

Analisis Hubungan Kausalitas antara Konsumsi Daya Listrik dan Trafik Internet Spasial Kampus

Sis Soesetijo

*Jurusan Teknik Elektro, Universitas Surabaya
Jl. Raya Kalirungut, Surabaya
E-mail : ssoesetijo@ubaya.ac.id*

Abstrak

Peningkatan konsumsi daya listrik berkaitan dengan aktivitas orang, semakin banyak aktivitas dan jumlah orang yang beraktivitas semakin banyak daya listrik yang dikonsumsi di dalam ruangan. Pada makalah ini akan membahas hubungan antara konsumsi daya listrik dengan banyaknya volume trafik internet. Pengukuran volume trafik internet dilakukan secara spasial pada 2 tempat yaitu trafik internet di Fakultas Teknik (FT) dan Fakultas Bisnis dan Ekonomika (FBE) di kampus Universitas Surabaya. Sedangkan konsumsi daya listrik yang diukur merupakan daya untuk listrik 3 fasa yang mencatu gedung-gedung di kedua fakultas tersebut. Pengukuran daya listrik dan trafik internet secara bersamaan dilakukan selama 6 hari. Analisis hubungan menggunakan metoda Granger Causality untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara daya listrik dan trafik internet spasial. Cara termudah untuk menerapkan metoda Granger Causality adalah menggunakan model Vector Autoregressive (VAR). Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat hubungan kausalitas antara konsumsi daya listrik dengan volume trafik internet spasial, terdapat pengaruh yang besar dari trafik internet FBE terhadap konsumsi daya listrik dibandingkan pengaruh trafik internet FT terhadap konsumsi daya listrik.

Kata Kunci : daya listrik, trafik internet, pengukuran spasial, granger-causality, VAR,

1. Pendahuluan

Penggunaan daya listrik, saat ini menjadi perhatian besar dari berbagai negara-negara di dunia. Banyak upaya-upaya digunakan untuk menghemat konsumsi daya listrik. Peningkatan pertumbuhan ekonomi yang tinggi semakin menggenjot pemakaian listrik yang tinggi pula. Beberapa penelitian menghubungkan antara peningkatan konsumsi daya listrik dengan peningkatan pertumbuhan ekonominya seperti pada makalah [1] yang menganalisis pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi listrik di negara Iran, makalah [2] membahas pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi listrik di negara Swedia, makalah [3] membahas hubungan peningkatan pertumbuhan ekonomi di negara China dengan peningkatan konsumsi listriknya sedangkan makalah [4] membahas hubungan antara peningkatan konsumsi energi listrik dan emisi gas CO₂ dengan pertumbuhan ekonomi yang tinggi di China dan yang terakhir adalah makalah [5] membahas hubungan antara peningkatan kebutuhan energi listrik dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi di 15 negara Eropa. Dari makalah [1]-[5] analisisnya menggunakan metoda yang sama yaitu Granger-Causality dan hasilnya menunjukkan terdapat hubungan yang kuat antara

pertumbuhan ekonomi di suatu negara dengan peningkatan konsumsi energi listriknya.

Sedangkan yang membahas hubungan antara konsumsi energi listrik dengan trafik internet hanya ada pada makalah [6] di mana makalah ini membahas hubungan kausalitas antara trafik IP setiap komputer pada lokal router dengan konsumsi listrik di masing-masing ruangan. Makalah ini hanya mengukur trafik internet yang menggunakan protokol IP saja pada suatu ruangan yang diukur pada setiap router lokal ruangan dan menganalisis hubungannya dengan tingkat konsumsi listrik ruangan yang sama di suatu kantor. Analisisnya menggunakan metoda Granger-Causality dan hasilnya terdapat hubungan kausalitas antara konsumsi energi listrik suatu ruangan dengan besaran trafik IP di ruangan yang sama.

Pada makalah ini membahas hubungan antara konsumsi daya listrik dengan trafik internet yang diukur dari 2 tempat (pengukuran trafik internet secara spasial) yaitu di Fakultas Teknik (FT) dan Fakultas Bisnis dan Ekonomika (FBE). Pengukuran dilakukan secara bersamaan pada 2 tempat berbeda di mana pengukuran trafik internet secara agregat yaitu tidak membedakan dengan jenis trafik berdasarkan protokol maupun yang lainnya. Hal ini

berbeda dengan makalah [6] di mana pengukuran internet hanya berdasarkan protokol IP saja. Oleh karena pengukuran konsumsi listriknya dilakukan pada beberapa ruang maka membutuhkan peralatan pengukuran daya yang banyak karena pengukuran dilakukan pada beberapa ruangan yang berbeda secara simultan.

Untuk makalah ini, pengukuran daya dilakukan pada gardu listrik 3 fase tegangan rendah 220/380 V di mana gardu tersebut yang mencatu listrik pada gedung-gedung di FT dan FBE sehingga hanya membutuhkan sebuah peralatan pengukuran daya saja. Pengukuran dilakukan secara bersamaan antara daya listrik dan trafik internet spasial selama 6 hari pada bulan Mei 2013. Analisisnya menggunakan metoda Granger-causality yang sama digunakan pada makalah sebelumnya [1]-[6]. Perbedaan signifikan dengan makalah [6] hanya pada skala pengukuran dan jenis trafik internet, dimana pada makalah ini menggunakan skala yang lebih besar (gedung-gedung di satu Fakultas) dan volume trafik internet agregat (bandwidth) sedangkan pada makalah [6] pada skala kecil yaitu pada skala ruangan-ruangan di gedung perkantoran dan trafik dengan protokol IP.

2. Model VAR(p) dan Granger-Causality

Bentuk dasar dari VAR terdiri dari K variabel $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{kt}, \dots, y_{Kt})$ untuk $k = 1, \dots, K$. Proses VAR(p) didefinisikan sebagai [7]:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + CD_t + u_t \quad (1)$$

di mana A_i adalah matrik koefisien ($K \times K$) untuk $i = 1, \dots, p$ dan u_t merupakan dimensi K dari proses white noise yang mempunyai matrik kovarian $E(u_t u'_t) = \Sigma_u$. Matrik C adalah matrik koefisien yang berdimensi ($K \times M$) dan D_t merupakan matrik ($M \times 1$). Persamaan (1) dapat ditulis dalam bentuk polinomial lag $A(L) = (I_K - A_1 - \dots - A_p)$ sebagai berikut :

$$A(L) y_t = CD_t + u_t \quad (2)$$

Salahsatu karakteristik dari proses VAR(p) adalah stabilitasnya. Artinya bahwa prosesnya menghasilkan deret waktu yang stasioner dengan rata-rata yang yang tidak berubah pada fungsi waktu. Untuk mendapatkan parameter orde lag p dari VAR(p) dan koefisien A dari model, berikut langkah-langkah untuk identifikasi dan estimasinya, prosedur ini secara umum sama dengan model ARMA [7] :

a. Uji Stasioner yaitu uji untuk melihat apakah data yang akan diamati stasioner atau tidak. Apabila belum stasioner maka perlu dilakukan penurunan pertama (*first differential*) agar diperoleh stasioner pada orde pertama. Uji stasioner yang umum digunakan adalah Augmented Dickey-Fuller (ADF) Test, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta y_t = \phi y_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} A_j^* \Delta y_{t-j} + u_t \quad (3)$$

dengan $\phi = -A(1)$ dan $A_j^* = -(A_{j+1} + \dots + A_p)$. Dengan model persamaan ini, hipotesis yang digunakan adalah H_0 :

$\phi=0$ versus $H_1: \phi < 0$. Jika hipotesis nol, H_0 tertolak maka dipastikan data yang diuji adalah stasioner.

b. Proses Estimasi yaitu proses untuk menentukan koefisien model yang diamati. Penentuan koefisien VAR(p) yang paling efektif adalah dengan menggunakan *least-squares* yang diterapkan terpisah pada masing-masing persamaan. Akaike Information Criterion (AIC) dari masing-masing regresi untuk menjamin bahwa residual yang dihasilkan bersifat White Noise. Uji ini untuk menentukan lag mana yang paling relevan dipakai dalam model.

Tujuan dari uji kausalitas menggunakan Granger Causality adalah mendeteksi ada tidaknya hubungan sebab-akibat (causalities) antara variabelnya. Variabel x dikatakan "*granger-causes*" variabel y, apabila variabel x membantu memprediksi variable y. Untuk melakukan kedua uji tersebut, vector dari variabel y_t dibagi 2 subvektor y_{1t} dan y_{2t} dengan dimensi ($K_1 \times 1$) dan ($K_2 \times 1$) dengan $K = K_1 + K_2$. Proses VAR (p) dapat dituliskan kembali pada persamaan (4) :

$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^p \begin{bmatrix} \alpha_{11,i} & \alpha_{12,i} \\ \alpha_{21,i} & \alpha_{22,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-i} \\ y_{2,t-i} \end{bmatrix} + CD_t + \begin{bmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Subvektor y_{1t} tidak "*granger-cause*" y_{2t} apabila $\alpha_{21,t} = 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, p$ dan sebaliknya Subvektor y_{1t} "*granger-cause*" y_{2t} apabila $\alpha_{21,t} \neq 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, p$.

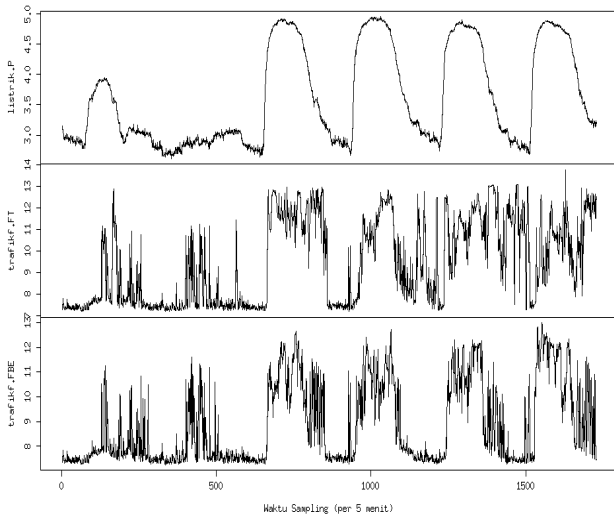
Dengan demikian analisis Kausalitas akan menguji apakah sebuah variabel dapat membantu memprediksi variabel yang lain. Uji Granger Causality paling mudah diperoleh dari model VAR(p) [7].

3. Sistem Pengukuran

Pengukuran terhadap daya listrik 3 fase di gardu tegangan rendah 220/380 V dan volume trafik internet di 2 fakultas di kampus Ubaya Tenggilis. Gardu tegangan yang diukur merupakan gardu yang mencatu listrik ke gedung-gedung di 2 fakultas di mana trafik internet diukur juga. Pengukuran dilakukan secara bersamaan selama 6 hari di bulan Mei 2013 dari hari Sabtu pada jam 00.00 sampai hari Kamis pada jam 23.55 WIB dengan waktu sampel pengambilan data adalah 5 menit. Untuk konsumsi daya merupakan daya total dari masing-masing fasanya. Trafik internet yang diukur merupakan volume trafik agregat downstream saja. Agregat merupakan trafik gabungan dari berbagai jenis trafik dan protokol yang melewati router.

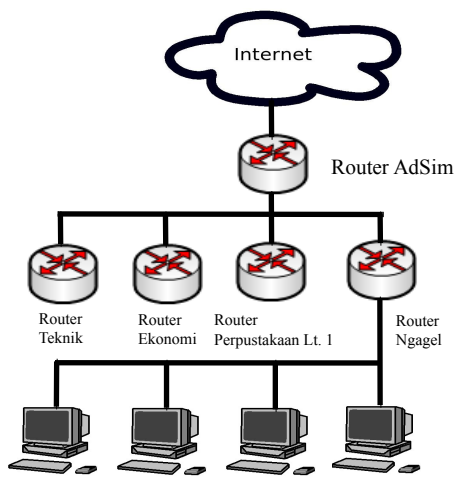
Hasil pengukuran ketiga data trafik dan daya listrik ditampilkan pada gambar 1 di bawah ini. Data pada gambar tersebut merupakan data setelah dilakukan log

pada data aslinya. Hal ini dilakukan untuk menghindari efek ketidakkonstanan (hetero-scedacity) data dan perbedaan nilai yang terlalu besar antara data listrik dan data trafik. Data daya listrik dalam kilowatt dan trafik dalam Mbit/detik.

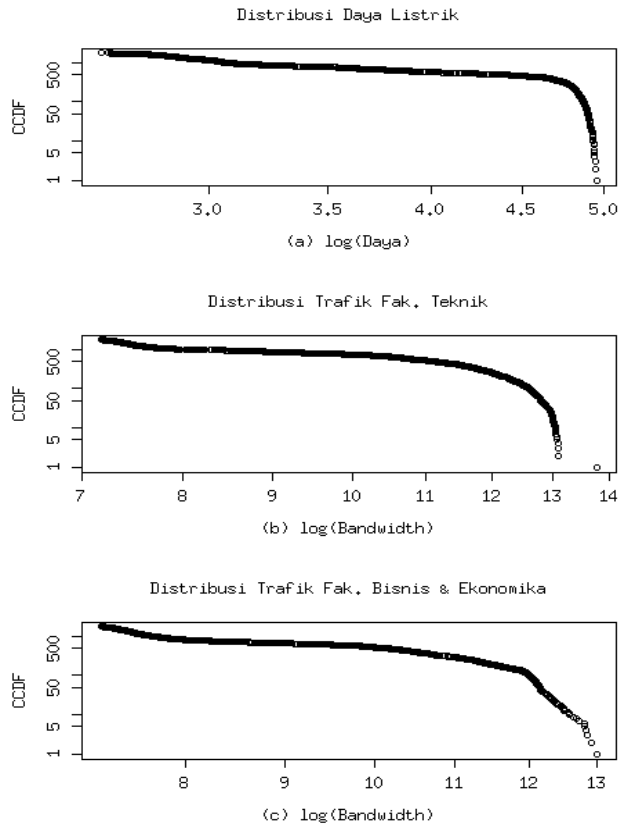


Gambar 1. Data Pengukuran Listrik dan Trafik

Pengukuran trafik internet menggunakan perangkat lunak MRTG/SMTP dan topologi jaringan internet di kampus ditunjukkan pada gambar 2 di bawah ini. Pengukuran trafik internet dilakukan hanya pada 2 router yaitu router di Fakultas Ekonomi (FBE) dan Fakultas Teknik (FT) saja. Pengukuran daya listrik menggunakan perangkat Power System Analyzer yang dilengkapi data logger. Pengukuran dilakukan secara bersamaan dan terus menerus selama 6 hari tanpa henti. Distribusi data pengukuran ditunjukkan pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 2. Topologi Jaringan Internet Kampus



Gambar 3. Distribusi Data Listrik dan Trafik

Gambar 3(a) merupakan distribusi daya listrik, 3(b) merupakan distribusi trafik Fakultas Teknik dan 3(c) merupakan distribusi trafik Fakultas Bisnis dan Ekonomika. Karakteristik data pengukuran ditampilkan pada tabel 1 berikut. Konsumsi daya listrik maksimum 140,3 kilowatt terjadi pada saat jam-jam sibuk kerja antara jam 10.00 – 14.00 WIB. Sedangkan daya minimum terjadi pada jam 02.00 – 03.00 WIB ketika pemakaian trafik internet juga minimum.

Tabel 1. Karakteristik Data

Parameter	Daya Listrik (kilo Watt)	Trafik FT (bit/detik)	Trafik FBE (bit/detik)
Maksimum	140.30	956452	440279
Rata-rata	51.30	65423	31174
Minimum	12.61	1314	1395

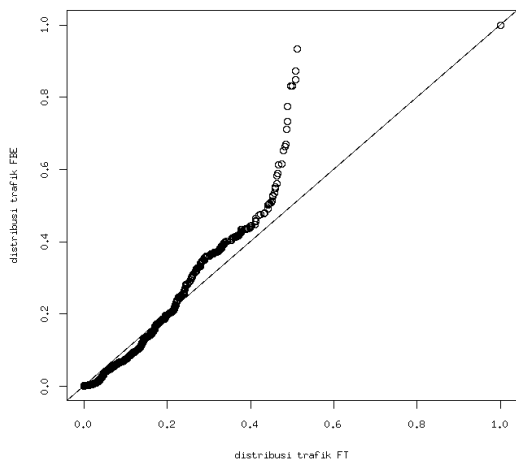
4. Hasil dan Pembahasan

Analisis data pada makalah ini menggunakan perangkat lunak R versi 3.0.1 pada sistem operasi Ubuntu 12.04. Langkah-langkah analisis terdiri dari :

1. Pengukuran data (listrik maupun trafik internet)
2. Log data
3. Uji Stasioner
4. Hitung orde lag p dengan AIC
5. Mendapatkan model VAR(p)
6. Validasi Model VAR(p)
7. Uji Granger-Causality

Pengukuran daya listrik 3 fase di gardu tegangan rendah 220/380 V dan volume trafik internet dilakukan secara spasial di 2 fakultas berbeda di kampus Ubaya II di daerah Tenggilis. Gardu tegangan yang diukur merupakan gardu yang mencatu listrik ke gedung-gedung di 2 fakultas di mana trafik internet diukur juga yaitu FBE dan FT. Pengukuran dilakukan secara bersamaan selama 6 hari di bulan Mei 2013 dari hari Sabtu pada jam 00.00 sampai hari Kamis pada jam 23.55 WIB dengan waktu sampel pengambilan data adalah 5 menit. Karakteristik data trafik dan daya listrik ditunjukkan pada tabel 1 di mana daya listrik yang diolah merupakan data listrik total (dijumlahkan) dari masing-masing daya listrik 3 fase gardu tegangan rendah 220/380 V.

Perbandingan distribusi trafik internet FT dan FBE ditampilkan pada gambar 4 berikut. Nampak bahwa distribusi trafik internet pada karakteristik volume trafik yang rendah mempunyai distribusi data yang sama, sedangkan pada volume trafik yang besar, distribusi trafik FT jauh lebih besar dibandingkan dengan FBE. Dengan kata lain bahwa penggunaan trafik internet di FT jauh lebih besar dibandingkan dengan penggunaan trafik di FBE. Trafik internet yang dimaksud merupakan volume trafik internet atau sering disebut dengan nama throughput.



Gambar 4. Perbandingan Distribusi Trafik Internet

Data trafik dan listrik tidak dapat langsung diolah karena perbedaan nilai yang terlalu besar antara data trafik dan data listrik sehingga harus dilog-naturalkan dengan menambahkan nilai 1 pada setiap datanya untuk menghindari nilai 0 pada data aslinya. Grafik hasil proses log (x+1) pada ketiga data ditunjukkan pada gambar 1. Proses ini bertujuan juga untuk menghindari ketidakkonstanan pada datanya.

Langkah selanjutnya adalah melakukan uji stasioner pada ketiga datanya. Hasil uji stasioner ditunjukkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Uji Stasioner

Variabel	Nilai Uji	Nilai Kritis		
		1%	5%	10%
Listrik	-1.43	-3.96	-3.41	-3.12
Δ Listrik	-23.25	-3.41	-2.86	-2.57
Trafik FT	-7.287	-3.96	-3.41	-3.12
Trafik FBE	-6.8357	-3.96	-3.41	-3.12

Nampak bahwa data trafik baik dari FT maupun FBE merupakan data stasioner di mana nilai ujinya jauh lebih kecil dari pada nilai kritisnya. Sedangkan data listrik merupakan data stasioner ketika datanya differensialkan sekali saja.

Kemudian setelah dipastikan stasioner maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai lag p menggunakan metoda AIC hasilnya ditunjukkan pada gambar 5 berikut.

```

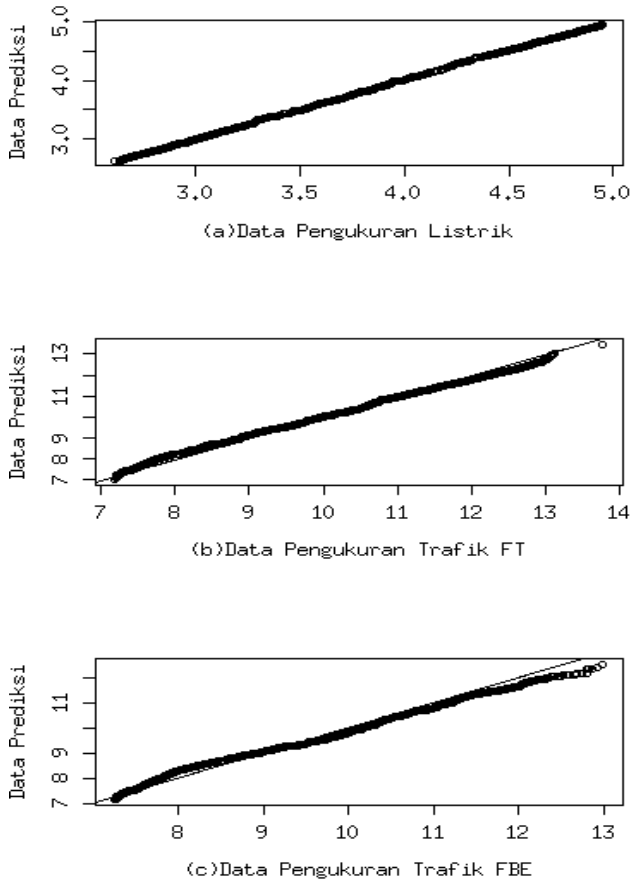
AIC(n)  HQ(n)  SC(n)  FPE(n)
  7       7       5       7

Scriteria
      1       2       3       4       5
AIC(n) -7.3072455130 -7.357221141 -7.463622318 -7.5175679706 -7.5910089547
HQ(n)   -7.2896601983 -7.329084638 -7.424934626 -7.4683290893 -7.5312188845
SC(n)   -7.2597157494 -7.281173520 -7.359056838 -7.3844846323 -7.4294077581
FPE(n)  0.0006706619 0.000637969 0.000573575 0.0005434532 0.0005049723

      6       7       8
AIC(n) -7.6024963414 -7.6371052897 -7.6319340819
HQ(n)   -7.5321550824 -7.5562126418 -7.5404904452
SC(n)   -7.4123772866 -7.4184683768 -7.3847793107
FPE(n)  0.0004992053 0.0004822246 0.0004847258
    
```

Gambar 5. Perhitungan nilai lag p menggunakan AIC

Dari hasil perhitungan di gambar 5 di atas menunjukkan bahwa berdasarkan metoda Akaike Information Criterion (AIC) mendapatkan nilai p = 7, selanjutnya didapatkan model VAR(p=7) atau dapat disingkat menjadi VAR(7). Model ini harus divalidasi terlebih dahulu apakah model yang didapatkan sudah benar atau tidak. Validasi model menggunakan metoda grafik qqplot yaitu membandingkan distribusi data pengukuran dan data hasil prediksi model VAR(7). Hasilnya ditampilkan pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Validasi Model VAR(7) dengan qqplot

Nampak pada gambar 6 bahwa perbandingan distribusi data pengukuran dan prediksi sudah mengikuti garis linear 45° dan hal ini menunjukkan bahwa distribusi data adalah sama sehingga dapat dinyatakan bahwa model VAR(7) merupakan model valid. Setelah model VAR(7) didapatkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji Granger-causality terhadap data trafik dan listrik dengan menggunakan Confidence Interval 95%. Hasil uji ditunjukkan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Uji Granger-causality

Kausalitas	F-Test	p-value
Trafik FT → Listrik	1.7	0.0488
Trafik FBE → Listrik	4.3	1.32×10^{-7}

Dari tabel 3 menunjukkan bahwa dari model VAR(7), dapat dicari kemungkinan hubungan kausalitas yang terjadi dengan menggunakan Uji Statistik F (F-Test). Dari nilai nilai F-test tersebut dapat diperoleh nilai *p-value*. Oleh karena dalam uji sebelumnya dipilih nilai confidence

interval 95%, maka nilai *p-value* harus lebih kecil dari 5% dengan hipotesa awal $H_0: x$ tidak *granger-cause* terhadap y . Kekuatan kausalitas dapat diukur dari besarnya nilai F-test [3]. Nampak bahwa hasil uji memenuhi terjadinya *granger-cause* pada Trafik FT → Daya Listrik, dan Trafik FBE → Daya Listrik dengan nilai *p-value* di bawah 5%. Pengaruh trafik FBE terhadap daya listrik lebih besar daripada pengaruh trafik FT terhadap daya listrik. Hal ini ditunjukkan pada nilai hasil uji F-Testnya. Hasil ini diduga berkaitan dengan jumlah mahasiswa FBE lebih besar daripada mahasiswa FT. Atau dapat disimpulkan bahwa karena jumlah mahasiswa FBE lebih besar sehingga jumlah yang akses internet juga lebih besar dan berdampak pada peningkatan konsumsi daya listrik di Fakultas Bisnis dan Ekonomika (FBE) dibandingkan Fakultas Teknik. Upaya-upaya penghematan listrik dapat dilakukan di FBE misalnya dengan mengganti penggunaan monitor CRT dengan monitor LED di lab-lab komputer atau mengganti AC ruangan lab dengan AC jenis hemat energi.

5. Kesimpulan

Analisis hubungan kausalitas antara konsumsi daya listrik dengan trafik internet yang diukur secara spasial pada 2 tempat berbeda di kampus Ubaya dengan menggunakan metoda Granger Causality pada model VAR dengan nilai $p = 7$, hasilnya menunjukkan bahwa trafik internet di Fakultas Bisnis dan Ekonomika (FBE) berdampak lebih besar pada konsumsi daya listrik daripada Fakultas Teknik (E). Artinya bahwa konsumsi daya listrik di FBE lebih besar daripada konsumsi daya listrik oleh FT akibat penggunaan akses internet di kampus. Hal ini diduga berkaitan dengan jumlah mahasiswa FBE lebih besar daripada FT.

Daftar Pustaka

- [1] M. Talebi, A. Alvandizade, M. Roshanroo, *Granger Causality Relationship Between Energy Consumption And Economic Growth In Iran (1980-2009)*, Interdisciplinary Journal Of Contemporary Research In Business, Vol. 4 No. 2, June 2012
- [2] D. I. Stern, K. Enflo, *Causality Between Energy and Output in the Long-Run*, Lund Paper in Economic History No. 126, 2013
- [3] X. Zhang, R. Gu, X. Zhao, "Electricity Consumption and Economic Activities in China", Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 4th International Conference, WiCOM 2008
- [4] J. Yuan, C. Zhao, S. Yu, H. Zhao, "Electricity consumption and economic growth in China: cointegration and co-feature analysis", Energy Economics, 29, 1179-1191, 2007
- [5] D.C. Bohm, "Electricity Consumption and Economic Growth in the European Union: A Causality Study using Panel Unit Root and

Cointegration Analysis", IEEE 2008

- [6] Y. Kim, R. Balani, Han Zhao, Mani B. Srivastava, "*Granger Causality Analysis on IP Traffic and Circuit-Level Energy Monitoring*", Proceeding of The 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing System for Energy Efficiency in Building, New York, USA, 2010
- [7] B. Pfaff, "*Analysis of Integrated and Cointegrated Time Series with R*", Springer, Second Edition, 2008