

# Studi Awal Proses Fermentasi pada Desain Pabrik *Bioethanol* dari *Molasses*

Aprilia Yasinta Retnaningtyas, Roziq Rahadian Hidayat, Widiyastuti, dan Sugeng Winardi  
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: widi@chem-eng.its.ac.id, swinardi@chem-eng.its.ac.id

**Abstrak**—Tebu sebagai bahan baku industri gula juga memiliki peranan penting dalam perekonomian Indonesia. *Molasses* adalah hasil samping yang berasal dari pembuatan gula tebu (*Saccharum officinarum*). *Molasses* yang telah diproses menjadi etanol akan memiliki nilai jual ekspor yang tinggi yaitu sekitar US\$ 866,07 per ton. Diperkirakan pada tahun 2020 kebutuhan dalam negeri terhadap etanol sebesar 248.983,9 kg etanol per tahun. Dari total kebutuhan yang telah disebutkan sebelumnya maka pabrik *bioethanol* dengan bahan baku *molasses* dapat memenuhi permintaan dalam negeri dan luar negeri untuk menambah devisa. Pabrik *bioethanol* ini berkapasitas 8500 kg/jam *molasses* masuk dan beroperasi selama 24 jam per hari dengan hari kerja 330 hari per tahun. Terdapat tiga tahapan utama dalam pembuatan *bioethanol* dari *molasses*, yaitu tahap persiapan bahan baku yang bertujuan untuk menyiapkan bahan baku yang akan digunakan dalam proses, terdiri dari proses pengenceran. Kemudian tahap fermentasi yang merupakan tahap penting dalam produksi etanol yakni menggunakan fermentasi bakteri yang telah dipersiapkan dari tangki propagasi dalam proses ini akan dihasilkan etanol dengan kadar 6-10%. Dan yang terakhir adalah tahap pemurnian yang merupakan pemurnian dari hasil fermentasi terdiri dari proses penyaringan, distilasi dan adsorpsi. Fungsi tahap ini untuk memurnikan hasil fermentasi sehingga menjadi etanol dengan kadar 99,5% Pabrik ini membutuhkan investasi sebesar Rp. 368.226.944.4301,00 dengan *Internal Rate of Return* sebesar 21,02%, *Pay Out Time* selama 3,46 tahun dan *BEP* sebesar 30,61 %.

**Kata Kunci**—*Bioethanol*, *Distilasi*, *Fermentasi*, *Molasses*

## I. PENDAHULUAN

DENGAN luas area 473 ribu hektar pada tahun 2014, industri gula berbahan baku tebu merupakan salah satu sumber pendapatan bagi ribuan petani tebu dan pekerja di industri gula. Pada tahun 2014 ekspor tetes tebu mengalami peningkatan sebesar 74,61 persen dengan volume sebesar 939 ribu ton dan nilai sebesar US\$ 111,87 juta [1]. Produksi tetes tebu Indonesia pada tahun 2014 diekspor ke 26 negara. *Molasses* yang telah diproses menjadi etanol akan memiliki nilai jual ekspor yang tinggi yaitu sekitar US\$ 866,07 per ton. Kegiatan ekspor etanol diharapkan mampu meningkatkan devisa negara mengingat penggunaan *biofuel* di dunia telah berkembang pesat [2].

*Molasses* adalah hasil samping yang berasal dari pembuatan gula tebu (*Saccharum officinarum*). Diperkirakan untuk setiap ton tebu akan menghasilkan sekitar 5,67 % tetes tebu. Melimpahnya *molasses* di Indonesia dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *bioethanol*. Pada tahun 2009-2013 selama 5 tahun pemerintah memerlukan rata-rata 198.510,4 kg etanol per tahun. Disamping itu, diperkirakan pada tahun 2020 kebutuhan dalam negeri terhadap etanol

sebesar 248.983,9 kg etanol per tahun [1].

Berdasarkan kebutuhan etanol dunia, maka saat ini beberapa perusahaan etanol di Indonesia melakukan ekspor etanol. Terdapat beberapa negara yang mengimpor etanol dari Indonesia, di antaranya adalah Filipina, Singapura, dan negara-negara lain. Berikut data ekspor ke beberapa Negara [1]:

Tabel 1.  
Data Ekspor Etanol Badan Pusat Statistik Tahun 2015

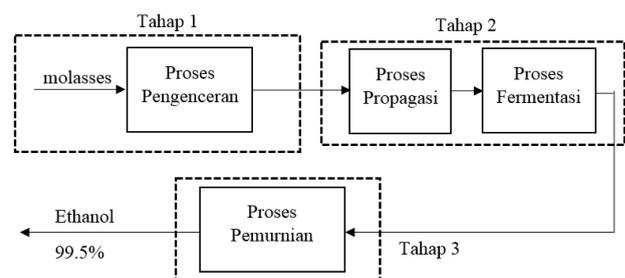
Negara	Impor (kg)
Jepang	16.206.895
Taiwan	2.099.560
Papua New Guinea	94.720
Thailand	25.603
Singapore	3.649.875
Philippines	37.624.085
Ghana	25.600

Pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa terdapat beberapa negara yang mengimpor produk etanol dari Indonesia, di antaranya adalah Filipina, Singapura, Jepang, dan negara-negara lainnya. Untuk memenuhi ekspor serta kebutuhan yang ada maka diperlukan produksi etanol yang mencukupi.

Etanol dapat dibakar untuk menghasilkan karbon dioksida dan air serta bisa digunakan sebagai bahan bakar baik sendiri maupun dicampur dengan petrol (bensin). “Gasohol” adalah sebuah campuran bensin (*gasoline*) dengan etanol (alkohol) dengan kadar sebesar 10-20%. Etanol tersebut dapat dihasilkan melalui fermentasi, maka alkohol bisa menjadi cara yang bermanfaat bagi negara yang tidak memiliki industri minyak untuk mengurangi impor. Etanol memiliki nilai kalor sebesar 75.700 Btu/gallon, sedangkan jika dicampur dengan bensin dengan perbandingan 10% etanol, maka akan menghasilkan nilai kalor sebesar 112.000 Btu/gallon.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Proses Pembuatan *Bioethanol* Secara Umum



Gambar 1. Proses Pembuatan *Bioethanol* Secara Umum

Proses pembuatan etanol dari *molasses* terdiri dari 3 tahap. Persiapan bahan baku yang bertujuan untuk menyiapkan bahan baku yang akan digunakan dalam proses, terdiri dari proses pengenceran. Tahap fermentasi yang merupakan tahap penting dalam produksi etanol yakni menggunakan fermentasi bakteri yang telah dipersiapkan dari tangki propagasi dalam proses ini akan dihasilkan etanol dengan kadar 6-10%. Tahap pemurnian yang merupakan tahapan pemurnian dari hasil fermentasi terdiri dari proses penyaringan, distilasi dan adsorpsi. Fungsi tahap ini untuk memurnikan hasil fermentasi sehingga menjadi etanol dengan kadar 99,5%.

### B. Macam Proses Produksi Bioethanol

Proses produksi *bioethanol* dibagi menjadi beberapa macam proses, di antaranya:

#### 1. Proses Pengenceran

Proses ini bertujuan untuk mengencerkan *molasses* dengan kadar gula yang tinggi yakni 55% dengan menambahkan air proses. Hal ini bertujuan agar biomass tidak mati karena perbedaan tekanan osmosis yang tinggi.

#### 2. Proses Propagasi

Proses ini bertujuan untuk menumbuhkan mikroorganisme yang telah melewati fase pertumbuhan awal dan telah mampu beradaptasi sehingga dapat mencapai fase pertumbuhan yang cepat saat berada di dalam tangki fermentor. Proses ini dilakukan secara aerob karena pertumbuhan mikroorganisme membutuhkan udara.

#### 3. Proses Fermentasi

Proses ini adalah proses yang paling penting dalam pembuatan etanol. Proses fermentasi dilakukan dalam kondisi anaerob secara *batch* di dalam sebuah tangki berpengaduk dan memiliki alat pendingin berupa koil untuk menjaga suhu dalam fermentor tetap konstan, yakni pada suhu 30 – 35°C. Keuntungan fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* adalah karena *Saccharomyces cerevisiae* memiliki toleransi yang tinggi terhadap inhibitor dan juga memiliki suhu optimal yang mendekati suhu di Indonesia, yakni 30-35°C. Selain itu *Saccharomyces cerevisiae* juga sangat mudah untuk didapatkan [1].

#### 4. Proses Penyaringan

Etanol *broth* hasil dari fermentasi tersebut selanjutnya dialirkan menggunakan pompa menuju alat penyaring untuk dilakukan pemisahan komponen solid dan liquid.

##### a. Horizontal Peeler Centrifuge

Penyaringan etanol *broth* dapat dilakukan menggunakan alat *horizontal peeler centrifuge*. Alat ini bisa digunakan untuk menyaring endapan yang memerlukan *high washing efficiencies* dan stabil, serta memiliki volume produksi yang tinggi. Alat ini memiliki kapasitas yang tinggi dan cocok untuk bahan yang beracun.

##### b. Rotary Drum Vacuum Filter

*Rotary Drum Vacuum Filter* adalah sebuah filter yang bekerja secara berkelanjutan dimana bagian yang solid dari sebuah campuran dipisahkan oleh filter yang hanya dapat dilalui oleh liquid atau gas, dalam hal ini keadaan vakum diperlukan untuk mengakumulasi zat padat dipermukaan. Tekanan diluar drum adalah tekanan atmosferik tetapi didalam drum mendekati *vacuum*. Drum dimasukkan kedalam cairan yang mengandung suspensi padatan, lalu diputar dengan kecepatan rendah. Cairan tertarik melewati

filter *cloth* karena tekanan *vacuum*, sedangkan padatan tertinggal dipermukaan luar drum membentuk *cake*.

##### c. Inverting Filter with PAC

*Inverting filter with pressure-added centrifuges* dapat digunakan untuk menyaring *slurry* dengan *flux rate* kurang dari 1-8 gpm/ft<sup>2</sup>. Alat ini sangat cocok untuk penyaringan produk yang sulit seperti produk yang selesai disaring ketika ketebalan dari *cake* kurang dari 0,5 inci. Alat ini bekerja secara *batch* dan *discharge* secara otomatis dengan kapasitas volume yang sedang.

#### 5. Proses Penyimpanan

Proses ini merupakan proses penyimpanan hasil fermentasi. Tangki penyimpanan ini digunakan sebagai *feed tank* untuk proses pemurnian dan untuk mengendapkan komponen-komponen yang tidak diperlukan seperti lumpur dan *yeast*.

#### 6. Proses Distilasi

Proses distilasi merupakan proses untuk memurnikan etanol. Distilasi merupakan metode pemisahan komponen-komponen dari campuran liquid pada fase liquid dan uap [2]. Dasar pemisahan menggunakan distilasi adalah bahwa komposisi uap berbeda dengan komposisi liquid dengan kesetimbangan pada titik didihnya. Pada proses distilasi ini, akan dihasilkan etanol dengan tingkat kemurnian 90%. Produk bawah berupa air dan *fusel oil* sedangkan produk atas dari proses distilasi merupakan liquid dari etanol dan air. *Fusel oil* yang keluar melalui bagian bawah kolom distilasi ini mengandung propanol, amil alkohol, asam asetat, gliserol dan *acetaldehyde* yang memiliki efek buruk pada spesifikasi produk akhir sehingga harus dipisahkan.

#### 7. Proses Adsorpsi

Untuk mendapatkan etanol dengan kadar 90% atau lebih, perlu dilakukan proses khusus karena campuran etanol-air memiliki sifat azeotrop yang menyebabkan kadar etanol akan tetap berada pada titik tertentu meskipun suhu dan tekanan sistem diubah. Adsorpsi merupakan pemisahan dimana molekul-molekul terdifusi dari bahan fluida ke permukaan dari solid adsorben membentuk fase teradsorb. Biasanya adsorber gas digunakan untuk memisahkan sejumlah komponen dari campuran gas. Pemisahan dengan adsorpsi bergantung pada lebih mudahnya salah satu komponen teradsorb daripada komponen lain. Akan tetapi, proses adsorpsi ini memiliki kelemahan bahwa kapasitas adsorben untuk mengikat adsorbat terbatas. Namun, adsorben dapat diregenerasi dan dikembalikan seperti kondisi semula. *Molecular sieve* merupakan salah satu adsorber yang menggunakan *zeolite (aluminosilicate sintesis)* Tipe yang biasanya digunakan pada proses pemurnian etanol untuk *fuel grade* etanol adalah tipe 3A, yang berarti rata-rata diameter dari pori-pori pada *molecular sieve* adalah 3 Angstrom (A). Diameter dari air adalah kurang dari 3A dan diameter etanol lebih besar daripada 3A.

## III. URAIAN PENELITIAN

### A. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

*Molasses* merupakan hasil *side product* dari pabrik gula. Pada pemilihan bahan ini dapat ditentukan melalui data-data *property* standar seperti menggunakan °Brix sebesar 79,5°, s.g. sebesar 1.4 dan Ph yang digunakan adalah 5.5. Adapula pada data komposisi *molasses* standar pada Tabel 2 [3].

Spesifikasi etanol yang diinginkan berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi nomor: 23204.K/10/DJM.S/2008 tentang standar dan mutu (spesifikasi bahan bakar nabati (*biofuel*) jenis *bioethanol* sebagai bahan bakal lain yang dipasarkan di dalam negeri.

Tabel 2.  
Spesifikasi *Molasses*

Kandungan	% Berat
Air	22,0
Kandungan Gula :	
Sukrosa	30,0
Glukosa	12,0
Fruktosa	13,0
<i>Impurities</i> :	
Karbohidrat lain	4,0
Senyawa Nitrogen	6,0
Senyawa asam non nitrogen	7,0
<i>Ash</i> :	
SiO <sub>2</sub>	4,1
K <sub>2</sub> O	1,5
CaO	0,2
MgO	0,2

Tabel 3.  
Spesifikasi *Bioethanol*

Sifat	Unit, min/max	Spesifikasi
Kadar etanol	%-v, min	99,5
Kadar metanol	mg/L,max	300
Kadar air	%-v,max	1
Kadar denaturan	%-v,min - max	2 - 5
Kadar tembaga	mg/kg ,max	0,1
Tampakan		Jernih
Kadar ion Cl <sup>-</sup>	mg/L,max	40
Kandungan S	mg/L,max	50
Kadar getah	mg/100 ml,max	0,5
pH		6,5-9,0

Menurut PTPN XI, produksi *molasses* di Jawa Timur pada tahun 2014 sebesar 1055 ton per harinya. Jika difokuskan pada satu wilayah, yaitu Kabupaten Lumajang pada pabrik Gula Djatiroto, ketersediaan bahan baku yang ada sebesar 8000 Ton Cane perDay. Berdasarkan ketersediaan tersebut, kami menetapkan kapasitas pabrik *bioethanol* sebesar 82,449% dari ketersediaan total yaitu 8000 kg *molasses* masuk per jam.

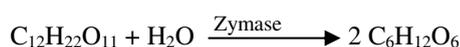
**B. Uraian Proses Fermentasi**

Pada Tangki Fermentasi (V-120A/B), dalam kondisi anaerob karena dengan adanya oksigen akan menghambat pembentukan alkohol. Proses fermentasi ini dilakukan secara *batch*. Pada proses ini, inokulum dari tangki propagasi (V-121 A/B) dialirkan ke dalam tangki fermentor (V-120 A/B) yang telah berisi sebagian besar (80,5%) *molasses* steril yang telah diencerkan kemudian ditambahkan *antifoam* yakni berupa *red turkey oil* untuk mencegah timbulnya buih yang disebabkan oleh terbentuknya gas CO<sub>2</sub>.

Dalam tahap ini terjadi reaksi utama pembentukan ethanol dan beberapa reaksi samping yang menghasilkan gliserol, asam asetat, acetaldehyde, dan karbondioksida.

Reaksi utama yang terjadi adalah sebagai berikut.

a. Reaksi penguraian sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa.



b. Reaksi pembentukan ethanol.



Proses fermentasi ini dilakukan selama 24 jam. Pada tahap akhir ini, akan dihasilkan ethanol dengan kadar 6,9% berat. Selanjutnya hasil fermentasi ini dipompa menuju decanter untuk melalui proses selanjutnya

Perhitungan neraca massa pada tangki Fermentasi tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4.  
Neraca Massa Tangki Fermentasi

Komponen	Masuk (kg)			
	Arus <6> Massa	Arus <12> Massa	Arus <14> Massa	Arus <15> Massa
Sukrosa	2114.27	0.00	0.00	0.00
Fruktosa	916.19	0.53	0.00	0.00
Glukosa	845.71	1.79	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub>	288.95	59.55	0.00	0.00
Impurities	1198.09	246.91	0.00	0.00
Etanol	0.00	11.1948	0.00	0.00
H <sub>2</sub> O	17165.60	3901.45	0.00	0.00
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	195.68	40.33	0.00	0.00
CaSO <sub>4</sub>	34.23	7.05	0.00	0.00
MgSO <sub>4</sub>	42.29	8.71	0.00	0.00
PHP	0.00	7.99	38.76	0.00
Antifoam	0.00	4.42	0.00	25.90
CH <sub>3</sub> COOH	0.00	0.06	0.00	0.00
Propanol	0.00	0.03	0.00	0.00
Amil Alkohol	0.00	0.01	0.00	0.00
Acetaldehyde	0.00	0.02	0.00	0.00
CO <sub>2</sub>	0.00	0	0.00	0.00
Biomass	0.00	200.24	0.00	0.00
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.71	0.00	0.00
Jumlah	22801.01	4491.01	38.76	25.90
Jumlah (kg)		27356.68		

Tabel 4.  
Neraca Massa Tangki Fermentasi (lanjutan)

Komponen	Keluar(kg)	
	Arus <16> Massa	Arus <17> Massa
Sukrosa	0.00	0.00
Fruktosa	0.00	86.42
Glukosa	0.00	289.71
SiO <sub>2</sub>	0.00	348.50
Impurities	0.00	1445.00
Etanol	0.00	1822.94
H <sub>2</sub> O	0.00	20954.36
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.00	236.01
CaSO <sub>4</sub>	0.00	41.29
MgSO <sub>4</sub>	0.00	51.00
PHP	0.00	46.75
Antifoam	0.00	30.32
CH <sub>3</sub> COOH	0.00	9.23
Propanol	0.00	4.55
Amil Alkohol	0.00	2.16
Acetaldehyde	0.00	2.94
CO <sub>2</sub>	1750.28	0.00
Biomass	0.00	200.24
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0.00	34.97
Jumlah	1750.28	25606.40
Jumlah	27356.68	

Kemudian untuk perhitungan neraca energi pada unit tangki fermentasi disajikan sebagai berikut :

Tabel 5.  
Neraca Energi Tangki Fermentasi

H masuk (kJ/jam)		H keluar (kJ/jam)	
Hbahan masuk	503418.22	Hbahan keluar	674181.34
Hair masuk	0.00	Hreaksi	-2116703.53
		Hair keluar	1945940.41
<b>TOTAL</b>	<b>503418.22</b>	<b>TOTAL</b>	<b>503418.22</b>

Berdasarkan beban massa dan panas yang digunakan pada pabrik ini, dibutuhkan spesifikasi sebuah tangki fermentasi seperti pada Tabel 6.

Tabel 6.  
Spesifikasi Tangki Fermentasi

Spesifikasi	Keterangan
Kode	V-126 A/B
Fungsi	Tempat terjadinya proses fermentasi glukosa dan sukrosa menjadi ethanol
Kapasitas	616.978 kg
Bentuk	Tutup atas berbentuk <i>dished head</i> dan tutup bawah berbentuk <i>conical</i>
Bahan	<i>Stainless Steel</i> tipe 304, grade 3 (SA-167)
Waktu tinggal	31 jam
Tekanan desain ( $P_{design}$ )	2,18 bar (218 kPa)
Diameter luar tangki (OD)	19,95 ft
Tinggi <i>liquid</i> dalam tangki ( $L_{total}$ )	37 ft
Tinggi silinder ( $L_s$ )	35 ft
Tinggi tutup atas ( $L_{ha}$ )	7 ft
Tinggi tutup bawah ( $L_{hb}$ )	7 ft
Tinggi tangki ( $L_T$ )	49 ft
Tebal silinder ( $t_s$ )	0,2 in
Tebal tutup atas ( $t_{ha}$ )	1,125 in
Tebal tutup bawah ( $t_{hb}$ )	0,45 in
Jumlah	2 unit
<b>Pengaduk</b>	
Tipe	<i>Six blade open turbin</i>
Jumlah	2 buah
Power	131,36 hp (96,6 kW)
Diameter pengaduk ( $D_s$ )	72 in
Panjang pengaduk ( $L_s$ )	18 in
Lebar pengaduk ( $W$ )	17,5 in
Kecepatan putaran ( $N$ )	80 rpm
<b>Coil</b>	
Luas penampang	213.239,67 ft <sup>2</sup>
Duty	7.097.485 btu/jam (2.080,067 kW)

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa *molasses* yang berasal dari Kabupaten Lumajang, Jawa Timur mampu menghasilkan produk *bioethanol*. Kapasitas pabrik yang sebesar 8500 kg/jam *molasses* masuk, mampu menghasilkan *bioethanol* sebanyak 17.764,53945 kL Ethanol 99,5%.

Setelah dilakukan analisis hasil produksi pabrik *bioethanol*

ini, maka selanjutnya dapat dilakukan analisis ekonomi sebagai berikut :

Tabel 7.  
Hasil Perhitungan Analisis Ekonomi

Keterangan	Unit	Jumlah
<i>Total Capital Investment</i>	Rp	368.226.944.302
<i>Interest</i>	% per tahun	7,5
Waktu Konstruksi	tahun	2
Operasi per Tahun	hari per thn	330
<i>Pay Out Time</i>	tahun	3,46
<i>Internal Rate of Return</i>	%	21,02
<i>Break Even Point</i>	%	30,61
Harga Jual <i>Bioethanol</i>	Rp/lt	16.000
Harga <i>Molasses</i>	Rp/kg	800

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Studi Awal Proses Distilasi pada Desain Pabrik *Bioethanol* dari *Molasses* dilakukan secara kontinyu selama 24 jam/hari selama 330 hari/tahun. Kapasitas produksi pabrik ini sebesar 1778,73 kg/jam dengan jumlah pasokan bahan baku *molasses* sebesar 8500 kg/jam. Diperkirakan umur pabrik ini adalah 10 tahun dengan masa konstruksi 2 tahun, dimana rincian analisis ekonomi sebagai berikut :

<i>Total Capital Investment</i>	= Rp 368.226.944.302
<i>Internal Rate of Return</i>	= 21,02 %
<i>Pay Out Time</i>	= 3,46 tahun
<i>Break Even Point</i>	= 30,61 %

Berdasarkan hasil analisis ekonomi tersebut, terlihat bahwa IRR sebesar 21,02 % berada di atas bunga pinjaman bank sebesar 7,5%, dengan POT pada tahun keempat menginjak tahun kelima. Selain itu, terlihat pula bahwa fluktuasi bahan baku tidak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kenaikan atau penurunan nilai IRR pabrik. Sehingga pabrik *Bioethanol* dari *Molasses* ini layak untuk didirikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atkinson, Bernard dan Ferda Mavituna. 1987. *Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook*. New York: Macmillan Publishers Ltd.
- [2] Geankoplis, Christie J. 1997. *Transport Processes and Unit Operations* 3rd Edition. New Delhi: Prentice-Hall of India.
- [3] Paturau, J M. -. *Alternative Uses of Sugarcane and Its Byproducts in Agroindustries*. <http://www.fao.org>. FAO Corporate Document Respository. 13 Januari 2016.
- [4] <http://www.bps.go.id>
- [5] <http://www.jpnn.com>