

# Pemodelan Multilevel untuk Data Konsumsi Energi Listrik

MIFTAHUDDIN<sup>1</sup>, FADHLI<sup>2</sup>, JURAIIDA FITRI<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Jurusan Statistika Fakultas MIPA, Universitas Syiah Kuala

<sup>2</sup>Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Syiah Kuala

e-mail: miftah@unsyiah.ac.id

## ABSTRAK

Data konsumsi energi listrik adalah penting untuk dikaji sebagai langkah preventif penyediaan kebutuhan energi listrik yang meningkat setiap tahunnya di Indonesia, termasuk di wilayah Aceh. Pada struktur hirarki untuk model regresi multilevel ditunjukkan adanya struktur level atau taraf pada data konsumsi energi listrik, yaitu daya terpasang nested pada sektor customer, dan sektor customer nested pada area kerja PT. PLN (Persero) Wilayah Aceh. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan besaran efek variabel, seperti daya terpasang, jumlah customer, dan daya tersambung) pada taraf 1, variansi taraf 2 (sektor customer), dan variansi taraf 3 (area kerja PT PLN) terhadap konsumsi energi listrik di wilayah Aceh. Diperoleh hasil penelitian bahwa untuk memodelkan data konsumsi energi listrik di wilayah Aceh digunakan model regresi multilevel (3-taraf) dengan masing-masing nilai Deviance, AIC, dan BIC terkecil secara berurutan adalah 37402,42, 37476,41, dan 37682,99. Adanya pengaruh variansi dari sektor customer dan area kerja PLN Wilayah Aceh menyatakan bahwa variabel daya terpasang  $x_{127}$  (Industri: > 200 kVA),  $x_{136}$  (Publik: > 200 kVA),  $x_{137}$  (Publik: penerangan jalan umum),  $x_{151}$  (RT: 450 VA),  $x_{152}$  (RT: 900 VA),  $x_2$  (jumlah customer), dan  $x_3$  (jumlah daya tersambung) berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

Kata Kunci: Konsumsi Energi Listrik, Deviance, AIC, BIC, Multilevel (3-taraf).

## ABSTRACT

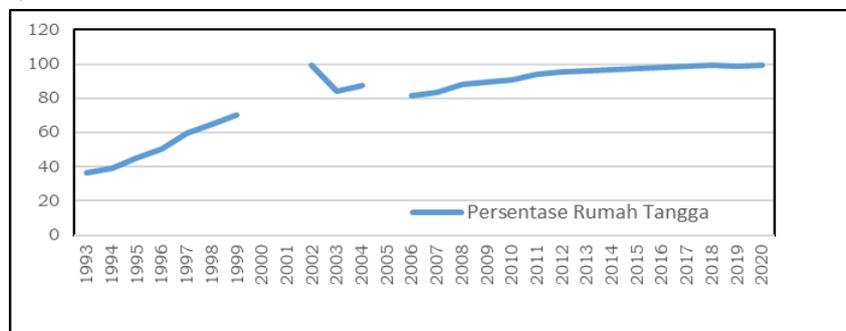
Data on electrical energy consumption is important to study as a preventive measure to supply the demand for electrical energy which increases every year in Indonesia, including in the Aceh region. In the hierarchical structure for the multilevel regression model, it is shown that there is a level structure in the electrical energy consumption data, namely the installed power nested in the customer sector, and the customer sector nested in the work area of PT. PLN (Persero) Aceh Region. The purpose of this study was to obtain the magnitude of the effect of variables, such as installed power, number of customers, and connected power) at level 1, level 2 variance (customer sector), and level 3 variance (PT PLN work area) on electrical energy consumption in the Aceh region. The results showed that to model the data on electricity consumption in the Aceh region, a multilevel (3-level) regression model was used with the smallest Deviance, AIC, and BIC values respectively 37402.42, 37476.41, and 37682.99. The influence of variance from the customer sector and the work area of PLN Aceh Region states that the installed power variable is  $x_{127}$  (Industrial: > 200 kVA),  $x_{136}$  (Public: > 200 kVA),  $x_{137}$  (Public: public street lighting),  $x_{151}$  (RT: 450 VA),  $x_{152}$  (RT: 900 VA),  $x_2$  (number of customers), and  $x_3$  (number of connected power) affect the consumption of electrical energy in the Aceh region.

Keywords: Electrical Energy Consumption, Deviance, AIC, BIC, Multilevel (3-level).

## 1. PENDAHULUAN

Konsumsi energi listrik di Indonesia, khususnya untuk wilayah Aceh memperlihatkan kenaikan persentase dari tahun 1993 sampai dengan 1999. Kemudian meningkat dari tahun 2006 sampai dengan 2020. Adanya penurunan dari tahun 2002 sampai dengan 2003 dan sedikit menaik di tahun 2004 sebelum tsunami di Aceh akhir tahun 2004. Menurut proyeksi Kementerian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) rata-rata pertumbuhan kebutuhan energi

listrik nasional adalah sekitar 6.9% per tahun dalam kondisi normal. Adapun grafik kenaikan persentase rumah tangga di Aceh dan sumber penerangan listrik PLN sebagaimana pada gambar 1 (BPS, 2021).



**Gambar 1** Persentase Rumah Tangga di Provinsi Aceh dan Sumber Penerangan Listrik PLN, Periode 1993-2020 (BPS, 2021)

Kebutuhan energi listrik di wilayah kerja PT PLN Aceh selain digunakan untuk kebutuhan pembangunan daerah (kabupaten/kota), juga digunakan untuk perumahan, perkantoran, transportasi, industri dan usaha ekonomi masyarakat serta berbagai kebutuhan lainnya. Pemodelan multilevel diperkenalkan oleh Goldstein (1999) bertujuan agar dapat menjelaskan efek dari struktur hirarki data dengan jelas. Dalam pemodelan ini, struktur hirarki data didefinisikan sebagai level dengan tingkatan terendah (terbawah) disebut sebagai level/taraf 1 dan tingkatan lebih tinggi (diatasnya) disebut level/taraf 2 dan seterusnya. Adanya interaksi antar variabel pada tingkatan berbeda dapat diukur menggunakan pemodelan multilevel.

Data yang mengandung struktur level (taraf) dapat ditemui pada kehidupan nyata seperti data konsumsi BBM (bahan bakar minyak), bahan pokok, dan energi listrik di wilayah Aceh. Energi listrik termasuk dalam kebutuhan utama untuk masyarakat modern saat ini. Tanpa adanya energi listrik dalam berbagai aktivitas kehidupan modern termasuk bidang pemerintahan, pendidikan (pembelajaran jarak jauh), perekonomian, bisnis, dan industri, transportasi dapat menimbulkan hambatan dan kesulitan yang berarti dalam pelaksanaannya.

Adanya unsur hirarki pada data konsumsi energi listrik PLN Wilayah Aceh menjadi salah satu alasan dilakukannya penelitian ini. Pengukuran variabel independen dilakukan pada level terbawah, sedangkan level 2 (sektor customer) dan level 3 (area wilayah kerja PLN) tidak ada variabel independen yang diukur. Analisis multilevel dapat dilakukan pada bentuk data tersebut sebagaimana dalam (Harlan, 2016). Variabel lingkungan (*environment*) (Area) menjadi salah satu variabel penting dalam penelitian ini. Hal tersebut karena analisis yang dilakukan tanpa mengikutsertakan informasi mengenai keanggotaan individu dalam lingkungan (Area) dapat mengakibatkan perolehan hasil analisis yang kurang atau tidak dapat menyimpulkan secara lebih rinci untuk masing-masing lingkungan tersebut. Dismaping teoritisnya dapat mengabaikan masalah pada analisis inferensia (Ringdal, 1992).

Penelitian terkait pemodelan konsumsi energi listrik (sektor industri) di Jawa Timur melalui regresi data panel (Fitriantje dan Wibowo, 2016), menunjukkan jumlah customer dan daya tersambung (kVA) memiliki pengaruh signifikan terhadap konsumsi energi listrik (sektor industri). Sedangkan terkait pemilihan pemodelan multilevel terbaik, dimana data yang digunakan adalah nilai mahasiswa pasca sarjana IPB pada matakuliah Analisis Statistika 2008/2009. Data tersebut terdiri dari nilai ujian pertama dan nilai ujian akhir semester nested pada program studi dan program studi nested pada beberapa kelas (Tantular, dkk, 2009). Pemodelan multilevel dinamik pada kebutuhan energi industri di Eropa dikembangkan dengan pendekatan *generalized method of moments* (GMM), dimana struktur dataset dengan struktur hierarkis dengan panel seimbang dari beberapa tahun dan data tentang industri yang bersarang di dalam negara (Sharimakin and Glass, 2018). Selanjutnya pemodelan multilevel terhadap penggunaan energi rumah tangga dengan teknik *Adaptive Elastic Net Regularization* (Belaïd, et al, 2019).

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti melakukan investigasi mengenai pemodelan data konsumsi energi listrik melalui analisis multilevel. Penelitian ini khususnya bertujuan untuk memodelkan kebutuhan konsumsi energi listrik di wilayah Aceh dan mengetahui ada atau

tidaknya pengaruh taraf 1 (daya terpasang, jumlah customer, dan daya tersambung), level 2 (sektor customer) dan taraf 3 (Area) terhadap konsumsi energi listrik di Aceh.

**Deskriptif Area PLN (Persero) Wilayah Aceh dan Karakteristik Beban Listrik**

PLN Wilayah Aceh sebagai satu unit PT. PLN (Persero) memiliki kewajiban untuk memenuhi penyediaan kebutuhan energi listrik di wilayah Aceh, dengan 6 Area pelaksana yaitu Area Banda Aceh (meliputi Banda Aceh, Aceh Besar, dan Sabang). Area Langsa (meliputi Langsa, Aceh Timur, Aceh Tamiang, Aceh Tenggara, dan Gayo Lues). Area Lhokseumawe (meliputi Lhokseumawe, Aceh Utara, Bireuen, Aceh Tengah, dan Bener Meriah). Area Meulaboh (meliputi Aceh Barat, Aceh Jaya, Nagan Raya, dan Simelue). Area Sigli (meliputi Pidie dan Pidie Jaya). Area Subulussalam (meliputi Aceh Selatan, Aceh Barat Daya, Aceh Singkil, dan Subulussalam). Karakteristik energi listrik yang digunakan oleh customer sebagai sumber daya umumnya peralatan dapat berupa lampu (penerangan), pemanas, mesin, sumber daya peralatan elektronik dan lain-lain. Untuk beban listrik dibedakan menjadi dua yaitu beban normal dan beban puncak, dimana beban normal adalah beban listrik yang dapat dipenuhi oleh PLN. Sedangkan beban puncak adalah beban tertinggi tiap sistem yang dicapai pada selang/interval waktu tertentu (Statistika PLN, 2016). Berdasarkan beban listrik, konsumen energi listrik dapat dibedakan menjadi beberapa sektor customer. Berikut merupakan sektor customer PT. PLN (Persero) Wilayah Aceh (PLN Wilayah Aceh, 2016).

1. Rumah Tangga: seluruh rumah tangga yang menggunakan energi listrik dari PLN, baik rumah tangga dengan status ekonomi rendah, menengah maupun tinggi. Umumnya beban rumah tangga berupa penerangan (lampu), penyejuk udara, lemari es, dan alat rumah tangga lainnya. Beban rumah tangga memuncak pada malam hari.
2. Sosial: untuk kebutuhan rumah-rumah ibadah, sekolah dan lain-lain. Biasanya sektor ini memuncak pada siang hari.
3. Bisnis: sektor ini keperluannya untuk penerangan bisnis yang dimiliki atau dijalankan oleh masyarakat. Misalnya penerangan toko-toko elektronik, restoran, dan lain sebagainya. Beban sektor ini mencapai puncak pada siang hari dan kembali turun pada waktu sore hari.
4. Industri: untuk keperluan industri kecil, menengah, maupun industri besar. Industri kecil biasanya beroperasi pada siang hari, sedangkan industri besar beroperasi hingga 24 jam.
5. Publik/umum: untuk penerangan kantor-kantor pemerintah, penerangan jalan umum, pasar, rumah sakit, dan lain-lain. Karakteristik beban puncak perkantoran terjadi pada waktu siang hari, sedangkan penerangan jalan umum mencapai puncak pada malam hari.

Variabilitas kebutuhan energi listrik dapat dilihat dari segi konsumen atau customer, sedangkan beban tenaga listrik suatu akibat yang muncul dari adanya kebutuhan tersebut, dan dilihat dari ketersediaan arus listrik oleh penyedia (PLN). Adapun formula perhitungan permintaan energi listrik (Statistika PLN, 2016).

$$d = \frac{\sum \text{kWh Beban Puncak}}{\sum \text{kVA Tersambung} \times 9,760} \quad \dots(1)$$

dimana,

$d$  : permintaan energi listrik

daya tersambung merupakan perkalian antar daya terpasang dan jumlah customer.

$$\text{Daya Tersambung (VA)} = \text{daya terpasang} \times \text{jumlah pelanggan} \quad \dots(2)$$

**Kalkulasi Energi Listrik**

Dalam postulat Kekekalan Energi bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Transformasi energi dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk energi lainnya. Hal serupa juga terjadi pada energi listrik yang merupakan hasil perubahan energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik, energi biologis menjadi energi listrik, energi panas bumi, solar cell menjadi energi listrik. Contoh sebagai penerangan, pemanas, penggerak dan lain-lain. Energi yang digunakan alat listrik adalah laju penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu selama alat tersebut beroperasi/digunakan sistem. Berikut formula untuk menghitung energi listrik (Watkins, 2004).

$$W = P \times t \quad \dots(3)$$

dimana,  $P$  : daya (VA),  $t$  : waktu (jam),  $W$  : energi (kWh), 1 kWh : energi yang dikeluarkan jika 1 VA digunakan selama 1 jam.

### Analisis Regresi (Multilevel)

Model linier digunakan untuk melihat hubungan antar variabel dependen/terikat /respon/output) dengan variabel penjelas/independen/bebas/input (Draper and Smith, 1992). Model regresi linier merupakan model yang menunjukkan hubungan linier dalam parameter antara variabel input dan output, yang secara umum dapat dituliskan:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_i x_i + \varepsilon_i, \quad i : 1, 2, \dots, p \quad \dots(4)$$

dimana

$y$  : variabel respon

$\beta_0$  : *intercept*

$\beta_1$  : *slope*

$x_i$  : variabel penjelas

$\varepsilon_i$  : residual error, diasumsikan menyebar  $N(0, \sigma^2)$ .

Pada umumnya koefisien model regresi tidak diketahui, sehingga harus dilakukan pengestimasi, dapat melalui metode kuadrat terkecil atau estimasi likelihood maksimum (Kutner et.al, 2004). Beberapa asumsi perlu diperiksa, selain normalitas juga multikolinieritas. Adanya korelasi kuat antara variabel bebas ( $x_i$ ) dalam konstruksi model regresi disebut multikolinieritas. Keberadaan multikolinieritas dalam model regresi dapat diketahui melalui nilai VIF (*Variance Inflation Factor*). Berikut formula yang digunakan:

$$VIF = \frac{1}{1-R_i^2} \quad \dots(5)$$

$R_i^2$  merupakan koefisien determinasi ganda bila  $x_i$  diregresikan terhadap semua variabel bebas lainnya. Apabila nilai VIF < 10 berarti tidak terdapat multikolinieritas pada model regresi tersebut (Gujarati, 2012).

Model regresi multilevel/multitaraf memiliki struktur model yang menggambarkan bahwa data yang dianalisis berada pada beberapa tingkatan/level/taf, dimana data pada taraf rendah nested pada data yang tarafnya lebih tinggi. Variabel output pada model regresi multilevel diukur pada level terendah, sedangkan variabel bebas dapat didefinisikan pada setiap tarafnya. Pada model regresi multilevel/multitaraf melibatkan grup/kelompok/cluster yang akan menghasilkan garis regresi sesuai banyaknya grup/kelompok/cluster dan juga keragaman/variasi dalam grup/kelompok/cluster serta interaksi yang mungkin terjadi pada variabel berbeda (Snijders and Bosker, 2003; Hox, 2010; 2018). Model multilevel paling sederhana terdiri dari dua taraf, secara umum:

Model pada taraf 1

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} X_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad \dots(6)$$

Model pada taraf 2

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01} Z_j + u_{0j} \quad \dots(7)$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11} Z_j + u_{1j} \quad \dots(8)$$

dengan:

indeks  $i=1,2,\dots,n$  ;  $j=1,2,\dots,J$  ;

$Y_{ij}$  : variabel output ke-i dalam unit ke-j taraf 2

$\beta_{0j}$  : perpotongan acak ke-j taraf 2

$\beta_{1j}$  : efek tetap dengan variabel bebas ke-i taraf 1 dalam unit ke-j taraf 2

$\gamma_{01}$  : efek tetap dengan variabel bebas taraf 2

$\gamma_{10}$  : efek tetap dengan variabel bebas taraf 2

$\gamma_{11}$  : efek tetap dengan variabel bebas pada unit ke-j taraf 2

$Z_j$  : variabel bebas ke-j taraf 2

$\varepsilon_{ij}$  : residual error ke-i taraf 1 dan unit ke-j taraf 2 (residual taraf 1), asumsi  $N(0, \sigma^2_\varepsilon)$ .

$u_{0j}$ : residual error ke-j taraf 2 (residual level 1), asumsi  $N(0, \sigma^2_{u_0})$ .

$u_{1j}$ : residual error ke-j taraf 1 dalam unit ke-j taraf 2 (residual taraf 2), asumsi  $N(0, \sigma^2_{u_1})$

Persamaan (7) dan (8) di substitusikan dalam persamaan (6), diperoleh model umum regresi 2-taraf (Hox, 2010).

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{10}X_{ij} + \gamma_{10}Z_j + \gamma_{11}Z_jX_{ij} + u_{1j}X_{ij} + u_{0j} + \varepsilon_{ij} \quad \dots(9)$$

Model multilevel memiliki beberapa asumsi yang analog dengan asumsi model regresi linier. Asumsi model multilevel/multitaraf diantaranya normalitas dan linieritas yang dapat diperiksa/diagnostik nilai residualnya. Model ini membolehkan adanya interaksi antar variabel dalam taraf berbeda. Dengan kata lain, terdapat interaksi atau korelasi antar variabel dari taraf lebih tinggi dengan variabel dari taraf lebih rendah/taraf dibawahnya. Akan tetapi kebebasan antar variabel dalam satu taraf tetap menjadi asumsi mendasar yang harus dipenuhi, jika tidak dipenuhi maka dapat menyebabkan adanya multikolinieritas (Hox, 2010; 2018).

**Korelasi Intrakelas**

Model yang terdiri dari dua taraf korelasi intrakelas dihitung menggunakan model intersep 2 taraf dengan variansi pada taraf pertama  $\sigma^2_{\varepsilon}$  dan variansi pada taraf kedua  $\sigma^2_{u_0}$ . Maka korelasi intrakelas diperoleh dari persamaan berikut (Hox, 2010; 2018).

$$\rho = \frac{\sigma^2_{u_0}}{\sigma^2_{u_0} + \sigma^2_{\varepsilon}} \quad \dots(10)$$

Korelasi intrakelas merupakan indikator proporsi varian pada taraf kedua, dan dapat diartikan sebagai korelasi antara dua individu yang dipilih secara acak dalam grup/kelompok yang sama. Bila model terdiri dari 3 taraf maka ada beberapa cara untuk menghitung nilai korelasi intrakelasnya.

Jika variansi pada taraf ke 1, ke 2, dan ke 3 masing-masing  $\sigma^2_{\varepsilon}$ ,  $\sigma^2_{u_0}$ , dan  $\sigma^2_{v_0}$  maka metode pertama (Davis dan Scott dalam Hox, 2010; 2018) mendefinisikan korelasi antar kelas pada taraf 2 dan taraf 3 sebagai berikut:

$$\rho_{level 2} = \frac{\sigma^2_{u_0}}{\sigma^2_{v_0} + \sigma^2_{u_0} + \sigma^2_{\varepsilon}} \text{ dan } \rho_{level 3} = \frac{\sigma^2_{v_0}}{\sigma^2_{v_0} + \sigma^2_{u_0} + \sigma^2_{\varepsilon}} \quad \dots(11)$$

Metode kedua (Siddiqui, Hedeker, Flay, dan Hu dalam Hox, 2010; 2018) mendefinisikan korelasi antar kelas pada taraf 2 dan taraf 3 sebagai berikut:

$$\rho_{level 2} = \frac{\sigma^2_{v_0} + \sigma^2_{u_0}}{\sigma^2_{v_0} + \sigma^2_{u_0} + \sigma^2_{\varepsilon}} \text{ dan } \rho_{level 3} = \frac{\sigma^2_{v_0}}{\sigma^2_{v_0} + \sigma^2_{u_0} + \sigma^2_{\varepsilon}} \quad \dots(12)$$

Metode pertama mengidentifikasi proporsi varian di taraf 2 dan taraf 3. Metode ini digunakan untuk mengetahui dekomposisi varian di seluruh taraf yang tersedia, atau untuk mengetahui seberapa banyak perbedaan yang dijelaskan pada setiap taraf. Sedangkan metode kedua mewakili perkiraan korelasi yang diharapkan antar dua elemen yang dipilih secara acak dalam grup/kelompok yang sama.

**Estimasi dan Pengujian Parameter**

Metode kuadrat terkecil (OLS) tidak dapat digunakan untuk mengestimasi parameter pada analisis pemodelan multilevel, sehingga digunakan metode likelihood maximum estimation (MLE) (Harlan, 2016), yaitu *Full Maximum Likelihood Estimation* (FMLLE) dan *Restricted Maximum Likelihood Estimation* (RMLE) (Hox, 2010; 2018).

Untuk pengujian signifikansi parameter dapat dilakukan secara simultan dan parsial. Tingkat signifikansi variabel bebas terhadap variabel output secara keseluruhan dapat diketahui melalui pengujian secara simultan, dengan Hipotesis,

- $H_0$  :  $\beta_i = 0$
- $H_1$  : Tidak semua  $\beta_i = 0$

Statistik uji:

$$F = \frac{R^2/(k-1)}{(1-R^2)/(n-k)} \quad \dots(13)$$

Jika  $F > F_{\alpha,(k-1,n-k)}$ , maka  $H_0$  ditolak, dimana  $F_{\alpha,(k-1,n-k)}$  merupakan nilai  $F$  kritis pada tingkat signifikansi  $\alpha$ ;  $(k - 1)$  adalah df pembilang dan  $(n - k)$  adalah df penyebut. Alternatif lainnya adalah jika  $p\text{-value}$  dari  $F$  yang di peroleh dari persamaan di atas kurang dari  $\alpha$ , maka  $H_0$  ditolak (Gujarati, 2012). Selanjutnya, untuk pengujian parameter secara parsial yaitu

bertujuan guna mengetahui pengaruh setiap parameter  $\beta_i$  secara individu terhadap variabel output, Hipotesisnya,

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0, \text{ dengan indeks } i = 1, 2, \dots, k$$

Statistik uji:

$$t = \frac{\hat{\beta}_i}{se \hat{\beta}_i} \quad \dots(14)$$

dimana:

$\hat{\beta}_i$  : estimasi parameter ke- $i$

$se \hat{\beta}_i$  : standar error estimasi parameter ke- $i$

Jika  $|t| > t_{\alpha/2, df}$ , maka  $H_0$  ditolak, dimana  $t_{\alpha/2}$  merupakan nilai kritis dari  $t$  pada tingkat signifikansi  $\alpha/2$  dan  $df$  adalah derajat bebas ( $df = n - k$ );  $n$  merupakan jumlah observasi dan  $k$  adalah jumlah variabel yang digunakan dalam pemodelan. Alternatif lainnya adalah jika  $p$ -value dari  $|t|$  yang di peroleh kurang dari  $\alpha$ , maka  $H_0$  ditolak (Gujarati, 2012).

### Fitting Kesesuaian Model

Metode kesesuaian model digunakan untuk melihat seberapa kesesuaian model yang dikonstruksi. Melalui *maksimum likelihood* diperoleh suatu ukuran untuk menentukan sesuai tidaknya suatu model yaitu *Deviance (D)*, formulasinya sebagai berikut:

$$D = -2 \log \left( \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right) = -2 \log \lambda_0 - (-2 \log \lambda_1) \quad \dots(15)$$

dimana  $\lambda_0$  adalah fungsi *likelihood* dibawah  $H_0$  dan  $\lambda_1$  adalah fungsi *likelihood* dibawah  $H_1$  masing-masing pada saat mencapai konvergen. Model multilevel dikatakan sesuai/baik/cocok adalah ketika memiliki nilai *Deviance* kecil. Namun karena tidak ada ketentuan yang pasti, mengenai besaran ukuran nilai *Deviance*, sehingga untuk mengetahui kecocokan/kesesuaian model, harus dibandingkan dengan alat ukur model lain, seperti AIC, BIC, GCV, dan sebagainya. Ukuran kesesuaian model lain yang dapat digunakan antara lain *Akaike's Information Criterion* (AIC) dan ukuran dari Schwartz (*Bayesian Information Criterion*, BIC) dengan formulasi:

$$AIC = d + 2q \quad \dots(16)$$

dimana  $d$  merupakan *Deviance* dan  $q$  sebagai banyaknya parameter.

$$BIC = d + q \log(n) \quad \dots(17)$$

dengan  $n$  adalah banyaknya sampel. Model terbaik merupakan model yang memiliki nilai dari ketiga kriteria tersebut yang paling kecil (Hox, 2010; 2018).

## 2. METODE PENELITIAN

### Sumber Data dan Periode Waktu

Pada penelitian ini menggunakan sumber data sekunder berupa data konsumsi energi listrik di Provinsi Aceh dari PT. PLN (Persero) Wilayah Aceh dengan periode waktu 11 tahun (2006-2016) dan terdiri dari 6 Area kerja PLN Wilayah Aceh yang masing-masing tersusun dari 5 sektor customer. Selain itu juga menggunakan data BPS dari tahun 1993-2020 tentang persentase rumah tangga dan sumber penerangan listrik PLN. Secara keseluruhan data konsumsi energy listrik berjumlah 1.965 amatan. Adapun variabel yang digunakan adalah daya terpasang, jumlah customer, dan daya tersambung sebagai variabel bebas dan konsumsi energi listrik untuk variabel output. Semua variabel yang digunakan diukur pada taraf 1.

### Prosedur Konstruksi dan Analisis Data

Eksplorasi dataset dilakukan sebagai analisis deskriptif awal untuk mengetahui pola dan karakteristik data observasi. Analisis struktur data dalam golongan tarif yang merupakan satuan observasi pada taraf 1, sektor customer pada taraf 2, dan Area merupakan taraf 3. Pada proses analisis penelitian digunakan simbol:

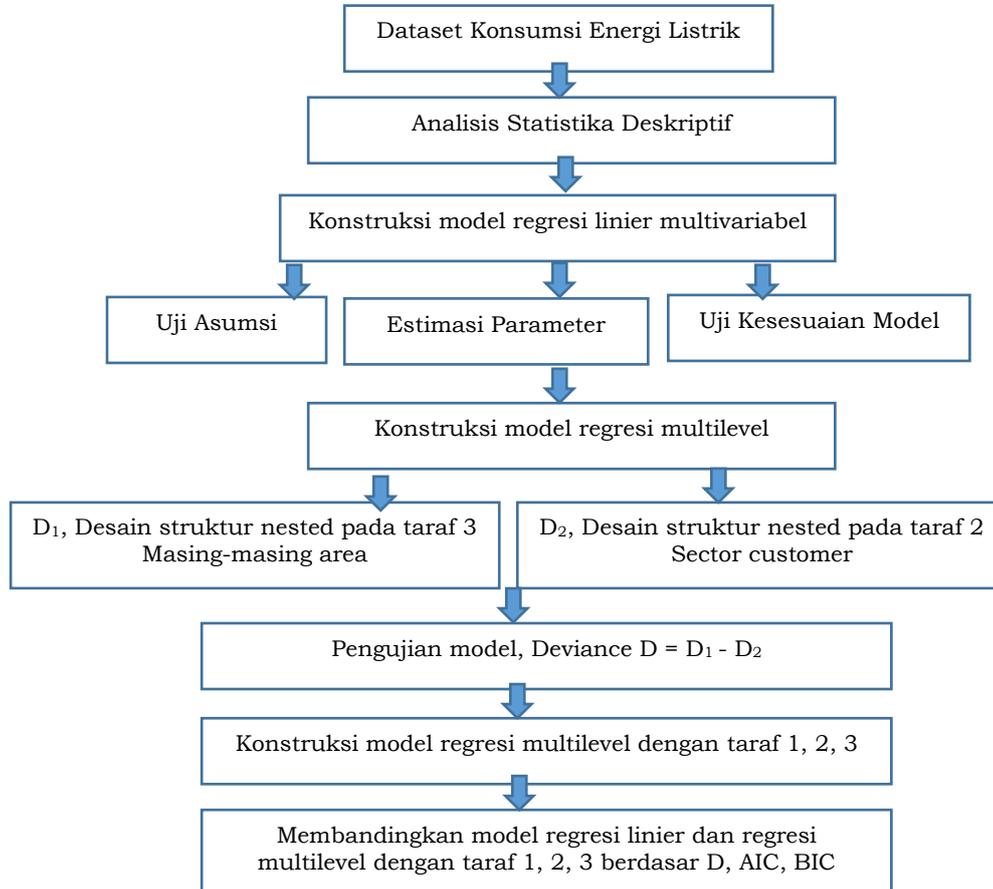
$n$  = banyaknya observasi

$i = 1, 2, \dots, n_{jk}$  menyatakan observasi pada sektor customer  $j$  dengan Area  $k$ .

$j = 1, 2, 3, 4, \text{ dan } 5$  menyatakan sektor customer dalam Area  $k$

$k = 1, 2, 3, 4, 5,$  dan  $6$  menyatakan Area

Selanjutnya prosedur yang dilakukan untuk menganalisis pemodelan konsumsi energi listrik menggunakan pemodelan regresi multilevel sebagai berikut.



Model taraf 1  $y_{ijk} = \beta_{0jk} + \beta_{1jk}X_{1jk} + \beta_{2jk}X_{2jk} + \beta_{3jk}X_{3jk} + \epsilon_{ijk}$

Model taraf 2  $\beta_{0jk} = \gamma_{00k} + u_{ijk}$

Model taraf 3  $\gamma_{00k} = \delta_{000} + v_{0k}$

Dimana

$n$  : banyaknya observasi

$i$  : daya terpasang, jumlah customer, dan daya tersambung (taraf 1) pada sektor customer ke- $j$ ,  $i = 1, 2, \dots, n_j$

$j$  : sektor customer,  $j = 1, 2, 3, 4,$  dan  $5$

$k$  : Area kerja PLN Wilayah Aceh,  $k = 1, 2, 3, 4, 5,$  dan  $6$

$\beta_{1j}$  : slope garis pada sektor customer ke- $j$  dengan Area ke  $k$

$y_{ijk}$  : nilai output pada observasi ke- $i$ , sektor customer ke- $j$ , dengan Area ke  $k$ .

$\beta_{0jk}$  : intercept pada sektor customer ke- $j$  dengan Area ke  $k$

$\gamma_{00k}$  : intercept pada Area ke  $k$

$\epsilon_{ijk}, u_{ijk}, v_{0k}$  : residual

Model tersebut diperlukan guna mengetahui ada/ tidaknya perbedaan intercept pada setiap Area/sektor customer, sedangkan pengolahan dan analisis data menggunakan software R (Finch et al, 2019).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Gambaran Area Konsumsi Energi Listrik di Wilayah Aceh

Dari area kerja PLN Wilayah Aceh terdiri atas Banda Aceh, Langsa, Lhokseumawe, Meulaboh, Sigli, dan Subulussalam. Berdasarkan hasil analisis data diketahui bahwa setiap area kerja mengalami peningkatan jumlah konsumsi setiap tahunnya, konsumsi energi listrik tertinggi ada pada area kerja Banda Aceh, yang diikuti oleh Lhokseumawe, Langsa, Meulaboh, Sigli, dan Subulussalam. Selain itu PLN Wilayah Aceh juga terdiri dari beberapa sektor customer yaitu rumah tangga, bisnis, sosial, publik, dan industri, dimana diketahui bahwa konsumsi energi listrik tertinggi berdasarkan sektor customer adalah rumah tangga.

#### Analisis Regresi Multivariabel

Analisis regresi linier dilakukan menggunakan dataset konsumsi energi listrik taraf 1. Variabel bebas pada pemodelan regresi linier ini terdiri dari daya terpasang (VA/kVA), jumlah customer (Unit), dan jumlah daya tersambung (kVA). Sedangkan variabel outputnya adalah jumlah konsumsi energi listrik (MWh). Tujuan analisis ini untuk mendapatkan model hubungan antar variabel *output* dan variabel bebas pada taraf 1.

**Tabel 1** Estimasi regresi linier multivariabel dan regresi 3-taraf

	Regresi Multivariabel		Regresi 3-taraf	
	Estimasi	p-value	Estimasi	p-value
<i>intercept</i>	$2,98 \times 10^2$	0,47	$2,98 \times 10^2$	0,47
$x_1$ 12 (Bisnis: 450 VA)	$-6,42 \times 10^2$	0,28	$-6,42 \times 10^2$	0,28
$x_1$ 13 (Bisnis: 900 VA)	$-3,48 \times 10^2$	0,56	$-3,48 \times 10^2$	0,56
$x_1$ 14 (Bisnis: 1300 VA)	$-1,38 \times 10^2$	0,02	$-1,38 \times 10^2$	0,02
$x_1$ 15 (Bisnis: 2200 VA - 5500 VA)	$1,53 \times 10^3$	0,81	$1,53 \times 10^3$	0,81
$x_1$ 16 (Bisnis: 6600 VA - 200 kVA)	$5,01 \times 10^2$	0,44	$5,01 \times 10^2$	0,44
$x_1$ 21 (Industri: 450 VA)	$-6,94 \times 10^2$	0,32	$-6,94 \times 10^2$	0,32
$x_1$ 22 (Industri: 900 VA)	$-2,99 \times 10^2$	0,64	$-2,99 \times 10^2$	0,64
$x_1$ 23 (Industri: 1300 VA)	$-3,04 \times 10^2$	0,62	$-3,04 \times 10^2$	0,62
$x_1$ 24 (Industri: 2200 VA)	$-3,09 \times 10^2$	0,61	$-3,09 \times 10^2$	0,61
$x_1$ 25 (Industri: 3500 VA - 14 kVA)	$-1,04 \times 10^2$	0,08	$-1,04 \times 10^2$	0,08
$x_1$ 26 (Industri: 14 kVA - 200 kVA)	$5,75 \times 10^2$	0,33	$5,75 \times 10^2$	0,33
$x_1$ 27 (Industri: > 200 kVA)	$1,39 \times 10^3$	0,02	$1,39 \times 10^3$	0,02
$x_1$ 31 (Publik: 450 VA)	$-2,59 \times 10^2$	0,60	$-2,59 \times 10^2$	0,60
$x_1$ 32 (Publik: 900 VA)	$-3,93 \times 10^2$	0,50	$-3,93 \times 10^2$	0,50
$x_1$ 33 (Publik: 1300 VA)	$-3,22 \times 10^2$	0,58	$-3,22 \times 10^2$	0,58
$x_1$ 34 (Publik: 2200 VA - 5500 VA)	$-4,52 \times 10^2$	0,44	$-4,52 \times 10^2$	0,44
$x_1$ 35 (Publik: 6600 - 200 kVA)	$-6,82 \times 10^2$	0,26	$-6,82 \times 10^2$	0,26
$x_1$ 36 (Publik: > 200 kVA)	$-2,40 \times 10^3$	0,05	$-2,40 \times 10^3$	0,05
$x_1$ 37 (Publik: Penerangan Jalan Umum)	$9,43 \times 10^3$	$< 2 \times 10^{-16}$	$9,43 \times 10^3$	$< 2 \times 10^{-16}$
$x_1$ 41 (Sosial: 450 VA)	$-7,82 \times 10^2$	0,89	$-7,82 \times 10^2$	0,89
$x_1$ 42 (Sosial: 900 VA)	$-7,81 \times 10^2$	0,18	$-7,81 \times 10^2$	0,18
$x_1$ 43 (Sosial: 1300 VA)	$-3,61 \times 10^2$	0,54	$-3,61 \times 10^2$	0,54
$x_1$ 44 (Sosial: 2200 VA)	$-3,52 \times 10^2$	0,55	$-3,52 \times 10^2$	0,55
$x_1$ 45 (Sosial: 3500 VA - 200 kVA)	$-1,02 \times 10^3$	0,09	$-1,02 \times 10^3$	0,09
$x_1$ 46 (Sosial: > 200 VA)	$-1,58 \times 10^2$	0,79	$-1,58 \times 10^2$	0,79
$x_1$ 51 (RT: 450 VA)	$6,77 \times 10^3$	$8,3 \times 10^{-14}$	$6,77 \times 10^3$	$8,3 \times 10^{-14}$
$x_1$ 52 (RT: 900 VA)	$-1,06 \times 10^4$	$< 2 \times 10^{-16}$	$-1,06 \times 10^4$	$< 2 \times 10^{-16}$
$x_1$ 53 (RT: 1300 VA)	$3,19 \times 10^2$	0,95	$3,19 \times 10^2$	0,95
$x_1$ 54 (RT: 2200 VA)	$7,34 \times 10^3$	0,22	$7,34 \times 10^3$	0,22
$x_1$ 55 (RT: 3500 VA - 5500 VA)	$-1,44 \times 10^2$	0,59	$-1,44 \times 10^2$	0,59
$x_1$ 56 (RT: > 6600 VA)	$-3,37 \times 10^2$	0,57	$-3,37 \times 10^2$	0,57
$x_2$ (Jumlah Customer)	$1,07 \times 10^{-1}$	$5,5 \times 10^{-15}$	$1,07 \times 10^{-1}$	$5,5 \times 10^{-15}$
$x_3$ (Jumlah Daya Tersambung)	$1,48 \times 10^0$	$< 2 \times 10^{-16}$	$1,48 \times 10^0$	$< 2 \times 10^{-16}$
<i>Fhitung</i>		2,222		
<i>p-value</i>		$< 2 \times 10^{-16}$		-

#### 1. Pengujian Simultan

Pengujian simultan berguna dalam mendapatkan pengaruh semua variabel bebas secara keseluruhan terhadap jumlah konsumsi energi listrik di wilayah Aceh, dengan Hipotesis:

$H_0$  : Variabel bebas tidak berpengaruh secara simultan terhadap jumlah konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

$H_1$  : Paling sedikit terdapat satu variabel bebas berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

Statistik Uji:  $F_{hitung}$  dan  $p-value$  dengan Tingkat signifikansi:  $\alpha = 0,05$

Penentuan daerah kritis: Tolak  $H_0$  jika  $p-value < \alpha$  dan  $F_{hitung} > F_{tabel}$

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan diperoleh  $p-value = 2,2 \times 10^{-16}$ , sehingga dapat diputuskan bahwa tolak  $H_0$ . Dengan kata lain, paling sedikit terdapat satu variabel bebas yang berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

2. Pengujian Parsial

Selanjutnya pengujian secara parsial bertujuan guna mendapatkan variabel bebas yang berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik di wilayah Aceh, dengan hipotesis:

$H_0$  : Variabel daya terpasang, jumlah customer, dan daya tersambung tidak berpengaruh secara parsial terhadap jumlah konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

$H_1$  : Variabel daya terpasang, jumlah customer, dan daya tersambung berpengaruh secara parsial terhadap jumlah konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

Tabel 4.2, menunjukkan adanya signifikansi dimana  $p-value$  kurang dari 0,05 adalah  $x_1$  (daya terpasang) yaitu daya terpasang 14 (2200VA s/d 5500 VA sektor customer bisnis) , 27 (>200 kVA sektor customer industri), 37 (Penerangan jalan umum sektor customer publik), 51 (450 VA sektor customer rumah tangga), dan 52 (900 VA sektor customer rumah tangga). Selain itu variabel jumlah customer dan daya tersambung juga signifikan secara parsial terhadap konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

**Struktur Multilevel Tersarang (Nested)**

Analisis struktur model multilevel tersarang dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari struktur multilevel data yang akan dimasukkan ke dalam pemodelan multilevel. Langkah awal yang dilakukan adalah membentuk model multilevel tanpa variabel bebas. Selain melihat pengaruh multilevel, model komponen variansi ini juga dapat digunakan untuk menentukan besaran proporsi variansi dalam taraf lebih tinggi (West, 2014). Berikut nilai komponen variansi untuk masing-masing taraf pada data konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

**Tabel 2** Nilai estimasi parameter model multilevel 3-taraf tanpa variabel bebas

Parameter	Estimasi
$\sigma^2_{\nu_0}$ (level 3)	19.758.025
$\sigma^2_{u_0}$ (level 2)	126.922.756
$\sigma^2_{e_0}$ (level 1)	325.802.500

Berdasarkan Tabel 1.2, diketahui bahwa nilai komponen variansi taraf 3 sangat kecil dibandingkan dengan variansi taraf 2 dan taraf 1. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tidak adanya perbedaan variansi konsumsi energi listrik pada area kerja PLN Wilayah Aceh. Artinya data konsumsi energi listrik berdasarkan area kerja PLN Wilayah Aceh cenderung homogen antar area kerja. Untuk mengetahui kebenaran secara statistika maka perlu dilakukan pengujian struktur multilevel menggunakan korelasi antar taraf. Berdasarkan nilai estimasi parameter variansi pada Tabel 4.3 dapat diperoleh nilai koefisien korelasi antar taraf sebagai berikut.

$$\rho_{\text{sektor Pelanggan}} = \frac{19.758.025 + 126.922.756}{19.758.025 + 126.922.756 + 325.802.500} = 0,3105$$

$$\rho_{\text{Area}} = \frac{19.758.025}{19.758.025 + 126.922.756 + 325.802.500} = 0,0418$$

Koefisien korelasi ini memiliki makna bahwa proporsi variansi pada taraf sektor customer sebesar 31,05 % dan proporsi variansi pada taraf area kerja sebesar 4,18%. Adanya korelasi antar observasi dalam satu sektor customer adalah sebesar 0,3105 dan dalam area kerja sebesar 0,0418. Nilai tersebut menyatakan bahwa korelasi antar observasi dalam area kerja

sangat kecil, sehingga perlu dilakukan pengujian keberadaan variansi dalam area kerja. Langkah yang dilakukan adalah membangun model multilevel dengan 2-taraf tanpa variabel bebas. Pembentukan model ini digunakan untuk mengetahui apakah ada pengaruh terhadap variansi dan koefisien korelasi pada taraf sektor customer setelah taraf 3 atau area kerja tidak diikutkan dalam pembentukan model. Berikut hasil estimasi parameter model 2-taraf tanpa variabel bebas.

**Tabel 3** Nilai estimasi parameter model multilevel 2-taraf tanpa variabel bebas

Parameter	Estimasi
$\sigma^2_{u0}$ (taraf 2)	124.012.208
$\sigma^2_{e0}$ (taraf 1)	342.362.765

Berdasarkan Tabel 1.3 tersebut terlihat bahwa nilai estimasi variansi pada taraf 2 menjadi lebih kecil dibandingkan pada Tabel 1.2 yaitu nilai estimasi variansi 3-taraf tanpa variabel bebas. Diketahui bahwa nilai koefisien korelasi antar taraf yang diperoleh pada model 2-taraf sebesar 0,2659 lebih kecil dibandingkan koefisien korelasi taraf 2 pada model 3-taraf. Nilai tersebut diperoleh melalui formulasi,

$$\rho_{\text{sektor customer}} = \frac{124.012.208}{124.012.208 + 342.362.765} = 0,2659$$

Nilai 0.2659 menunjukkan adanya perbedaan daya terpasang dalam area kerja PLN berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi listrik di wilayah Aceh. Hal tersebut juga dibuktikan dengan perbandingan nilai *deviance*. Nilai *deviance* untuk model 3-taraf dan model 2-taraf data konsumsi energi listrik di wilayah Aceh dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4** Nilai *deviance* untuk model 3-taraf dan model 2-taraf tanpa variabel bebas

Model Multilevel	Parameter	<i>Deviance</i> , $D_1, D_2$	D	df	p-value
2-taraf	3	44.215			
3-taraf	4	44.133	81,82	1	$< 2,2 \times 10^2$

Berdasarkan Tabel 1.4, diketahui bahwa nilai *Deviance* pada model 3-level lebih kecil dibandingkan dengan nilai *deviance* pada model 2-taraf. Selain itu juga terlihat perbedaan model 2-taraf dengan 3-taraf nyata pada alpha 5%. Hal ini berarti terdapat perbedaan yang nyata antara model regresi 2-taraf dan 3-taraf. Hal ini menunjukkan pula bahwa variasi (keragaman) dalam area kerja PLN Wilayah Aceh berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik di Aceh. Sehingga dapat dikatakan bahwa model multilevel 3-taraf merupakan model yang sesuai pada data konsumsi listrik di wilayah Aceh.

#### Model Regresi Multilevel Tersarang (Nested)

Pada pengujian struktur model multilevel nested yang dibentuk adalah model multilevel 3-taraf. Variabel pada taraf 3 adalah area kerja PLN Wilayah Aceh dan jenis sektor customer sebagai taraf 2. Berdasarkan Tabel 1.1 diperoleh bahwa hasil estimasi parameter untuk masing-masing variabel bebas dengan adanya pengaruh sektor customer dan area kerja PLN Wilayah Aceh, variabel daya terpasang ( $x_1$ ), jumlah customer ( $x_2$ ) dan daya tersambung ( $x_3$ ) berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik di wilayah Aceh. Hasil tersebut menunjukkan nilai *t* hitung lebih besar dibandingkan *t* tabel =  $t_{0,05;1961}$  (1, 96). Sehingga, model regresi 3-taraf untuk konsumsi energi listrik di wilayah Aceh dapat dituliskan,

$$y_{ijk} = 306 - 516x_{1jk} (12) - 202x_{1jk} (13) - 995x_{1jk} (14) + 110x_{1jk} (15) + 471x_{1jk} (16) - 692x_{1jk} (21) - 399x_{1jk} (22) - 365x_{1jk} (23) - 335x_{1jk} (24) - 958x_{1jk} (25) + 775x_{1jk} (26) + 1530x_{1jk} (27) - 266x_{1jk} (31) - 391x_{1jk} (32) - 318x_{1jk} (33) - 417x_{1jk} (34) - 277x_{1jk} (35) - 2400x_{1jk} (36) + 9730x_{1jk} (37) - 782x_{1jk} (41) - 727x_{1jk} (42) - 336x_{1jk} (43) - 321x_{1jk} (44) - 699x_{1jk} (45) + 115x_{1jk} (46) + 7100x_{1jk} (51) - 8800x_{1jk} (52) + 651x_{1jk} (53) + 1120x_{1jk} (54) - 144x_{1jk} (55) - 251x_{1jk} (56) + 0,141x_{2jk} + 1,40x_{3jk} + \varepsilon_{ijk} \dots(17)$$

Berdasarkan model di atas terlihat bahwa konsumsi energi listrik di Aceh akan bernilai sebesar 306 MWh apabila daya terpasang, jumlah customer, dan daya tersambung bernilai 0. Sebagian besar daya terpasang berefek negatif terhadap konsumsi energi listrik di Aceh, sedangkan jumlah customer dan jumlah daya tersambung memiliki efek positif terhadap konsumsi energi listrik di wilayah Aceh. Artinya semakin tinggi jumlah customer dan daya tersambung maka jumlah konsumsi energi listrik di Aceh juga akan semakin meningkat.

#### Fitting Kesesuaian Model

Analisis kesesuaian model pada pemodelan multilevel dilakukan bertujuan untuk mengetahui seberapa kesesuaian model yang dibentuk. Ukuran kesesuaian yang digunakan adalah nilai *Deviance*, *AIC*, dan *BIC* dimana ketiga nilai tersebut kecil menandakan suatu model yang dibentuk sesuai. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan ketiga nilai tersebut pada model regresi linier multi variabel dan regresi 3-taraf yang telah dilakukan pada data konsumsi energi listrik di wilayah Aceh. Berikut nilai yang digunakan untuk melihat kesesuaian model,

**Tabel 5** Ukuran Kesesuaian Model

Model	Deviance	AIC	BIC
Regresi linier multivariabel	22.219.436.668	37559,97	37755,38
Regresi (3-taraf)	37402,41	37476,41	37682,99

Tabel 4.7, menunjukkan bahwa nilai *Deviance*, *AIC*, dan *BIC* dari model regresi yaitu model regresi 3-taraf lebih kecil dibandingkan model regresi linier multivariabel. Hal ini berarti bahwa pemodelan regresi (3-taraf) lebih baik jika dibandingkan dengan model regresi multi linier pada data konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

#### 4. SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini memperoleh variasi dalam taraf 2 (sektor customer) dan taraf 3 (area PLN Wilayah Aceh) berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik di Aceh pada taraf 5% dengan *p-value* dari perbedaan *deviance* sebesar  $<2,2 \times 10^{-16}$ . Adanya pengaruh variasi sektor customer dan area kerja PLN Wilayah Aceh dalam model regresi 3-taraf menyatakan bahwa daya terpasang  $x_1$ 27 (Industri: > 200 kVA),  $x_1$ 36 (Publik: > 200 kVA),  $x_1$ 37 (Publik: penerangan jalan umum),  $x_1$ 51 (RT: 450 VA),  $x_1$ 52 (RT: 900 VA),  $x_2$  (jumlah customer), dan  $x_3$  (jumlah daya tersambung) berpengaruh terhadap konsumsi energi listrik di wilayah Aceh.

Model multilevel yang terbentuk untuk konsumsi energi listrik di Aceh adalah model regresi (3-taraf) dengan nilai *deviance*, *AIC*, dan *BIC* terkecil secara berturut-turut 37402,42, 37476,41, dan 37682,99. Konsumsi listrik di wilayah Aceh sebesar 306 MWh apabila daya terpasang, jumlah customer, dan daya tersambung bernilai 0. Sebagian besar daya terpasang berefek negatif terhadap konsumsi listrik di Aceh, sedangkan jumlah customer dan jumlah daya tersambung memiliki efek positif terhadap konsumsi listrik di Aceh. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi jumlah customer dan daya tersambung maka jumlah konsumsi energi listrik di wilayah Aceh juga akan semakin tinggi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih dan penghargaan yang tulus kepada berbagai pihak, tim peneliti dan stakeholder yang berkontribusi dan membantu riset ini, PT PLN Persero Wilayah Aceh, Asisten laboratorium pada Jurusan Statistika dan Jurusan Fisika pada Fakultas MIPA, Universitas Syiah Kuala (USK).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Belaïd, F., Roubaud, D. and Galariotis, E. (2019). Features of residential energy consumption: Evidence from France using an innovative multilevel modelling approach. *Energy Policy*, Elsevier, vol. 125(C), pages 277-285.
- BPS, (2021), <https://www.bps.go.id/statictable/2009/04/06/1555/persentase-rumah-tangga-menurut-provinsi-dan-sumber-penerangan-listrik-pln-1993-2020.html>
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. (2016). Informasi Publik. Dipetik Maret 14, 2018, dari Pengurangan Subsidi Listrik Golongan Tertentu Melalui Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik:

- <http://www.djk.esdm.go.id/index.php/layanan-info-pub/2016-01-08-03-54-21/tarif-tenaga-listrik>
- Draper, N. and Smith, H. (1992). *Applied Regression Analysis*, 2<sup>nd</sup>, John Wiley and sons, Inc. New York.
- Finch, W.H, Bolin, J.E, and Kelley, K. (2019). *Multilevel Modeling using R*. Second Edition. Taylor & Francis.
- Fitrantie, M. dan Wahyu W. (2016). Pemodelan Konsumsi Energi Listrik Sektor Industri di Provinsi Jawa Timur Menggunakan Metode Regresi Data Panel. *Sains dan seni ITS*. 5(2): 2337-3520
- Goldstein, H. (1999). *Multilevel Statistical Models*. Institute of Education. Multilevel Model Project. London.
- Gujarati, D. N. dan Porter, D. C. (2012). *Dasar-dasar Ekonometrika Buku 1 Edisi 5*. Terjemahan dari *Basic Econometrics 5th ed*, oleh Eugenia Mardanugraha, Sita Wardhani, dan Carlos Mangunsong. Salemba Empat. Jakarta.
- Harlan, J. (2016). *Analisis Multilevel*. Gunadarma: Depok.
- Hox, J. Joop. (2010). *Multilevel Analysis: Tecniques and Application Second Edition*. Routledge: Great Britain.
- Hox, J. Joop., Moerbeek, M., and Schoot, de van R. (2018). *Multilevel Analysis: Tecniques and Application Third Edition*. Routledge: Taylor and Francis.
- Jones BS & Steenbergen MR. (1997). *Modelling Multilevel Data Structures*. Paper prepared in 14th annual meeting of the political methodology society. Columbus. OH.
- Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., and Neter, J. (2004). *Applied Regression Models 4<sup>th</sup> edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Presiden Republik Indonesia. (1994). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 23. Pengalihan Bentuk Perusahaan Umum (PERUM) Listrik Negara Menjadi Perusahaan Perseroan (PERSERO)*.
- PT. PLN (Persero) Wilayah Aceh. (2016). *Data statistik*. Aceh.
- Ringdal K. (1992). *Methods for Multilevel Analysis*. *Acta Sociologica*. 35:235-243.
- Sharimakin, A., Glass, A.J. (2018). *Dynamic multilevel modelling of industrial energy demand in Europe*. The University of Sheffield.
- Snijders, T.A.B., and Bosker, R.J. (2003). *Multilevel Analysis*. Great Britain.
- Tantular, Bertho, Aunuddin dan Heri.W. (2009). *Pemilihan Model Regresi Linier Multilevel Terbaik*. *Forum Statistika dan Komputasi*. 14(2).
- UU. (1985). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 15 tentang Ketenagalistrikan*.
- Watkins, A. J. (2004). *Perhitungan Instalasi Listrik*. Terjemahan dari *Electrical Installation Calculations*, oleh Zulkifli Harahap, Erlangga, Jakarta.
- West B.T., Welch K.B., Galechi A.T. (2014). *Linear Mixed Models: A Practical Guide Using Statistical Software Second Edition*. Chapman & Hall.