

**ANALISIS PENGARUH KESALAHAN WIRING
TERHADAP HASIL PENGUKURAN ENERGI LISTRIK
PADA KWH METER DAN KVARH METER**

(Skripsi)

Oleh

ABDURAHMAN



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRACT

ANALYSIS ON EFFECT OF WIRING ERROR TO THE MEASUREMENT OF ELECTRIC ENERGY IN KWH METER AND KVARH METER

By

Abdurahman

Every electric consumer who uses the product of electric company must pay the transaction bill. Billing cost of the electric energy could be known by using kWh meter and kVarh meter. In electricity transaction it is required an accurate measurement of electric energy consumed by consumer.

Error in measurement of electric energy will result in the electric energy measured be different to the electric energy consumed. One of the causes of electrical energy measurement error is an error in the wiring that connects between coils existed in the electric energy measuring devices. This research discuss on effect of wiring layout error within electric energy measuring device to result of measurement, by taking a case study in form of electric energy transaction between PT. PLN and PT. Bukit Asam, in the case the electric energy measuring devices owned by PT. PLN error. To prove that the wiring layout error effect the measurement error in electric energy measuring devices, it was conducted a research in laboratory using phasor analysis method. The result of the research proved that wiring layout error led to the different result of measurement than it should be. The measurement error of electric energy consumed by PT. PLN in the transaction mounted to 7,55 %.

Keywords: Wiring, kWh Meter, KVARH Meter, Phase Angle, Phasor Analysis.

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH KESALAHAN *WIRING* TERHADAP HASIL PENGUKURAN ENERGI LISTRIK PADA KWH METER DAN KVARH METER

Oleh

Abdurahman

Setiap konsumen listrik yang menggunakan jasa dari perusahaan yang memproduksi listrik diharuskan untuk membayar biaya transaksi. Besar biaya transaksi yang harus dibayar dapat diketahui dengan menggunakan KWh Meter dan KVarh Meter. Dalam pelaksanaan transaksi energi listrik diperlukan pengukuran yang akurat terhadap energi listrik yang digunakan konsumen.

Kesalahan dalam pengukuran akan mengakibatkan energi listrik yang terukur menjadi berbeda dengan energi listrik yang dikonsumsi. Salah satu penyebab terjadinya kesalahan pengukuran energi listrik adalah adanya kesalahan dalam pengkabelan (*wiring*) yang menghubungkan antar kumparan-kumparan yang terdapat pada alat ukur energi listrik. Penelitian ini membahas mengenai pengaruh kesalahan letak *wiring* pada alat ukur konsumsi energi terhadap hasil pengukuran dengan mengambil studi kasus berupa transaksi energi antara PT. PLN dengan PT. Bukit Asam saat *wiring* pada alat ukur energi milik PT. PLN salah. Adapun untuk membuktikan bahwa pengukuran energi listrik akan berbeda saat pemasangan *wiring* salah maka dilakukan penelitian dalam skala laboratorium. Setelah dilakukan penelitian di skala laboratorium dengan menggunakan metode analisis fasor maka dapat dibuktikan bahwa pemasangan *wiring* yang salah akan mengakibatkan energi listrik yang terukur menjadi berbeda dengan yang seharusnya. dan didapatkan juga kesalahan pengukuran energi listrik pada PT. PLN sebesar 7,55%.

Kata kunci: *Wiring*, KWh Meter, KVarh Meter, Sudut Fasa, Analisis Fasor.

**ANALISIS PENGARUH KESALAHAN WIRING
TERHADAP HASIL PENGUKURAN ENERGI LISTRIK
PADA KWH METER DAN KVARH METER**

Oleh

ABDURAHMAN

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

**: ANALISIS PENGARUH KESALAHAN
WIRING TERHADAP HASIL PENGUKURAN
ENERGI LISTRIK PADA KWH METER DAN
KVARH METER**

Nama Mahasiswa

: Abdurahman

Nomor Pokok Mahasiswa : 1015031021

Jurusan

: Teknik Elektro

Fakultas

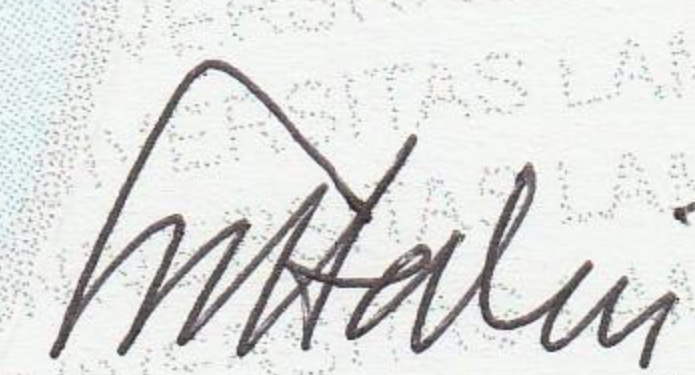
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Herri Gusmedi, S.T., M.T.

NIP 19710813 199903 1 003


Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.

NIP 19720923 200012 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro


Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.


NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

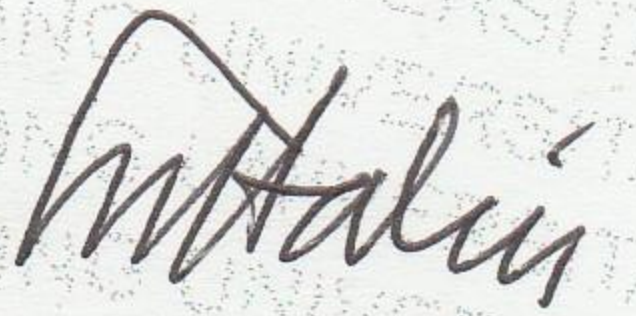
Ketua

: Herri Gusmedi, S.T., M.T.




Sekretaris

: Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.



Penguji

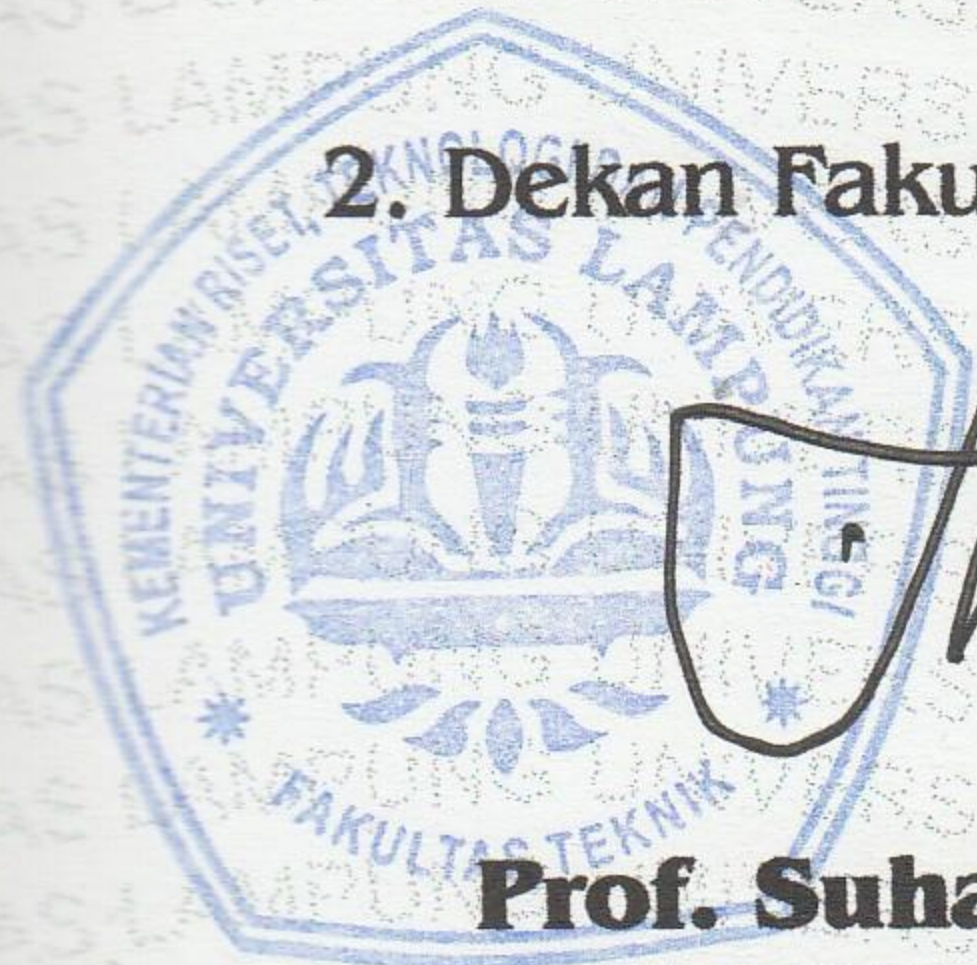
Bukan Pembimbing : Osea Zebua, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002 



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 Februari 2016

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 26 Februari 2016
Penulis,

A green 1000 Rupiah postage stamp is placed over the signature. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'ETERAI EMPEL', '33BADF094499408', and '1000 RUPIAH'.

Abdurahman
NPM. 1015031021

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 6 Agustus 1992. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Ir. H. Gadrianto, M.Sc. dan Ibu Hj. Yayuk Sylvia. Riwayat pendidikan penulis yaitu TK Aisyah Bustanul Athfal Kotabumi, pada tahun 1997 hingga tahun 1998, SDN 1 Kota Alam, Kotabumi, pada tahun 1998 hingga tahun 2000, SDN 2 Harapan Jaya, Sukarame, Bandarlampung pada tahun 2000 hingga tahun 2004, SMPN 1 Bandar Lampung pada tahun 2004 hingga tahun 2007, dan SMA Al Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2007 hingga tahun 2010.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2010 melalui Ujian Tertulis SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan menjadi asisten praktikum Sistem Tenaga Elektrik. Organisasi kemahasiswaan yang diikuti penulis selama menjadi mahasiswa yaitu sebagai Sekretaris Departemen Unit Kegiatan Mahasiswa Penelitian (UKMP) Universitas Lampung periode 2011/2012, Kepala Departemen Kajian dan Syiar Islam FOSSI FT Unila periode 2011/2012, Kepala Departemen Kerohanian Himatro FT Unila periode 2012/2013, Ketua Komisi IV DPM U KBM Unila periode 2013/2014, Koordinator Wilayah Forum Lembaga Legislatif Mahasiswa Indonesia Wilayah

Sumatera Bagian Selatan periode 2014/2015, dan Wakil Ketua I MPM KBM Unila pada tahun 2014/2015. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Tarahan, PLTU Tarahan, Lampung Selatan pada bulan Agustus – September 2013 dan mengambil judul “*Sistem Proteksi Generator Sinkron Tiga Fasa Terhadap Frekuensi Rendah Dengan Menggunakan Rele Frekuensi Rendah (Under Frequency Relay), 81 G, di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tarahan*”

Dengan Kerendahan Hati Yang Tulus,

Kupersembahkan karya ini untuk

Ayahanda dan Ibunda Tercinta

Ir. H. Gadrianto, M.Sc.

Hj. Yayuk Sylvia

Adik – Adikku Tersayang

Sabila Izzati

Ahmad Imaduddin

Safira

Kawan-Kawan Serta Keluarga Besar Tercinta

MOTTO

“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Al-Quran, Surat Al – Insyirah, 94 : 5 – 6)

“Manusia yang berakal ialah

manusia yang suka menerima dan meminta nasihat.”

(Umar bin Khatab RA)

“Ilmu itu lebih baik daripada harta. Ilmu menjaga engkau dan engkau

menjaga harta. Ilmu itu penghukum (hakim) dan harta terhukum.

Harta itu kurang apabila dibelanjakan tapi ilmu bertambah bila

dibelanjakan.”

(Ali bin Abi Talib RA)

Orang-orang yang berkarakter hebat adalah orang yang

berfikir tidak biasa dari orang kebiasaan, bersikap tidak biasa

dari pada orang kebiasaan, dan bertindak tidak biasa

dari pada orang kebiasaan”

(Herri Gusmedi, S.T.,M.T)

*“Seseorang yang tidak percaya diri mereka sendiri maka mereka akan
jatuh kedalam kegagalan “
(Uciha Itachi - Naruto)*

*“Hal yang Lebih Penting dari Mimpi yang Besar Adalah Seberapa
Besar Kita dalam Mewujudkan Mimpi Itu”
(Film Sang Pemimpi)*

*“Manusia itu Tak Berarti Apa-Apa, Pekerjaannya Itulah yang
Membuat Hidupnya Berarti”
(Sherlock Holmes)*

*“Bukan Kemampuan, Tetapi Semangat Untuk Terus Belajar dan
Memperbaiki Diri yang Membuat Seseorang Menjadi Maju.”
(Abdurahman, S.T.)*

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas nikmat kesehatan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam selalu penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan bagi umat manusia.

Tugas Akhir dengan judul "*Analisis Pengaruh Kesalahan Wiring Terhadap Hasil Pengukuran Energi Listrik pada KWh Meter dan KVarh Meter*" ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ing Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Herman. H. Sinaga, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung

4. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama penulis yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan penuh kesabaran.
5. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dengan baik dan ramah.
6. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik yang membangun serta saran yang sangat baik kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini.
7. Segenap dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman yang sangat berarti bagi penulis.
8. Pak Abdurachman Effendi, S.T., M.T.I yang telah membantu penulis dalam meminjamkan peralatan untuk melakukan penelitian di Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik Universitas Lampung
9. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis baik dalam hal administrasi dan hal – hal lainnya terutama Mbak Dian Rustiningsih dan Mas Daryono.
10. Ayah dan Ibu tercinta, Bapak Ir. H. Gadrianto, M. Sc. dan Ibu Hj. Yayuk Sylvia atas kasih sayang, motivasi, dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis.
11. Adik-adik tercinta, Sabila Izzati, Ahmad Imaduddin, dan Safira atas motivasi dan semangat yang diberikan kepada penulis.
12. Keluarga besar Ratu Segerow yang telah banyak memberikan semangat dan keteladanan bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

13. Segenap Kawan-Kawan Seperjuangan dan Asisten Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik, Gusmau, Agung, Afrizal, Aji, Seto, Fikri, Rani, Fanny, Edi, Yusuf, Yoga, Alex, dan Andi.
14. Sahabat - saudara, dan kawan seperjuangan satu angkatan Jurusan Teknik Elektro 2010: Agus, Allen, Anwar, Fendi, Haki, Khoirul, Kiki, Nuril, Rahmad, Yudi Ogex, Ipin, Billy, Harry, Andri, Budi, Danny, Derry, Devy, Dhian Manzatulloh, Dian Nindariansari, Neas, Imam, Irvika, Jeffry, Joe, Lukman, Jerry, Mahendra, Muthe, Maulana, Nanang, Novia, Rendy, Roby, Saiful, Sandi, Andika, Ayu, Bagus, Jaya, Ucup Tamtomi, Melzi, Reza, Radi, Renold, Sofyan, Syiarandi, Viktor, Wendy yang tidak bisa disebutkan namanya satu-persatu atas kebersamaan, persaudaraan, motivasi, dukungan, serta kisah yang takkan terlupa sepanjang hidup penulis.
15. Keluarga besar Himatro FT Unila yang telah memberikan banyak kisah kepada penulis sejak penulis menjadi mahasiswa baru hingga menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
16. Keluarga besar FOSSI FT Unila yang telah mengajarkan kepada penulis tentang indahnya persaudaraan dalam bingkai tarbiyah dan ukhuwah.
17. Kawan-kawan MPM/DPM U KBM Unila 2013/2014 atas semangat, persahabatan, dan canda tawa yang selama ini diberikan kepada penulis.
18. Kawan-kawan MPM/DPM U KBM Unila 2014/2015 atas persahabatan, ilmu, dan motivasi, yang selama ini diberikan. Semoga persahabatan kita seperti persaudaraan Rasulullah dan para sahabat.

19. Segenap Pimpinan, Karyawan, dan Tentor Bimbel Hafara atas motivasi, ilmu, kebersamaan selama penulis menjadi tentor di Hafara, dan kisah-kisah indah yang akan sulit penulis lupakan.
20. Kawan-kawan Forum Lembaga Legislatif Mahasiswa Indonesia. Semoga kita dapat mewujudkan mimpi-mimpi untuk menjadi generasi yang dapat memberikan kontribusi besar untuk kemajuan Indonesia.
21. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu, terima kasih atas semua bantuan yang telah diberikan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga menjadi amal kebaikan saudara.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 26 Februari 2016

Penulis

Abdurahman

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|----------------------------------|---------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| ABSTRAK | ii |
| LEMBAR PERSETUJUAN..... | v |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | vii |
| SANWACANA..... | xiii |
| DAFTAR ISI..... | xvii |
| DAFTAR GAMBAR | xx |
| DAFTAR TABEL..... | xxiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxxii |
| | |
| I. PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.3. Perumusan Masalah | 4 |
| 1.4. Batasan Masalah | 4 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 5 |
| 1.6. Hipotesis | 5 |
| 1.7. Sistematika Penulisan | 6 |
| | |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1. Studi Pustaka..... | 7 |

| | |
|---|----|
| 2.2.KWh Meter | |
| 2.2.1. Pengertian KWh Meter | 7 |
| 2.2.2. Jenis-Jenis KWh Meter | 8 |
| 2.2.3. Diagram Pengawatan KWh Meter | 12 |
| 2.3.KVarh Meter | 13 |
| 2.4.Wiring pada Alat Ukur Energi | 15 |
| 2.5.Beban | 17 |
| 2.6.Daya | 21 |
| 2.7.Faktor Daya | 23 |
| 2.8.Diagram Fasor | 24 |

III. METODE PENELITIAN

| | |
|--|----|
| 3.1.Waktu dan Tempat Penelitian | 30 |
| 3.2.Alat dan Bahan | 30 |
| 3.3.Metode Penelitian | |
| 3.3.1. Studi Literatur | 31 |
| 3.3.2. Studi Bimbingan | 31 |
| 3.3.3. Pengambilan Data | 31 |
| 3.4.Percobaan Skala Laboratorium | |
| 3.4.1. Rangkaian Percobaan KWh Meter | 32 |
| 3.4.2. Rangkaian Percobaan KVarh Meter..... | 34 |
| 3.5.Analisis Data Transaksi Energi Antara PT. PLN dan PT. Bukit Asam | |
| 3.5.1. Analisis Data | 36 |
| 3.5.2. Metode Analisis Fasor | 37 |
| 3.6.Flowchart Penelitian | 41 |

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1. Hasil | 42 |
| 4.1.1. Simulasi Aliran Daya dengan ETAP..... | 43 |
| 4.1.2. Simulasi Perhitungan Transaksi Energi Listrik Antara PT. Bukit Asam dan PT. PLN (Persero) | 44 |
| 4.1.3. Simulasi Pengukuran Energi Listrik Skala Laboratorium | 47 |

| | |
|--|----|
| 4.2.Pembahasan | |
| 4.2.1. Pembahasan Simulasi dengan Menggunakan ETAP | 80 |
| 4.2.2. Pembahasan Percobaan Skala Laboratorium..... | 81 |

V. KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|----------------------|-----|
| 5.1.Kesimpulan | 123 |
| 5.2.Saran | 124 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1. KWh Meter Analog..... | 10 |
| Gambar 2.2. KWh Meter Digital | 11 |
| Gambar 2.3. Diagram Pengawatan KWh Meter Satu Fasa..... | 12 |
| Gambar 2.4. Diagram Pengawatan KWh Meter Tiga Fasa..... | 12 |
| Gambar 2.5. KVarh Meter | 14 |
| Gambar 2.6. Pemasangan <i>Wiring</i> yang Salah pada KWh Meter | 16 |
| Gambar 2.7. Pemasangan <i>Wiring</i> yang Benar pada KWh Meter | 16 |
| Gambar 2.8. Gelombang Arus dan Tegangan pada Beban Induktif | 18 |
| Gambar 2.9. Gelombang Arus dan Tegangan pada Beban Kapasitif | 19 |
| Gambar 2.10. Fasor Beban Tiga Fasa Seimbang | 19 |
| Gambar 2.11. Fasor Beban Tiga Fasa Tak Seimbang..... | 20 |
| Gambar 2.12. Segitiga Daya | 22 |
| Gambar 2.13. Gelombang Sinus pada Faktor Daya <i>Lagging</i> | 23 |
| Gambar 2.14. Gelombang Sinus pada Faktor Daya <i>Leading</i> | 24 |
| Gambar 2.15. Diagram Fasor pada Komponen RLC..... | 25 |
| Gambar 2.16. Komponen Fasor pada Beban Induktif | 25 |
| Gambar 2.17. Komponen Fasor pada Beban Kapasitif..... | 26 |
| Gambar 2.18. Komponen Fasor pada Beban Resistif | 26 |
| Gambar 2.19. Diagram Fasor Generator pada Beban Kapasitif..... | 27 |
| Gambar 2.20. Diagram Fasor Generator pada Beban Induktif | 28 |
| Gambar 2.21. Arah Perputaran Fasor pada Beban Induktif..... | 28 |
| Gambar 2.22. Arah Perputaran Fasor pada Beban Kapasitif | 29 |
| Gambar 3.1. Rangkaian Percobaan Saat <i>Wiring</i> Benar pada KWh Meter | 32 |
| Gambar 3.2. Rangkaian Percobaan Saat <i>Wiring</i> Salah | |

| | | |
|--------------|---|----|
| | pada kWh Meter | 33 |
| Gambar 3.3. | Rangkaian Percobaan Saat <i>Wiring</i> Benar | |
| | pada kVarh meter | 34 |
| Gambar 3.4. | Rangkaian Percobaan Saat <i>Wiring</i> Salah | |
| | pada kVarh Meter..... | 35 |
| Gambar 3.5. | Contoh Fasor Tiga Fasa pada Saat Pemasangan | |
| | <i>Wirng</i> Benar | 38 |
| Gambar 3.6. | Contoh Fasor Tiga Fasa Saat Pemasangan <i>Wiring</i> Salah | |
| | $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ | 38 |
| Gambar 3.7. | Contoh Fasor Tiga Fasa Saat Pemasangan <i>Wiring</i> Salah | |
| | $I_R-V_S, I_S-V_T, I_T-V_R$ | 39 |
| Gambar 4.1. | Pemasangan <i>Wiring</i> yang Salah pada Alat Ukur Energi Listrik | |
| | Milik PT. PLN..... | 45 |
| Gambar 4.2. | Rangkaian Pada kWh Meter Saat Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Benar | 49 |
| Gambar 4.3. | Rangkaian kWh Meter Saat <i>Wiring</i> Salah | |
| | $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ | 53 |
| Gambar 4.4. | Rangkaian kWh Meter Saat <i>Wiring</i> Salah | |
| | $I_R-V_S, I_S-V_T, I_T-V_R$ | 57 |
| Gambar 4.5. | Rangkaian kVarh Meter Saat <i>Wiring</i> Benar..... | 66 |
| Gambar 4.6. | Rangkaian kVarh Meter Saat <i>Wiring</i> Salah | |
| | $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ | 70 |
| Gambar 4.7. | Rangkaian kVarh Meter Saat <i>Wiring</i> Salah | |
| | $I_R-V_S, I_S-V_T, I_T-V_R$ | 75 |
| Gambar 4.8 | Simulasi dengan Menggunakan ETAP | 80 |
| Gambar 4.9. | Fasor Percobaan Pertama kWh Meter Saat <i>Wiring</i> Benar | 81 |
| Gambar 4.10. | Fasor Percobaan Kedua kWh Meter Saat <i>Wiring</i> Benar | 83 |
| Gambar 4.11. | Fasor Percobaan Pertama kWh Meter Saat <i>Wiring</i> Salah | |
| | $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ | 85 |
| Gambar 4.12. | Fasor Percobaan Kedua kWh Meter Saat <i>Wiring</i> Salah | |
| | $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ | 88 |
| Gambar 4.13. | Fasor Percobaan Pertama kWh Meter Saat <i>Wiring</i> Salah | |

| | | |
|--------------|--|-----|
| | $I_R-V_S, I_S-V_T, I_T-V_R$ | 91 |
| Gambar 4.14. | Fasor Percobaan Kedua KWh Meter Saat <i>Wiring</i> Salah | |
| | $I_R-V_S, I_S-V_T, I_T-V_R$ | 93 |
| Gambar 4.15. | Fasor Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Benar | 96 |
| Gambar 4.16. | Fasor Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Benar | 98 |
| Gambar 4.17. | Fasor Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ | 100 |
| Gambar 4.18. | Fasor Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ | 102 |
| Gambar 4.19. | Fasor Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_S, I_S-V_T, I_T-V_R$ | 104 |
| Gambar 4.20. | Fasor Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_S, I_S-V_T, I_T-V_R$ | 106 |
| Gambar 4.21. | Fasor Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Benar | 109 |
| Gambar 4.22. | Fasor Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Benar | 111 |
| Gambar 4.23. | Fasor Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif Pemasangan | |
| | <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ | 113 |
| Gambar 4.24. | Fasor Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif Pemasangan | |

| | |
|--|-----|
| <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S | 115 |
| Gambar 4.25. Fasor Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Kapasitif Pemasangan | |
| <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 117 |
| Gambar 4.26. Fasor Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Kapasitif Pemasangan | |
| <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 119 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 1. Data Pengukuran Transaksi Energi PT. Bukit Asam dan PT PLN | 43 |
| Tabel 2. Data Daya Komponen Antara PT. Bukit Asam dan PT. PLN..... | 44 |
| Tabel 3. Data Beban yang Digunakan pada Percobaan Pertama kWh Meter..... | 47 |
| Tabel 4. Data Beban yang Digunakan pada Percobaan Kedua kWh Meter..... | 48 |
| Tabel 5. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus pada Percobaan Pertama KWh Meter | 50 |
| Tabel 6. Hasil Pengukuran Faktor Daya pada Percobaan Pertama KWh Meter <i>Wiring</i> Benar | 50 |
| Tabel 7. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KWh Meter Percobaan Pertama Saat Pemasangan <i>Wiring</i> Benar..... | 51 |
| Tabel 8. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus pada Percobaan Kedua KWh Meter | 51 |
| Tabel 9. Hasil Pengukuran Faktor Daya pada Percobaan Kedua KWh Meter <i>Wiring</i> Benar | 52 |
| Tabel 10. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KWh Meter Percobaan Kedua Saat Pemasangan <i>Wiring</i> Benar..... | 52 |
| Tabel 11. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus pada Percobaan Pertama KWh Meter <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S | 54 |
| Tabel 12. Hasil Pengukuran Faktor Daya pada Percobaan Pertama KWh Meter <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S | 54 |
| Tabel 13. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KWh Meter Percobaan Pertama Saat Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S | 55 |
| Tabel 14. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus pada Percobaan Kedua KWh Meter <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S | 55 |
| Tabel 15. Hasil Pengukuran Faktor Daya pada Percobaan Kedua KWh Meter <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S | 56 |

| | |
|---|----|
| Tabel 16. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KWh Meter Percobaan Pertama Saat Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S | 56 |
| Tabel 17. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus pada Percobaan Pertama KWh Meter <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 58 |
| Tabel 18. Hasil Pengukuran Faktor Daya pada Percobaan Pertama KWh Meter <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 58 |
| Tabel 19. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KWh Meter Percobaan Pertama Saat Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 59 |
| Tabel 20. Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus pada Percobaan Kedua KWh Meter <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 59 |
| Tabel 21. Hasil Pengukuran Faktor Daya pada Percobaan Kedua KWh Meter <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 60 |
| Tabel 22. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KWh Meter Percobaan Kedua Saat Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 60 |
| Tabel 23. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Kapasitif | 67 |
| Tabel 24. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Benar pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif..... | 67 |
| Tabel 25. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan pada Percobaan Pertama KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Benar Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif..... | 68 |
| Tabel 26. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 68 |
| Tabel 27. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Benar pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif..... | 68 |
| Tabel 28. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan pada Percobaan Pertama KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Benar Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 68 |
| Tabel 29. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Kapasitif | 69 |

| | |
|--|----|
| Tabel 30. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Benar pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif..... | 69 |
| Tabel 31. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan pada Percobaan Kedua KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Benar Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif..... | 69 |
| Tabel 32. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 69 |
| Tabel 33. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Benar pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif..... | 70 |
| Tabel 34. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan pada Percobaan Kedua KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Benar Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 70 |
| Tabel 35. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pemasangan <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 72 |
| Tabel 36. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 72 |
| Tabel 37. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ Percobaan Pertama Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 72 |
| Tabel 38. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pemasangan <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Kapasitif..... | 72 |
| Tabel 39. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 73 |
| Tabel 40. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah $I_R-V_T, I_S-V_R, I_T-V_S$ Percobaan Pertama Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 73 |

| | |
|--|----|
| Tabel 41. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 73 |
| Tabel 42. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 73 |
| Tabel 43. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S Percobaan Kedua Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 74 |
| Tabel 44. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Kapasitif..... | 74 |
| Tabel 45. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 74 |
| Tabel 46. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S Percobaan Kedua Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 74 |
| Tabel 47. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 76 |
| Tabel 48. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 77 |
| Tabel 49. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KVarh Meter Percobaan Pertama Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 77 |
| Tabel 50. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 77 |
| Tabel 51. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R pada Percobaan Pertama KVarh Meter Saat | |

| | |
|---|----|
| Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 77 |
| Tabel 52. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan Percobaan Pertama | |
| KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R Saat Beban | |
| Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 78 |
| Tabel 53. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pemasangan <i>Wiring</i> Salah | |
| I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban | |
| Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 78 |
| Tabel 54. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Salah | |
| I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat | |
| Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 78 |
| Tabel 55. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan KVarh Meter Percobaan | |
| Kedua Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R Saat Beban | |
| Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 78 |
| Tabel 56. Data Pengukuran Tegangan dan Arus Pemasangan <i>Wiring</i> Salah | |
| I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat Beban | |
| Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 79 |
| Tabel 57. Hasil Pengukuran Faktor Daya Pemasangan <i>Wiring</i> Salah | |
| I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R pada Percobaan Kedua KVarh Meter Saat | |
| Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 79 |
| Tabel 58. Data Pengukuran Waktu Putaran Piringan Percobaan Kedua | |
| KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R Saat Beban | |
| Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 79 |
| Tabel 59. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Pertama KWh Meter | |
| Pemasangan <i>Wiring</i> Benar..... | 82 |
| Tabel 60. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Kedua KWh Meter | |
| Pemasangan <i>Wiring</i> Benar..... | 83 |
| Tabel 61. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Pertama KWh Meter | |
| Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S | 86 |
| Tabel 62. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Kedua KWh Meter | |
| Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S | 89 |
| Tabel 63. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Pertama KWh Meter | |
| Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 92 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 64. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Kedua KWh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R | 94 |
| Tabel 65. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Pertama KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Benar Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 97 |
| Tabel 66. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Kedua KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Benar Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 99 |
| Tabel 67. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Pertama KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 101 |
| Tabel 68. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Kedua KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 103 |
| Tabel 69. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Pertama KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 105 |
| Tabel 70. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Kedua KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R Saat Beban Induktif Lebih Besar dari Beban Kapasitif | 107 |
| Tabel 71. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Pertama KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Benar Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 110 |
| Tabel 72. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Kedua KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Benar Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif | 112 |
| Tabel 73. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Pertama KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif..... | 114 |
| Tabel 74. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Kedua KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_T , I_S-V_R , I_T-V_S Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif..... | 116 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 75. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Pertama KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif..... | 118 |
| Tabel 76. Data Perhitungan Energi Listrik Pada Percobaan Kedua KVarh Meter Pemasangan <i>Wiring</i> Salah I_R-V_S , I_S-V_T , I_T-V_R Saat Beban Kapasitif Lebih Besar dari Beban Induktif..... | 120 |

I. PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Setiap konsumen listrik yang menggunakan jasa dari perusahaan yang memproduksi listrik diharuskan untuk membayar biaya transaksi. Besar biaya transaksi yang harus dibayar dapat diketahui dengan menggunakan alat pencatat energi. Alat pencatat energi ini berfungsi untuk mencatat energi listrik yang dikonsumsi oleh konsumen. Alat yang biasa digunakan untuk mencatat besarnya energi listrik yang terpakai disebut meteran energi. Meteran energi yang umum digunakan biasanya dibedakan berdasarkan daya listriknya. Jika yang digunakan adalah energi listrik dari daya aktif maka digunakan kWh meter. Sedangkan jika energi listrik yang terukur dari daya reaktif maka digunakan kVarh meter. kWh meter banyak digunakan oleh konsumen yang menggunakan beban listrik dengan skala kecil contohnya konsumen rumah tangga. Sedangkan konsumen pengguna listrik dalam skala besar seperti konsumen industri menggunakan kVarh dan kWh meter sebagai alat pencatat konsumsi energi listrik.

Dalam pelaksanaan transaksi energi listrik diperlukan pencatatan yang akurat terhadap energi listrik yang digunakan konsumen. Kesalahan dalam pencatatan dapat mengakibatkan kesalahan pengukuran energi listrik. Hal ini

akan mengakibatkan energi listrik yang terukur menjadi berbeda dengan energi listrik yang dikonsumsi. Kesalahan pencatatan energi dapat memberikan efek rugi baik pada konsumen maupun pada perusahaan penyedia jasa listrik. Beberapa hal yang menyebabkan kesalahan pengukuran energi listrik adalah kesalahan pencatatan energi yang terpakai oleh petugas dan kesalahan pemasangan pada komponen-komponen yang terdapat pada alat pengukur energi. Kesalahan pencatatan jumlah energi listrik yang terpakai oleh petugas biasanya terjadi pada konsumen yang menggunakan meteran energi dengan metode pembayaran pasca bayar. Kesalahan pencatatan energi ini terjadi ketika konsumen akan melakukan pembayaran rutin listrik bulanan. Sedangkan kesalahan pengukuran energi listrik akibat pemasangan komponen-komponen meteran energi yang salah terjadi karena kesalahan yang terdapat di dalam instalasi meteran energi listrik. Salah satu komponen dalam meteran energi yang mengakibatkan kesalahan pengukuran energi listrik adalah kesalahan dalam pemasangan pengkabelan (*wiring*) antar kumparan yang terdapat di dalam meteran energi. Konsumen yang memiliki alat ukur konsumsi energi listrik dengan pemasangan *wiring* yang salah akan mendapatkan informasi biaya tagihan listrik yang tidak sesuai.

Sebagai salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam pengolahan batu bara dalam skala besar, PT. Bukit Asam memiliki pembangkit listrik tersendiri untuk menunjang kinerja perusahaan. Pembangkit listrik yang dimiliki PT. Bukit Asam ini dapat menghasilkan listrik dalam skala yang cukup besar. Listrik yang dibangkitkan PT. Bukit

Asam lebih besar daripada listrik yang dikonsumsi untuk menunjang pekerjaan di PT. Bukit Asam. Dengan demikian terdapat kelebihan energi listrik. Sesuai dengan peraturan Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (ESDM), dan peraturan perundangan lainnya yang berlaku, PT. Bukit Asam sebagai perusahaan yang memiliki kelebihan energi listrik dapat menjual energi listrik yang berlebih ini ke perusahaan lain. Perusahaan besar yang membeli energi berlebih pada PT. Bukit Asam ini adalah PT. PLN (Persero). Pada saat melakukan transaksi energi pada periode tertentu terdapat kesalahan *wiring* pada alat pengukuran energi milik PT. PLN sehingga hal ini mengakibatkan tidak sesuainya energi listrik yang seharusnya terukur. Hal ini mengakibatkan biaya yang harus dibayar oleh PT. PLN kepada PT. Bukit Asam juga menjadi tidak sesuai. ^[5]

Dalam penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh kesalahan letak *wiring* pada alat ukur konsumsi energi terhadap hasil pengukuran dengan mengambil studi kasus berupa transaksi energi antara PT. PLN dengan PT. Bukit Asam saat *wiring* pada alat ukur energi milik PT. PLN salah.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung energi yang diperoleh melalui simulasi dengan menggunakan software dan pengujian pada skala laboratorium.
2. Mengetahui besar perbedaan energi listrik saat pemasangan *wiring* pada alat ukur energi benar dan salah.

3. Mengetahui pengaruh jenis beban terhadap energi listrik yang terukur baik pada saat *wiring* alat ukur konsumsi energi benar maupun saat salah.

1.3. Perumusan Masalah

Berikut adalah perumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini :

1. Bagaimana pengaruh tegangan, arus, faktor daya, dan jenis beban pada saat pemasangan *wiring* pada alat ukur energi benar dan pada saat salah
2. Bagaimana hasil pengukuran energi listrik pada skala laboratorium saat letak *wiring* pada alat ukur konsumsi energi benar dan pada saat letak *wiring* salah

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Penelitian ini hanya akan menganalisa pengaruh letak *wiring* yang salah pada alat ukur konsumsi energi
2. Penelitian ini hanya dilakukan saat kondisi *steady state* (mantap).
3. Penelitian ini tidak membahas harmonisa

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh letak *wiring* yang salah pada alat ukur konsumsi energi terhadap energi yang terpakai.
2. Mengetahui pengaruh letak *wiring* yang salah pada alat ukur konsumsi energi terhadap besaran-besaran yang berhubungan dengan energi listrik.
3. Dapat menjadi salah satu rekomendasi kajian bagi konsumen pemakai energi listrik khususnya konsumen pada skala besar sehingga tidak merugikan kedua belah pihak.

1.6. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian tugas akhir ini adalah dengan melakukan percobaan pengukuran energi listrik pada skala laboratorium baik pada saat letak *wiring* benar maupun saat letak *wiring* salah pada alat ukur konsumsi energi. Pada percobaan awal skala laboratorium didapatkan kesimpulan bahwa saat pemasangan *wiring* salah mengakibatkan energi yang terukur menjadi berbeda dengan yang seharusnya. Selain itu cara yang dilakukan untuk mendapatkan hipotesis adalah dengan mengambil salah satu contoh studi kasus kesalahan *wiring* pada perusahaan yang menggunakan energi listrik skala besar.

1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan laporan tugas akhir ini dibagi ke dalam lima bab dengan susunan penulisan sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang dan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori pendukung yang digunakan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini, serta metode yang digunakan dan diagram penelitian

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil yang didapat setelah melakukan penelitian dan pembahasan dalam tugas akhir.

BAB V. KESIMPULAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan yang dapat di ambil dari penelitian dalam tugas akhir ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Pustaka

Pengukuran energi listrik merupakan suatu aktivitas untuk mengetahui seberapa besar jumlah energi listrik yang digunakan. Terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengukuran energi listrik. Parameter-parameter tersebut adalah besar arus, besar tegangan, sudut fasa antara arus dan tegangan dan bentuk gelombang dari tegangan dan arus. Ketika beberapa parameter besaran tersebut menunjukkan nilai yang sesuai maka akan didapatkan hasil pengukuran yang tepat, namun jika terdapat besaran yang tidak sesuai maka pengukuran akan didapatkan hasil pengukuran yang salah.

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai alat-alat pegukur energi listrik , yaitu kWh meter dan kVarh meter serta besaran-besaran yang berhubungan dengan pengukuran dengan kedua alat tersebut, seperti arus, tegangan, daya, dan, sudut fasa.

2.2. KWh Meter

2.2.1. Pengertian KWh Meter ^[13]

Kilowatt hours meter atau yang biasa dikenal dengan sebutan kWh meter merupakan peralatan yang berfungsi untuk menghitung pemakaian energi listrik.

KWh meter digunakan oleh PT. PLN untuk mengetahui besar pemakaian energi listrik oleh konsumen. Energi listrik yang dihitung oleh kWh meter adalah perhitungan daya aktif yang digunakan dikalikan waktu dalam satuan jam (*hours*) dan faktor daya. Berikut adalah persamaan untuk menghitung energi listrik oleh kWh meter:

$$E = V.I.t . \cos\theta \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan: E = Energi listrik yang terukur oleh kWh meter (kWh)

V = Tegangan (V)

I = Arus (Ampere)

t = Waktu pemakaian (jam)

cos θ = Faktor Daya

Pada persamaan 2.1. dapat diketahui bahwa besar pengukuran energi listrik oleh kWh meter berbanding lurus dengan tegangan, arus, waktu pemakaian dan faktor daya. Sehingga semakin tinggi nilai keempat besaran tersebut maka energi listrik yang digunakan akan semakin besar. Begitupun sebaliknya, ketika nilai ketiga besaran tersebut semakin rendah maka energi listrik yang terbaca oleh kWh meter juga akan semakin kecil.

2.2.2. Jenis-Jenis KWh Meter

Berdasarkan kebutuhan pelayanan, kWh meter dibagi menjadi kWh meter satu fasa dan kWh meter tiga fasa. kWh meter satu fasa adalah jenis kWh meter yang lebih banyak digunakan dibandingkan kWh meter tiga fasa. kWh meter satu fasa terdiri dari dua kawat yaitu untuk kawat fasa dan kawat netral. kWh meter satu

fasa digunakan untuk mengukur daya listrik dengan skala kecil seperti pengukuran daya listrik yang terpakai pada rumah-rumah.

Adapun kWh meter tiga fasa merupakan kWh meter yang terdiri dari empat kawat, tiga kawat sebagai fasa sedangkan satu kawat sebagai netral. kWh meter tiga fasa banyak digunakan di pabrik-pabrik, instalasi rumah sakit, sekolah, dan bangunan-bangunan yang membutuhkan daya listrik dalam skala besar.

Berdasarkan cara kerjanya kWh meter dibagi menjadi kWh meter analog dan kWh meter digital. kWh meter analog adalah jenis kWh meter yang memiliki sistem pembayaran pasca bayar. Pada umumnya pembayaran pemakaian energi listrik dilakukan setiap satu bulan setelah pemakaian. Bagian-bagian penyusun kWh meter analog adalah elemen penggerak, elemen putar, elemen pengerem, elemen penghitung, dan terminal. Elemen penggerak pada kWh meter analog terdiri dari kumparan arus yang dihubungkan seri dengan beban dan kumparan tegangan yang dihubungkan paralel dengan beban. Elemen putar terdiri dari piringan putar yang dapat bekerja ketika terdapat medan magnet. Elemen penghitung terdiri dari seperangkat roda yang dihubungkan dengan roda gigi yang terdapat pada poros piringan, pada elemen ini terdapat rol angka yang disusun secara berderet.^[3]

Sedangkan terminal terdiri dari terminal kumparan arus dan terminal kumparan tegangan. Kumparan arus dihubungkan seri dengan sumber tegangan. Kumparan tegangan dihubungkan paralel dengan beban. Jika kumparan arus terhubung dengan sumber PLN dan kumparan tegangan terhubung dengan beban maka arus akan mengalir melalui kumparan arus. Arus yang mengalir akan memberikan dampak perubahan arus terhadap waktu. Perubahan arus terhadap waktu akan

menimbulkan medan di permukaan kumparan arus. Adapun kumparan tegangan berfungsi membantu mengarahkan medan magnet agar mengenai permukaan piringan. Dengan demikian akan terjadi gesekan antara piringan dengan medan di sekitarnya sehingga akan menimbulkan torsi pada piringan. Torsi yang timbul pada piringan akan mengakibatkan piringan dapat berputar.^[4]



Gambar 2.1. kWh meter Analog

Sedangkan kWh meter digital adalah kWh meter yang memiliki bentuk tampilan adalah berupa tampilan digital kemudian sistem pembayarannya adalah pembayaran dengan metode Prabayar. kWh meter digital memiliki keunggulan dibandingkan dengan kWh meter analog, yaitu dapat lebih mudah mengontrol pemakaian energi listrik dan memiliki keakuratan perhitungan yang lebih baik dibandingkan kWh meter analog.^[8]



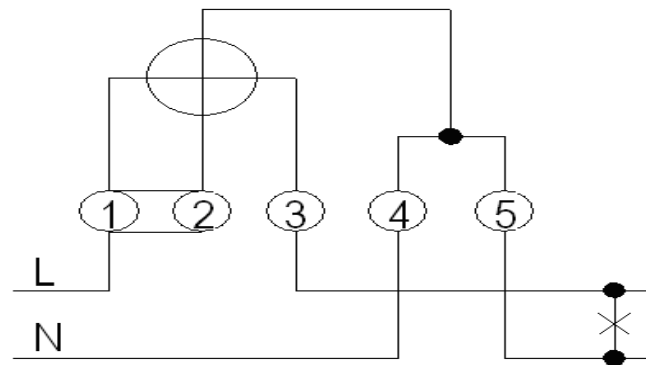
Gambar 2.2. kWh meter digital

Tujuan lainnya dibuat kWh meter digital agar pelanggan PLN dapat segera membayar tagihan listrik tanpa harus ada tunggakan. Pelanggan dapat membeli voucher khusus untuk dapat menggunakan listrik dari PLN. Nilai voucher ini akan terus berkurang seiring dengan pemakaian listrik. Apabila nilai voucher hampir habis maka kWh meter digital akan memberikan indikator. Agar pelanggan dapat menggunakan kembali listrik maka pelanggan harus membeli voucher khusus kembali. Beberapa fitur umum yang terdapat pada kWh meter digital yaitu: [8]

1. Label informasi yang berisi nomor meter dan daya maksimal
2. Indikator LED yang akan bekerja ketika nilai voucher hampir habis
3. LED 7 segment yang berfungsi menampilkan nilai voucher tersisa
4. Keypad yang berfungsi untuk memasukkan kode pengisian ulang voucher

2.2.3. Diagram Pengawatan KWh Meter

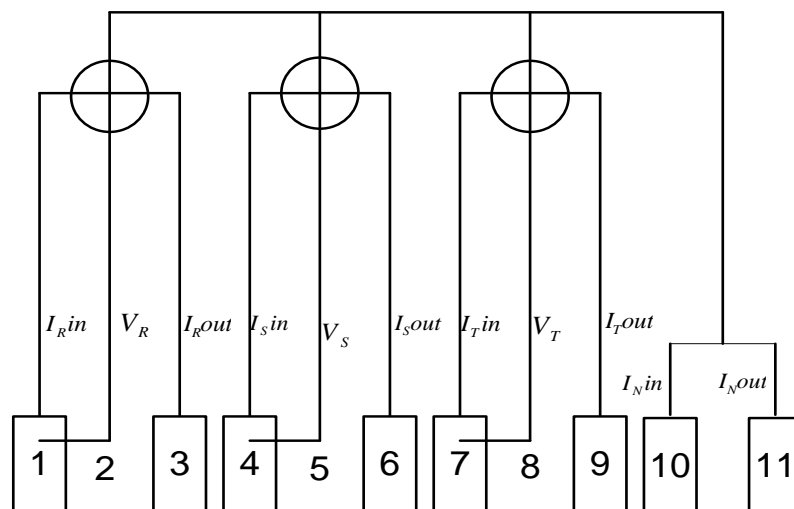
Berikut adalah diagram pengawatan dari kWh meter satu fasa:



Gambar 2.3. Diagram Pengawatan KWh meter satu fasa

Gambar diatas menunjukkan diagram pengawatan pada kWh meter satu fasa. Pada diagram pengawatan diatas kabel nomor 1 dan 2 menunjukkan kabel masukan pada fasa *line* sedangkan kabel nomor 3 menunjukkan kabel keluaran fasa *line*. Kabel berikutnya adalah kabel nomor 4 dan 5 yang merupakan kabel masukan dan keluaran pada fasa netral.

Berikut adalah diagram pengawatan dari kWh meter tiga fasa:^[12]

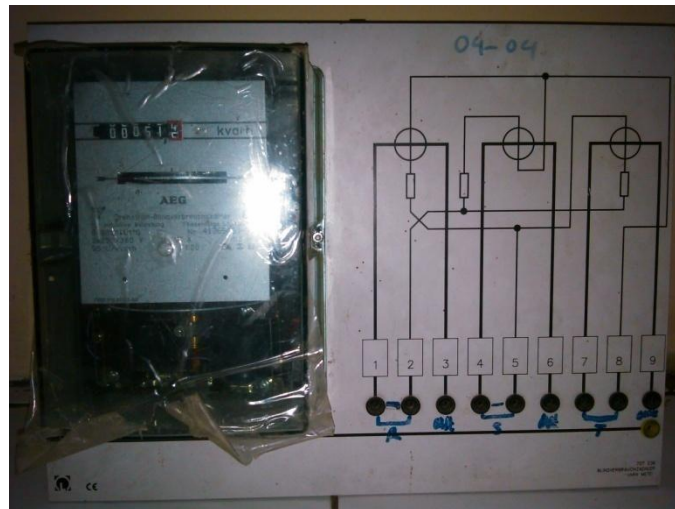


Gambar 2.4. Diagram Pengawatan KWh meter Tiga Fasa

Gambar 2.4. menunjukkan diagram pengawatan pada kWh meter tiga fasa. Pada gambar tersebut nomor satu sampai sebelas menunjukkan terminal yang menghubungkan dengan kumparan arus dan kumparan tegangan. Terminal nomor dua, lima, dan delapan menunjukkan terminal yang menghubungkan ke kumparan tegangan. Sedangkan terminal sisanya menghubungkan ke kumparan arus. Kumparan arus adalah kumparan yang memiliki belitan dengan diameter tebal dan kumparan yang sedikit, sedangkan kumparan tegangan adalah kumparan yang memiliki belitan dengan diameter tipis dan kumparan yang banyak. Pada kWh meter kumparan arus dihubungkan seri dengan beban sedangkan kumparan tegangan dihubungkan paralel dengan beban.

2.3. KVarh Meter^[1]

KVarh meter adalah peralatan dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengukur energi reaktif yaitu pengukuran daya reaktif dikalikan waktu pemakaian dalam satuan jam (hours). KVarh meter biasanya digunakan pada perusahaan besar yang menggunakan motor dengan kapasitas besar. Hal ini dikarenakan pada perusahaan besar yang menggunakan motor dengan kapasitas besar, memiliki faktor daya yang jelek (dibawah 0,85).



Gambar 2.5. KVarh Meter

Cara kerja kVarh meter hampir sama dengan kWh meter, hanya saja pada kVarh meter berfungsi untuk mengukur energi reaktif. Prinsip kerja kVarh meter adalah jika kVarh meter diberi sumber dan beban, maka akan menghasilkan fluksi. Fluksi inilah yang nantinya berfungsi memutar piringan. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung energi reaktif yang terpakai, yaitu:

$$E = V.I.t \sin \Theta \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan : E = Energi reaktif (kVarh)

V = Tegangan (V)

I = Arus (Ampere)

t = waktu (s)

Θ = Sudut fasa

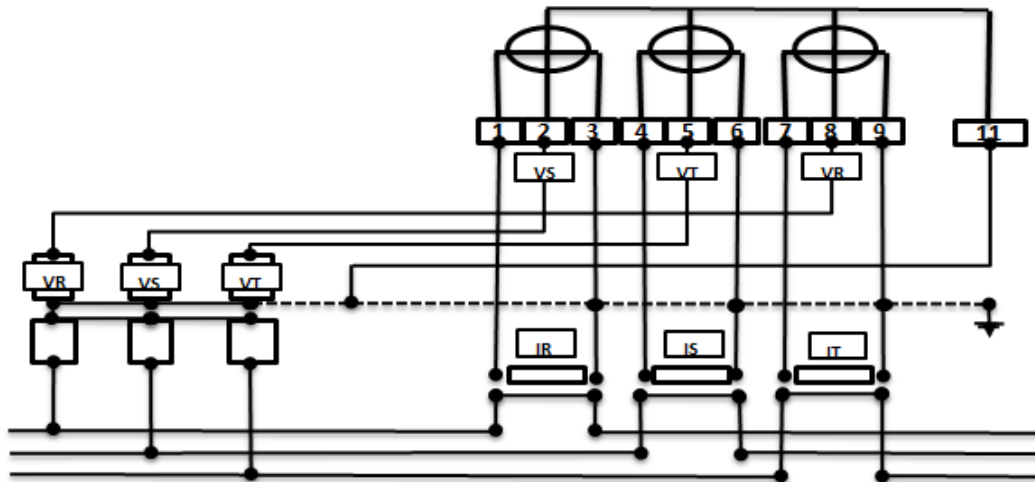
Berdasarkan beban yang dikonsumsi kVarh meter dibagi menjadi dua, yaitu kVarh meter satu fasa dan kVarh meter tiga fasa. KVarh meter satu fasa merupakan kVarh meter yang hanya terdiri dari dua kawat penghantar yaitu kawat fasa dan kawat netral. Sedangkan kVarh meter tiga fasa terdiri dari tiga kawat

untuk setiap fasa dan satu kawat netral. Cara kerja dari kVarh meter adalah ketika kVarh meter diberikan sumber dan beban pada kumparan arus dan tegangan maka akan terjadi fluksi untuk mendorong piringan agar dapat berputar. Besarnya fluksi bergantung pada beban, semakin besar beban maka semakin besar pula fluksi yang dihasilkan.

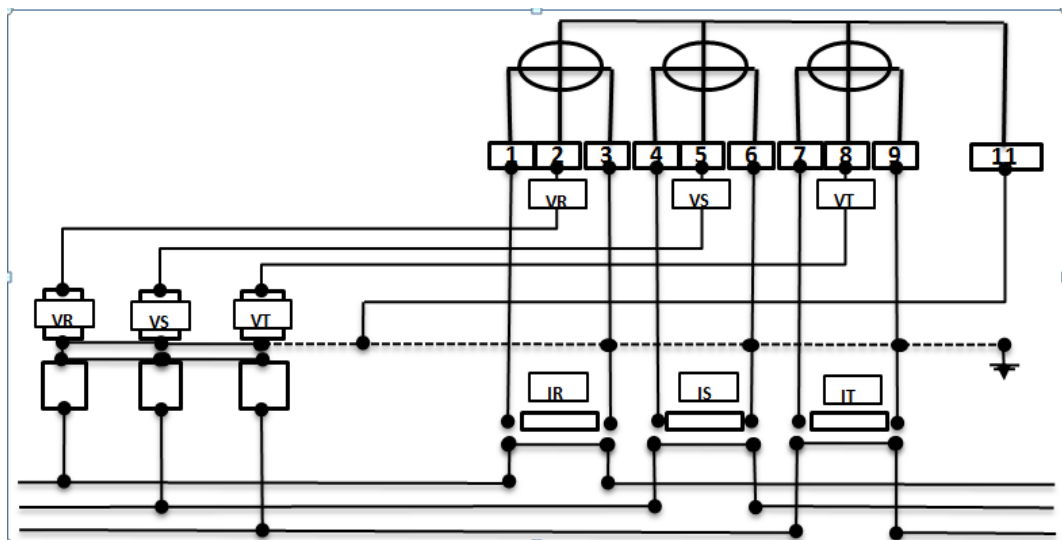
2.4. *Wiring* pada Alat Ukur Energi Listrik ^[10]

Pada alat ukur konsumsi energi seperti pada kWh meter dan kVarh meter terdapat istilah *wiring*. *Wiring* merupakan diagram pengawatan atau sistem pengkabelan yang menghubungkan antara kumparan tegangan dan kumparan arus pada setiap fasanya. Pemasangan *wiring* antara kumparan arus dan kumparan tegangan pada setiap fasa (R, S, T, dan netral) harus tepat untuk mendapatkan hasil pengukuran energi yang akurat. Kesalahan pemasangan *wiring* pada alat ukur energi antara kumparan arus dan kumparan tegangan pada setiap fasanya akan berakibat pada kesalahan pengukuran energi. Dengan demikian sistem pengkabelan (*wiring*) antara kumparan arus dan kumparan tegangan pada setiap fasanya harus dipasang pada urutan yang tepat. Letak kesalahan *wiring* pada umumnya terjadi pada alat ukur konsumsi energi tiga fasa, yaitu berupa kesalahan urutan penghubungan ketiga fasa antara terminal arus dan tegangan.

Berikut adalah gambar pemasangan *wiring* pada alat ukur energi saat pemasangan salah dan saat pemasangan benar: ^[5]



Gambar 2.6. Pemasangan *Wiring* yang Salah pada kWh Meter



Gambar 2.7. Pemasangan *Wiring* yang Benar pada kWh Meter

Kedua gambar diatas merupakan gambar diagram pengawatan pada kWh meter tiga fasa saat *wiring* salah dan saat *wiring* benar. Pada gambar tersebut terdapat 11 terminal. Pada setiap fasa terdapat tiga terminal yang terdiri dari dua terminal

arus, arus masukan dan arus keluaran, serta satu terminal tegangan. Selain itu juga terdapat terminal netral masukan dan terminal netral keluaran. Gambar 2.6. menunjukkan gambar contoh saat *wiring* salah. Pada gambar 2.6. terlihat bahwa terjadi kesalahan pemasangan pada terminal tegangannya, yaitu terminal kumparan tegangan fasa S dihubungkan dengan terminal kumparan arus fasa R, terminal kumparan tegangan fasa T dihubungkan dengan terminal kumparan arus fasa S, dan terminal kumparan tegangan fasa R dihubungkan dengan terminal kumparan arus fasa T. Kesalahan pemasangan *wiring* ini dapat menyebabkan nilai energi yang terukur tidak sesuai dengan nilai terukur yang seharusnya. Sedangkan pada gambar 2.7. menunjukkan gambar saat pemasangan *wiring* benar. Pada gambar tersebut letak pemasangan terminal arus dan tegangan untuk setiap fasa sudah tepat.

2.5. Beban ^[7]

Beban listrik didefinisikan sebagai jumlah listrik yang digunakan oleh masyarakat. Beban listrik dapat dibagi menjadi beban seimbang dan beban tidak seimbang. Pada beban seimbang jumlah daya yang dibangkitkan oleh generator tiga fasa atau daya yang diserap oleh beban tiga fasa, diperoleh dengan menjumlahkan daya dari tiap-tiap fasa. Pada sistem yang seimbang, daya total tersebut sama dengan tiga kali daya fasa, karena daya pada tiap-tiap fasanya sama. Pada listrik arus DC (arus searah) besar beban induktif dan beban kapasitif tidak berpengaruh terhadap rangkaian, sehingga yang menjadi beban hanya beban resistif murni saja. Kemudian pada rangkaian arus AC (Bolak-balik), beban

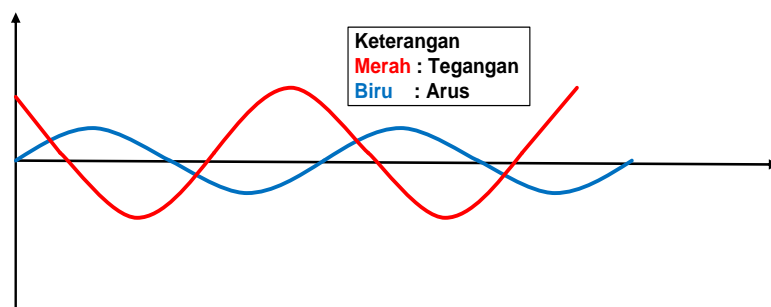
kapasitif dan induktif akan memberi pengaruh ke rangkaian, sehingga beban yang bekerja yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Berikut adalah pengertian dari beban resistif, kapasitif, dan induktif.

1. Beban Resistif

Beban resistif dihasilkan dari rangkaian yang terdiri dari penghambat berupa resistor murni. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan sama sekali tidak menyerap beban reaktif. Pada beban resistif arus dan tegangan akan sefasa.

2. Beban Induktif ^[6]

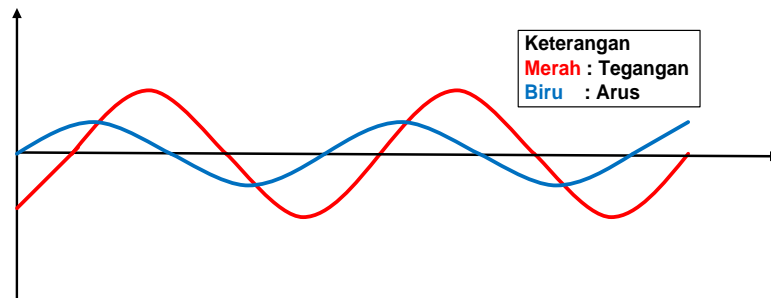
Beban induktif adalah beban yang menyerap daya aktif dan daya reaktif dengan faktor daya *lagging*, yaitu saat tegangan mendahului arus sebesar sudut θ . Beban induktif dihasilkan dari komponen-komponen listrik yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada inti besi. Contoh peralatan listrik yang merupakan beban induktif adalah motor-motor dan transformator. Beban induktif dihasilkan dari rangkaian yang mengandung komponen pasif, berupa induktor. Berikut adalah gambar gelombang pada beban induktif.



Gambar 2.8. Gelombang arus dan tegangan pada beban induktif

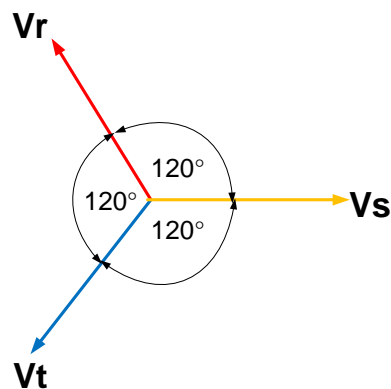
3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung komponen pasif, yaitu kapasitor. Beban kapasitif menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Bentuk gelombang dari beban kapasitif adalah arus mendahului tegangan. Berikut adalah gelombang yang dihasilkan pada beban kapasitif.



Gambar 2.9. Gelombang arus dan tegangan pada beban kapasitif

Pada beban listrik tiga fasa seimbang, besar perbedaan sudut fasa antara tiap fasanya adalah 120° . Berikut adalah gambar fasor dari beban seimbang: ^[9]

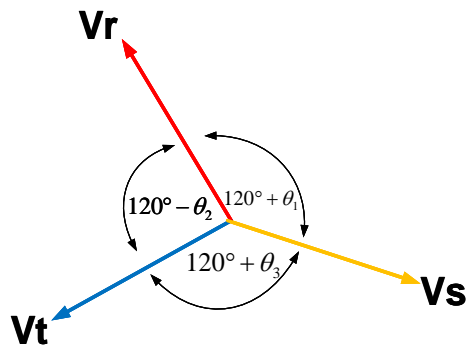


Gambar 2.10. Fasor beban tiga fasa seimbang

Sedangkan pada beban tidak seimbang. Perbedaan sudut antara tiap fasanya tidak sama dengan 120° . Terdapat tiga hal kemungkinan yang membuat beban tidak seimbang ada tiga yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Berikut adalah gambar dari fasor untuk beban tiga fasa tidak seimbang dengan sudut antara fasa yang satu dengan fasa yang lainnya tidak sama:



Gambar 2.11. Fasor beban tiga fasa tidak seimbang

2.6. Daya ^[2]

Daya merupakan jumlah energi listrik tiap satuan waktu. Daya listrik dibagi menjadi tiga, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Berikut adalah penjelasan dari ketiga daya tersebut:

1) Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang sebenarnya digunakan oleh konsumen. Daya aktif memiliki satuan Watt. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan besar daya aktif: ^[7]

- Daya Aktif 1 Phasa

$$P = V.I. \cos \theta \dots\dots\dots(2.3)$$

- Daya Aktif 3 Phasa

$$P = \sqrt{3} . V.I. \cos \theta \dots\dots\dots(2.4)$$

2) Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet. Daya aktif diberi simbol Q, sedangkan satuan daya reaktif adalah Var (*Volt Ampere Reactive*). Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya reaktif: ^[7]

- Daya Reaktif 1 Phasa

$$Q = V.I.\sin \theta \dots\dots\dots(2.5)$$

- Daya Reaktif 3 Phasa

$$Q = \sqrt{3} . V. I \sin \theta \dots\dots\dots(2.6)$$

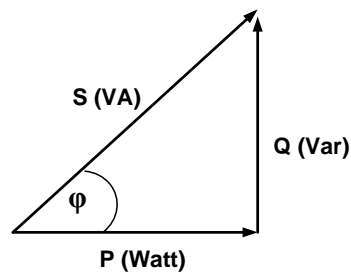
3) Daya Semu

Daya semu merupakan daya yang dibangkitkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik. Daya semu diberi simbol S dan memiliki satuan VA (*Volt Ampere*). Daya semu terdiri dari daya aktif dan daya reaktif.

Persaman yang digunakan untuk mendapatkan daya semu adalah:

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots(2.7)$$

Ketiga daya tersebut digambarkan dengan segitiga daya. Berikut adalah segitiga daya tersebut:



Gambar 2.12. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan suatu ilustrasi yang menggambarkan hubungan matematis antara daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Daya aktif berada dalam komponen horizontal, daya reaktif berada pada posisi vertikal, sedangkan daya semu merupakan sisi miring pitagoras yang dibentuk antara daya aktif dan daya reaktif.

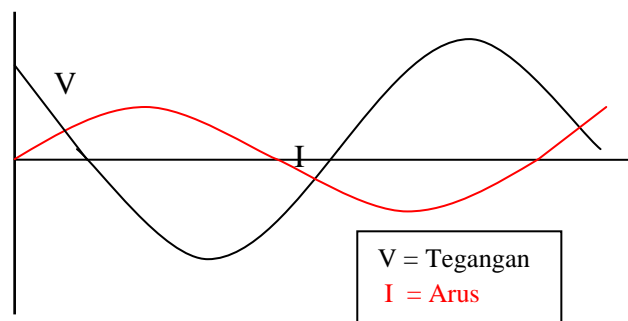
2.7. Faktor Daya ^[11]

Faktor daya merupakan beda sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya disimbolkan dengan $\cos \phi$ dan mempunyai rentang nilai antara 0 sampai 1. Semakin mendekati 1 maka nilai faktor daya akan semakin baik. Kemudian untuk mencari nilai faktor daya dapat dilakukan dengan membagi daya aktif (P) dengan daya semu (S). Faktor daya dibagi menjadi dua yaitu faktor daya tertinggal (*lagging*) dan faktor daya mendahului (*leading*).

Berikut adalah penjelasan mengenai kedua faktor daya tersebut:

a) Faktor Daya Tertinggal (*lagging*)

Faktor daya *lagging* menunjukkan kondisi disaat beban bersifat induktif dan memerlukan daya reaktif dari jaringan. Nilai $\cos\phi$ pada kondisi *lagging* akan bernilai positif. Kemudian pada gelombang sinus, arus (I) akan tertinggal dengan tegangan (V) atau tegangan (V) akan mendahului arus (I) dengan sudut ϕ . Berikut adalah gelombang sinus pada faktor daya *lagging* :

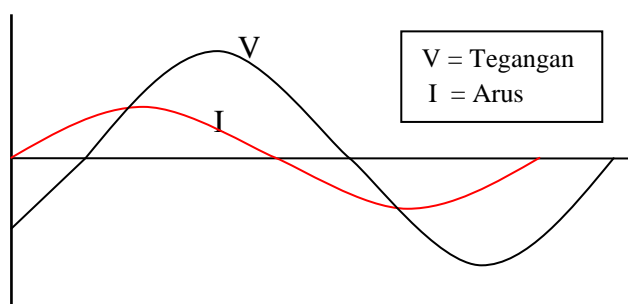


Gambar 2.13. Gelombang Sinus pada Faktor Daya *Lagging*

b) Faktor Daya Mendahului (*leading*)

Faktor daya *leading* menunjukkan kondisi disaat beban bersifat kapasitif dan memberikan daya reaktif ke jaringan. Nilai $\cos \phi$ pada kondisi *leading* akan bernilai negatif. Kemudian pada gelombang sinus, Arus (I) akan mendahului tegangan (V) atau tegangan (V) akan tertinggal terhadap arus (I) sebesar sudut ϕ .

Berikut adalah gambar gelombang sinus pada faktor daya *leading*:

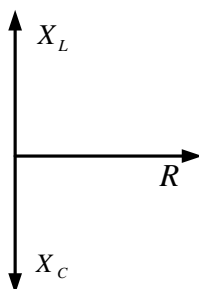


Gambar 2.14. Gelombang Sinus pada Faktor Daya *Leading*

2.8. Diagram Fasor

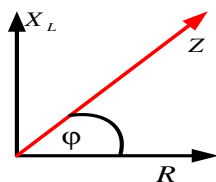
Diagram fasor adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran tegangan dan arus. Besar dan arah diagram fasor tergantung dari kondisi beban. Ketika beban cenderung induktif maka diagram fasor akan cenderung mengarah ke arah atas, sementara ketika kondisi beban cenderung kapasitif maka diagram fasor akan cenderung mengarah ke bawah, dan ketika kondisi beban resistif maka diagram fasor akan berada pada sumbu-X.

Berikut adalah gambar diagram fasor selengkapnya.

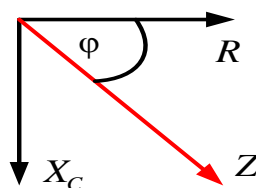


Gambar 2.15 Diagram Fasor pada Komponen R, L, C

Gambar 2.15 menunjukkan arah fasor pada komponen R, L, dan C. Komponen R merupakan komponen fasor pada beban resistif, sedangkan komponen L merupakan komponen fasor pada beban induktif, dan C menunjukkan komponen pada beban kapasitif. Pada saat beban cenderung induktif maka besar komponen arah L akan lebih besar daripada komponen arah C sehingga vektor pada fasor akan cenderung mengarah miring ke atas. Kemudian saat beban cenderung bersifat kapasitif maka besar komponen C akan lebih besar daripada komponen arah L sehingga fasor akan miring ke bawah. Terakhir saat beban bersifat resistif maka komponen L dan C akan sama besar sehingga fasor akan memiliki arah lurus pada sumbu-X.



Gambar 2.16. Komponen Fasor pada Beban Induktif



Gambar 2.17. Komponen Fasor pada Beban Kapasitif



Gambar 2.18. Komponen Fasor pada Beban Resistif

Berdasarkan gambar 2.16 , 2.17 , dan 2.18 dapat dilihat komponen fasor saat kondisi beban induktif, kapasitif, dan resistif serta dapat dihitung total impedansinya. Saat beban induktif nilai reaktansi induktif (X_L) akan lebih besar dibanding reaktansi kapasitif (X_C) sehingga arah vektor impedansi akan cenderung ke atas. Kemudian saat beban cenderung kapasitif maka nilai reaktansi kapasitif (X_C) akan lebih besar dibanding nilai reaktansi induktif (X_L) sehingga vektor impedansi akan cenderung mengarah ke bawah. Terakhir saat beban bersifat resistif nilai reaktansi induktif (X_L) akan sama dengan nilai reaktansi kapasitif (X_C) sehingga arah impedansi akan sama dengan arah hambatan pada resistor keadaan ini dapat disebut sebagai resonansi.

Nilai reaktansi induktif (X_L), reaktansi kapasitif (X_C), dan impedansi (Z), dapat dicari berdasarkan persamaan: ^[7]

$$X_L = \omega.L = 2\pi f . L \dots\dots\dots(2.8)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega.C} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Z = R + j(X_L - X_C) \dots\dots\dots(2.10)$$

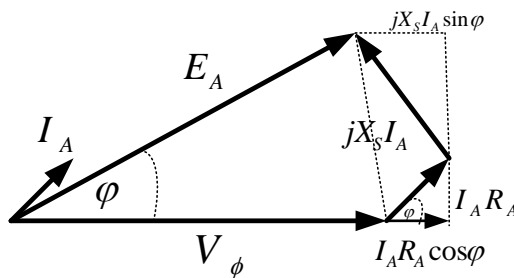
Dimana : ω = kecepatan sudut (rad/s)

f = frekuensi (Hz)

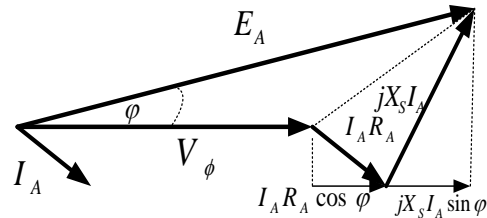
L = Induktansi (H)

C = Kapasitas kapasitor (F)

Diagram fasor juga dapat digambarkan dengan memperhatikan bentuk fasor pada sistem pembangkitan terutama pada generator. Berikut adalah gambar selengkapnya.

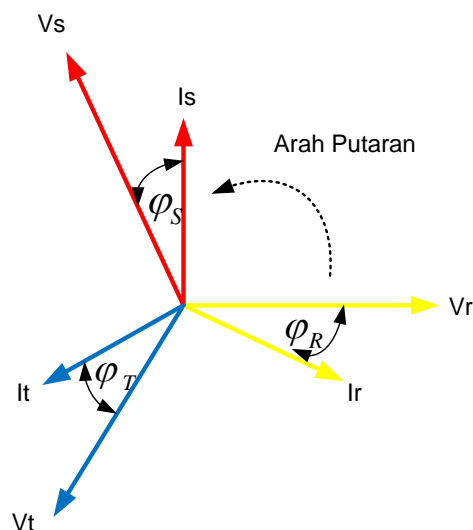


Gambar 2.19. Diagram Fasor Generator pada Beban Kapasitif

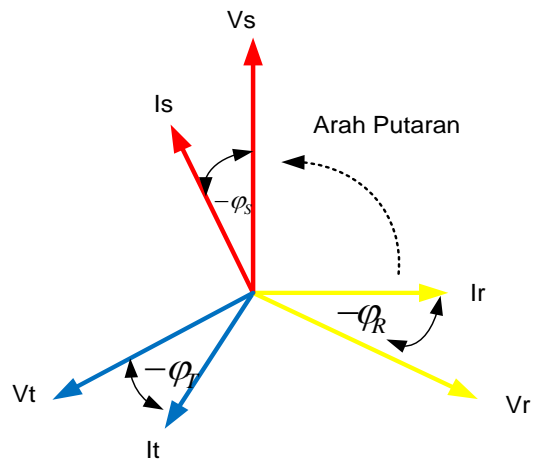


Gambar 2.20. Diagram Fasor Generator pada Beban Induktif

Selain memiliki diagram, fasor juga memiliki arah putaran. Arah putaran yang digunakan adalah berlawanan jarum jam atau mengikuti arah perputaran kuadran satu sampai kuadran empat. Pada beban yang cenderung bersifat induktif sudut fasa antara arus dan tegangan akan bernilai positif sedangkan pada beban yang cenderung bersifat kapasitif sudut fasa antara arus dan tegangan akan bernilai negatif. Berikut adalah arah perputaran fasor pada kondisi beban bersifat induktif dan kapasitif:



Gambar 2.21. Arah perputaran fasor pada beban induktif



Gambar 2.22. Gambar arah putaran fasor pada beban kapasitif

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Waktu pengerjaan tugas akhir ini adalah dimulai pada bulan Juni 2015, bertempat di Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik (STE) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Satu unit kWh meter tiga fasa merk Schlumberger
2. Satu unit kVarh meter tiga fasa merk Schlumberger
3. Beban listrik
 - 3.1. Lampu
 - 3.2. Motor Induksi
 - 3.3. Setrika Listrik
 - 3.4. Beban Induktif
 - 3.5. Beban Kapasitif
 - 3.6. Solder listrik
 - 3.7. Magiccom
 - 3.8. Kipas angin

4. Satu unit laptop dengan software Etap dan Matlab
5. Power Suply Tiga Fasa
6. Kabel Penghubung
7. Cos phi meter
8. Voltmeter
9. Amperemeter
10. Data konsumsi energi pada PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung
11. Stopwatch

3.3. Metode Penelitian

Penyelesaian tugas akhir ini ada beberapa langkah kerja yang dilakukan, yaitu :

3.3.1. Studi Literatur

Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

3.3.2. Studi Bimbingan

Studi bimbingan berupa tanya jawab dengan dosen pembimbing mengenai hal-hal yang dirasa sulit selama mengerjakan tugas akhir.

3.3.3. Pengambilan Data

Pengambilan data pada tahap ini dimaksudkan untuk mengamati data yang akan di analisis. Data yang akan di ambil dan digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data simulasi dengan menggunakan beban tiga fasa di kWh meter dan kVarh meter dalam skala laboratorium

2. Data simulasi dengan menggunakan software ETAP dan Matlab
3. Data konsumsi energi pada PT. Bukit Asam

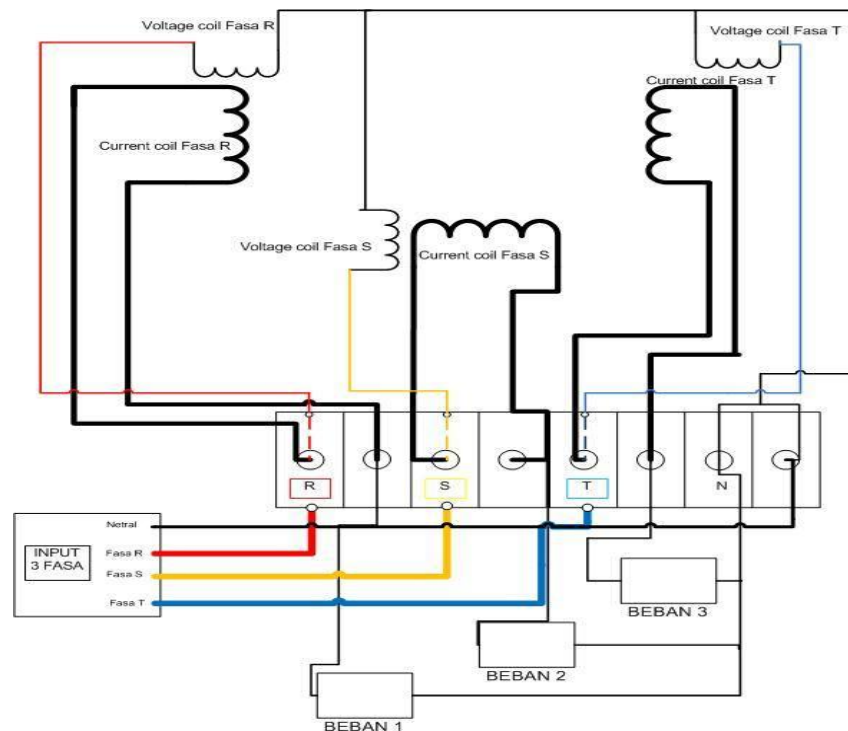
3.4. Percobaan pada Skala Laboratorium ^[5]

Percobaan KWh meter dan KVar meter skala laboratorium ini dilakukan dalam dua keadaan yaitu saat *wiring* salah dan saat *wiring* benar. Kemudian saat *wiring* salah dilakukan dua percobaan pengukuran energi listrik dengan hubungan kumparan arus dan tegangan untuk setiap fasanya, yaitu :

1. $V_s - I_r$, $V_t - I_s$, dan $V_r - I_t$
2. $V_t - I_r$, $V_r - I_s$, dan $V_s - I_t$

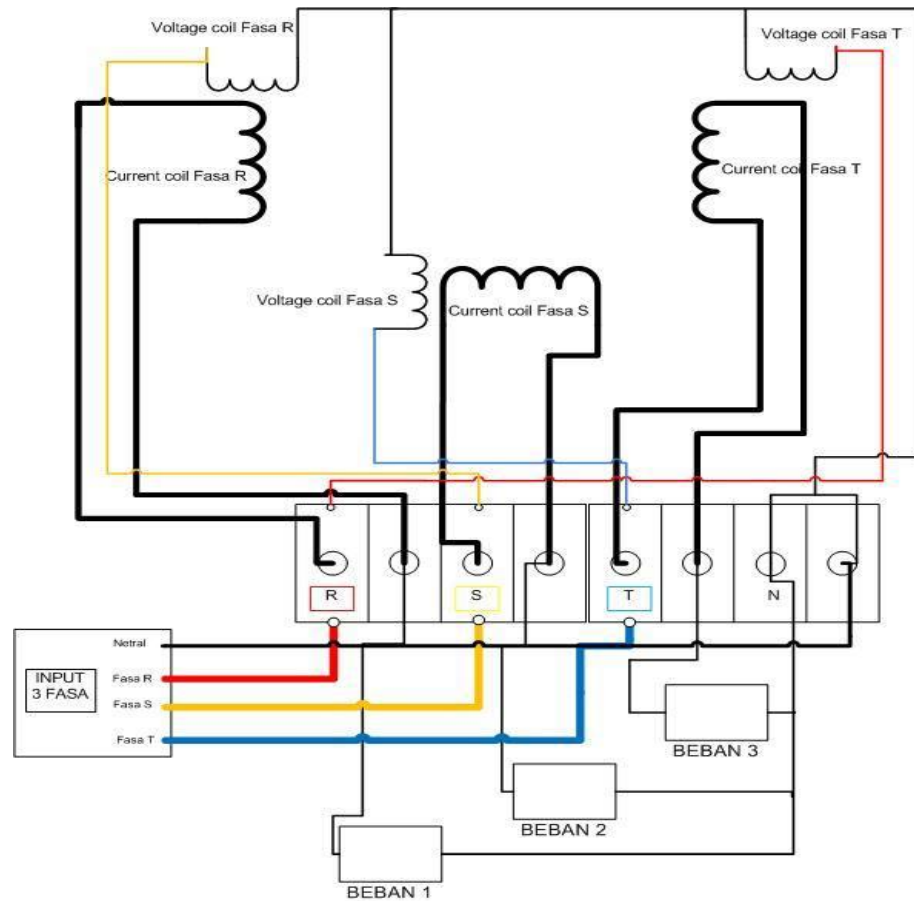
3.4.1. Rangkaian Percobaan pada KWh meter

a. Saat *Wiring* Benar



Gambar 3.1. Rangkaian Percobaan Saat *Wiring* Benar pada kWh Meter

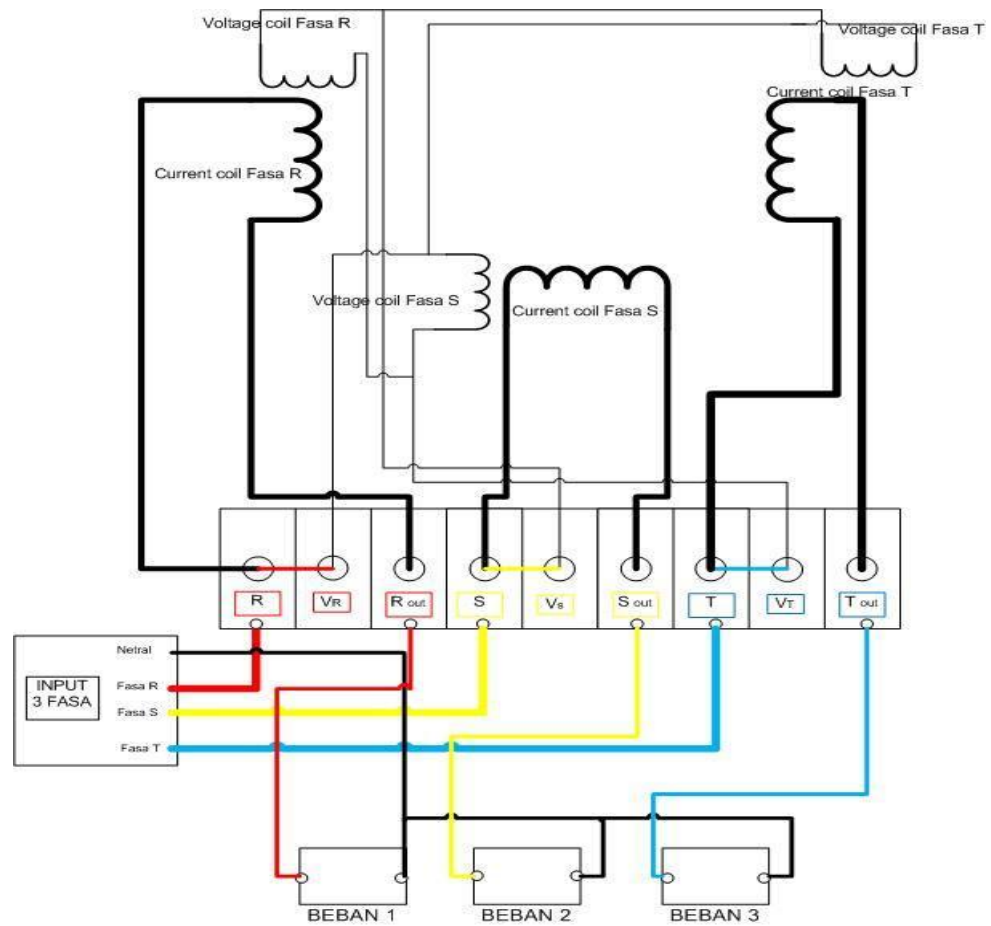
b. Saat *Wiring* Salah



Gambar 3.2. Rangkaian Percobaan Saat *Wiring* Salah pada kWh Meter

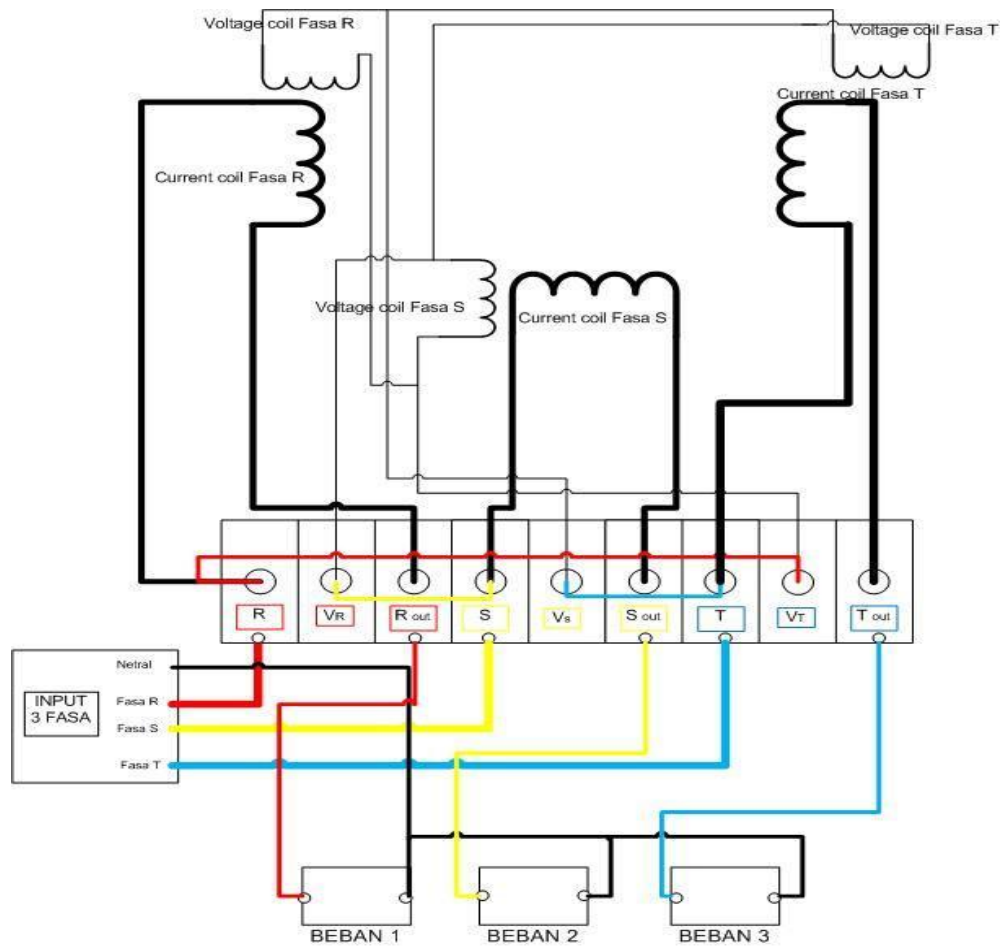
3.4.2. Rangkaian Percobaan pada KVarh meter

a. Saat *Wiring* Benar



Gambar 3.3. Rangkaian Percobaan Saat *Wiring* Benar pada kWh meter

b. Saat *Wiring* Salah



Gambar 3.4. Rangkaian Percobaan Saat *Wiring* Salah pada kVarh Meter

3.5. Analisis Data Transaksi Energi Antara PT. PLN dengan PT. Bukit Asam

3.5.1. Analisis Data

Analisis data yang akan dilakukan adalah dengan membuat simulasi aliran daya listrik antara Pembangkit Listrik Peltar PT. Bukit Asam dengan PT. PLN. Analisis dilakukan dengan mengambil data saat pemasangan *wiring* salah. Berikut adalah sistematika analisis data dengan ETAP:

a. Menghitung Daya dari Data Transaksi Energi Listrik

Transaksi energi listrik antara PT. Bukit Asam dan PT. PLN menggunakan beberapa peralatan listrik. Peralatan listrik utama yang digunakan untuk transaksi energi listrik adalah Generator Peltar yang berjumlah dua unit dan Beban Pelabuhan milik PT. Bukit Asam kemudian Gardu Induk, Diesel Sewatama dan tiga buah penyulang yang merupakan milik PT. PLN. Dikarenakan data yang diperoleh adalah berupa energi maka untuk menghitung daya listrik dihitung dengan membagi energi listrik dengan durasi waktu pemakaian.

b. Memasukkan data daya dari pembagian antara energi listrik dengan durasi waktu dan melakukan simulasi aliran daya dengan software ETAP.

Selain melakukan simulasi aliran daya dengan ETAP dilakukan juga analisis perhitungan pergeseran sudut antara arus dan tegangan untuk setiap fasa akibat dari pemasangan *wiring* yang salah. Kemudian sudut yang didapat akan dihitung nilai sinus dan cosinus untuk diperoleh nilai daya reaktif dan daya aktifnya.

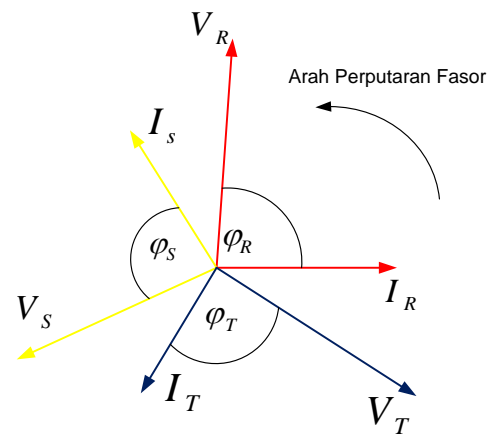
Setelah itu akan dilakukan perbandingan besar energi listrik saat pemasangan *wiring* benar dan saat pemasangan *wiring* salah.

3.5.2. Metode Analisis Fasor

Metode yang digunakan untuk menganalisis pergeseran sudut akibat pemasangan *wiring* salah antara arus dan tegangan pada percobaan skala laboratorium adalah metode analisis fasor. Metode analisis fasor menggunakan diagram fasor untuk sistem tiga fasa. Dengan menggunakan metode analisis fasor akan lebih mudah didapatkan sudut antara arus dan tegangan atau faktor daya baik saat pemasangan *wiring* benar maupun saat pemasangan *wiring* salah. Setelah didapatkan nilai sudut yang bergeser maka berikutnya akan dicari nilai faktor daya ($\cos \phi$) untuk setiap fasa. Arah perputaran fasor yang digunakan dalam penelitian ini adalah berlawanan dengan arah perputaran jarum jam atau mengikuti konsep kuadran matematika. Arah perputaran fasor menunjukkan bahwa sudut antara arus dan tegangan memiliki arah dari arus menuju tegangan

a. Saat Pemasangan Wiring Benar

Saat Pemasangan *wiring* benar maka tidak ada perubahan atau pergeseran sudut antara arus dan tegangan sehingga nilai faktor daya ($\cos \phi$) akan sama seperti nilai yang terukur pada $\cos \phi$ meter.

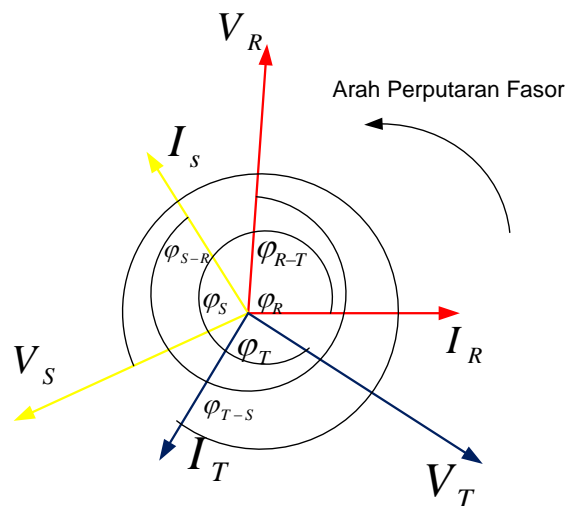


Gambar 3.5. Contoh Fasor Tiga Fasa pada Saat Pemasangan *Wirng* Benar

b. Saat Pemasangan *Wiring* Salah

- Hubungan Arus dan Tegangan:

$$I_R - V_T, I_S - V_R, I_T - V_S$$



Gambar 3.6. Contoh Fasor Tiga Fasa Saat Pemasangan *Wiring* Salah

dengan hubungan arus dan tegangan

$$I_R - V_T, \quad I_S - V_R, \quad I_T - V_S$$

Saat pemasangan *wiring* arus dan tegangan salah dengan hubungan $I_R - V_T, I_S - V_R, I_T - V_S$ maka sudut antara arus dan tegangan akan bergeser sebesar 240° . Sehingga nilai sudut akan bergeser sejauh:

$$\varphi_{R-T} = 240^\circ + \varphi_R$$

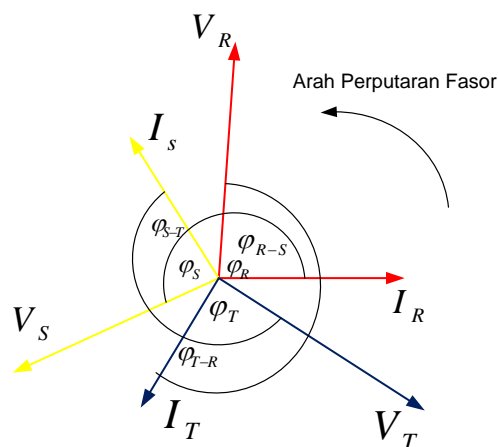
$$\varphi_{S-R} = 240^\circ + \varphi_S$$

$$\varphi_{T-S} = 240^\circ + \varphi_T$$

Nilai sudut yang berubah ini akan mengakibatkan faktor daya ($\cos \varphi$) yang terukur menjadi berbeda jika dibandingkan dengan pengukuran saat pemasangan *wiring* benar.

- Hubungan Arus dan Tegangan

$$I_R - V_S, I_S - V_T, I_T - V_R$$



Gambar 3.7. Contoh Fasor Tiga Fasa Saat Pemasangan *Wiring* Salah dengan hubungan arus dan tegangan

$$I_R - V_S, I_S - V_T, I_T - V_R$$

Saat pemasangan *wiring* arus dan tegangan salah dengan hubungan $I_R - V_S$, $I_S - V_T$, $I_T - V_R$ maka sudut antara arus dan tegangan akan bergeser sebesar 120° . Sehingga nilai sudut akan bergeser sejauh:

$$\varphi_{R-T} = 120^\circ + \varphi_R$$

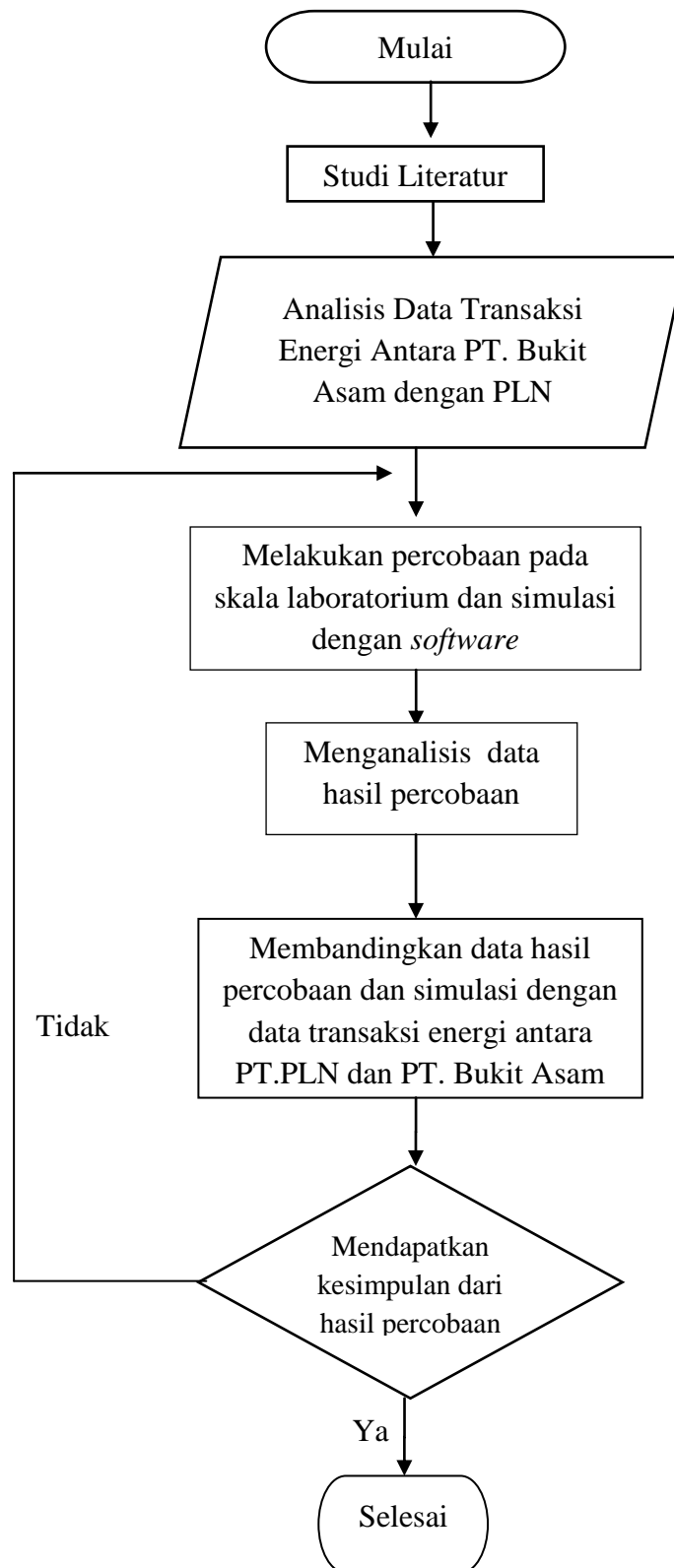
$$\varphi_{S-R} = 120^\circ + \varphi_S$$

$$\varphi_{T-S} = 120^\circ + \varphi_T$$

Nilai sudut yang berubah ini juga akan mengakibatkan faktor daya ($\cos \varphi$) menjadi berbeda.

Dengan demikian dapat diambil hipotesis bahwa pemasangan *wiring* yang salah akan mengakibatkan nilai faktor daya berubah. Saat faktor daya berubah maka beberapa besaran listrik seperti faktor daya, daya aktif, daya reaktif, dan energi listrik juga akan berubah dan berbeda jika dibandingkan dengan pemasangan *wiring* benar.

3.6. Flowchart Penelitian



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pemasangan *wiring* antara arus dan tegangan pada kWh meter dan kVarh meter yang salah menyebabkan hasil pengukuran energi listrik menjadi berbeda dibandingkan saat pemasangan *wiring* antara arus dan tegangan benar
2. kWh meter akan berputar terbalik ketika sudut antara arus dan tegangan bernilai antara 90° sampai 180° (kuadran II) dan antara 180° sampai 270° (kuadran III) sedangkan kVarh meter akan berputar terbalik ketika sudut antara arus dan tegangan bernilai antara 180° sampai 270° (kuadran III) dan antara 270° sampai 360° (kuadran IV)
3. Pada percobaan kVarh meter dengan pemasangan *wiring* benar saat penggunaan beban induktif lebih besar dari kapasitif akan mengakibatkan faktor daya menjadi *lagging* atau bernilai positif sehingga piringan kVarh meter akan berputar normal. Sedangkan penggunaan beban kapasitif yang lebih besar dari beban induktif akan mengakibatkan faktor daya menjadi *leading* atau bernilai negatif sehingga piringan kVarh meter akan berputar terbalik.

4. Persentase kesalahan pengukuran energi listrik yang diakibatkan pemasangan *wiring* yang salah pada kWh meter dan kVarh meter dapat berubah-ubah nilainya bergantung pada besarnya arus dan tegangan, hubungan arus dan tegangan setiap fasa, serta sudut antara arus dan tegangan.
5. Energi listrik yang terukur pada studi kasus transaksi energi listrik antara PT. Bukit Asam dan PT. PLN menjadi lebih besar pada saat pemasangan *wiring* arus dan tegangan salah dibandingkan saat pemasangan *wiring* benar sebesar 7,55% untuk energi dari daya aktif.

5.2. Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebaiknya kWh meter dan kVarh meter yang digunakan pada simulasi skala laboratorium menggunakan peralatan digital sehingga sesuai dengan studi kasus pengukuran energi listrik di Gardu Induk Tarahan
2. Kesalahan *wiring* harus dihindari karena menyebabkan kesalahan hasil pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Andriana, A. "*KVarh Meter*".
<https://www.scribd.com/doc/173806271/kVArh-Meter>. Diakses pada Kamis, 13 Agustus 2015.
- [2]. Belly, A, dkk., 2010. "*Daya Aktif, Reaktif, & Nyata*", Universitas Indonesia. Depok.
- [3]. Firmansyah, V., 2008. "*Peneraan Ukuran Energi Listrik*", Pusat Diklat Kehutanan dan Direktorat Pembinaan Widyaiswara LAN-RI. Bandung.
- [4]. Hanavi, S.H., 2013. "*Analisis Pengaruh Beban Non Liner Terhadap Kinerja KWh Meter Induksi Satu Fasa*", Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [5]. Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik, 2015. "*Kajian Aliran Daya Excess Power PLTU Peltar Milik PT. Bukit Asam ke GI Tarahan Milik PT. PLN (Persero)*", Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [6]. Lanang, S.S., Sardono, S., Indra, R.K., "*Analisa Pengaruh Beban Induktif dan Resistif pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut*", Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- [7]. Mismail, B., 1995 . "*Rangkaian Listrik 1*", Penerbit ITB. Bandung.
- [8]. Nadhori, I.U., A. Ashar., 2011 "*KWh Meter Digital Prabayar Untuk Skala Rumah Tangga dengan Sistem Voucher*", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Surabaya.
- [9]. Nahvi, M., Joseph, E., 1993. "*Electric Circuits*", Schaum's Outline. Mc Graw Hill. United States of America.
- [10]. Pusat Pendidikan dan Pelatihan., 2008. "*Teori Dasar KWh Meter*", PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [11]. Suhendi M, Widjaksono D., "*Meningkatkan Efektifitas Penggunaan Energi Listrik*", Jurnal Kajian Teknik Elektro Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta. Vol. 01, No. 01. Jakarta 2012.

- [12]. Thiel, M , Hurth R., 1993. "*Energy Consumption Measurement and Peak Load Monitoring*". Leybold Didactic GmbH , Germany.
- [13]. Wibisana, B.S., 2008. "*Analisis Perbandingan Pembacaan KWh Meter Analog dengan KWh Meter Digital pada Ketidakseimbangan Beban*". Universitas Indonesia. Depok.