

Sistem Monitoring Arus Listrik Jala-Jala Menggunakan *Power Line Carrier*

Mukhlas Arihutomo, Muhammad Rivai, Suwito

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail : muhammad_rivai@ee.its.ac.id

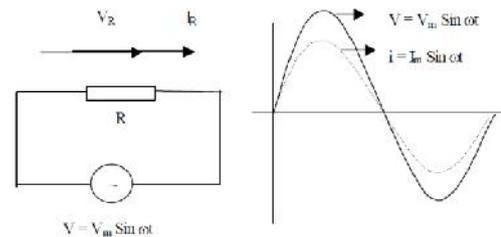
Abstrak—Pencurian listrik menyebabkan kerugian negara, karena daya akan hilang dan rusaknya infrastruktur jaringan listrik. Pada umumnya pencurian listrik dilakukan dengan cara mem-bypass ECB (*Electronic Circuit Breaker*), sehingga daya listrik yang digunakan bisa melebihi batas. Pada penelitian ini, telah dirancang sebuah sistem monitoring arus listrik jala-jala menggunakan *Power Line Carrier (PLC)*. Sistem ini dapat mengetahui penggunaan arus listrik distribusi rumah tangga, sehingga jika ada penggunaan arus listrik jala-jala yang berlebih, maka dapat diindikasikan pada line itu terdapat kemungkinan pencurian listrik. Sistem terdiri dari *transmitter* dan *receiver*. Jala-jala dipilih sebagai media komunikasi data karena jaringan infrastruktur instalasi pendukungnya yang sudah ada. Berdasarkan pengujian pengukuran arus listrik jala-jala dengan beban yang beragam, didapatkan range toleransi pengukuran arus sebesar 0-11%. Pengiriman data arus dari *transmitter* menuju *receiver* menggunakan komunikasi serial dengan kecepatan pengiriman 300 baud. Jarak komunikasi data melalui media jala-jala mencapai 31 meter dengan tingkat keberhasilan pengiriman 100%.

Kata Kunci—Sensor Arus, *Power Line Carrier*, *Modulator*, *Demodulator*.

I. PENDAHULUAN

ENERGI listrik merupakan salah satu kebutuhan utama masyarakat. Seiring meningkatnya pertumbuhan dan kesejahteraan masyarakat membuat kebutuhan energi listrik juga terus meningkat. Sumber daya bahan baku untuk menghasilkan energi listrik semakin menipis, hal itu membuat harga bahan baku menjadi naik. Kenaikan itu membuat pemerintah juga harus menaikkan harga listrik jika tidak ingin mengalami defisit. Kesulitan yang dialami masyarakat membuat mereka melakukan segala hal untuk mendapatkan sesuatu tanpa mereka harus mengeluarkan uang, termasuk mendapatkan listrik secara cuma-cuma. Banyak media online maupun cetak yang memberitakan tentang kasus pencurian listrik. Sebenarnya yang mereka lakukan itu merugikan banyak pihak, termasuk pelakunya sendiri.

Untuk itu, penulis mencoba membuat sebuah sistem yang dapat mendeteksi adanya kemungkinan pencurian listrik di suatu line distribusi. Prosesnya sederhana karena memanfaatkan teori tentang kelistrikan, yaitu jika penggunaan beban semakin besar sedangkan tegangan tetap, maka konsumsi arus juga akan semakin besar. Data pemakaian arus pada suatu line akan dikirimkan menuju pusat monitoring melalui media transmisi jala-jala yang sudah ada. Proses komunikasinya lebih sulit karena kemungkinan adanya noise dan interferensi [1] yang tidak terduga itu lebih besar daripada media transmisi yang lain.



Gambar 1. Rangkaian R, bentuk phasor pada AC, bentuk gelombang tegangan dan arus.

Setelah diterima, kemudian data diolah dan ditampilkan pada layar monitor untuk mengetahui kondisi pemakaian arus pada suatu line distribusi listrik secara *real time*.

Rangkaian yang terdiri dari sebuah sumber tegangan AC dan sebuah beban resistor ditunjukkan seperti gambar 1.

Persamaan tegangan sumber :

$$v(t) = V_m \sin \omega t \tag{1}$$

Persamaan tegangan pada R :

$$v(t) = i(t) R \tag{2}$$

dimana :

$v(t)$ = Tegangan sesaat

$i(t)$ = Arus sesaat

V_m = Tegangan maksimum

ω = Kecepatan sudut

R = Resistansi

Sehingga :

$$i(t) = \frac{V_m \sin(\omega t)}{R} \tag{3}$$

$$i(t) = I_m \sin \omega t$$

Pada beban resistor murni tegangan dan arus mempunyai fasa sama (sefase).

Tegangan AC yang diukur dengan alat ukur menunjukkan tegangan efektif atau V_{rms} . Sedangkan nilai yang ditampilkan pada osiloskop merupakan nilai peak, atau *max*-nya, hubungan antara keduanya adalah :

$$V_{eff} = V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707 V_{max} \tag{4}$$

$$I_{eff} = I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707 I_{max} \tag{5}$$

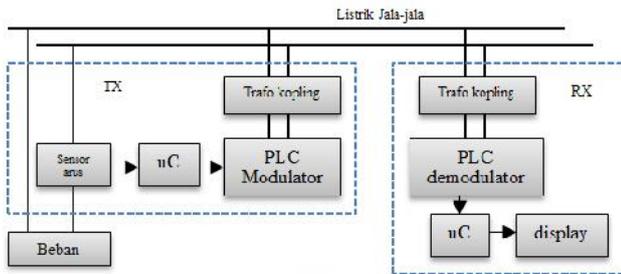
Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarnya. Satuan daya aktif adalah Watt. Persamaan daya aktif sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \tag{6}$$

Jika $\cos \varphi = 1$, maka $P = V \cdot I$, sehingga nilai arus dapat dihitung dengan rumus :

$$I_{(rms)} = \frac{P_{(rms)}}{V_{(rms)}} \tag{7}$$

II. METODE PENELITIAN

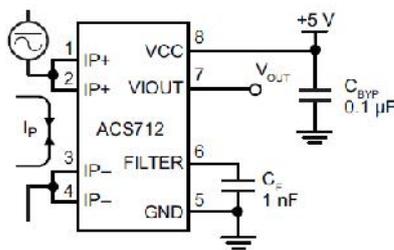


Gambar 2. Diagram blok sistem secara keseluruhan meliputi devais transmitter dan devais receiver yang terhubung dengan jala-jala listrik.

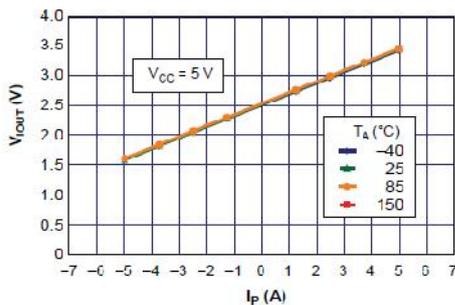
Komponen utama dalam penelitian ini meliputi sensor arus, mikrokontroler, modulator PLC, demodulator PLC, dan trafo kopling (lihat gambar 8 dan 9). Dari gambar 2 di atas, dapat dijelaskan bahwa pada sisi transmitter, arus listrik jala-jala dideteksi oleh sensor arus, mikrokontroler bertugas membaca dan mengkonversi data tegangan keluaran sensor menjadi data digital. Data tersebut kemudian dikirim ke modulator menggunakan komunikasi serial, selanjutnya data diinjeksikan ke jala-jala melalui trafo kopling. Pada sisi receiver, data yang dibawa oleh jala-jala masuk rangkaian penerima melewati trafo. Trafo berfungsi untuk memisahkan tegangan jala-jala dengan data. Sinyal data dipisahkan dari sinyal pembawa oleh demodulator. Data yang diterima langsung dibaca oleh mikrokontroler, untuk kemudian dikonversi menjadi data arus.

Sensor yang dipakai untuk mengukur arus disini adalah sensor ACS712. Sensor ini merupakan solusi ekonomis dalam pengukuran arus AC maupun DC. Contoh aplikasi sensor arus ACS712 [2] ditunjukkan oleh gambar 3.

Jala-jala listrik dapat dimanfaatkan untuk media komunikasi sinyal suara dan data yang dikenal dengan nama Powerline Carrier (PLC) [3]. Konsep dari PLC adalah dengan menumpangkan sinyal frekuensi tinggi pada jala-jala listrik untuk mengirimkan data. Namun untuk menumpangkan sinyal tersebut dibutuhkan frekuensi padakasaran 50 kHz – 30 MHz.



Gambar 3. Contoh skematik rangkaian untuk aplikasi Sensor ACS712.



Gambar 4. Karakteristik tegangan keluaran Vs arus yang diukur dari sensor ACS712x05B.

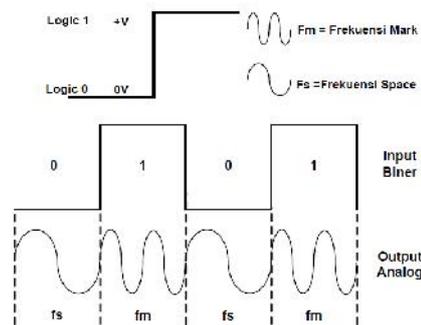
Dengan teknologi PLC, aliran listrik nantinya tidak hanya dimanfaatkan untuk mengakses internet [4], namun perkembangannya juga dapat dimanfaatkan sebagai telepon, pembacaan meteran, sinkronisasi waktu, dan berbagai macam aplikasi lainnya.

Proses menumpangkan sinyal informasi pada sinyal pembawa dilakukan oleh modulator. Sedangkan demodulator bertugas untuk mendapatkan sinyal datanya kembali segera setelah data yang dikirim itu diterima. Kedua tugas tersebut dapat dilakukan oleh sebuah IC LM1893. IC ini dapat digunakan untuk dua mode, yaitu sebagai modulator dan demodulator, caranya hanya dengan memberi logika 'high' atau 'low' pada pin selector. IC ini sangat cocok diaplikasikan untuk manajemen energi [5].

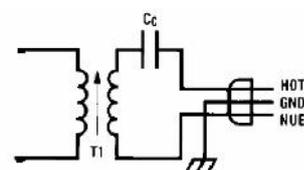
Teknik modulasi untuk pengiriman sinyal data menggunakan teknik Frequency Shift Keying (FSK). Teknik ini merupakan suatu bentuk modulasi yang memungkinkan sinyal informasi menggeser frekuensi output sinyal pembawa. Besarnya frekuensi sinyal pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan ada atau tidak adanya sinyal informasi digital. Frekuensi pembawa digeser ke samping sehingga memperoleh kerapatan frekuensi yang berbeda-beda tergantung sinyal informasi, proses ini ditujukan untuk memperoleh bit 1 dan bit 0 seperti yang terlihat pada gambar 5. Pengambilan kembali sinyal informasi dari pembawanya atau proses demodulasi itu akan lebih mudah karena hanya terdapat 2 kemungkinan variasi yaitu mark dan space[6], sehingga kemungkinan kesalahannya itu kecil.

Ada dua pilihan untuk mengkopling sinyal data ke jala-jala listrik, yaitu model differensial atau line-to-netral, di mana pasangan line dan netral digunakan untuk menginjeksikan sinyal. Metode ini hanya bisa digunakan jika ada kabel netral seperti yang terlihat pada gambar 6. Pilihan lainnya adalah model common atau line-to-earth yang menggunakan kabel ground sebagai terminal kedua. Proses injeksi sinyal data dapat direalisasikan dengan kopling kapasitif output transmitter ke jala-jala listrik [6].

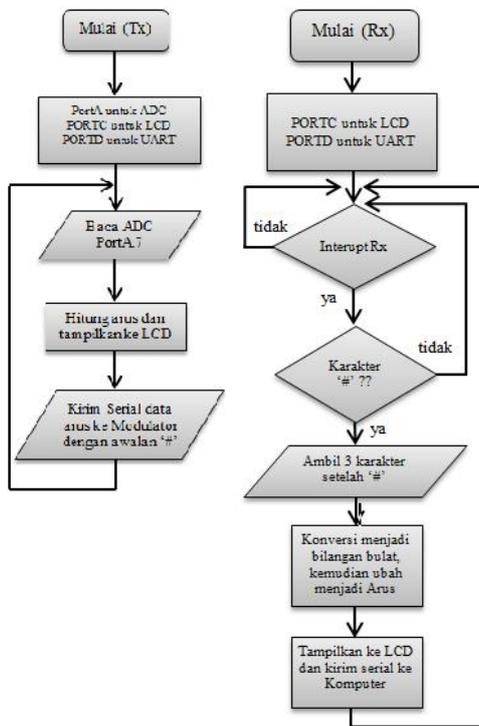
Alur program pada kontroler ditunjukkan pada gambar 7 berikut ini :



Gambar 5. Modulasi FSK. Untuk logic '0' direpresentasikan oleh frekuensi rendah, sedangkan untuk logic '1' direpresentasikan oleh frekuensi tinggi.



Gambar 6. Rangkaian kopling kapasitif output yang diletakkan pada trafo. Model yang digunakan adalah line-to-netral.



Gambar 7. Flowchart program pada transmitter (kiri), dan pada receiver(kanan).



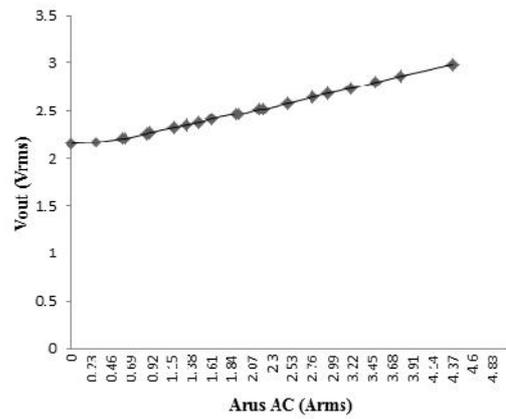
Gambar 8. Perangkat Transmitter yang terdiri dari sensor arus, mikrokontroler, rangkaian modulator PLC, dan trafo kopling.



Gambar9. Perangkat Receiver yang terdiri dari demodulator PLC, mikrokontroler dan trafo kopling

III. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian sensor arus ini dilakukan dengan cara memberikan beban dengan daya bervariasi terhadap line kabel yang dipasang sensor. Konsumsi arus dari beban-beban tersebut bervariasi, tergantung daya yang diserap. Grafik perubahan tegangan keluaran sensor arus terhadap kenaikan arus yang diukur dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Karakteristik tegangan keluaran (Vout) sensor arus terhadap perubahan arus yang diukur.

Tabel 1. Perbandingan hasil pengukuran sensor arus dengan alat ukur - 1

Beban (Watt)	Alat Ukur	Percobaan	Error
60 (1 lampu)	0.29	0.29	0%
120 (2 lampu)	0.58	0.544	5.5%
180 (3 lampu)	0.86	0.35	2.9%

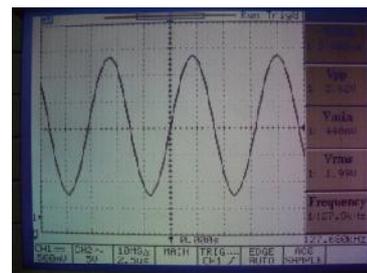
Tabel 2. Perbandingan hasil pengukuran sensor arus dengan alat ukur - 2

Beban (Watt)	Alat Ukur	Percobaan	Error
60 (1 lampu)	0.29	0.322	11%
120 (2 lampu)	0.58	0.605	4.3%
180 (3 lampu)	0.86	0.86	0%

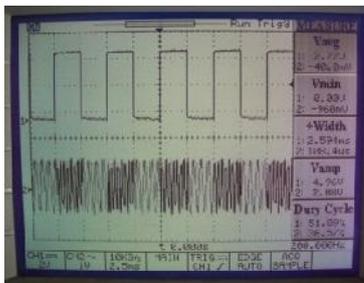
Grafik pada gambar 10 menunjukkan karakteristik sensor arus ini hampir linear seperti penunjukkan grafik karakteristik pada gambar 4.

Pengujian selanjutnya adalah membandingkan hasil pengukuran arus menggunakan sensor dengan alat ukur. Alat ukur yang digunakan sebagai pembanding adalah Multimeter **Heles UX-866TR**. Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa sensor arus kurang presisi jika digunakan untuk pengukuran arus yang kecil, karena jika sensor mengalami kesalahan sedikit saja (misal: kesalahan 1 bit pembacaan mikrokontroler), maka *error* yang didapatkan langsung besar. Sebaliknya, jika arus yang diukur mengalami kenaikan, maka walaupun terjadi kesalahan yang kecil, tapi tetap *error* yang didapat masih dalam batas kewajaran. Berdasarkan tabel di atas, range kesalahan pengukuran arus oleh sensor arus berkisar antara 0-11%.

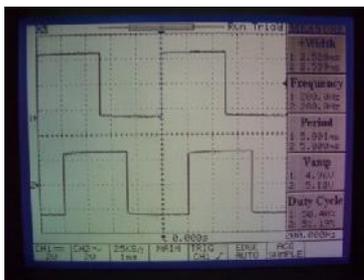
Indikasi keberhasilan pengujian modulator ditandai dengan modulator mampu mengeluarkan sinyal pembawa sebesar 125KHz seperti terlihat pada gambar 11.



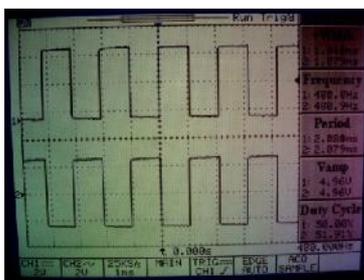
Gambar 11. Sinyal pembawa dengan frekuensi 125KHz.



Gambar 12. Sinyal TTL dengan frekuensi 200Hz (atas) dan sinyal hasil modulasi (bawah).



Gambar 13. Sinyal data yang dikirim Tx dengan $f=200\text{Hz}$ (atas) dan sinyal data yang diterima Rx dengan $f=200\text{Hz}$ (bawah).

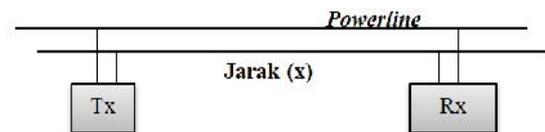


Gambar 14. Sinyal data yang dikirim Tx dengan $f=480\text{Hz}$ (atas) dan sinyal data yang diterima Rx dengan $f=480\text{Hz}$ (bawah).

Berdasarkan hasil pengujian di atas, dapat dilihat bahwa data yang dikirim pada sisi *transmitter* hampir identik dengan data yang diterima pada sisi *receiver*, hal ini menunjukkan bahwa modul PLC dapat bekerja. Data yang diterima memiliki frekuensi dan *duty cycle* yang sama dengan data yang dikirim, namun data yang diterima terlambat atau fasanya berbeda. Semakin diperbesar frekuensi data yang maka keterlambatan itu semakin besar. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena kemampuan respon devais *receiver* yang rendah. Frekuensi data sinyal *logic* yang dikirim maksimal hanya sampai 500Hz. *Demodulator* tidak dapat merekonstruksi sinyal data dengan $f > 500\text{Hz}$.

Setelah modulator mampu mengeluarkan sinyal pembawa, langkah selanjutnya adalah mencoba melakukan modulasi sinyal informasi yang berupa sinyal *logic* dengan frekuensi tertentu. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 12. Pada sisi *receiver*, didapatkan sinyal seperti gambar 13 yang menunjukkan bahwa sinyal data yang diterima memiliki frekuensi dan *duty cycle* yang sama dengan sinyal yang dikirim, namun mengalami keterlambatan. Jika frekuensi sinyal data dinaikkan menjadi 400Hz seperti penunjukkan pada gambar 14, maka sinyal data yang diterima semakin jauh terlambat.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian jarak pengiriman data yang dilakukan seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Bentuk pengujian jarak pengiriman data melalui jala-jala.



Gambar 16. Tampilan *display* pada *Transmitter* dan *Receiver*

Data yang dikirim berupa nilai ADC untuk perubahan arus yang diukur. Kecepatan pengiriman data sebesar 300 baud. Komunikasi antara *transmitter* dan *receiver* dilakukan pada line yang memiliki fase sama. Hasil pengujian yang dilakukan pada jarak 31 meter menunjukkan bahwa perangkat *receiver* dapat menerima data yang dikirim oleh *transmitter* dengan baik. Data yang diterima perangkat *receiver* sama dengan data yang dikirim perangkat *transmitter*. Bentuk keberhasilan tersebut ditunjukkan secara visual pada *display LCD* seperti pada gambar 16.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dari keseluruhan sistem, penulis dapat menyimpulkan bahwa jaringan listrik memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai media komunikasi, seperti pengiriman data hasil monitoring, atau untuk aplikasi-aplikasi lainnya. Sensor arus pada sistem memiliki *range* kesalahan pembacaan berkisar antara 0-11%, dimana *error* terbesar terjadi ketika sensor *measuring* arus yang kecil. Pemilihan baudrate yang rendah pada komunikasi serial antara *transmitter* dan *receiver* karena demodulator hanya dapat merekonstruksi sinyal data dengan frekuensi rendah. Pengiriman data arus melalui media jala-jala mencapai jarak ± 31 meter dengan tingkat

keberhasilan pengiriman 100%.

REFERENSI

- [1] Hussain Zuberi, Khurram., "Powerline Communication (PLC) Systems", M.S. thesis, Dept. of Microelectronics and Information Technology, Royal Institute of Technology, Sweden (2003).
- [2] (Datasheet of ACS712) Allegromicro. (2011). "Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor". Available : <http://www.allegromicro.com/~Media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>
- [3] Marzuki, Fahrul., "Aplikasi Power Line Carrier (PLC) Untuk Komunikasi Pada Daerah Pedalaman", Makalah, PT.PLN (Persero) distribusi Bali, Indonesia (2008, Mei).
- [4] Sinfield, Philip., "Powering up the Internet : Telecommunications over Electrical Power Lines", Queensland University of Technology, (1999).
- [5] (Datasheet of LM1893/LM2893) Texas Instruments. (1995, April) "LM1893 LM2893 Carrier-Current Transceiver". Available : <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2893.pdf>
- [6] Handoyo, Hendry., "Pengiriman Data Jam Digital Melalui Jala-Jala Listrik", Tugas Akhir, Teknik Elektro, FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2008).