

# Model Peramalan Pasokan Energi Primer Dengan Pendekatan Metode *Fuzzy Linear Regression* (FLR)

Hikmayangkara Putri Purwareta, I Gusti Ngurah Rai Usadha, dan Nuri Wahyuningsih

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*E-mail:* nuri@matematika.its.ac.id

**Abstrak**— Pasokan energi di masa depan merupakan permasalahan yang senantiasa menjadi perhatian semua bangsa. Begitu juga bagi Indonesia yang merupakan salah satu negara sedang berkembang, penyediaan energi merupakan faktor yang sangat penting dalam mendorong pembangunan. Oleh karena itu, dibutuhkan model peramalan untuk meramalkan pasokan energi primer. Akan tetapi, data yang terbatas menjadi masalah untuk memodelkan pasokan energi primer karena dataset kecil tidak dapat ditentukan modelnya dengan metode regresi klasik. Dalam penelitian ini diaplikasikan metode *Fuzzy Linear Regression* (FLR) untuk memodelkan peramalan pasokan energi primer dengan variabel bebasnya adalah Produk Domestik Bruto (PDB) dan populasi penduduk. Hasil model peramalan dari pendekatan metode FLR untuk total pasokan energi primer adalah  $\tilde{Y}_i = (0;50718190) + (52780,52;0)X_{i1} + (4548,169;0)X_{i2}$  dengan nilai MAPE sebesar 2,19% menunjukkan bahwa model peramalan ini layak.

**Kata Kunci**— *Fuzzy Linear Regression* (FLR), Pasokan Energi Primer, Produk Domestik Bruto.

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan salah satu negara sedang berkembang, pasokan energi merupakan faktor yang sangat penting dalam mendorong pembangunan. Seiring dengan meningkatnya pembangunan terutama pembangunan di sektor industri, pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk, kebutuhan akan energi terus meningkat. Sehingga, apabila pasokan energi primer kurang, bisa berakibat buruk terhadap keberlangsungan suatu bangsa. Oleh karena itu, butuh model peramalan untuk meramalkan pasokan energi primer pada tahun-tahun berikutnya.

Banyaknya data merupakan masalah untuk memodelkan pasokan energi primer karena data yang tersedia hanyalah data tahunan bukan bulanan ataupun mingguan. Selain itu seseorang tidak dapat mengandalkan data pada periode dua puluh sampai tiga puluh tahun yang lalu untuk membangun model peramalan pasokan energi primer karena keadaan ekonomi dan sosialnya sudah berbeda. Dalam hal ini variabel yang digunakan adalah variabel ekonomi dan sosial misalnya Produk Domestik Bruto (PDB) dan populasi penduduk. Krisis ekonomi, krisis energi dan perubahan politik juga merupakan contoh penting lainnya yang meragukan pada pembenaran menggunakan semua data yang tersedia untuk memodelkan. Seperti halnya keadaan Indonesia pada masa Orde Baru yang berbeda dengan masa Reformasi dari segi politik, ekonomi, dan sosialnya. Oleh karena itu, kita tidak dapat mengandalkan data pada periode itu.

Sehingga, data yang tersedia untuk memodelkan pasokan energi primer ini terbatas atau data set kecil.

Metode *Fuzzy Linear Regression* (FLR) adalah metode yang dapat memodelkan peramalan dengan data set kecil. FLR dapat digunakan untuk menyesuaikan data fuzzy dan data crisp ke dalam model regresi, sedangkan analisis regresi hanya bisa dipakai untuk data crisp [1].

Dalam penelitian ini akan diaplikasikan metode *Fuzzy Linear Regression* (FLR) untuk memodelkan peramalan dari pasokan energi primer menurut jenisnya dengan variabel bebasnya,  $X_1$  adalah Produk Domestik Bruto (PDB) dan  $X_2$  adalah populasi penduduk. Jenis dari pasokan energi primer itu sendiri ada enam yaitu batubara, minyak mentah, gas bumi, tenaga air, panas bumi, dan biomassa. Data yang dipakai adalah data dari tahun 2000-2010 yang diambil dari “*Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2011*”, dengan satuan dari pasokan energi primer adalah *Barrel of Oil Equivalent* (BOE), Produk Domestik Bruto (PDB) adalah Trilyun Rupiah dan populasi penduduk adalah Ribu [2]. Dari data tersebut dicari parameter fuzzy dari dua pendekatan sehingga terbentuk model peramalan. Kemudian dicari berapa besar ukuran kesalahan dari model tersebut dengan *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE) untuk mendapatkan model peramalan yang terbaik.

## II. FUZZY LINEAR REGRESSION (FLR)

Ada dua pendekatan utama dalam pengembangan model regresi fuzzy, yaitu *Fuzzy Linear Regression* (FLR) dan *Fuzzy Least Squares Regression* (FLSR). *Fuzzy Linear Regression* (FLR) pertama kali diperkenalkan oleh Tanaka pada tahun 1982 [1]. Regresi fuzzy mengestimasi batasan yang mungkin, dikenal sebagai fungsi keanggotaan (*membership function*). Fungsi keanggotaan didefinisikan untuk koefisien dari variabel bebas [3]. Tanaka mengasumsikan fungsi dasar fuzzy linier dengan dua pendekatan yaitu dengan konstanta dan tanpa konstanta seperti persamaan berikut:

Dengan konstanta:

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_{i1} + \dots + \tilde{A}_N X_{iN} = \tilde{A}X \quad (1)$$

Tanpa konstanta:

$$\tilde{Y} = \tilde{A}_1 X_{i1} + \dots + \tilde{A}_N X_{iN} = \tilde{A}X \quad (2)$$

Dengan  $\tilde{Y}$  adalah variabel dependen,  $X$  adalah variabel independen,  $\tilde{A}$  adalah koefisien fuzzy yang dilambangkan

dengan  $\tilde{A} = (p_j; c_j), j = 1, 2, \dots, m$  dimana  $p_j$  merupakan nilai tengah dan  $c_j$  merupakan nilai sebaran. Sehingga persamaan (1) dan persamaan (2) dapat dituliskan kembali dalam persamaan berikut ini,

Dengan konstanta:

$$\tilde{Y}_i = (p_0; c_0) + (p_1; c_1)X_{i1} + \dots + (p_N; c_N)X_{iN} \quad (3)$$

atau

$$\tilde{Y}_i = (p_0 + p_1X_{i1} + \dots + p_NX_{iN}; c_0 + c_1 + \dots + c_N)$$

Tanpa konstanta:

$$\tilde{Y}_i = (p_1; c_1)X_{i1} + (p_2; c_2)X_{i2} + \dots + (p_N; c_N)X_{iN} \quad (4)$$

atau

$$\tilde{Y}_i = (p_1X_{i1} + p_2X_{i2} + \dots + p_NX_{iN}; c_1 + c_2 + \dots + c_N)$$

Analisis regresi fuzzy di atas mengasumsikan input dan output data set kecil, sedangkan hubungan antara input dan output data didefinisikan oleh fungsi fuzzy. Untuk nilai dari variabel dependen dapat diestimasi sebagai *fuzzy number*  $\tilde{Y}_i = (Y_i^L, Y_i^h, Y_i^U), i = 1, 2, \dots, n$  dimana batas bawah interval, nilai tengah, batas atas interval ditunjukkan oleh persamaan-persamaan di bawah ini.

Dengan konstanta:

$$Y_i^L = \sum_{j=0}^m (p_j - c_j)X_{ij} \quad (5)$$

$$Y_i^h = \sum_{j=0}^m p_j X_{ij} \quad (6)$$

$$Y_i^U = \sum_{j=0}^m (p_j + c_j)X_{ij} \quad (7)$$

Tanpa konstanta:

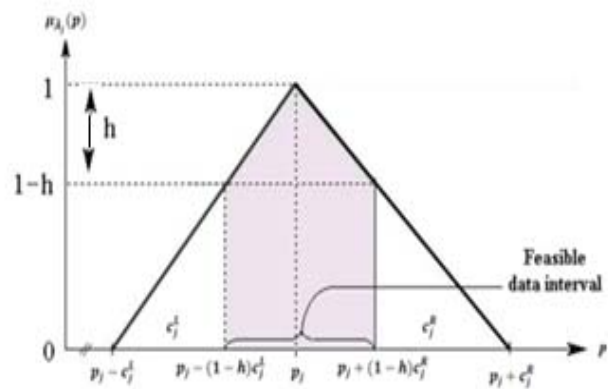
$$Y_i^L = \sum_{j=1}^m (p_j - c_j)X_{ij} \quad (8)$$

$$Y_i^h = \sum_{j=1}^m p_j X_{ij} \quad (9)$$

$$Y_i^U = \sum_{j=1}^m (p_j + c_j)X_{ij} \quad (10)$$

Pada tahun 1982 Tanaka menetapkan bahwa hasil penyelesaian model regresi diperoleh dengan permasalahan linear programming. Untuk data nonfuzzy, objektif dari model regresi digunakan untuk mendapatkan parameter  $\tilde{A}$  dengan nilai keanggotaan lebih besar dari  $h$  [3]. Fungsi keanggotaan dengan koefisien fuzzy ke- $j$  ditunjukkan oleh Gambar 1 [4].

Dalam regresi, koefisien fuzzy didapatkan dengan meminimalisasi sebaran dari output fuzzy dari semua data set [3]. Karena model Tanaka masih memiliki kekurangan dalam meminimalisasi sebaran maka Chang dan Ayyub membuat model atau persamaan yang merupakan perluasan dari model Tanaka [5].



Gambar. 1. Fungsi keanggotaan dengan faktor  $(1-h)$ .

Model Chang dan Ayyub inilah yang dipakai dalam penelitian ini. Fungsi objektif dari model Chang dan Ayyub ditunjukkan oleh persamaan berikut:

Dengan konstanta:

$$Z = \min_{c_j} \left( \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m c_j X_{ij} \right) \quad (11)$$

Tanpa konstanta:

$$Z = \min_{c_j} \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_j X_{ij} \right) \quad (12)$$

Fungsi objektif dari persamaan (11) dan persamaan (12) diminimalisasi terhadap dua batasan yang ditunjukkan oleh persamaan berikut:

Dengan konstanta:

$$\begin{aligned} y_i &\leq \sum_{j=0}^m p_j X_{ij} + (1-h) \sum_{j=0}^m c_j X_{ij} \\ y_i &\geq \sum_{j=0}^m p_j X_{ij} - (1-h) \sum_{j=0}^m c_j X_{ij} \end{aligned} \quad (13)$$

Tanpa konstanta:

$$\begin{aligned} y_i &\leq \sum_{j=1}^m p_j X_{ij} + (1-h) \sum_{j=1}^m c_j X_{ij} \\ y_i &\geq \sum_{j=1}^m p_j X_{ij} + (1-h) \sum_{j=1}^m c_j X_{ij} \end{aligned} \quad (14)$$

Untuk menghitung seberapa besar ukuran kesalahan model peramalan yang didapatkan digunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE merupakan rata-rata dari keseluruhan persentase kesalahan (selisih) antara data aktual dengan data hasil peramalan [6]. Suatu model dikatakan layak jika nilai MAPE berada di bawah 10%, dan cukup layak jika berada di antara 10% dan 20% [7].

Persamaan MAPE ditunjukkan oleh persamaan di bawah ini.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \times 100\% \right|}{n} \quad (15)$$

dengan:

$X_t$  : data aktual periode ke- $t$

$F_t$  : data hasil ramalan periode ke- $t$

$n$  : banyaknya data yang diramalkan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini dijelaskan tentang pembentukan model pasokan energi primer dengan metode *Fuzzy Linear Regression* (FLR), hasil ramalannya, dan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

A. *Penaksiran Parameter Fuzzy*

Penaksiran parameter fuzzy dilakukan dengan meminimumkan penyebaran (*spread*),  $c_j$ , dari nilai tengah ( $p_j$ ) bilangan fuzzy terhadap fungsi-fungsi batasan (*constrain*) tertentu. Sehingga terbentuk permasalahan program linier dan perlu dilakukan optimasi. Untuk mendapatkan nilai  $p_j$  dan  $c_j$ , masukkan data ke dalam persamaan fungsi objektif pada persamaan (11) dan persamaan (12), sedangkan untuk batasannya pada persamaan (13) dan persamaan (14) dengan memasukkan nilai  $h$  *trial* dan *error* dari 0,0 sampai 0,9. Nilai  $h$  yang diambil adalah bilangan sepersepuluh dari 0,0 sampai 0,9. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.

B. *Model Peramalan*

Setelah mendapatkan nilai taksiran dari parameter fuzzy maka dapat terbentuk model dengan memasukkan hasil tersebut ke dalam persamaan (3) dan persamaan (4). Berikut ini adalah model peramalan dari masing-masing jenis pasokan energi primer.

1) Pasokan Energi Batubara

a. Dengan konstanta

$$\tilde{Y}_i = (0 ; 42131120) + (31242,13 ; 0)X_{i1} + (429,0794 ; 0)X_{i2}$$

b. Tanpa konstanta

$$\tilde{Y}_i = (39376,74 ; 7745,72)X_{i1} + (284,8182 ; 53,11525)X_{i2}$$

2) Pasokan Energi Minyak Mentah

a. Dengan konstanta

$$\tilde{Y}_i = (0 ; 26983910) + (2374,068 ; 0)X_{i1} + (2149,978 ; 0)X_{i2}$$

b. Tanpa konstanta

$$\tilde{Y}_i = (0 ; 2012,387)X_{i1} + (2185,479 ; 91,00833)X_{i2}$$

3) Pasokan Energi Gas Bumi

a. Dengan konstanta

$$\tilde{Y}_i = (138586100 ; 31350660) + (18540,41 ; 0)X_{i1} + (0 ; 0)X_{i2}$$

b. Tanpa konstanta

$$\tilde{Y}_i = (7853,277 ; 7289,945)X_{i1} + (802,2918 ; 12,37495)X_{i2}$$

4) Pasokan Energi Tenaga Air

a. Dengan konstanta

$$\tilde{Y}_i = (0 ; 7293937) + (2665,543 ; 0)X_{i1} + (87,83874 ; 0)X_{i2}$$

b. Tanpa konstanta

$$\tilde{Y}_i = (1462,567 ; 1111,649)X_{i1} + (111,581 ; 10,39391)X_{i2}$$

5) Pasokan Energi Panas Bumi

a. Dengan konstanta

$$\tilde{Y}_i = (7570488 ; 891398,8) + (1177,811 ; 0)X_{i1} + (0 ; 0)X_{i2}$$

b. Tanpa konstanta

$$\tilde{Y}_i = (805,4472 ; 231,4071)X_{i1} + (40,16228 ; 0)X_{i2}$$

6) Pasokan Energi Biomassa

a. Dengan konstanta

$$\tilde{Y}_i = (198922200 ; 3169080) + (1879,252 ; 0)X_{i1} + (314,1597 ; 0)X_{i2}$$

b. Tanpa konstanta

$$\tilde{Y}_i = (0 ; 2073,442)X_{i1} + (1273,395 ; 23,43143)X_{i2}$$

7) Total Pasokan Energi Primer

a. Dengan konstanta

$$\tilde{Y}_i = (0 ; 50718190) + (52780,52 ; 0)X_{i1} + (4548,169 ; 0)X_{i2}$$

b. Tanpa konstanta

$$\tilde{Y}_i = (48492,33 ; 3510,039)X_{i1} + (4651,015 ; 133,0604)X_{i2}$$

C. *Nilai Peramalan*

Nilai peramalan dari tiap-tiap jenis pasokan energi primer didapat dengan memasukkan nilai  $p_j$  dan  $c_j$  ke dalam persamaan (6) dan persamaan (9). Sedangkan untuk batas atas interval didapat dengan memasukkan nilai  $p_j$  dan  $c_j$  ke dalam persamaan (5) dan persamaan (8). Untuk batas bawah interval didapat dari persamaan (7) dan persamaan (10). Hasil dari nilai peramalan, batas atas interval, dan batas bawah interval tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1.  
Nilai Parameter Fuzzy

JENIS	Dengan Konstanta			Tanpa Konstanta			
	$h$	$(p_0; c_0)$	$(p_1; c_1)$	$(p_2; c_2)$	$h$	$(p_1; c_1)$	$(p_2; c_2)$
Batubara	0,1	(0, 42131120)	(31242,13, 0)	(429,0794, 0)	0,1	(39376,74, 7745,72)	(284,8182, 53,11525)
Minyak Mentah	0,1	(0, 26983910)	(2374,068, 0)	(2149,978, 0)	0,1	(0, 2012,387)	(2185,479, 91,00833)
Gas Bumi	0,1	(138586100, 31350660)	(18540,41, 0)	(0, 0)	0,1	(7853,277, 7289,945)	(802,2918, 12,37495)
Tenaga Air	0,1	(0, 7293937)	(2665,543, 0)	(87,83874, 0)	0,1	(1462,567, 1111,649)	(111,581, 10,39391)
Panas Bumi	0,1	(7570488, 891398,8)	(1177,811, 0)	(0, 0)	0,1	(805,4472, 231,4071)	(40,16228, 0)
Biomassa	0,1	(198922200, 3169080)	(1879,252, 0)	(1879,252, 0)	0,1	(0, 2073,442)	(1273,395, 23,43143)
Total Pasokan Energi Primer	0,1	(0, 50718190)	(52780,52, 0)	(4548,169, 0)	0,1	(48492,33, 3510,039)	(4651,015, 133,0604)

Tabel 2.  
Nilai Peramalan Dengan Konstanta

TAHUN	INTERVAL	BATUBARA	MINYAK MENTAH	GAS BUMI	TENAGA AIR	PANAS BUMI	BIOMASSA	TOTAL PASOKAN ENERGI PRIMER
2006	Batas Atas	241786602	512618835	231843189	35711250	12394598	278169874	1237519113
	Nilai Ramalan	199655482	485634925	200492529	28417313	11503199	275000794	1195334215
	Batas Bawah	157524362	458651015	169141869	21123376	10611800	271831714	1136082733
2007	Batas Atas	262387110	521489189	243189920	37645606	13115418	280403828	1285511974
	Nilai Ramalan	220255990	494505279	211839260	30351669	12224019	277234748	1241057522
	Batas Bawah	178124870	467521369	180488600	23057732	11332620	274065668	1184075594
2008	Batas Atas	294865417	530057343	261730330	40564213	14293229	283188174	1351395769
	Nilai Ramalan	252734297	503073433	230379670	33270276	13401830	280019094	1302949427
	Batas Bawah	210603177	476089523	199029010	25976339	12510431	276850014	1249959389
2009	Batas Atas	316488117	537728597	273837218	42554889	15062340	285309738	1398810086
	Nilai Ramalan	274356997	510744687	242486558	35260952	14170941	282140658	1347856358
	Batas Bawah	232225877	483760777	211135898	27967015	13279542	278971578	1297373706
2010	Batas Atas	344766179	553155471	289021813	45288806	16026967	288818941	1470558899
	Nilai Ramalan	302635059	526171561	257671153	37994869	15135568	285649861	1416738091
	Batas Bawah	260503939	499187651	226320493	30700932	14244169	282480781	1369122519

Tabel 3.  
Nilai Peramalan Tanpa Konstanta

TAHUN	INTERVAL	BATUBARA	MINYAK MENTAH	GAS BUMI	TENAGA AIR	PANAS BUMI	BIOMASSA	TOTAL PASOKAN ENERGI PRIMER
2006	Batas Atas	232428003	512536633	231575653	35697156	12385794	295067681	1236619191
	Nilai Ramalan	194763260	485595950	204484912	29675917	11613126	282938182	1186800923
	Batas Bawah	157098518	458655267	177394170	23654677	10840457	270808683	1154049238
2007	Batas Atas	262432819	521622095	243653905	37693390	13158909	300810679	1284949701
	Nilai Ramalan	219844448	493135853	212059024	30955962	12244619	287331395	1234793784
	Batas Bawah	177256077	464649610	180464143	24218534	11330330	273852111	1197165344
2008	Batas Atas	310528865	530193042	261144182	40619016	14311470	306620278	1350734992
	Nilai Ramalan	260041749	499432218	222223703	32739994	13165774	291000046	1300677579
	Batas Bawah	209554633	468671393	183303225	24860972	12020077	275379814	1255163862
2009	Batas Atas	342261928	537988290	273352062	42647241	15102878	311666300	1398312801
	Nilai Ramalan	286565638	505654276	229636018	34012721	13806073	294625401	1348091896
	Batas Bawah	230869348	473320262	185919974	25378201	12509267	277584502	1297399915
2010	Batas Atas	382974404	553912287	290863136	45520429	16203920	321496848	1470903678
	Nilai Ramalan	320601283	519359415	241099024	35910288	14717592	302610861	1419840709
	Batas Bawah	258228162	484806543	191334912	26300148	13231264	283724875	1362572504

D. Ukuran Kesalahan Model

Ukuran kesalahan dari model peramalan dihitung dengan menggunakan persamaan (15). Dari persamaan tersebut ukuran kesalahan dari masing-masing jenis pasokan energi primer yang dapat dilihat pada Tabel 4.

E. Analisis Hasil

Berikut ini adalah hasil analisis dari masing-masing pasokan energi primer.

1) Pasokan Energi Batubara

Model peramalan terbaik dari batubara yaitu  $\tilde{Y}_i = (0 ; 42131120) + (31242,13 ; 0)X_{i1} + (429,0794 ; 0)X_{i2}$  dengan

nilai MAPE 10,76%. Dari model tersebut diketahui jika  $X_1$  (PDB) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  (ramalan pasokan energi batubara) akan bertambah sebesar 31242,13 satuan dengan syarat  $X_2$  (populasi penduduk) tetap. Jika  $X_2$  (populasi penduduk) bertambah satu satuan maka  $Y$  akan bertambah sebesar 429,0794 satuan dengan syarat  $X_1$  (PDB) bernilai konstan. Jika  $X_1$  (PDB) dan  $X_2$  (populasi penduduk) konstan maka nilai  $Y$  berada pada rentang  $0 \pm 42131120$ .

Tabel 4.  
Ukuran Kesalahan (MAPE) dari Model Peramalan

JENIS	Dengan Konstanta	Tanpa Konstanta
BATUBARA	10,76%	14,23%
MINYAK MENTAH	4,57%	4,41%
GAS BUMI	6,77%	10,06%
TENAGA AIR	15,18%	16,35%
PANAS BUMI	3,69%	4,20%
BIOMASSA	0,79%	4,37%
TOTAL PASOKAN	2,19%	2,51%

2) Pasokan Energi Minyak Mentah

Model peramalan terbaik dari minyak mentah, yaitu  $\tilde{Y}_i = (0 ; 2012,387)X_{i1} + (2185,479 ; 91,00833)X_{i2}$  dengan nilai MAPE 4,41 %. Dari model tersebut diketahui bahwa jika  $X_1$  (PDB) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  (ramalan pasokan energi minyak mentah) berada pada rentang  $0 \pm 2012,387$  dengan syarat  $X_2$  (populasi penduduk) bernilai konstan. Jika  $X_2$  (populasi penduduk) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  bertambah sebesar 2185,479 atau berada pada rentang  $2185,479 \pm 91,00833$  dengan syarat  $X_1$  bernilai konstan.

3) Pasokan Energi Gas Bumi

Model peramalan terbaik dari gas bumi yaitu  $\tilde{Y}_i = (138586100 ; 31350660) + (18540,41 ; 0)X_{i1} + (0 ; 0)X_{i2}$  dengan nilai MAPE 6,77 %. Dari model tersebut diketahui jika  $X_1$ (PDB) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  (ramalan pasokan energi gas bumi) akan bertambah sebesar 18540,41 satuan dengan syarat  $X_2$  bernilai konstan. Variabel  $X_2$  (populasi penduduk) tidak berpengaruh terhadap nilai pasokan energi gas bumi. Jika  $X_1$  dan  $X_2$  konstan maka nilai  $Y$  sebesar 138586100 atau berada pada rentang  $138586100 \pm 31350660$ .

4) Pasokan Energi Tenaga Air

Model peramalan terbaik dari tenaga air yaitu  $\tilde{Y}_i = (0 ; 7293937) + (2665,543 ; 0)X_{i1} + (87,83874 ; 0)X_{i2}$  dengan nilai MAPE 15,18 %. Dari model tersebut diketahui bahwa jika  $X_1$  (PDB) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  (ramalan pasokan energi tenaga air) bertambah sebesar 2665,543 dengan syarat  $X_2$  (populasi penduduk) bernilai konstan. Jika  $X_2$  (populasi penduduk) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  bertambah sebesar 87,83874 dengan syarat  $X_1$  (PDB) bernilai konstan. Jika nilai  $X_1$  (PDB) dan  $X_2$  (populasi penduduk) konstan maka nilai  $Y$  berada pada rentang  $0 \pm 7293937$ .

5) Pasokan Energi Panas Bumi

Model peramalan terbaik dari panas bumi yaitu  $\tilde{Y}_i = (7570488 ; 891398,8) + (1177,811 ; 0)X_{i1} + (0 ; 0)X_{i2}$  dengan nilai MAPE 3,69 %. Dari model tersebut diketahui jika  $X_1$  (PDB) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  (ramalan pasokan energi panas bumi) bertambah sebesar 1177,811 dengan syarat

$X_2$  (populasi penduduk) bernilai konstan. Variabel  $X_2$  (populasi penduduk) tidak berpengaruh terhadap nilai pasokan energi tenaga air. Jika nilai  $X_1$  (PDB) dan  $X_2$  (populasi penduduk) konstan maka nilai  $Y$  sebesar 7570488 atau berada pada rentang  $7570488 \pm 891398,8$ .

6) Pasokan Energi Biomassa

Model peramalan terbaik dari biomassa, yaitu  $\tilde{Y}_i = (198922200 ; 3169080) + (1879,252 ; 0)X_{i1} + (314,1597 ; 0)X_{i2}$  dengan nilai MAPE 0,79 %. Dari model tersebut diketahui bahwa jika  $X_1$  (PDB) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  (ramalan pasokan energi biomassa) bertambah sebesar 1879,252 dengan syarat  $X_2$  (populasi penduduk) bernilai konstan. Jika  $X_2$  (populasi penduduk) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  bertambah sebesar 314,1597 dengan syarat  $X_1$  konstan. Jika nilai  $X_1$  (PDB) dan  $X_2$  (populasi penduduk) konstan maka nilai  $Y$  sebesar 198922200 atau berada pada rentang  $198922200 \pm 3169080$ .

7) Total Pasokan Energi Primer

Model peramalan terbaik dari total pasokan energi primer yaitu  $\tilde{Y}_i = (0 ; 50718190) + (52780,52 ; 0)X_{i1} + (4548,169 ; 0)X_{i2}$  dengan nilai MAPE 2,19 %. Dari model tersebut diketahui bahwa jika  $X_1$  (PDB) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  (ramalan total pasokan energi primer) bertambah sebesar 52780,52 dengan syarat  $X_2$  (populasi penduduk) bernilai konstan. Jika  $X_2$  (populasi penduduk) bertambah satu satuan maka nilai  $Y$  bertambah sebesar 4548,169 dengan syarat  $X_1$  konstan. Jika nilai  $X_1$  (PDB) dan  $X_2$  (populasi penduduk) konstan maka nilai  $Y$  berada pada rentang  $0 \pm 50718190$ .

IV. KESIMPULAN

Dari keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan pendekatan metode *Fuzzy Linear Regression* diperoleh model dari masing-masing jenis pasokan energi primer sebagai berikut:
  - a. Model peramalan pasokan energi batubara adalah  $\tilde{Y}_i = (0 ; 42131120) + (31242,13 ; 0)X_{i1} + (429,0794 ; 0)X_{i2}$ .
  - b. Model peramalan pasokan energi minyak mentah adalah  $\tilde{Y}_i = (0 ; 2012,387)X_{i1} + (2185,479 ; 91,00833)X_{i2}$ .
  - c. Model peramalan pasokan energi gas bumi adalah  $\tilde{Y}_i = (138586100 ; 31350660) + (18540,41 ; 0)X_{i1} + (0 ; 0)X_{i2}$ .
  - d. Model peramalan pasokan energi tenaga air adalah  $\tilde{Y}_i = (0 ; 7293937) + (2665,543 ; 0)X_{i1} + (87,83874 ; 0)X_{i2}$ .
  - e. Model peramalan pasokan energi panas bumi adalah  $\tilde{Y}_i = (7570488 ; 891398,8) + (1177,811 ; 0)X_{i1} + (0 ; 0)X_{i2}$ .
  - f. Model peramalan pasokan energi biomassa adalah  $\tilde{Y}_i = (198922200 ; 3169080) + (1879,252 ; 0)X_{i1} + (314,1597 ; 0)X_{i2}$ .

g. Model peramalan total pasokan energi primer adalah

$$\tilde{Y}_i = (0 ; 50718190) + (52780,52 ; 0)X_{i1} + (4548,169 ; 0)X_{i2}.$$

2. Dengan menggunakan perhitungan MAPE maka didapatkan ukuran kesalahan dari masing-masing jenis pasokan energi primer yaitu pasokan energi batubara 10,76%, pasokan energi minyak mentah 4,41%, pasokan energi gas bumi 6,77%, pasokan energi tenaga air 15,18%, pasokan energi panas bumi 3,69%, pasokan energi biomassa 0,79%, dan total pasokan energi primer 2,19%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azadeh, A., Saberi, M., Asadzadeh, S.M., Khakestani, M, "A Hybrid Fuzzy Mathematical Programing-Design of Experiment Framework for Improvement of Energy Consumption Estimation With Small Data Sets and Uncertainty: The Case of USA, Canada, Singapore, Pakistan, and Iran", *Journal of Energy*, (2011) 1-12.
- [2] .... (2012, February 8). Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2011. Available: <http://esdm.go.id>
- [3] Astuti, DR, "Peramalan Beban Jangka Pendek untuk Hari-hari Libur Menggunakan Fuzzy Linear Regression (FLR) yang Dioptimasi dengan Artificial Immune System (AIS) (Studi Kasis di Kalimantan Selatan-Tengah)", Tugas Akhir S1 Jurusan Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, (2009).
- [4] Shapiro, AF, "Fuzzy Regression Models", Article of Penn State University, (2005).
- [5] Azadeh, A., Khakestani, M., Saberi, M, "A Flexible Fuzzy Regression Algorithm for Forecasting Oil Consumption Estimation". *Journal of Energy Policy* 37, (2009) 5567-5579.
- [6] Andriyanto, US dkk, *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Jakarta: Erlangga, (1992).
- [7] Raharja, A., Angraeni, W., Vinarti, R.A., "Penerapan Metode Exponential Smoothing Untuk Peramalan Penggunaan Waktu Telepon Di PT. Telkomsel Divre3 Surabaya", Tugas Akhir S1 Jurusan Sistem Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, (2010).