

Rancang Bangun 3 Phase Energy Meter untuk Analisis Kualitas Daya di Industri

Sri Wahyudi¹, Eka Prasetyono¹, Dimas Okky Anggriawan¹, Mike Yuliana¹, Anang Budikarso¹

¹Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Departemen Teknik Elektro
Surabaya, Indonesia
E-mail: dimas@pens.ac.id

Abstrak

Kualitas daya listrik merupakan salah satu hal yang penting dalam aplikasi di industri. Kualitas daya yang baik meningkatkan kestabilan dan efisiensi sistem kelistrikan di industri sehingga terjadi penghematan biaya produksi. Pemakaian energi pun juga harus dipantau untuk keperluan analisis efisiensi energi listrik. Oleh karena itu, makalah ini merancang sebuah alat yang bernama 3 phase energy meter yang dapat memonitor pemakaian energi dan kualitas daya untuk industri dengan sistem kelistrikan 3 fasa. 3 phase energy meter dilengkapi dengan sistem IoT sehingga pengamatan hasil pengukuran setiap sistem kelistrikan yang ada di industri dapat dilakukan di satu titik tanpa harus mendatangi lokasi. Hasil pengujian 3 phase energy meter menunjukkan bahwa 3 phase energy meter mampu mengukur besaran arus, tegangan, ketidakseimbangan tegangan, ketidakseimbangan arus, faktor daya, daya aktif, daya reaktif dan daya total. Alat 3 phase energy meter dapat meningkatkan efisiensi produksi melalui analisis kualitas daya.

Kata kunci: 3 fasa, energy meter, kualitas daya, industri, IoT

Abstract

The quality of electric power is one of the important things in the industrial application. Good power quality increases stability and efficiency electrical system in industrial application so occurs saving in production costs. Energy consumption must also be monitored for the purpose of analyze electrical energy efficiency. Therefore, this paper designs a prototype the named a 3 phases energy meter that can monitor energy consumption and power quality for industry with a 3 phases electrical system. The 3 phases energy meter is equipped with an IoT system so that the observation of the measurement results of every electrical system in the industry can be done at one point without having to go to the location. The testing result of 3 phase energy meter show that 3 phase energy meters capable for measure of current, voltage, voltage unbalance, current unbalance, power factor, active power, reactive power and total power. The prototype of 3 phases energy meter can improve production efficiency through power quality analysis.

Keywords: 3 phases, energy meter, power quality, industry, IoT

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan jaman, sektor industri semakin berkembang pesat. Banyak industri manufaktur yang didirikan untuk menghasilkan

produk yang dapat menunjang kebutuhan manusia. Dan agar sebuah industri dapat beroperasi dengan baik, dibutuhkan ketersediaan energi listrik sebagai salah satu kebutuhan utama dalam produksi industri tersebut di samping bahan baku. Umumnya sebuah

industri membutuhkan energi listrik yang besar saat beroperasi. Dan penyediaan energi listrik tersebut merupakan salah satu pengeluaran terbesar dari sebuah industri.

Berdasarkan data dari kementerian ESDM Total konsumsi listrik sektor industri sepanjang tahun 2018 mencapai 76,345 TWh atau tumbuh 32,85 persen dari tahun sebelumnya, yaitu 71,72 TWh. Pertumbuhan ini didapat dari 87.829 pelanggan terdiri dari pelanggan prabayar (23.602) dan pascabayar (64.227). Dari tahun ke tahun penjualan listrik didominasi oleh sektor industri yang jumlah pelanggannya sekitar 69 ribu atau naik 10 ribu dari tahun 2016 ke tahun 2017. Ini menandakan bahwa sektor industri adalah sektor yang cukup berpengaruh pada pemakaian energi nasional.

Oleh karena itu apabila pemakaian energi tidak dipantau dengan baik akan menyebabkan pembengkakan pada biaya produksi yang akan mengakibatkan kerugian pada industri tersebut. Selain pemakaian energi, kualitas daya listrik juga harus di pantau sedemikian rupa, karena selain mengakibatkan losses energi, kualitas daya listrik yang jelek juga dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan produksi yang akan menambah biaya pengeluaran untuk perawatan dari peralatan industri tersebut. Oleh karena itu penulis berencana untuk merancang sebuah *3 phase energy meter* yang dapat memantau pemakaian energi listrik pada mesin mesin industri yang menggunakan sistem 3 fasa secara *real time*. Dalam penelitian sebelumnya *energy meter* yang di buat dengan menggunakan chip ADE7880ACPZ yang di produksi oleh Analog Device yang mana chip tersebut memiliki harga yang relatif mahal, oleh karena itu dalam penelitian ini di kembangkanlah *energy meter* dengan menggunakan chip STM32TR yang di produksi oleh ST-Microelectronics yang memiliki harga relatif lebih murah. *3 phase energy meter* ini juga dapat mengukur beberapa parameter kualitas daya seperti daya aktif, daya reaktif, *power factor*, nilai RMS arus, nilai RMS tegangan, *under and overvoltage*, *unballance voltage* dan *unballance current*. Yang kemudian hasil pengukuran ini akan diolah oleh mikrokontroler

ARM STM 32 dan di cloudkan ke dalam database dan ditampilkan dengan GUI (*Graphic User Interface*) pada layar smartphone / PC dari operator / teknisi. Selain diukur juga terdapat fitur perekapan kualitas daya untuk keperluan analisa seperti *power factor* terendah, *unballance* tertinggi dan penentuan apakah parameter kualitas yang diukur sudah sesuai dengan standard atau belum.. *3 phase energy meter* juga dilengkapi dengan *overcurrent detection* yang dapat mendeteksi arus lebih dan memutusnya lewat *magnetic contactor* serta memberikan notifikasi gangguan ke pesan telegram. Sebagai catatan tambahan proses pemutusan ketika terjadi gangguan *overcurrent* dilakukan secara *instant* bukan *invers*, dan juga untuk *3 phase energy meter* ini hanya bisa mengukur dan menampilkan hasil analisa parameter kualitas daya dan pemakaian energi pada setiap mesin bukan satu industri, setelah itu pihak operatorlah yang bertindak untuk strategi penghematan energi dan perbaikan kualitas daya yang akan dilakukan.

2. Metode Penelitian

2.1 Design Penelitian

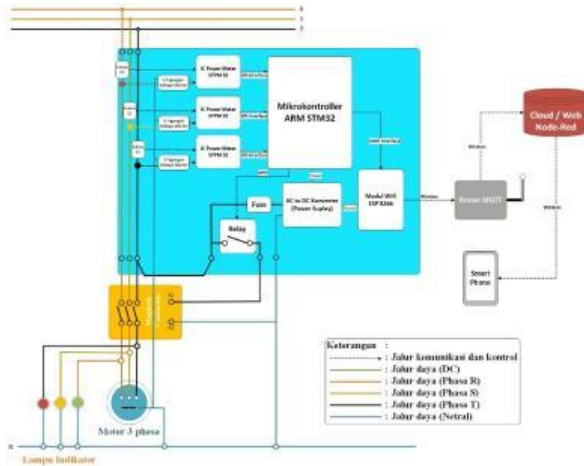
Untuk diagram alir dari proses penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Perancangan Blok Diagram

Untuk memahami prinsip kerja sistem secara lengkap, maka di buatlah blok diagram yang menggambarkan prinsip kerja sistem secara keseluruhan. Dan berikut ini adalah gambar blok diagram dari *3 phase energy meter*.



Gambar 2. Blok diagram sistem

Apabila dilihat pada gambar 2 prinsip kerja dari *3 phase energy meter* yaitu sebagai berikut. Arus dan tegangan pada setiap line 3 fasa(R, S, T) akan di sensing oleh sensor arus(*Current Transformer*) dan sensor tegangan(*Voltage Divider*) yang kemudian data hasil sensing ini akan masuk ke ADC IC *power meter* STPM32, data arus dan data tegangan tersebut akan diolah di dalam IC *Power Meter* tersebut menjadi data - data parameter yang dibutuhkan untuk keperluan analisis kualitas daya seperti daya aktif, daya reaktif, *power factor*, nilai RMS arus, nilai RMS tegangan, *under and overvoltage*, *unbalance voltage* dan *unbalance current*. Yang kemudian data - data tersebut akan disimpan ke dalam register yang ada di dalam IC *Power Meter* tersebut dan dapat diambil oleh mikrokontroler melalui komunikasi SPI. Data – data ini kemudian diolah lagi di dalam mikrokontroler dan disimpan ke cloud/web node red lewat modul ESP 8266, untuk protokol komunikasi yang digunakan sendiri adalah protokol MQTT. Data – data yang telah tersimpan di cloud dapat dilihat melalui layar komputer/smartphone dengan

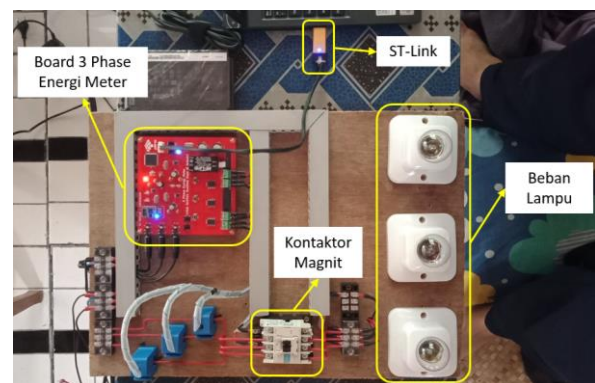
GUI(Graphic User Interface) yang telah di buat untuk memudahkan operator dalam pembacaan. Selain diukur juga terdapat fitur perekapan kualitas daya untuk keperluan analisa seperti *power factor* terendah, *unballance* tertinggi serta data logger pemakaian energi. Selain itu *3 phase energy meter* juga dilengkapi dengan *overcurrent detection* yang apabila terjadi arus lebih pada sistem yang di monitoring maka mikrokontroler akan memutuskan *magnetic contactor* pada sistem melalui relay yang terhubung dengan GPIO mikrokontroler serta mengirimkan notifikasi gangguan ke pesan telegram.

2.2 Pembuatan Hardware

Untuk proses pembuatan harwarenya sendiri terdiri dari proses pembuatan *board* PCB dan proses perangkaian pada panel kayu untuk keperluan uji coba. Dan untuk penelitian ini jenis mikrokontroler yang digunakan adalah ARM STM32F4 yang di solder langsung pada board *3 phase energy meter*.



Gambar 3. Board PCB yang sudah di solder



Gambar 4. Pemasangan board pada panel

2.3 Pembuatan Software

Software yang di buat di sini berupa proses pemrograman dan kalibrasi *3 phase energy meter*. Selain itu juga di buat bot telegram dan tampilan web yang berguna untuk menampilkan hasil pengukuran dan analisis kualitas daya dari *3 phase energy meter*. Untuk proses kalibrasinya sendiri terbagi menjadi kalibrasi arus, kalibrasi tegangan dan kalibrasi sudut fasa. Dan untuk kalibrasi yang dilakukan adalah kalibrasi satu titik. Beban listrik diberi sumber tegangan 1 fasa kemudian tegangan dan arus tersebut diukur dengan *power meter* eksternal sekaligus di hubungkan dengan *3 phase energy meter*, hasil pengukuran pada *power meter* eksternal dibandingkan dengan hasil pembacaan nilai register pada *3 phase energy meter*. Nilai register tegangan ini bisa diamati pada tampilan *debug* software keil. Nilai register yang berubah-ubah tersebut kemudian dicatat pada tabel dan pada pengambilan nilai data register ini diambil 20 data. Untuk perhitungan nilai kalibrator arus dan tegangan diawali dengan perhitungan nilai target register sebagai berikut.

$$X_v = \frac{V_n \times A_v \times cal_v \times 2^{15}}{v_{ref} \times \left(1 + \left(\frac{R1}{R2}\right)\right)} \quad (1)$$

Di mana :

X_v = Nilai target register dalam hexadecimal

V_n = Nilai tegangan terukur

A_v = Gain register tegangan (2)

cal_v = Calibrator register tegangan (0,875)

V_{ref} = Tegangan referensi register (1,2 V)

R1 = Resistor 1 *voltage divider*

R2 = Resistor 2 *voltage divider*

$$X_i = \frac{I_n \times A_i \times cal_i \times \frac{1}{2} k_s \times 2^{17}}{V_{ref}} \quad (2)$$

Di mana :

X_i = Nilai target register dalam hexadecimal

I_n = Nilai arus terukur

A_i = Gain register arus (2)

cal_i = Calibrator register tegangan (0,875)

k_s = Nilai sensitivitas sensor arus

V_{ref} = Tegangan referensi register (1,2 Volt)

Setelah perhitungan nilai target register, maka tahap selanjutnya adalah perhitungan nilai word kalibrator arus dan tegangan. Untuk perhitungannya bisa menggunakan rumus sebagai berikut.

$$CHV = 14336 \times \frac{X_v}{V_{AV}} - 12288 \quad (3)$$

Di mana :

CHV= Nilai word kalibrator

X_v = Nilai target register dalam hexadecimal

V_{AV} = Nilai rata rata register dalam hexadecimal

$$CHC = 14336 \times \frac{X_i}{I_{AV}} - 12288 \quad (4)$$

Di mana :

CHC= Nilai word kalibrator

X_i = Nilai target register dalam hexadecimal

I_{AV} = Nilai rata rata register dalam hexadecimal

Sedangkan untuk proses kalibrasi sudut fasa dilakukan dengan cara mengukur nilai daya aktif dengan *power meter* eksternal dan juga diamati pada tampilan *debug* software keil (ST-Link terpasang). Setelah itu nilai daya hasil pengukuran *power meter* eksternal dan nilai register pada tampilan *debug* di masukan ke dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai error seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$e = \frac{P_m - P_i}{P_i} \quad (5)$$

Di mana :

e = Nilai error daya aktif

P_m = Nilai daya pada *3 phase energy meter*

P_i = Nilai daya pada *power meter* eksternal

Setelah itu di hitung nilai error dalam sudut, untuk rumus perhitungan nilai error dalam sudut ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\theta = \arccos \frac{1+e}{2} - Q \quad (6)$$

Dimana :

θ = Nilai error dalam sudut

E = Nilai error daya aktif

Q = Sudut fasa ketika pengukuran ($\arccos(\cos Q)$)

Untuk nilai Q ini bisa didapatkan pada saat

pengukuran dengan menggunakan power meter eksternal dengan melihat nilai cos Q pada tampilan power meter. Setelah didapatkan nilai error dalam sudut, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *correction factor*. Dan berikut adalah rumusnya.

$$\varphi = -\theta \quad (7)$$

Dimana :

φ = Nilai correction factor

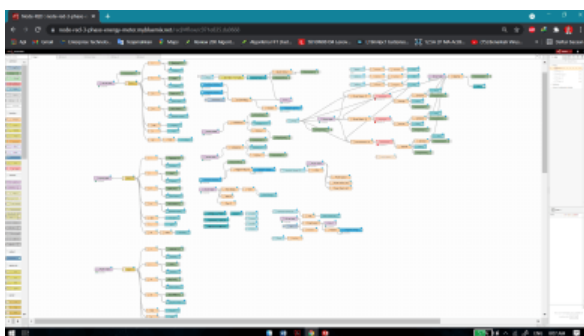
θ = Nilai error dalam sudut

Dan untuk perhitungan nilai kalibrator *phase compensation* dapat menggunakan patokan pada tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan kalibrator phase compensation

Parameter	Value
$\varphi \geq 0$	PHVx = 0x0
	$PHCx = \frac{\varphi \cdot SCLK}{360 \cdot f_{line}}$
$-\frac{f_{line}}{SCLK} \cdot 2^9 \cdot 360 \leq \varphi < 0$	PHVx = 0x1 PHCx[9] = 0x0
	$PHCx[8:0] = PHVx \cdot 2^9 + \frac{\varphi \cdot SCLK}{360 \cdot f_{line}}$
$-\frac{f_{line}}{SCLK} \cdot 2^{10} \cdot 360 \leq \varphi < -\frac{f_{line}}{SCLK} \cdot 2^9 \cdot 360$	PHVx = 0x2 PHCx[9] = 0
	$PHCx[8:0] = PHVx \cdot 2^{10} + \frac{\varphi \cdot SCLK}{360 \cdot f_{line}}$
$-\frac{f_{line}}{SCLK} \cdot 2^9 \cdot 3 \cdot 360 \leq \varphi < -\frac{f_{line}}{SCLK} \cdot 2^{10} \cdot 360$	PHVx = 0x3 PHCx[9] = 0
	$PHCx[8:0] = PHVx \cdot 2^9 + \frac{\varphi \cdot SCLK}{360 \cdot f_{line}}$

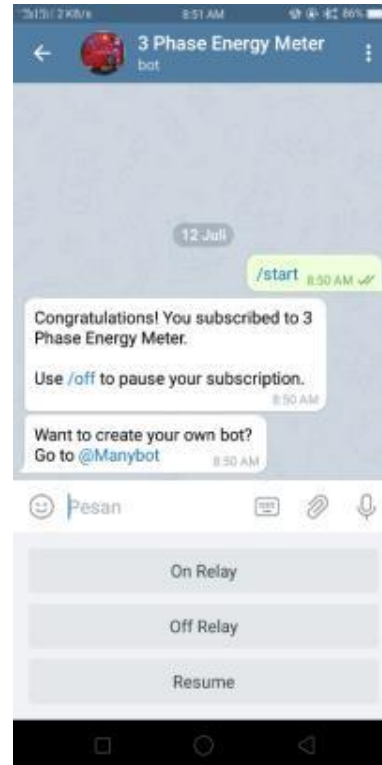
Dan untuk pembuatan web dilakukan dengan menggunakan node-red dengan IBM Cloud sebagai server. Sedangkan untuk pembuatan bot telegram dilakukan dengan menggunakan BotFather dan Manybot. Dan berikut ini adalah tampilan program flow dari web pada node-red.



Gambar 5. Program flow web pada node-red

Sedangkan untuk tampilan dari bot telegram yang telah di buat bisa dilihat pada gambar 6. Pada bot

telegram tersebut terdapat 3 buah tombol bantu yaitu *On Relay* untuk menyalakan beban melalui relay, *Off Relay* untuk mematikan beban melalui relay dan *Resume* untuk menampilkan resume atau hasil dari pengukuran dan analisa.



Gambar 6. Tampilan bot telegram

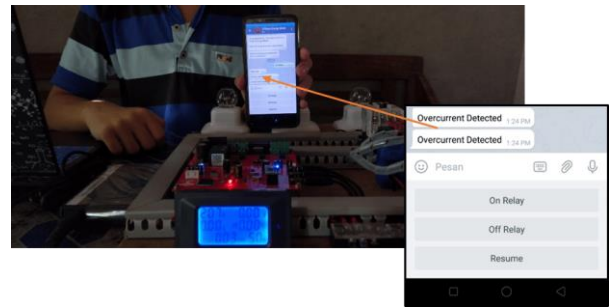
3. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan pengujian secara keseluruhan sistem yang sudah di buat. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sumber 1 fasa yang di paralel karena tidak tersedianya sumber 3 fasa saat pengujian, pengujian ini hanya bertujuan untuk melihat apakah keseluruhan sistem sudah bisa bekerja dan menampilkan data atau belum ketika di gabungkan, pengujian seharusnya menggunakan sumber 3 fasa asli. Pengujian dimulai dengan proses menyalakan alat, mengamati tampilan monitoring pada web baik untuk bagian metering maupun untuk bagian resume, kemudian dilanjutkan dengan meresume hasil metering pada pesan telegram, dan simulasi apabila terjadi gangguan over current. Untuk tampilan web saat pengujian diperlihatkan pada gambar 7-gambar 10.

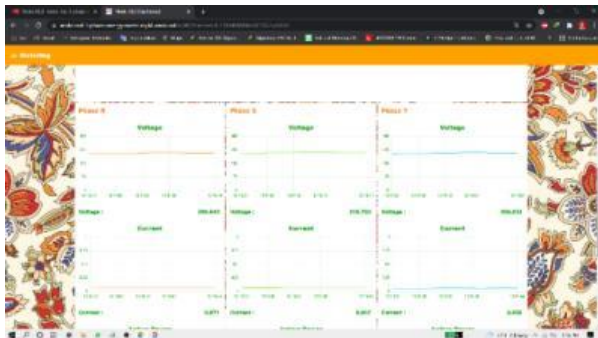


Gambar 7. Tampilan web monitoring energy, unbalance dan cos Q

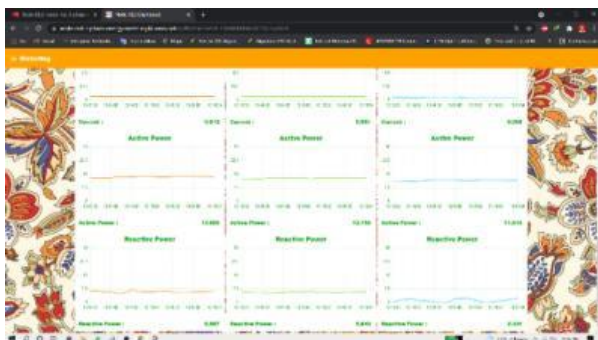
diperlihatkan pada gambar 12 dan ketika terjadi gangguan overcurrent ditunjukkan pada gambar 11.



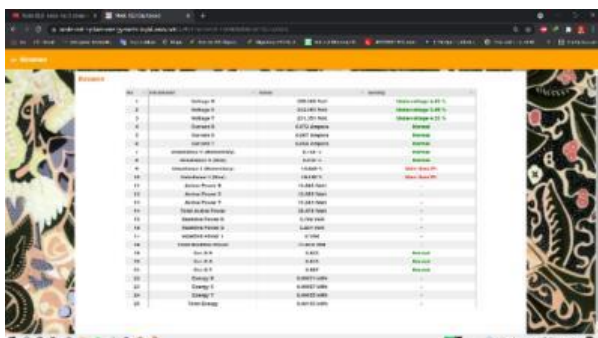
Gambar 11. Tampilan bot telegram ketika terjadi overcurrent



Gambar 8. Tampilan web grafik tegangan dan arus



Gambar 9. Tampilan web monitoring daya aktif dan daya reaktif



Gambar 10. Tampilan web untuk resume

Kemudian dilanjutkan dengan menampilkan resume pada bot telegram dan simulasi ketika terjadi overcurrent. Dan tampilan resume pada bot telegram



Gambar 12. Tampilan resume pada telegram

Dan terlihat pada gambar 11, ketika terjadi gangguan *overcurrent*, maka relay akan langsung memutus kontaktor magnet, dan terdapat pesan notifikasi pada telegram. Untuk pemutusan gangguan *overcurrent* sendiri dilakukan secara *instant*. Sedangkan untuk penentuan kondisi gangguan tegangan diperlihatkan pada gambar 13-gambar 15.

No	Parameter	Value	Quality
1	Voltage R	211.533 Volt	Normal
2	Voltage S	0 Volt	Undervoltage 100.00%
3	Voltage T	0 Volt	Undervoltage 100.00%
4	Current R	0.067 Ampere	Normal
5	Current S	211.533 Volt	Normal
6	Current T		

Gambar 13. Tampilan ketika tegangan normal

No	Parameter	Value	Quality
1	Voltage R	197.712 Volt	40s
2	Voltage S	0 Volt	Undervoltage 100.00%
3	Voltage T	0 Volt	Undervoltage 100.00%
4	Current R	0.251 Ampere	Normal
5	Current S		
6	Current T	197.712 Volt	50s

Gambar 14. Tampilan ketika voltage interruption

No	Parameter	Value	Quality
1	Voltage R	181.943 Volt	Undervoltage 17.30%
2	Voltage S	0 Volt	Undervoltage 100.00%
3	Voltage T	0 Volt	Undervoltage 100.00%
4	Current R	0.062 Ampere	Normal
5	Current S		
6	Current T	181.943 Volt	Undervoltage 17.30%

Gambar 15. Tampilan ketika undervoltage

Ketika kondisi tegangan normal di mana tegangan terukur berada di rentang $V_n-10\%$ sampai $V_n+5\%$ maka tampilan web akan seperti gambar 13 dan keterangan yang ditampilkan pada kolom *quality* adalah normal, sedangkan ketika terjadi gangguan tegangan, yaitu ketika tegangan terukur berada di atas $V_n+5\%$ atau di bawah $V_n-10\%$ maka sistem akan menghitung waktu ketika terjadi gangguan dan tampilan pada kolom *quality* tertampil detik waktu perhitungan seperti yang ditunjukkan pada gambar 14, dan ketika gangguan tegangan terjadi lebih dari 1 menit/60 detik maka akan ditampilkan jenis gangguan yang terjadi (undervoltage/overvoltage) seperti yang ditampilkan pada gambar 15.

4. Kesimpulan

Setelah melalui proses perencanaan, pembuatan, integrasi dan pengujian. Maka didapatkan beberapa kesimpulan yaitu *3 phase energy meter* yang di buat untuk keperluan pengukuran energi dan kualitas daya di industri sudah bisa bekerja dengan cukup baik, *3 phase energi meter* yang di buat memiliki batas pengukuran terutama untuk arus dan tegangan dimana arus maksimum yang bisa di ukur adalah $10 A_{RMS}$ dan tegangan line-line maksimum yang bisa terukur adalah $380 V_{RMS}$, semakin jelek kualitas daya pada sistem maka semakin boros pula pemakaian energinya, untuk keperluan monitoring energi dan kualitas daya pada web sebaiknya menggunakan jaringan wifi yang cukup baik agar data bisa dikirimkan secara lebih *real time*, agar program komunikasi SPI untuk mendapatkan nilai register power meter bisa berjalan lebih lancar dan minim error, maka perlu menggunakan program FreeRTOS untuk membagi looping pada mikrokontroller.

Daftar Pustaka

[1]. Basel Alsayed Ahmad, Hoda H. ElSheikh, Abbas Fadoun. *Review of Power Quality*

Monitoring Systems. Dubai: United Arab Emirates University, 2015

- [2]. Dong-Jun Won, Il-Yop Chung, Joong-Moon Kim, Student Member, Seung-II Moon, Jang-Cheol Seo, Jong-Woong Choe, Member. *Development of Power Quality Monitoring System with Central Processing Scheme*. Korea: Seoul National University, 2002
- [3]. Dugan Roger C., McGranaghan Mark F., Beaty H. Wayne. *Electrical Power System Quality*. New York : McGraw-Hill, 1996
- [4]. Eddy L. Medeiros, Edson G. Costa, George R. S. Lira, Alex C. R. Alves and Caio V. A. Diniz. *A Low Cost Power Quality Meter over the Internet*. Brazil: Campina Grande, 2016
- [5]. Fuchs, Ewald F. & Masoum, Mohammad A. S. *Power Quality in Power System and Electrical Machines*. Elsevier Inc, 2008
- [6]. G. Petrović, I. Šimić, J.A. Bosnić, P. Mostarac. *Power Quality Meter Based on FPGA and LabVIEW*. Slovakia: Proceedings of the 11th International Conference, 2017
- [7]. Handal Fadhela K., Rashid Abdulmuuttalib T. A *Prototype Design for Three Phase Smart Energy Meter*. Irak : University of Basrah, 2017
- [8]. Khosy S., Ballal M. S., Suryawanshi H. M., *Power quality analysis and its effect on Energi Meter Readings and Life Expectancy*. India: International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, 2014
- [9]. Li Penghui, Zhao Lijie, Bai Haijun, Zhang Yanhua. *Power Quality Monitoring of Power System Based on Spectrum Analysis*. China: Shen Yang, 2010
- [10]. Maity Tanmoy, Das Partha Sarathi. *A Novel Three Phase Energy Meter Model Wireless Data Reading and Online Billing Solution*. IEE Symposium on Computers & Informatics. India :

Durgapur Institute of Advanced Technology and Management, Durgapur, 2011

- [11]. Ming Zhang and Kaicheng Li. *A Power Quality Monitoring System over the Internet*. China: International Conference on Information Science and Engineering, 2009
- [12]. Masoud Aliakbar Golkar. *Electric Power Quality : Types and Measurements*. Hong Kong: International Conference on Electric Utility Deregulation, 2004
- [13]. Nuno R. Ramos, Pedro Pereira, Jo˜ao F. Martins. *Smart-Meter in Power Quality*. Portugal: International Young Engineers Forum (YEF--ECE), 2017
- [14]. Shuying Yang. *Method of Measuring Power Quality and Development of Monitor Device*. China: North China Electric Power University, 2010
- [15]. Wang Fei, Yang Fan, Liu Tainyu, Hu Xiaoguang. *Measuring Energy Meter of Three-phase Electricity-Stealing Defense System*. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*. China : Beihang University, 2011