANOVA dapat dilihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$. F_{tabel} didapat dari tabel distribusi F dengan melihat angka df (*degree freedom*) yaitu $df_1=1$ dan $df_2=78$ dan nilai signifikansi (α) sebesar 0,05. F_{tabel} sebesar 3,963 dan F_{hitung} sebesar 25,496. $25,496 > 3,963$ yang berarti faktor operator berpengaruh signifikan terhadap pipa baja spiral yang dihasilkan. Kemudian nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$. t_{tabel} didapat dari tabel distribusi t dengan angka df 78 dan $\alpha = 0,05$ yaitu didapat 1,645. Sehingga $5,049 > 1,645$ dan nilai signifikansi $0,000 < 0,05$ yang berarti bahwa faktor operator berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan.

Variabel C terhadap Y:

Dari hasil uji yang didapat, model regresi *power* lebih sesuai dengan hubungan variabel bahan baku terhadap pipa. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai *Adjusted Rsquare* yang lebih besar dibanding model lain yaitu 0,981 karena nilai *Rsquare* menunjukkan bahwa sebesar 98,1% hasil produksi pipa dapat dijelaskan oleh faktor bahan baku. Hal ini berarti bahwa faktor bahan baku sangat berperan penting, karena bahan baku utama yang digunakan pada pembuatan pipa spiral ini yaitu lembaran baja berupa *coil*.

Pada tabel ANOVA dapat dilihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$. F_{tabel} didapat dari tabel distribusi F dengan melihat angka df (*degree freedom*) yaitu $df_1=1$ dan $df_2=78$ dan nilai signifikansi (α) sebesar 0,05. F_{tabel} sebesar 3,963 dan F_{hitung} sebesar 4135,874. $4135,874 > 3,963$ yang berarti faktor bahan baku berpengaruh signifikan terhadap pipa baja spiral yang dihasilkan. Kemudian nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$. t_{tabel} didapat dari tabel distribusi t dengan angka df 78 dan $\alpha = 0,05$ yaitu didapat 1,645. Sehingga $64,311 > 1,645$ dan nilai signifikansi $0,000 < 0,05$ yang berarti bahwa faktor bahan baku berupa *coil* berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan.

- Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk melihat apakah nilai residual terdistribusi normal atau tidak. Model regresi yang baik adalah memiliki nilai residual yang terdistribusi normal. Dasar pengambilan keputusan normalitas data adalah dengan melihat *p-value*. Jika *p-value* $> 0,05$ maka data tersebut berdistribusi normal dan jika *p-value* $\leq 0,05$ maka data tidak berdistribusi normal. Selain itu normalitas data dapat dilihat dari *probability plot*. Jika data berdistribusi normal, maka garis yang menggambarkan data sesungguhnya akan mengikuti garis diagonalnya (Ghozali, 2001).

Dari hasil uji normalitas diketahui bahwa nilai KS 0,094 dan *p-value* 0,079 dan $> 0,05$ maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

- Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas digunakan untuk melihat ada atau tidaknya korelasi yang tinggi antara variabel-variabel bebas dalam suatu model regresi linear berganda. Diagnosis untuk mengetahui adanya multikolinearitas adalah menentukan nilai *Variance Inflation Factor* (VIF). Batas nilai *Variance Inflation Factor* (VIF) < 10 . Jika nilai VIF di atas 10 maka terjadi korelasi antar variabel independen.

Dari hasil uji autokorelasi menggunakan *software Minitab 16*, didapat nilai VIF untuk masing-masing variabel independen yaitu untuk variabel mesin sebesar 7,7, variabel operator sebesar 1,3, dan variabel bahan baku sebesar 7,8.

Dapat dilihat bahwa tidak ada variabel bebas yang memiliki nilai VIF > 10 . Sehingga dapat disimpulkan tidak terjadi multikolinearitas diantara variabel bebas dalam model regresi.

- Uji Heteroskedastisitas

Cara untuk mendeteksi heteroskedastisitas adalah dengan melihat ada tidaknya pola tertentu pada *scatterplot* (Ghozali, 2001). Uji heteroskedastisitas ini digunakan untuk menguji apakah dalam model pengamatan terjadi ketidaksamaan varian dari residual satu pengamatan ke pengamatan lain. Model yang baik yaitu model yang tidak terdapat pola tertentu pada grafik seperti mengumpul di tengah, menyempit kemudian melebar atau sebaliknya.

Dari hasil *scatterplot* dapat dilihat bahwa titik-titik menyebar secara acak tanpa membentuk pola tertentu. Hal ini berarti tidak terjadi heteroskedastisitas. Sehingga model regresi ini layak digunakan untuk melihat pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen.

- Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi ini dilakukan untuk menguji apakah dalam suatu regresi linier ada korelasi antara residual pada periode t dengan periode $t-1$. Jika terjadi autokorelasi maka dalam persamaan regresi linier tersebut terdapat masalah, karena hasil yang baik seharusnya tidak ada indikasi autokorelasi. Untuk mendeteksi adanya autokorelasi dapat dilihat dari nilai *Durbin-Watson* dan tingkat signifikan (α) = 5%.

Berdasarkan hasil *software minitab 16* nilai *Durbin-Watson* sebesar 1,90260. Syarat tidak terjadi autokorelasi jika $du < dw < 4-du$. Dengan data 80 sampel dan 3 variabel independen, diketahui nilai du sebesar 1,68823 dan $4-du$ sebesar 2,31177, maka $1,68823 < 1,90260 < 2,31177$. Sehingga dapat diambil kesimpulan tidak terjadi autokorelasi.

- Uji Hipotesis

Uji F

Uji F digunakan untuk mengetahui pengaruh secara simultan atau keseluruhan dari variabel independen terhadap variabel dependen. Tingkat signifikansi yang digunakan sebesar 5% dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Penentuan kriteria pengujiannya yaitu H_0 ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, dan H_0 diterima jika $F_{hitung} < F_{tabel}$.

Nilai F_{hitung} pada tabel uji F sebesar 2601,74 lebih besar dari F_{tabel} yaitu 2,74. F_{tabel} didapat dari tabel distribusi F dengan nilai $df_1=3$ dan $df_2=76$. Kemudian apabila dilihat dari tingkat probabilitas menunjukkan bahwa nilai probabilitas sebesar 0,000 lebih kecil dari tingkat signifikan sebesar 0,05 (α), maka dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak yang berarti mesin, operator, dan bahan baku secara simultan berpengaruh terhadap pipa.

Uji t

Uji ini digunakan untuk mengetahui pengaruh secara parsial dari variabel independen terhadap dependen.

Pada variabel mesin nilai t_{hitung} sebesar 8,20 $>$ t_{tabel} sebesar 1,959, t_{tabel} didapat dari tabel distribusi t dengan $df=76$ dan $\alpha = 0,05$. Nilai probabilitas sebesar 0,000 $<$ α (0,05) sehingga dapat disimpulkan bahwa mesin

berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan. Pada variabel operator nilai t_{hitung} sebesar 0,90 $<$ t_{tabel} sebesar 1,959, nilai probabilitas 0,369 $>$ α (0,05), maka dapat disimpulkan bahwa operator tidak berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan. Sedangkan pada variabel bahan baku nilai t_{hitung} sebesar 23,73 $>$ t_{tabel} sebesar 1,959 dan nilai probabilitas sebesar 0,000 $<$ α (0,05), maka dapat disimpulkan bahwa bahan baku berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan.

- Analisa Regresi Linier Berganda

Dari hasil analisis didapat besarnya elastisitas (nilai untuk mengukur respon *output* oleh perubahan tingkat) dari masing-masing variabel independen dapat dilihat dari besarnya koefisien pangkat pada setiap variabel independen. Elastisitas mesin sebesar 0,296, elastisitas operator sebesar 0,0271 dan elastisitas bahan baku sebesar 0,717.

Tanda positif pada koefisien regresi menunjukkan bahwa antara variabel bebas dengan variabel terikat berjalan satu arah, di mana setiap penurunan atau peningkatan variabel bebas akan diikuti dengan peningkatan atau penurunan variabel terikatnya. Sebaliknya jika tanda negatif menunjukkan bahwa antara variabel bebas dengan variabel terikat berjalan dua arah, di mana setiap peningkatan variabel bebas akan diikuti dengan penurunan variabel terikatnya, dan sebaliknya. Pada model regresi ini tidak terdapat tanda negatif, sehingga variabel bebas dengan variabel terikat berjalan satu arah.

Return to scale atau skala hasil merupakan suatu fungsi produksi dimana menggambarkan hubungan antara perbandingan perubahan semua *input* yang berdampak terhadap perubahan *output*. Besarnya *return to scale* dapat dihitung dengan cara menjumlahkan koefisien pangkat masing-masing variabel independen ($0,296 + 0,0271 + 0,717 = 1,040$). Dari hasil terlihat bahwa perusahaan berada pada kondisi *increasing return to scale* karena $1,040 >$ 1. Kondisi skala hasil yang meningkat ini dapat diartikan bahwa tambahan *output* yang dihasilkan lebih besar daripada tambahan *input*.

Faktor bahan baku dan mesin berpengaruh secara signifikan karena bahan baku (*coil*) merupakan inti dari proses produksi, dimana *coil* merupakan bahan baku utama untuk pembuatan pipa spiral. Mesin merupakan teknologi utama yang digunakan dalam proses produksi, tanpa adanya mesin proses produksi tidak dapat berjalan. Faktor operator juga berperan penting dalam proses produksi. Tetapi dari hasil didapat bahwa faktor operator tidak berpengaruh secara signifikan karena operator dalam proses produksi sebagian besar sebagai operator mesin atau yang menjalankan mesin yang bekerja secara otomatis.

- Grey Production Function Model

Kontribusi Produktivitas Faktor Total (E_A)

Produktivitas faktor total (A) dalam hal ini yaitu ukuran dari tingkat teknologi yang menyebabkan peningkatan *output*. Nilai kontribusi produktivitas faktor total

didapat dari $\Delta\hat{A}/\hat{A}$ dibagi dengan tingkat pertumbuhan *output* ($\Delta\hat{Y}/\hat{Y}$). $\Delta\hat{A}/\hat{A}$ adalah perubahan *output* yang tidak dapat dijelaskan oleh perubahan-perubahan *input*. Jadi pertumbuhan produktivitas faktor total dihitung sebagai residu (nilai sisa) yaitu sebagai jumlah pertumbuhan *output* yang tersisa setelah menghitung pertumbuhan yang dapat diukur. Pada bulan Januari didapat nilai kontribusi produktivitas faktor total sebesar 4,486%, pada bulan Februari sebesar 25,029%, Maret sebesar 58,873%, sedangkan April tidak terdapat nilai kontribusi faktor total.

Pertumbuhan faktor produktivitas total ($\Delta\hat{A}/\hat{A}$) yang didapat adalah sebagai nilai residu dari jumlah pertumbuhan *output* yang tersisa setelah dikurangi pertumbuhan faktor mesin, tenaga kerja, dan bahan baku. Kenaikan atau penurunan nilai kontribusi produktivitas faktor total ini dipengaruhi oleh besar kecilnya pertumbuhan *output* dan pertumbuhan faktor mesin, tenaga kerja, serta bahan baku. Pada bulan April nilai kontribusi produktivitas faktor total tidak ada, ini dikarenakan residu bernilai negatif. Terjadinya nilai negatif karena nilai pertumbuhan *output* yang ada telah habis setelah dikurangi dengan nilai pertumbuhan mesin, tenaga kerja, dan bahan baku.

Kontribusi Faktor Mesin

Nilai kontribusi mesin yaitu nilai pertumbuhan faktor mesin terhadap pertumbuhan *output*. Nilai kontribusi mesin (E_M) ini didapat dari pembagian ($\alpha \frac{\Delta\hat{M}}{\hat{M}}$) terhadap ($\Delta\hat{Y}/\hat{Y}$), dengan M adalah mesin, Y adalah pipa baja spiral dan α adalah nilai koefisien pangkat atau elastisitas faktor mesin. Pada bulan Januari nilai kontribusi mesin sebesar 20,417%, bulan Februari 16,541%, Maret sebesar 24,583%, dan April sebesar 10,461%. Kenaikan atau penurunan nilai kontribusi ini dipengaruhi oleh pertumbuhan faktor mesin, semakin besar nilai pertumbuhan faktor mesin maka semakin besar pula nilai kontribusi faktor mesin terhadap pertumbuhan pipa baja spiral yang dihasilkan dan sebaliknya. Pada bulan April nilai kontribusi yang didapat lebih kecil yaitu sebesar 10,461%. Hal tersebut dikarenakan selisih waktu produksi mesin yang kecil. Dari hasil wawancara dengan pihak produksi, peningkatan waktu produksi mesin yang belum optimal dikarenakan masih terjadi hambatan dalam proses produksi yang dapat disebabkan oleh kerusakan mesin, *human error* (kesalahan atau kurang tepatnya pekerjaan operator), waktu *setup* mesin yang terlalu lama dan lain sebagainya sehingga waktu produksi mesin yang seharusnya dapat lebih lama dan menghasilkan *output* lebih banyak menjadi terpotong oleh waktu-waktu hambatan tersebut. Berbeda dengan bulan Maret, nilai kontribusinya lebih besar dikarenakan pertumbuhan faktor waktu kerja mesin pun lebih besar.

Kontribusi Faktor Tenaga Kerja

Nilai kontribusi tenaga kerja (E_O) ini didapat dari pembagian ($\beta \frac{\Delta\hat{O}}{\hat{O}}$) terhadap ($\Delta\hat{Y}/\hat{Y}$), dengan O adalah

waktu kerja operator, Y adalah pipa baja spiral, dan β adalah koefisien pangkat atau elastisitas faktor operator. Pada bulan Januari nilai kontribusi tenaga kerja sebesar 0,914%, bulan Februari sebesar 4,326%, bulan Maret sebesar 0,139%, dan bulan April sebesar 2,519%. Kenaikan atau penurunan nilai kontribusi tenaga kerja ini dipengaruhi oleh pertumbuhan tenaga kerja yaitu seberapa besar penambahan waktu kerja tenaga kerja pada proses produksi. Pada bulan Februari nilai kontribusi tenaga kerja sebesar 4,326% lebih tinggi dibandingkan bulan lain ini disebabkan penambahan waktu kerja tenaga kerja pada periode ini lebih besar karena tenaga kerja yang hadir lebih banyak sehingga nilai kontribusi tenaga kerja menjadi bertambah. Berbeda dengan nilai kontribusi tenaga kerja bulan Maret. Pada periode ini nilainya sebesar 0,139%, sangat kecil dibandingkan periode lain. Ini dikarenakan penambahan waktu kerja tenaga kerja yang lebih sedikit, disebabkan sedikitnya tenaga kerja yang ada sehingga nilai kontribusi tenaga kerja pada periode ini menjadi lebih kecil atau menurun.

Kontribusi Faktor Bahan Baku

Nilai kontribusi bahan baku didapat dari pembagian ($\gamma \frac{\Delta\hat{C}}{\hat{C}}$) terhadap ($\Delta\hat{Y}/\hat{Y}$), dengan C adalah bahan baku utama berupa *coil*, Y adalah pipa baja spiral, dan γ adalah koefisien pangkat atau elastisitas faktor bahan baku. Pada bulan Januari nilai kontribusi bahan baku sebesar 74,183%, bulan Februari sebesar 54,104%, bulan Maret sebesar 16,406%, dan bulan April sebesar 87,985%. Kontribusi tertinggi yaitu pada bulan April sebesar 87,985% hal ini dikarenakan nilai pertumbuhan faktor bahan baku yang meningkat terhadap pertumbuhan *output*. Peningkatan ini dapat disebabkan karena lancarnya proses produksi yang berjalan sehingga *output* yang dihasilkan lebih banyak dan kontribusi bahan baku pun meningkat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Dari hasil model *cobb douglas*, didapat nilai elastisitas mesin sebesar 0,296, elastisitas operator sebesar 0,027, dan elastisitas bahan baku sebesar 0,717 terhadap pipa baja spiral.

Dari hasil uji F nilai F_{hitung} sebesar 2601,74 lebih besar dari F_{tabel} yaitu 2,74. Nilai probabilitas sebesar 0,000 lebih kecil dari tingkat signifikan sebesar 0,05 (α), maka H_0 ditolak yang berarti mesin, operator, dan bahan baku secara simultan berpengaruh terhadap pipa. Pada variabel mesin nilai t_{hitung} sebesar 8,20 > t_{tabel} sebesar 1,959. Nilai probabilitas sebesar 0,000 < α (0,05) sehingga dapat disimpulkan bahwa mesin berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan. Pada variabel operator nilai t_{hitung} sebesar 0,90 < t_{tabel} sebesar 1,959, nilai probabilitas 0,369 > α (0,05), maka dapat disimpulkan bahwa operator tidak berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan. Sedangkan pada variabel bahan baku nilai t_{hitung} sebesar 23,73 >

t_{tabel} sebesar 1,959 dan nilai probabilitas sebesar 0,000 $< \alpha$ (0,05), maka dapat disimpulkan bahwa bahan baku berpengaruh signifikan terhadap pipa yang dihasilkan.

Nilai *return to scale* didapat dari $(0,296 - 0,0271 + 0,717 = 1,040)$. Dari hasil terlihat bahwa perusahaan berada pada kondisi *increasing return to scale* karena $1,040 > 1$.

Pada bulan Januari didapat nilai kontribusi produktivitas faktor total sebesar 4,486%, pada bulan Februari sebesar 25,029%, Maret sebesar 58,873%, sedangkan April tidak terdapat nilai kontribusi faktor total. Pada bulan Januari nilai kontribusi mesin sebesar 20,417%, bulan Februari 16,541%, Maret sebesar 24,583%, dan April sebesar 10,461%. Pada bulan Januari nilai kontribusi tenaga kerja sebesar 0,914%, bulan Februari sebesar 4,326%, bulan Maret sebesar 0,139%, dan bulan April sebesar 2,519%. Pada bulan Januari nilai kontribusi bahan baku sebesar 74,183%, bulan Februari sebesar 54,104%, bulan Maret sebesar 16,406%, dan bulan April sebesar 87,985%.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, Lincolin. 2008. *Ekonomi Manajerial : Ekonomi Mikro Terapan Untuk Manajemen Bisnis*. Yogyakarta : BPF.
- Aryad, M., 2010, *Analisa Produktivitas dengan Menggunakan Fungsi Produksi Cobb Douglas di CV. Jatinegara, Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta Barat (Tidak dipublikasi)
- Ghozali, Imam. 2005. *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program SPSS*. BP UNDIP, Semarang
- Joesron dan Fathorrazi. 2012. *Teori Ekonomi Mikro: Dilengkapi Beberapa Fungsi Produksi*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Kayacan, Erdal., Ulutas b, Baris., & Kaynak, Okyay. 2010. *Grey System Theory Based Models in Time Series Prediction, Expert Systems with Applications 37 1784–1789*.
- Liu Sifeng dan Lin Yi. 2005. *Grey Information Theory and Practical Applications*. London: Springer-Verlag London Ltd.
- Lu, Shin-Li., & Chiu, Wen-Chih. 2012. *The Grey Forecasting Model On The Forecast Of Green GDP Accounting In Taiwan Proceedings of the World Congress on Engineering Vol II*.
- Mankiw, N. G. 2003. *Teori Makroekonomi, Edisi Kelima*. Imam Nurmawan [penerjemah]. Erlangga, Jakarta.
- Masyhuri. 2007. *Ekonomi Mikro*. Yogyakarta : Sukses Offset.
- Moelyono, M. 1993. *Penerapan Produktivitas Dalam Organisasi*. Bumi Aksara, Jakarta.
- Nicholson, Walter. 1994. (terj. Danny Hutabarat). *Mikroekonomi Intermediate dan Penerapannya*. Jakarta : Erlangga.
- Oktaning, Andistya. 2013. *Analisis Perhitungan PDB Hijau Indonesia Dengan Grey System Theory Tipe GM (1,1) (Studi Kasus PDB Hijau di Indonesia Tahun 2000-2010)*, Tugas Akhir, Jurusan Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Brawijaya, Malang. (Tidak dipublikasi)
- Purba, L. K. 2005. *Analisis Pertumbuhan Produktivitas Sektor Manufaktur Indonesia, Tugas Akhir*, Departemen Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB, Bogor. (Tidak dipublikasi)
- Purwitasari, Agustina, 2009, *Analisis Produktivitas High Burner Menggunakan Pendekatan Fungsi Produksi Cobb Douglas (Studi Kasus di PT. BAHAMA LASSAKA, Batur, Ceper, Klaten)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah, Surakarta. (Tidak dipublikasi)
- Rosari, Vinta, 2013, *Analisis Fungsi Produksi Cobb Douglas Pada Pabrik Gula, Tugas Akhir*, Jurusan Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. (Tidak dipublikasi)
- Soekartawi. 1990. *Teori Ekonomi Produksi : Dengan Pokok Bahasan Analisis fungsi Cobb-Douglas*. Jakarta : Radar Jaya Offset.
- Sutrisno dan Suzantho F. 2012. *Perencanaan Peningkatan Produktivitas Proses Fabrikasi dengan Pendekatan Fungsi Cobb Douglas (studi kasus PT. PAL Indonesia)*, Jurnal IPTEK, Volume 16, hal. 133-141.