

Analisis Kasus Pencurian Listrik Menggunakan Proses *Stochastic* pada Lingkungan Terpasang *Smart Metering*

Arya Sony¹, Selo Sulisty², I Wayan Mustika³

¹Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika dan Informatika, Universitas Negeri Yogyakarta;

^{2,3}Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada;

E-mail: arya.sony@uny.ac.id

ABSTRACT

Using a precise detection method in cases of electricity theft is an impossible job. This is due to the existence of one variable with high economic value that is needed so that the calculation is possible to be carried out. Entering the stochastic process into the electricity theft detection equation will greatly reduce the PLN's work in implementing the Smart Metering System. Simulation results show that using the stochastic process does not reduce the accuracy of the Smart Metering System and only shows an average error of 1.19E-07%. This discovery is very necessary because with the randomization of the variable distance, the work of implementing Smart Metering is easier because it does not have to enter the value of the delivery distance to each device.

Keywords: PLN, electricity theft, smart metering device, stochastic process

ABSTRAK

Menggunakan metode deteksi yang presisi pada kasus pencurian listrik merupakan pekerjaan yang mustahil dilakukan. Hal ini disebabkan karena adanya satu variabel yang bernilai ekonomi tinggi yang diperlukan agar perhitungan mungkin untuk dilakukan, yaitu variabel jarak penghantar. Dengan memasukkan proses stokastik ke dalam persamaan deteksi pencurian listrik akan banyak mengurangi pekerjaan PLN dalam mengimplementasikan Sistem Smart Metering. Smart Metering adalah Perangkat IoT yang dapat merekam jumlah konsumsi listrik pelanggan yang terpasang pada masing-masing meteran listrik pelanggan PLN. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menggunakan proses stokastik tidak mengurangi akurasi Sistem Smart Metering dan hanya menunjukkan kesalahan rata-rata **1,19E-07%**. Penemuan ini sangat diperlukan karena dengan diacaknya variabel jarak penghantar maka pekerjaan implementasi Smart Metering menjadi lebih mudah karena tidak harus memasukkan nilai jarak penghantar ke setiap perangkat.

Kata Kunci: PLN, pencurian listrik, perangkat smart metering, proses stokastik

PENDAHULUAN

Pencurian listrik masih marak dilakukan ditengah-tengah masyarakat Indonesia, selain mudah dalam aksinya pemerintah sebagai penyedia arus listrik juga kesulitan untuk menanggulangnya. Permasalahan sulitnya penanggulangan kasus pencurian listrik sebenarnya terletak pada tidak mungkinnya mendeteksi/mengetahui adanya kebocoran jika tanpa menggunakan alat bantu yang dipasang secara permanen.

Saat ini pengukuran dengan alat bantu dilaksanakan setelah adanya aduan dari masyarakat terkait adanya sesama warga yang mencuri listrik dari PLN, padahal kasus

pencurian listrik menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi PLN karena biaya yang seharusnya terbayarkan tidak terbayarkan akibat dari banyaknya energi listrik yang terbuang secara ilegal [1]. Kebijakan memberikan penghargaan bagi pelapor pencurian listrik juga tidak memberikan hasil yang signifikan pada pengurangan daya yang hilang [10].

Artikel ini disusun sebagai pembahasan lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan skema smart metering yang memanfaatkan WSN untuk mendeteksi kasus pencurian listrik. Pada penelitian sebelumnya terlihat ada beberapa variabel yang dianggap tetap sehingga tidak mewakili keadaan sebenarnya dan cenderung

menghasilkan perhitungan yang salah (*error*) [7].

Pada artikel ini dikembangkan metode lanjutan menggunakan proses *stochastic* atau variabel acak untuk mewakili variabel yang dianggap tetap pada penelitian sebelumnya. Dengan menggunakan metode variabel acak yang digunakan dalam rumus pencurian listrik diharapkan dalam penentuan ada tidaknya kasus pencurian akan lebih mewakili keadaan sebenarnya.

Penelitian dengan tema metode deteksi dan pengembangan alat pencurian listrik telah berkembang sejak lama di Indonesia, beberapa diantaranya banyak yang berasal dari pendidikan vokasi dengan hasil alat deteksi sederhana yang lingkup kerjanya lokal setiap rumah. Penelitian terapan paling sederhana adalah dengan membandingkan daya yang terbaca pada alat ukur meteran listrik pada MCB dengan data yang terbaca pada alat buatan peneliti [1].

Terdapat pula penelitian deteksi pencurian listrik dengan menggunakan sensor arus yang dipasang di kabel PLN penghantar. Saat arus GTT lebih besar daripada arus yang diukur dengan sensor tadi maka buzzer akan bunyi menandakan adanya tindak pencurian listrik [2].

Ada pula pola penelitian dengan memanfaatkan data rekam jejak konsumsi pelanggan setiap bulannya, menggunakan metode anomali load profile maka akan kelihatan siapa-siapa saja pelanggan yang berpotensi melakukan tindak pencurian listrik karena secara tiba-tiba berkurang biaya penggunaan listriknya [3].

PLN sebagai perusahaan yang memonopoli bisnis penjualan listrik di Indonesia tentunya juga sudah memiliki cara/metode nya sendiri untuk mengatasi kebocoran arus listrik. Sistem yang dikembangkan PLN ini bernama ATA DETECTOR, sistem ini memiliki jarak komunikasi yang cukup panjang jika dibandingkan dengan produk alat deteksi yang lain, yaitu sepanjang 15 meter. Inti dari metode deteksinya adalah sama yaitu membandingkan pembacaan arus listrik antara satu titik dengan yang lain [4].

Penelitian deteksi pencurian listrik ini secara ruang lingkup dapat dibagi menjadi dua bagian, yang pertama adalah penelitian dengan lingkup lokal, artinya penelitian dikembangkan dengan melihat variabel-variabel dan keadaan hanya pada lingkup satu rumah pelanggan saja. Artinya penelitian tersebut dilakukan untuk memudahkan pelanggan listrik PLN untuk memonitor penggunaannya sendiri dan sekaligus mencegah apakah ada pihak lain (tetangga) yang melakukan kecurangan dengan mencuri listriknya. Sedangkan penelitian jenis yang kedua memiliki ruang lingkup yang lebih besar yaitu pada skala wilayah tertentu, penelitian ini bertujuan membantu PLN untuk mencegah dan menemukan siapa orang yang mencuri listrik.

Sampai saat ini ada tiga penelitian yang memiliki ruang lingkup wilayah, penelitian pertama dikembangkan dengan memanfaatkan PLC (Power Line Carrier), metode deteksinya adalah dengan mengukur nilai tegangan dan arus yang akan dicurigai terdapat aktifitas pencurian. Jika terdapat beban yang berlebihan maka diasumsikan terdapat kasus pencurian di tempat tersebut [5].

Metode deteksi berdasar wilayah berikutnya yang cukup mendobrak dilakukan dengan metode mengamati secara terus menerus pergeseran fasa yang ada dalam wilayah uji. Penelitian ini membandingkan fasa yang ada di trafo dan yang ada di titik uji, namun sayangnya metode tersebut masih dalam konsep dan belum diimplementasikan secara teknis sehingga belum diketahui keefektifan metode dalam mendeteksi kasus pencurian listrik [6].

Penelitian berikutnya adalah dasar dari penelitian yang dilakukan pada artikel ini, yaitu metode deteksi dengan menggunakan smart metering [7] dan juga Arduino [9], artikel ini banyak mengambil rumus-rumus yang ada pada penelitian metode deteksi dengan smart metering karena merupakan pengembangan metode untuk mencari formulasi terbaik untuk mendeteksi kasus pencurian listrik. Metode dengan skema smart metering sudah terbukti sangat akurat dalam mendeteksi kasus pencurian listrik, namun memiliki kekurangan dengan harus

menempatkan satu alat deteksi pada setiap meteran listrik pelanggan PLN, alat pendeteksi smart metering sendiri dikembangkan pada penelitian [8].

METODE

Teori dan Metode Deteksi

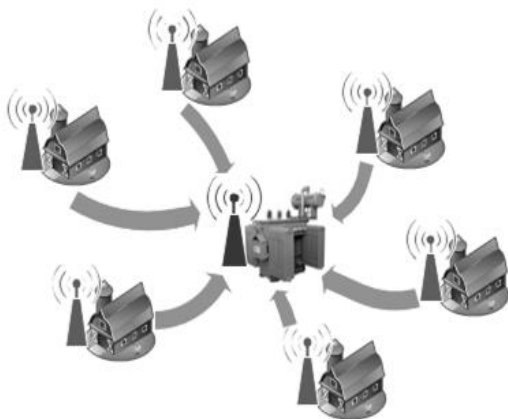
Seperti yang diketahui bersama bahwa smart metering bekerja didalam area terbatas dengan memanfaatkan gardu distribusi sebagai koordinatonya. Mengacu ke skema yang sama maka didapatkan rumus teroi deteksi sebagai berikut :

$$P_t = P_u \quad (1)$$

$$P_u = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

$$P_i = P_p + P_r \quad (3)$$

P_t adalah nilai total listrik yang disalurkan oleh gardu distribusi, pada persamaan (1) P_t nilainya harus sama dengan P_u , dimana P_u pada persamaan (2) adalah nilai hasil ukur dari alat smart metering, nilai P_u sendiri didapatkan dari penjumlahan P_i yang didapatkan dari setiap rumah. Di setiap rumah P_i didapatkan dari hasil pengukuran oleh smart metering yang menggunakan variabel arus (i) yang lewat pada meteran dirumah-rumah.



Gambar 1. Skema Umum Smart Metering [7]

Penentuan ada tidaknya kasus pencurian ada pada perangkat koordinator yaitu di gardu distribusi, diketahui juga P_i adalah penjumlahan dari P_p daya bersih dan P_r rugi-rugi daya, P_p pada satu wilayah akan sama niainya dengan P_t . Permasalahan ada pada nilai P_r yang nilainya

tidak dapat ditentukan dengan tepat pada perhitungan karena terdapat kompone jarak yang mana hal tersebut nilainya berlainan setiap rumah.

$$P_r = I^2 R \quad (4)$$

$$R = \frac{l}{A} \quad (5)$$

$$P_r = P_r + I^2 \cdot R \quad (6)$$

$$P_p = P_p + V \cdot I \quad (7)$$

Keterangan:

$\hat{\partial}$: Hambatan Jenis Inti Aluminium

l : Jarak Penghantar (Meter)

A : Luas Penampang Penghantar 70 mm^2

V : Tegangan PLN (Volt)

I : Arus Listrik (Ampere)

Daya rugi yang mempengaruhi perhitungan sangat dipengaruhi oleh arus karena bernilai pangkat 2 dan juga nilai hambatan dari kabel penghubung dari gardu distribusi ke rumah-rumah penduduk. Nilai P_p dan P_r yang dikirimkan ke koordinator berkumpul selama beberapa waktu dengan menggunakan persamaan (6) dan (7).

Metode Toleransi dan Metode Stochastic

Pada penelitian Smart Metering yang dilakukan sebelumnya digunakan metode perhitungan dengan memanfaatkan nilai toleransi untuk mengakomodasi ketidakmenentuan nilai rugi daya P_r karena bervariasinya variabel jarak rumah ke gardu distribusi. Selengkapnya perhitungan dengan menggunakan toleransi dapat dilihat langsung ke penelitian [8].

Metode yang digunakan dalam artikel ini untuk menentukan ada tidaknya kasus pencurian listrik dalam satu daerah koordinator gardu distribusi adalah dengan menghasilkan nilai acak yang valid untuk mensimulasikan jarak antara rumah dengan gardu distribusi. Menurut penelitian [8] 300m kabel penghantar listrik tegangan akan susut, sehingga nilai yang akan dihasilkan dari operasi acak adalah antara 20 – 300, 20 meter adalah peraturan kementerian

perumahan untuk batas minimal gardu distribusi dengan perumahan warga.

Analisis dilakukan dengan membandingkan simulasi menggunakan metode toleransi dengan simulasi menggunakan metode acak variabel jarak rumah warga. Kata stochastic sendiri di jelaskan dalam kamus bahasa inggris oxford adalah sesuatu yang ditentukan acak. Untuk bagaimana suatu angka acak tersebut didapatkan tentu ada langkah-langkahnya, pada artikel ini digunakan fungsi randbetween() yang ada di Ms.Excel untuk membuat simulasi stochastic.

Pada dunia komputer tidak ada yang benar-benar acak dalam menghasilkan angka, walaupun menggunakan fungsi acak untuk menentukan keacak-kan tersebut tetap membutuhkan suatu fungsi yang telah ditetapkan sebelumnya, hal ini disebut pseudo-random number generator (PRNG) atau biasa juga disebut deterministik random bit generator (DRBG).

Berikut adalah parameter dua simulasi yang dilakukan untuk menguji metode pada penelitian[8]. Jumlah node/rumah pelanggan sejumlah 1260 terdiri dari 1100 daya 450VA dan 160 daya 900VA. Perhitungan dan penentuan ada tidaknya kasus pencurian listrik dilakukan perjam, artinya setiap satu jam data dari perangkat *smart metering* yang ada di setiap rumah di kumpulkan di koordinator.

Kedua simulasi diatas terdapat perbedaan pada metode pencarian atau penentuan kasus pencurian. Metode pertama dengan menggunakan angka statis untuk variabel l untuk panjang penghantar, persamaan (5) untuk simulasi yang dilakukan pada penelitian[8] dilakukan dengan nilai yang ditentukan, pada artikel ini nilai l panjang penghantar nilainya acak dengan menggunakan fungsi Ms.Excel randbetween().

Dengan acaknya nilai panjang penghantar l dapat mensimulasikan keadaan yang diinginkan dimana nilai panjang penghantar untuk setiap rumah warga tidak diketahui dan ditentukan secara acak oleh algoritma smart metering.

Agar lebih mewakili keadaan sebenarnya yang ada dipelanggan listrik, maka simulasi yang dilakukan dibagi menjadi 3 kelas, pertama adalah kelas pemukiman padat beban rendah, kelas ini menggambarkan atau mensimulasikan keadaan masyarakat Indonesia pada pemukiman padat yang berlangganan listrik antara 450VA-900VA. Berikutnya adalah kelas normal yang ditempati warga dengan beban listrik merata antara 450VA-66000VA untuk menggambarkan wilayah pemukiman menengah-keatas. Selanjutnya kelas ketiga mensimulasikan keadaan pemukiman mewah dengan persebaran rumah yang jarang namun memiliki beban arus yang tinggi. Berikut adalah tabel yang menjelaskan karaktersistik ketiga kelas untuk simulasi.

Tabel 1. Parameter for Energy Consumption Simulation

Daya Listrik	Pembagian Kelas		
	1 639KVA	2 490KVA	3 628KVA
450VA	1100	300	-
900VA	160	150	-
1300VA	-	31	120
2200VA	-	55	110
3500VA	-	15	60
66000VA	-	1	3
Total Titik	1260	552	293

Tabel diatas adalah parameter untuk simulasi warga dalam mengkonsumsi listrik, dengan parameter diatas akan didapatkan data hasil penggunaan daya Pp dan rugi daya Pr. Parameter dalam menentukan ada tidaknya kasus pencurian listrik dalam satu wilayah dalam penelitian ini menggunakan modul pencurian listrik, ditentukan dengan lamanya pencurian listrik dan besarnya arus yang digunakan.

ELECTRICITY THEFT SCENARIO MODUL			
WATT HOUR UNIT			
No	Current(A)	Time(S)	Pu
1	xx	xx	#VALUE!
2	xx	xx	#VALUE!
3	xx	xx	#VALUE!
Sum of Energy Stollen			#VALUE!

Gambar 2. Modul Simulasi Pencurian Listrik

Untuk dapat melihat lebih jelas bagaimana pergerakan dan akibat yang ditimbulkan dari digunakannya variabel acak dalam persamaan (5) maka akan diambil sampel sebanyak 10 kali sebagai bahan analisis persebaran data acak.

Perlu untuk diketahui bahwa penelitian ini tidak lagi menggunakan nilai toleransi untuk menentukan ada tidaknya kasus pencurian akibat naik turunnya nilai rugi daya P_r seperti pada penelitian[8], berikut adalah 3 persamaan yang digunakan dalam penelitian smart metering dalam menghitung dan menentukan kasus pencurian.

$$P_u = P_{u\text{praktek}} + \text{NilaiToleransi} \quad (8)$$

$$P_u \geq P_t \quad (9)$$

$$\text{NilaiToleransi} = P_u \cdot x\Gamma \quad (10)$$

Ketiga persamaan diatas digunakan oleh sistem smart metering pada penelitian[8] untuk menentukan ada tidaknya dan kasus pencurian sekaligus bagaimana menanggulangi kemungkinan adanya alarm/peringatan palsu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari parameter yang telah ditentukan sebelumnya di tabel 1 didapatkan hasil simulasi seperti pada Gambar 3.

DASHBOARD						
GENERAL INFO OF ELECTRICITY THEFT DETECTION						
Parameter	Nilai	Satuan				
Sum of Node	1260	unit				
Trafo Capacity	639/640	KVA				
Data retrieve interval	Per Jam					
Energy Distribute in Network (Pt-Fix)	333,4894519					
Energy Distribute in Network (Pt-Rand)	333,4894504	KWH				
Energy Measure by Smart Metering (Pu)	333,4894519	KWH				
Status	SAVE					

RECAP OF DATA SIMULATION SCENARIO						
UNIT WATTSECOND						
Max Energy	Sum Node	Energy Used	Energy Loss(Rand)	Energy Measure(Rand)	EL(Fix)	EM(Fix)
450	1100	939510000	12,92	939510012,9	1,774	93951000:
900	160	261052000	8,546	261052008,5	25,199	26105202:
1300	0	0	0	0		
2200	0	0	0	0		
3500	0	0	0	0		
6600	0	0	0	0		
Jumlah	1260	1200562000	21,466	1200562021	26,973	12005620:

RECAP OF DATA SIMULATION PER UNIT TIME					
UNIT WATT HOUR					
	PerHour	PerDay	PerWeek	PerMonth	PerHour Fix
Energy Measure	333489,4504	8003746,81	56026227,67	224104910,7	333489,4
Energy Loss	0,006	0,144	1,008	4,032	0,
Loss(%)	1,79916E-06 %				

Gambar 3. Dashboard Pencurian Listrik untuk Pelanggan Kelas 1

Dapat dilihat pada gambar 3 hasil simulasi yang telah dilakukan dengan variabel jarak

penghantar ditetapkan bernilai acak. Dengan acaknya nilai penghantar maka jumlah daya pakai keseluruhan juga ikut menjadi acak.

DASHBOARD						
GENERAL INFO OF ELECTRICITY THEFT DETECTION						
Parameter	Nilai	Satuan				
Sum of Node	552	unit				
Trafo Capacity	490,4/640	KVA				
Data retrieve interval	Per Jam					
Energy Distribute in Network (Pt-Fix)	134,7377853					
Energy Distribute in Network (Pt-Rand)	269,4846538	KWH				
Energy Measure by Smart Metering (Pu)	134,7377853	KWH				
Status	SAVE					

RECAP OF DATA SIMULATION SCENARIO						
UNIT WATTSECOND						
Max Energy	Sum Node	Energy Used	Energy Loss(Rand)	Energy Measure(Rand)	EL(Fix)	EM(Fix)
450	300	246576000	13,002	246576013	1,774	246576001,8
900	150	238480000	43,982	238480044	25,199	238480025,2
1300	31	96390800	110,268	96390910,27		
2200	55	251306000	170,874	251306170,9		
3500	15	118250000	802,917	118250802,9		
6600	1	19140000	812,488	19140812,49		
Jumlah	552	970142800	1953,531	970144753,5	26,973	485056027

RECAP OF DATA SIMULATION PER UNIT TIME					
UNIT WATT HOUR					
	PerHour	PerDay	PerWeek	PerMonth	PerHour Fix
Energy Measure	269484,6538	6467631,69	45273421,83	181093687,3	134737,7853
Energy Loss	0,543	13,032	91,224	364,896	0,008
Loss(%)	0,000201496 %				

Gambar 4. Dashboard Pencurian Listrik untuk Pelanggan Kelas 2

Hasil untuk kelas 2 yaitu beban sedang pemukiman sedang, nilai daya tersalurkan ikut berkurang seiring dengan menurunnya beban pakai warga.

DASHBOARD						
GENERAL INFO OF ELECTRICITY THEFT DETECTION						
Parameter	Nilai	Satuan				
Sum of Node	293	unit				
Trafo Capacity	627,8/640	KVA				
Data retrieve interval	Per Jam					
Energy Distribute in Network (Pt-Fix)	382,9899837					
Energy Distribute in Network (Pt-Rand)	382,9909609	KWH				
Energy Measure by Smart Metering (Pu)	382,9899837	KWH				
Status	SAVE					

RECAP OF DATA SIMULATION SCENARIO						
UNIT WATTSECOND						
Max Energy	Sum Node	Energy Used	Energy Loss(Rand)	Energy Measure(Rand)	EL(Fix)	EM(Fix)
450	0	0	0	0	0	0
900	0	0	0	0	0	0
1300	120	368808000	44,374	368808044,4	135,07	368808135,1
2200	110	542212000	202,299	542212202,3	226,03	542212226
3500	60	420112000	960,014	420112960	524,77	420112524,8
6600	3	47630000	4252,583	47634252,58	1055,3	47631055,33
Jumlah	293	1378762000	5459,27	1378767459	1941,2	1378763941

RECAP OF DATA SIMULATION PER UNIT TIME					
UNIT WATT HOUR					
	PerHour	PerDay	PerWeek	PerMonth	
Energy Measure	382990,9609	9191783,062	64342481,43	257369925,7	
Energy Loss	1,517	36,408	254,856	1019,424	
Loss(%)	0,000396093 %				

Gambar 5. Dashboard Pencurian Listrik untuk Pelanggan Kelas 3

Hasil kelas 3 simulasi terlihat menghasilkan nilai terbesar karena daya pakai dan beban arus yang juga besar. Untuk status dari semua percobaan pada kelas 1, 2 dan 3 masih belum berubah dari “AMAN” karena data pada modul pencurian belum ditambahkan.

Berikut adalah hasil pengambilan data dengan metode stochastic sebanyak 10 buah untuk melihat persebaran data acak pada simulasi. Hasil disajikan berturut-turut untuk simulasi penggunaan daya pada kelas 1, 2 dan 3.

Tabel 2. Derajat Deviasi Simulasi Konsumsi Energi untuk Pelanggan Kelas 1

No	Konsumsi Energi	Perubahan Energi	
		Konsumsi Energi (rand)	Derajat Deviasi
1	333,4894519	333,4894526	1,19694E-06
2		333,4894531	1,20278E-06
3		333,489456	4,05694E-06
4		333,4894631	1,11978E-05
5		333,4894617	9,76917E-06
6		333,4894508	1,17722E-06
7		333,4894572	5,30528E-06
8		333,4894555	3,59861E-06
9		333,4894543	2,33278E-06
10		333,4894553	3,37056E-06
Total			4,32E-05

Tabel 3. Derajat Deviasi Simulasi Konsumsi Energi untuk Pelanggan Kelas 1

No	Konsumsi Energi	Perubahan Energi	
		Konsumsi Energi (rand)	Derajat Deviasi
1	269,4844132	269,4849737	0,000560449
2		269,4849933	0,000580048
3		269,4850376	0,000624434
4		269,4850557	0,000642501
5		269,4849987	0,000585494
6		269,4849513	0,000538108
7		269,4845694	0,000156224
8		269,485002	0,000588822
9		269,4847284	0,000315202
10		269,4849263	0,000513082
Total			0,005104364

Tabel 4. Derajat Deviasi Simulasi Konsumsi Energi untuk Pelanggan Kelas 1

No	Konsumsi Energi	Perubahan Energi	
		Konsumsi Energi (rand)	Derajat Deviasi
1	382,9899837	382,9903172	0,0009057
2		382,9901492	0,00016554
3		382,9903894	0,00040574
4		382,9909027	0,00091899
5		382,9905238	0,00054012
6		382,9905153	0,0005316
7		382,9910033	0,00101962
8		382,9908745	0,00089086
9		382,990611	0,00062735
10		382,990374	0,0003903
Total			0,00639582

Hasil yang diperlihatkan pada gambar 3, 4 dan 5 mengindikasikan bahwa dengan mengubah besaran panjang penghantar pada persamaan (5) dengan fungsi *stochastic* membuat hasil perhitungan menjadi tidak stabil, ketidak-stabilan dapat dilihat pada gambar yang sama pada data daya ukur dan daya hitung, dapat dilihat hasil yang cukup jauh antara nilai Pp dan Pu. Ketidakstabilan ini disebabkan karena naik turunnya nilai panjang penghantar. Dengan tidak stabilnya perhitungan ini berakibat pada berkurangnya akurasi sistem dan akan menghasilkan pula pengambilan keputusan yang salah dalam enentukan ada tidaknya kasus pencurian listrik pada suatu daerah uji tersebut.

Tabel 5. Hasil Rekap Kesalahan *Stochastic* Simulasi Konsumsi Energi dalam Persen

Kelas	Konsumsi Energi	Perubahan Energi	
		Deviation	Kesalahan/Error (%)
1	333,4894519	4,32E-05	1,295E-09
2	269,4844132	5,10E-03	1,894E-07
3	382,9899837	6,40E-03	1,66E-07
Kesalahan rata-rata(%)			1,19E-07

Dari tabel 5 rekap simulasi diatas terlihat seberapa besar kesalahan yang diakibatkan dengan menggunakan teori keacakan menurut kelas tingkat konsumsi listrik. Untuk kelas 2 dan

kelas 3 terlihat tidak ada perbedaan yang besar, sebaliknya jika dibandingkan antara kelas 1 dengan kelas 2 dan antara kelas 1 dengan kelas 3 terlihat jauh sekali perbedaannya. Hal ini disebabkan karena di kelas 1 disimulasikan beban rendah dengan nilai arus listrik yang rendah, sedangkan di kelas 2 dan kelas 3 disimulasikan memiliki beban tinggi dengan nilai arus yang besar. Hal ini sekaligus mengkonfirmasi bahwa pada persamaan (6) sudah sesuai yaitu arus sangat mempengaruhi nilai rugi daya karena nilainya yang diperoleh dari perpangkatan nilai arus.

SIMPULAN

Arus listrik sangat mempengaruhi hasil dari perhitungan, karena nilainya mempengaruhi rugi daya yang didapatkan sebesar pangkat 2 arus dengan jarak penghantar, sebaliknya nilai jarak penghantar tidak signifikan dan dapat diubah menjadi nilai berapapun asalkan masih berada didalam ketentuan. Terlihat pada tabel 5 antara kelas 2 dan kelas 3 tidak banyak kesalahan antara keduanya walaupun dengan variabel jarak penghantar ditentukan secara acak.

Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan hasil penentuan ada tidaknya kasus pencurian listrik menjadi tidak stabil, namun hal tersebut secara keseluruhan tidak mengganggu sistem. Oleh karena itu direkomendasikan menggunakan proses stochastic dalam proses menentukan ada tidaknya kasus pencurian dalam sistem smart metering karena jika tidak menggunakan proses stokastik ini maka kesulitan akan ada pada pihak pengimplementasi sistem dan skema smart metering yang harus memasukkan nilai jarak penghantar pada masing-masing perangkat yang mana hal tersebut membutuhkan sumber daya dan upaya yang besar.

REFERENSI

[1] Fiki. A, Pratiwi RN, & Wachid A. "Strategi PT. Perusahaan Listrik Negara dalam Pemenuhan Tenaga Listrik dan Peningkatan Pelayanan pada Masyarakat di Pulau

- Giligenting Kabupaten Sumenep (Studi pada Pembangkit Listrik Tenaga Disel Subrayon Giligenting)". *Jurnal Administrasi Publik (JAP)* Vol. 1 (6): 1229-1238. 2013.
- [2] Kharisma. A, "Detektor Pencurian Arus Listrik pada Pelanggan PLN", Final Project Jurusan Teknik Elektro-2011, STEI ITB.
- [3] Jokar. P, Arianpoo. N and Victor. C, "Electricity Theft In AMI Using Consumers' Consumption Pattern", *IEEE Transaction on Smart Grid*, Vol 7 No.1, January 2016.
- [4] Gede. I and Sukono. S, "Pendeteksian Pencurian Listrik Secara Otomatis Dengan ATA Detector", Direktori Inovasi IX, 2006.
- [5] Arihutomo. M, et al, "Sistem Monitoring Arus Listrik Jala-Jala menggunakan Power Line Carrier", *Jurnal Teknik ITS* Vol.1, No.1, Page: A150-A153. 2012.
- [6] Fuada. S, "Sistem Keamanan Cerdas untuk Menangani Pencurian Listrik pada Smart City", *E-Indonesia Initiatives forum*. 2013.
- [7] Sony. A, Sulisty. S, Mustika.I.W, "Rumusan Metode Deteksi Pencurian Listrik Memanfaatkan Perangkat Wsn", *Jurnal Mipa Universitas Negeri Semarang* vol.2 page 107-114. 2016.
- [8] Shaulagara. S, "Rancang Bangun Jaringan Sensor Nirkabel untuk Memonitor Pemakaian Energi Listrik Pelanggan Rumah Tangga Menggunakan Arduino dan Zigbee", *ETD Repository UGM*. 2014
- [9] Horalek J & Sobeslav V. "Measuring of Electric Energy Consumption in Households by Means of Arduino Platform". *Advanced Computer and Communication Engineering Technology*. vol 362. Springer, Cham pp 819-83. 2016.
- Sari D, Putro US, Sunitiyoso Y, Hermawan P & Utomo DS. "Aplikasi Norm Game dan Locus of Control untuk Pengembangan Kebijakan Penanggulangan Pencurian Listrik". *Jurnal Manajemen Teknologi* Vol. 9 (1) : 49-63. 20