

PENETAPAN SISTEM ACUAN DAYA AC UNTUK LABORATORIUM STANDAR NASIONAL BERDASARKAN *STANDARD WATT CONVERTER*

Establishment of AC Power Reference System for the National Standard Laboratory Based on Standard Watt Converter

Agah Faisal

Puslit KIM-LIPI
Kompleks Puspiptek, Setu, Tangerang Selatan 15314, Banten, Indonesia
E-mail: faisal@kim.lipi.go.id

Diterima: 28 Maret 2014, Direvisi: 13 Mei 2014, Disetujui: 19 Juni 2014

Abstrak

Puslit KIM-LIPI telah mengembangkan suatu sistem pengukuran acuan daya AC untuk laboratorium standar nasional dengan ketelitian pengukuran yang lebih baik dari 75 ppm pada faktor cakupan 2 dan tingkat kepercayaan 95%. Sistem tersebut berbasis *Standard Watt Converter* (SWC), beban semu, dan digital DC voltmeter yang telah diketahui koreksinya melalui proses kalibrasi kepada standar yang dimiliki Lembaga Metrologi Nasional Australia (NMIA) dan Lembaga Metrologi Nasional Indonesia (Puslit KIM-LIPI). Metode perbandingan terhadap sistem acuan tersebut telah diterapkan pada suatu *Unit Under Calibration* (UUC) yang berupa power meter berketelitian tinggi. Hal ini dilakukan untuk menampilkan unjuk kerja sistem acuan daya AC dalam proses pengukuran koreksi pembacaan dari power meter. Hasil evaluasi pada titik-titik pengukuran 120 V, 5 A, dan 53 Hz menunjukkan bahwa koreksi pembacaan terbesar adalah 133 ppm. Nilai tersebut berkesesuaian dengan kelas akurasi power meter ZERA RMM3001 yaitu 0,02% atau sebesar 200 ppm. Dari hasil unjuk kerja sistem pengukuran ini maka penetapan acuan daya AC untuk laboratorium standar nasional seperti Puslit KIM-LIPI mencukupi.

Kata kunci: sistem pengukuran acuan, daya AC, *standard watt converter*, koreksi pembacaan, power meter.

Abstract

Puslit KIM-LIPI has developed an AC power reference measurement system for a national standard laboratory with a measurement precision better than 75 ppm at coverage factor 2 and confidence level 95 %. The system was based on the instruments of a standard watt converter, a phantom load, and a standard digital voltmeter, which the corrections of those readings are known by calibration processes to both National Metrology Institute of Australia (NMIA) and Puslit KIM-LIPI. The comparison method of the AC power reference system has been applied to the high precision power meter as a unit under calibration (UUC). This was done to show the measurement performance of AC power reference system in the process to find the reading correction of the power meter under calibration. The measurement evaluation at 120 V, 5 A, and 53 Hz showed that the worst reading correction was 133 ppm. That value was on the agreement with the class accuracy of ZERA RMM3001 power meter which is 0,02 % or 200 ppm. The performance of the measurement system indicated that the establishment of the ac power reference for a national standard laboratory such as Puslit KIM-LIPI was adequate.

Keywords: reference measurement system, AC power, *standard watt converter*, reading correction, power meter.

1. PENDAHULUAN

Laboratorium Metrologi Kelistrikan sebagai bagian dari unit kerja yang bergerak di bidang metrologi dibawah Pusat Penelitian Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Puslit KIM-LIPI), memiliki peran untuk mengelola standar pengukuran nasional di ranah kelistrikan. Peran tersebut bermaksud untuk merealisasikan standar pengukurannya menjadi acuan pengukuran di Indonesia. Seiring dengan peran

tersebut, saat ini laboratorium telah melaksanakan penelitian dan pengembangan dalam rangka menetapkan standar pengukuran acuan daya AC bagi laboratorium standar nasional, Puslit KIM-LIPI.

Standar pengukuran daya AC yang pada akhirnya dijadikan standar acuan di Puslit KIM-LIPI harus memiliki beberapa aspek kriteria, seperti; realisasi standar secara fisik baik berupa bahan ukur, alat ukur, atau sistem pengukuran dari besaran ukur yang dibangun, ketertelusuran nilai standar pada sistem satuan internasional

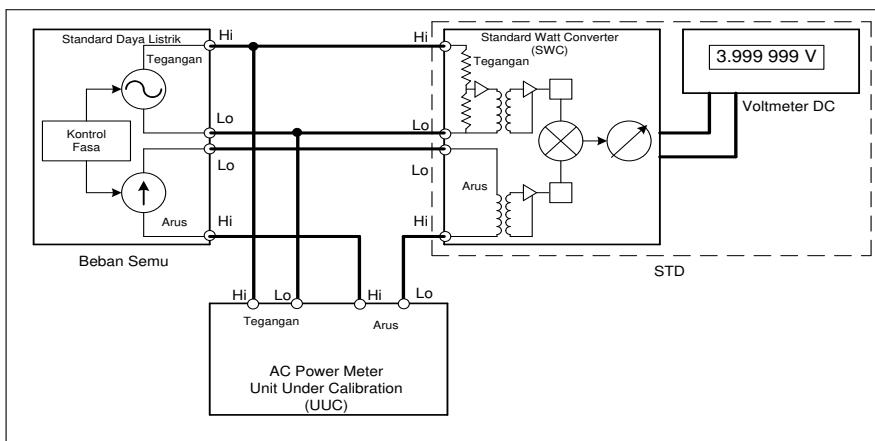
(SI), pemeliharaan dan pengendalian standar terhadap komponen-komponen yang mempengaruhi hasil pengukuran, dan diseminasi nilai standar acuan ke standar-standar lain yang tingkat ketelitiannya lebih rendah, sebagaimana telah dipaparkan oleh Akil, H. A., dkk. (2007).

Dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2012, Standar Daya Listrik yang dikenal sebagai beban semu (*phantom load*) telah digunakan sebagai standar pengukuran acuan daya AC di laboratorium Metrologi Kelistrikan Puslit KIM-LIPI. Sistem tersebut telah digunakan sebagai kalibrator dari suatu power meter (watt meter). Nilai daya yang dihasilkan oleh kalibrator ini merupakan nilai perkalian komponen-komponen tegangan, arus dan sudut fasa arus terhadap tegangan dalam cosinus. Dikutip dari Faisal, A., dkk. (2012), dari sistem tersebut telah diperoleh ketelitian pengukuran sampai dengan $141 \mu\text{W/W}$ (pada faktor cakupan 2 dan tingkat kepercayaan 95%). Kemampuan pengukuran tersebut masih perlu untuk ditingkatkan mengingat power meter yang saat ini digunakan di laboratorium-laboratorium kalibrasi sudah ada yang memiliki kelas hingga 0,02%.

Melalui pengembangan ditahun 2013, sistem pengukuran berbasis beban semu dan *standard watt converter* (SWC) dibangun untuk mewujudkan standar pengukuran acuan daya AC dengan ketelitian pengukuran yang lebih baik dari 75 ppm (pada faktor cakupan 2 dan tingkat kepercayaan 95%).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspek Realisasi Sistem Pengukuran Daya Standar pengukuran acuan daya AC direalisasikan kedalam suatu sistem yang terdiri dari beban semu, *standard watt converter* (SWC), dan digital voltmeter DC standar (SDVM). Sistem tersebut digunakan untuk mengkalibrasi *unit under calibration* (UUC) berupa standar power meter yang tidak sesuai lagi jika dikalibrasi secara langsung menggunakan beban semu. Secara skematik sistem pengukuran digambarkan seperti pada Gambar 1. Suatu beban semu menyuntikkan daya melalui dua keluaran, tegangan dan arus, sehingga tegangan terlintang secara paralel pada dua pasang masukan terminal tegangan UUC dan terminal tegangan SWC, sedangkan arus tersusur secara seri dari terminal masukan UUC menuju terminal masukan SWC. Oleh karena SWC secara sederhana bekerja sebagai pengkonversi nilai daya kepada nilai tegangan DC, maka terminal keluaran dari SWC diumpankan kepada terminal masukan dari SDVM. Sehingga dari sistem pengukuran tersebut kesalahan pembacaan daya oleh power meter UUC diperoleh melalui perbandingan nilai daya yang ditunjukkan oleh UUC terhadap nilai tegangan DC yang proporsional dengan nilai daya yang diterima oleh SWC.



Gambar 1 Diagram skematik realisasi standar pengukuran acuan daya AC di Puslit KIM-LIPI.

2.1.1 Standar Daya Listrik sebagai Beban Semu Standar daya listrik yang digunakan sebagai beban semu (*phantom load*) adalah suatu sistem yang terintegrasi atas komponen-komponen pembangkit tegangan dan arus yang dapat bekerja menyerupai sumber ketenagalistrikan yang seolah-olah terbebani oleh suatu beban, sehingga standar daya listrik ini bekerja sebagai

beban semu bagi suatu power meter. Selain dari pada itu, fase arus dapat digeser-geser terhadap fase tegangan dari -180° sampai $+180^\circ$. Hal ini merepresentasikan keadaan semu *lagging* dan *leading* suatu sumber daya listrik yang terbebani secara induktif dan kapasitif (Fluke, 2008).

Sistem ini dalam aplikasinya digunakan sebagai pembangkit daya AC atau sumber

beban semu bagi suatu alat ukur daya. Nilai daya yang dihasilkan oleh beban semu ini merupakan multiplikasi komponen-komponen penyusun individu seperti tegangan, arus dan sudut fase arus terhadap tegangan sehingga mengikuti suatu persamaan matematis berikut:

$$P [V, I, \varphi] = V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots [1]$$

dimana:

- P : Daya AC yang disuplai dari beban semu.
- V : Tegangan AC yang disuplai dari beban semu.
- I : Arus A yang disuplai dari beban semu.
- φ : Sudut fase yang dibentuk dari keluaran arus terhadap keluaran tegangan.

2.1.2 Prinsip Kerja *Standard Watt Converter*

Standard watt converter (SWC) yang diperbantukan dalam merealisasikan sistem pengukuran acuan daya AC di Puslit KIM-LIPI merupakan tipe komersial. Alat ini mengkonversi daya AC yang terukur menjadi tegangan DC. Keluaran level tegangan DC dari alat ini sebanding lurus dengan nilai daya AC masukannya. Suatu blok diagram dari suatu SWC dalam hal ini adalah Yokogawa 2885 ditampilkan pada Gambar 2. Sebagaimana dalam pemaparan Faisal, dkk. dalam publikasinya dan panduan prinsip kerja alat (Yokogawa, 1984), masukan tegangan dan masukan arus dari SWC terisolasi terhadap sirkuit keluaran melalui dua buah transformator arus (CT). Kedua masukan tersebut diubah dan disesuaikan dengan pengkondisi *signal* menjadi dua sinyal input tegangan yang terkondisi. Kemudian sirkuit berbasis *time division multiplier* digunakan untuk mengalikan sinyal masukan tegangan dengan sinyal masukan arus.

Sirkuit *multiplier* (pengali) menjadikan luasan untaian pulsa listrik sebagai perkalian secara kumulatif dari lebar pulsa dan tinggi pulsa (Tomota, dkk., 1986 dan Filipski, 1990). Keluaran integrator e_2 adalah jumlah integral dari sinyal masukan E_X dan sinyal gelombang e_1 , dimana e_1 merupakan suatu gelombang segi empat dengan amplitudo $+E_S$ yang dihasilkan oleh *switch* S_1 . Level e_2 kemudian dibandingkan dengan tegangan e_3 yang berupa gelombang segitiga.

Pada saat $e_2 > e_3$ *comp* pembandingan akan menetapkan *switch* S_1 pada $+E_S$, begitupun sebaliknya ketika $e_2 < e_3$ *comp* pembandingan akan menetapkan *switch* S_1 pada $-E_S$. Switch S_1 akan terbuka dan tertutup sedemikian hingga jumlah nilai rata-rata dari e_1 dan E_X berharga sama dengan nol.

Secara matematis jumlah nilai rata-rata tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{E_X}{R_1} + \frac{e_1}{R_2} = 0 \dots\dots\dots [2]$$

Jika periode waktu T_1 adalah interval waktu ketika S_1 ditetapkan pada $-E_S$ dan periode waktu T_2 adalah interval waktu ketika S_1 ditetapkan pada $+E_S$, nilai e_1 memiliki kesebandingan dengan nilai E_S dengan ekspresi matematis sebagai berikut:

$$e_1 = E_S \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{(T_1 + T_2)} \dots\dots\dots [3]$$

sehingga persamaan [2] di atas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{E_X}{R_1} + \frac{E_S}{R_2} \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{(T_1 + T_2)} = 0 \dots\dots\dots [4]$$

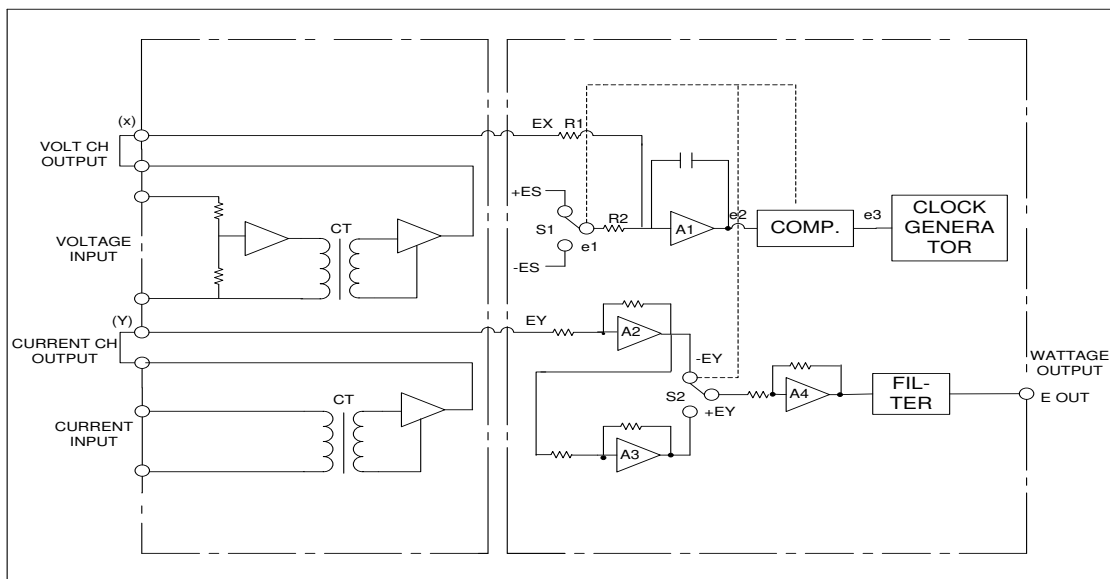
Sinyal masukan lain yang tercacah adalah sinyal yang ditetapkan oleh *switch* S_2 , dimana S_2 terkopling dengan S_1 untuk menghasilkan suatu keluaran sebesar:

$$E_{out} = E_Y \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{(T_1 + T_2)} \dots\dots\dots [5]$$

Dengan cara menggabungkan persamaan [2] – [5] diatas dan dengan menghilangkan faktor $(T_1 - T_2) / (T_1 + T_2)$ maka didapatkan persamaan berikut:

$$E_{out} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{E_X \cdot E_Y}{E_S} \dots\dots\dots [6]$$

Pada kondisi komponen $R_2/R_1 \cdot E_S$ dijaga konstan maka keluaran E_{out} menjadi sebanding terhadap perkalian nilai E_X dan E_Y . Oleh sebab itu, keluaran level tegangan DC dari alat ini sebanding lurus dengan dua sinyal input tegangan yang terkondisi, tegangan terkondisi dari masukan tegangan, E_X , dan tegangan terkondisi masukan arus, E_Y . Sehingga keluaran tegangan DC dari alat ini diumpankan langsung kepada masukan terminal dari *standard digital voltmeter* DC untuk memonitor level tegangannya.



Gambar 2 Blok diagram *standard watt converter* berbasis *time division multiplier*.

2.2. Aspek Ketertelusuran Pengukuran dan Diseminasinya

Menurut JCGM 200:2008 tentang kosakata metrologi internasional, ketertelusuran pengukuran merupakan sifat dari hasil pengukuran atau sifat dari nilai standar dimana hal itu dapat dihubungkan ke acuan tertentu, yang biasanya berupa standar nasional atau internasional, melalui rantai perbandingan yang tidak terputus beserta ketidakpastiannya. Aspek ketertelusuran pengukuran merupakan hal yang penting untuk menjamin kehandalan dan kualitas dari hasil pengukuran acuan daya AC di Puslit KIM-LIPI. Dengan demikian hasil pengukuran yang telah dilakukan memiliki kesesuaian dengan hasil pengukuran dengan standar acuan negara lain. Standar acuan daya AC di Puslit KIM-LIPI telah tertelusur ke sistem satuan internasional (SI) melalui program kalibrasi secara periodik ke standar yang dipelihara dan dirawat oleh lembaga metrologi nasional Australia (NMIA).

Di sisi lain, laboratorium juga berperan memberikan ketertelusuran ke berbagai pihak yang memerlukan nilai acuan bagi pengukuran daya AC, baik laboratorium-laboratorium kalibrasi, industri maupun penelitian. Peran ini memiliki arti lain yang lebih spesifik yang disebut diseminasi nilai dari standar pengukuran kepada standar dengan level yang lebih rendah. Kegiatan diseminasi tersebut dilaksanakan melalui aktivitas layanan kalibrasi yang diberikan laboratorium secara berkesinambungan.

2.3. Aspek Pemeliharaan Standar Acuan Daya

Dalam menjaga agar standar acuan daya terpelihara dan terawat sehingga mampu menghasilkan unjuk kerja yang baik, maka laboratorium merancang program pemeliharaan yang meliputi pengkondisian lingkungan, membagi beban kerja kalibrasi dengan menggunakan standar kerja, dan pengecekan antara.

Dengan mengacu pada SNI ISO/IEC 17025: 2008, laboratorium merancang agar pengkondisian lingkungan seperti suhu dan kelembaban relatif agar sedemikian hingga dapat memfasilitasi kebenaran dari hasil pengukuran dan kalibrasi. Sistem kontrol kondisi lingkungan dirancang sehingga dapat mengakomodasi suhu ruangan pada 23 ± 1 °C dan kelembaban relatif $55 \pm 10\%$. Pemilihan nilai suhu tersebut didasarkan pada kesamaan pengkondisian ruangan ketika komponen standar acuan daya ini dikalibrasi di NMIA Australia dan kesamaan pengkondisian dalam rangka mengikuti *Inter Laboratory Comparison* (ILC). Sehingga koreksi atas suatu hasil pengukuran yang disebabkan perbedaan suhu kerja dapat diabaikan. Sedang pemilihan nilai kelembaban relatif dirancang agar terhindar dari lingkungan korosif (kelembaban diatas 65%) yang menyebabkan degradasi insulasi listrik dan efek lecutan elektrostatik (kelembaban dibawah 45%) yang dapat mudah merusak sirkuit kelistrikan pada peralatan yang sensitif.

Pembagian beban kerja juga dirancang agar standar acuan daya AC berbasis SWC sebagai standar utama di Puslit KIM-LIPI dapat terkendali secara efektif. Pelayanan kalibrasi

untuk standar-standar acuan milik lab kalibrasi, pengujian atau industri dapat dilaksanakan dengan meperbandingkannya dengan standar kerja yang telah diketahui nilai aktualnya melalui program diseminasi standar acuan daya AC pada standar kerja laboratorium di Puslit KIM-LIPI.

Untuk memelihara kepercayaan pada status hasil kalibrasi pada standar acuan daya AC, pengecekan antara yaitu pengecekan diantara dua periode kalibrasinya dilakukan dengan cara pemantauan terus menerus dan menyatakannya dengan suatu kendali statistik dari suatu proses pengukuran, sebagaimana dijelaskan dalam panduan teknis untuk jaminan mutu pengukuran (KAN-BSN, 2004). Teknik pengendalian proses secara statistik ini dilakukan dengan memanfaatkan peta kendali (*control chart*) yang sesuai. Dalam periode kalibrasi yang ditetapkan selama lima tahun, pengecekan antara dilakukan setiap enam bulan sekali dengan menggunakan instrumen standar cek (*check standard*). Instrumen standar cek merupakan suatu standar AC power meter yang digunakan sebagai bagian dari program jaminan pengukuran untuk menghasilkan pengecekan pada standar acuan daya. Sehingga dapat menjamin bahwa standar acuan yang digunakan, hasil pengukurannya, serta proses pengukurannya adalah dalam batasan-batasan statistik yang dapat diterima. Peta kendali yang dibuat merupakan suatu perangkat peraga grafis yang memvisualisasikan kejadian stabilitas nilai jangka panjang, tren perubahan nilai terhadap waktu, dan bias hasil pengukuran.

3. METODE PENELITIAN

Nilai yang diterapkan pada realisasi standar pengukuran daya AC sebagaimana ditunjukkan seperti pada Gambar 1 adalah nilai-nilai komposisi pada tegangan 120 V, arus 5 A dan frekuensi kerja 53 Hz. Sedangkan faktor dayanya adalah: 1, 0,8 lag, 0,8 lead, 0,5 lag dan 0,5 lead. Beberapa peralatan pada sistem tersebut seperti *standard watt converter* (SWC) dan voltmeter DC digital standar (SDVM) merupakan peralatan inti yang perlu diketahui nilai koreksi aktualnya melalui program kalibrasi. Program kalibrasi ke standar primer dilaksanakan secara periodik guna menjadikan standar acuan daya AC ini tertelusur pada sistem satuan internasional (SI).

Pada aplikasinya koreksi aktual dari sistem yang dibangun ini digunakan untuk mengkalibrasi *Unit Under Calibration* (UUC)

berupa power meter standar yang memiliki akurasi tinggi, sebagai contoh kelas akurasi sampai 0,02%, sistem pengukuran seperti yang terlihat pada Gambar 1 diterapkan. Daya AC yang dibangkitkan oleh beban semu disuntikkan secara serentak kepada *standard watt converter* (SWC) sebagai STD dan power meter standar sebagai UUC. Koreksi pembacaan yang ditunjukkan oleh UUC diperoleh dengan membandingkan kedua pembacaan peraga UUC dan STD, layar UUC dalam satuan watt dan layar STD dalam satuan volt.

Pembacaan voltmeter yang hakikatnya adalah nilai tegangan yang proporsional dengan nilai daya STD perlu dikonversi dengan faktor pengali F . Faktor pengali F memiliki nilai sama dengan rasio skala penuh rentang masukan tegangan AC, V_{AC} , dan rentang masukan arus AC, I_{AC} , terhadap skala penuh keluaran tegangan DC, V_{DC} . Dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$F = \frac{V_{AC} \cdot I_{AC}}{V_{DC}} \dots\dots\dots [7]$$

Koreksi pembacaan UUC memperhitungkan nilai selisih pembacaan UUC dengan STD dan juga memperhitungkan nilai koreksi faktor pengali (F), C_F , dan nilai koreksi pembacaan SDVM, C_{dvm} . Selisih pembacaan UUC terhadap pembacaan STD dari pengamatan berulang dalam proses pengukuran dinyatakan dalam bentuk relatif bagian per-sejuta (ppm) terhadap nominal daya yang diterapkan. Hal tersebut dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$\Delta [ppm] = \left(\frac{P_{UUC} - V_{dvm} \cdot F}{P_{app}} \right) \cdot 10^6 \dots [8]$$

dimana:

- P_{UUC} : Daya AC yang dibaca oleh UUC.
- V_{dvm} : Tegangan DC yang dibaca oleh SDVM.
- F : Faktor pengali SWC.
- P_{app} : Daya nominal yang disuntikkan oleh beban semu.

Dari persamaan [8] koreksi pembacaan UUC dalam ppm dinyatakan dengan $-\Delta [ppm]$. Dikarenakan terdapat nilai koreksi lain seperti faktor pengali, C_F , dan nilai koreksi pembacaan digital voltmeter, C_{dvm} , yang telah diketahui melalui program kalibrasi standar pada lembaga-lembaga metrologi nasional seperti NMIA dan KIM-LIPI, sehingga koreksi secara total yang

dialamatkan sebagai koreksi pembacaan power meter standar sebagai UUC dinyatakan dalam bentuk relatif dapat dituliskan secara matematis sebagai berikut:

$$C_{UUC} [ppm] = -\Delta [ppm] + C_F [ppm] + C_{dvm} [ppm] \quad [9]$$

Untuk memelihara kepercayaan status hasil kalibrasi pada standar acuan daya AC, pengecekan antara dilakukan dengan cara pemantauan secara berkelanjutan yaitu melalui pemantauan selama 4 bulan dan menyatakannya dengan suatu kendali statistik dari suatu proses pengukuran. Metode pengecekan mengambil cara yang sama sebagaimana mengkalibrasi UUC berupa power meter standar yang memiliki akurasi tinggi, sebagai contoh kelas akurasi sampai 0,02%, dan skematik digaram sistem pengukuran adalah sebagaimana terlihat pada Gambar 1.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Aspek Realisasi Sistem Pengukuran Daya dan Diseminasinya

Pengukuran dari koreksi pembacaan power meter sebagai UUC dilakukan sebanyak 10 kali pengambilan data, dan hasil pengukurannya ditampilkan dalam Tabel 1. Pembacaan *Standard Watt Converter* (SWC) YEW 2885, YEW (V), ditampilkan oleh *standard digital voltmeter* FLUKE 8508A dalam satuan volt, sedangkan pembacaan power meter ZERA

RMM3001, ZERA (W), ditampilkan dalam satuan watt. Sehingga untuk mendapatkan nilai selisih dalam unit watt dalam menghitung koreksi, ΔW (W), maka pembacaan YEW (V) harus dikalikan dahulu dengan faktor F sebagaimana tertulis pada persamaan [7] dan kemudian dihitung selisihnya terhadap pembacaan ZERA (W). Sebagaimana sudah dikalkulasi dan ditampilkan pada Tabel 1.

Koreksi pembacaan UUC dengan telah memperhitungkan nilai selisih pembacaan UUC dengan STD dan juga memperhitungkan nilai koreksi faktor pengali (F), C_F , dan nilai koreksi pembacaan SDVM, C_{dvm} , berdasarkan persamaan [8] dan [9], sehingga diperoleh nilai-nilai berikut sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 2.

Nilai Kor. terukur pada kolom [5] Tabel 2 adalah nilai rata-rata ΔW (W) pada Tabel 1 dan dinyatakan dalam ppm pada kolom [6] Tabel 2. Koreksi dari SWC YEW 2885 pada kolom [7] diperoleh melalui program rekalisasi. Nilai tersebut tercantum pada sertifikat kalibrasi yang dikeluarkan oleh NMIA. Sedangkan koreksi *standard digital voltmeter* pada kolom [8] diperoleh dari kalibrasi yang dilakukan di KIM-LIPI. Dengan menerapkan persamaan [9] maka koreksi pembacaan dari power meter ZERA RMM3001 dikalkulasi dan ditampilkan pada kolom [9]. Hasil evaluasi memberikan laporan bahwa nilai tersebut berkesesuaian dengan kelas akurasi dari power meter ZERA RMM3001 yaitu berkelas 0,02% atau sebesar 200 ppm.

Tabel 1 Hasil pengukuran power meter ZERA RMM3001 terhadap *Standard Watt Converter* (SWC) YEW 2885.

| Teg (V) [1] | Ar (A) [2] | Cos Phi [3] | Daya Nom (W) [4] | YEW /ZERA [5] | Pembacaan [6] | | | | |
|-------------------|------------------|----------------|---------------------------|---------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 120 | 5 | 1 | 600 | YEW (V) | 3,998314 | 3,998320 | 3,998314 | 3,998309 | 3,998312 |
| | | | | ZERA (W) | 600,0217 | 600,0227 | 600,0246 | 600,0234 | 600,0257 |
| | | | | ΔW (W) | -0,2746 | -0,2747 | -0,2775 | -0,2771 | -0,2789 |
| | | 0,8 Lag | 480 | YEW (V) | 3,198990 | 3,198995 | 3,199000 | 3,199001 | 3,198993 |
| | | | | ZERA (W) | 480,0069 | 480,0068 | 480,0010 | 480,0090 | 480,0010 |
| | | | | ΔW (W) | -0,1584 | -0,1576 | -0,1510 | -0,1589 | -0,1520 |
| | 5 | 0,8 lead | 480 | YEW (V) | 3,198204 | 3,198200 | 3,198198 | 3,198200 | 3,198201 |
| | | | | ZERA (W) | 480,0280 | 480,0237 | 480,0298 | 480,0209 | 480,0233 |
| | | | | ΔW (W) | -0,2974 | -0,2937 | -0,3001 | -0,2909 | -0,2931 |
| | | 0,5 Lag | 300 | YEW (V) | 1,999648 | 1,999641 | 1,999653 | 1,999641 | 1,999650 |
| | | | | ZERA (W) | 299,9973 | 299,9989 | 299,9975 | 299,9939 | 299,9989 |
| | | | | ΔW (W) | -0,0501 | -0,0528 | -0,0496 | -0,0478 | -0,0514 |
| | 0,5 lead | 300 | 300 | YEW (V) | 1,998486 | 1,998504 | 1,998484 | 1,998497 | 1,998493 |
| | | | | ZERA (W) | 300,0294 | 300,0225 | 300,0282 | 300,0295 | 300,0244 |
| | | | | ΔW (W) | -0,2565 | -0,2469 | -0,2556 | -0,2550 | -0,2505 |

| Teg (V) [1] | Ar (A) [2] | Cos Phi [3] | Daya Nom (W) [4] | YEW /ZERA [5] | Pembacaan [6] | | | | |
|-------------------|------------------|----------------|---------------------------|---------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 120 | 5 | 1 | 600 | YEW (V) | 3,998325 | 3,998318 | 3,998317 | 3,998321 | 3,998329 |
| | | | | ZERA (W) | 600,0229 | 600,0216 | 600,0257 | 600,0232 | 600,0250 |
| | | | | ΔW (W) | -0,2742 | -0,2739 | -0,2781 | -0,2750 | -0,2756 |
| | | 0,8 Lag | 480 | YEW (V) | 3,199001 | 3,198996 | 3,198997 | 3,199007 | 3,199002 |
| | | | | ZERA (W) | 480,0063 | 480,0026 | 480,0040 | 480,0104 | 480,0035 |
| | | | | ΔW (W) | -0,1562 | -0,1532 | -0,1545 | -0,1594 | -0,1532 |
| | | 0,8 lead | 480 | YEW (V) | 3,198207 | 3,198209 | 3,198203 | 3,198199 | 3,198204 |
| | | | | ZERA (W) | 480,0264 | 480,0259 | 480,0274 | 480,0235 | 480,0295 |
| | | | | ΔW (W) | -0,2954 | -0,2946 | -0,2970 | -0,2937 | -0,2989 |
| | | 0,5 Lag | 300 | YEW (V) | 1,999639 | 1,999647 | 1,999642 | 1,999647 | 1,999643 |
| | | | | ZERA (W) | 299,9973 | 299,9989 | 299,9975 | 299,9939 | 299,9989 |
| | | | | ΔW (W) | -0,0501 | -0,0528 | -0,0496 | -0,0478 | -0,0514 |
| | | 0,5 lead | 300 | YEW (V) | 1,998486 | 1,998504 | 1,998484 | 1,998497 | 1,998493 |
| | | | | ZERA (W) | 300,0294 | 300,0225 | 300,0282 | 300,0295 | 300,0244 |
| | | | | ΔW (W) | -0,2565 | -0,2469 | -0,2556 | -0,2550 | -0,2505 |

Tabel 2 Evaluasi nilai koreksi pembacaan power meter ZERA RMM3001 sebagai UUC.

| Teg (V) [1] | Ar (A) [2] | Cos Phi [3] | | Daya Nom (W) [4] | Kor. terukur (W) [5] | Kor. terukur /ppm [6] | Kor. YEW /ppm [7] | Kor. FLUKE /ppm [8] | Kor. UUC /ppm [9] |
|-------------------|------------------|----------------|------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 120 | 5 | 1 | | 600 | -0,2760 | -460 | 480 | -9 | 11 |
| | | 0,8 | lag | 480 | -0,1554 | -324 | 380 | -9 | 47 |
| | | | lead | 480 | -0,2955 | -616 | 610 | -9 | -15 |
| | | 0,5 | lag | 300 | -0,0501 | -167 | 310 | -10 | 133 |
| | | 0,5 | lead | 300 | -0,2528 | -843 | 800 | -10 | -53 |

Tabel 3 Laporan kalibrasi power meter ZERA RMM3001.

| Teg. (V) [1] | Ar. (A) [2] | Cos Phi [3] | | Daya Nom. (W) [4] | Kor. UUC /ppm [5] | Exp. Unc. /ppm [6] |
|--------------------|-------------------|----------------|------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 120 | 5 | 1 | | 600 | 11 | 41 |
| | | 0,8 | Lag | 480 | 47 | 50 |
| | | | lead | 480 | -15 | 53 |
| | | 0,5 | Lag | 300 | 133 | 70 |
| | | 0,5 | lead | 300 | -53 | 74 |

Hasil pengukuran berupa unjuk kerja sistem acuan daya AC pada suatu standar power meter yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dirangkum dalam suatu laporan kalibrasi UUC (*Unit Under Calibration*) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Untuk evaluasi ketidakpastian pengukurannya, kaidah yang dipandu oleh JCGM 100:2008 tentang "*Evaluation of measurement data—Guide to expression of uncertainty in measurement*" diterapkan. Sumber-sumber ketidakpastian yang mempengaruhi hasil pengukuran adalah yang dievaluasi secara tipe A yaitu: daya ulang selisih pembacaan; dan yang dievaluasi secara tipe B yaitu: koreksi SWC, *drift* SWC, koreksi penunjukan SDVM, keterbatasan daya baca

(resolusi) SDVM, *offset* sistem pengukuran, dan resolusi dari UUC.

Ketidakpastian standar dari daya ulang selisih pembacaan ditentukan dengan formulasi "*experimental standard deviation of the mean* (ESDM)" dengan derajat kebebasan sebesar 9 dan terdistribusi normal.

Ketidakpastian terbesar nilai koreksi *standard watt converter* yang diperoleh dari sertifikat kalibrasi adalah sebesar 0,006% atau 60 ppm pembacaan dengan tingkat kepercayaan 95% dan faktor cakupan $k = 2$ terdistribusi secara normal. Sehingga memberikan nilai untuk satu standar deviasi sebesar 30 ppm. Kalibrasi SWC ini dilakukan pada bulan Oktober 2012 sehingga *drift* SWC mungkin telah terjadi selama penggunaan di tahun berjalan 2013. *Drift* SWC

tidak mengoreksi hasil pengukuran namun penyimpangannya dimasukkan dalam salah satu faktor yang berkontribusi terhadap hasil pengukuran. Nilai *drift* yang diestimasi, diperoleh dari pengukuran cek antara selama interval waktu April 2013 sampai dengan Juli 2013. Secara rinci nilai-nilai *drift* tersebut dipaparkan kemudian dibawah ini. Satu standar deviasi dari drift ini memiliki nilai terbesar kira-kira sebesar 21 ppm.

Ketidakpastian yang bersumber dari SDVM adalah koreksi pembacaannya, resolusinya dan offsetnya. SDVM dikalibrasi secara langsung sebelum pengukuran sehingga faktor *drift* dapat diabaikan. Ketidakpastian dari SDVM ini berkontribusi sebesar 0,3 ppm untuk satu standar deviasi.

Selanjutnya diikuti dengan 0,05 ppm dan 0,1 ppm untuk ketidakpastian dari resolusi dan offsetnya secara berturut-turut. Selain sumber-sumber ketidakpastian dari standar yang digunakan sumber ketidakpastian dari daya baca power meter sebagai UUC-pun disertakan. Secara komprehensif nilai-nilai ketidakpastian untuk satu standar deviasi yang berkontribusi didaftarkan pada Tabel 4.

4.2. Aspek Pemeliharaan Kepercayaan pada Status Hasil Kalibrasi Menggunakan Standar Acuan Daya

Dalam hal jaminan mutu hasil kalibrasi, laboratorium perlu memantau keabsahan kalibrasi yang dilakukan melalui program keikutsertaan dalam uji banding antar laboratorium (ILC = *Inter Laboratory Comparison*) lembaga-lembaga metrologi nasional negara-negara se-kawasan asia pasifik. ILC tersebut terdaftar dalam nomer registrasi APMP.EM-K5.1 : "*Comparison on AC Power at 120 V, 5 A, PF = 1, 0.5 lag, 0.5 lead, 0.0 lag and 0.0 lead*".

ILC tersebut diikuti di bulan Juli 2013 sampai dengan Agustus 2013 dengan artefak yang diedarkan berupa Power Converter EMH C1-2 berkelas 0,005% atau 50 ppm. Hasil ILC belum dapat dilaporkan sampai artikel ini dibuat. Namun hasil pengukuran di KIM-LIPI dapat dilaporkan dalam suatu resume. Resume hasil pengukuran di KIM-LIPI terhadap artefak ILC suatu power converter pada tegangan 120 V, Arus 5 A dan frekuensi 53 Hz untuk faktor daya 1, 0,5 lag, 0,5 lead, 0,0 lag dan 0,0 lead adalah sebagaimana tertuang dalam Tabel 5. Hasil pengukuran yang telah dilakukan oleh KIM-LIPI diharapkan dapat memiliki nilai yang berkesesuaian dengan hasil pengukuran di negara-negara lain.

Tabel 4 Tabulasi sumber-sumber ketidakpastian pengukuran koreksi pembacaan power meter.

| Cos Phi | P (W) | Type A. /ppm | ZERA Res. /ppm | Sert. YEW /ppm | YEW Drift /ppm | DVM Unc. /ppm | DVM Res. /ppm | DVM Off. /ppm | Comb Unc. /ppm | K | Exp. Unc. /ppm |
|----------|-------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|------|----------------|
| [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] | [8] | [9] | [10] | [11] | [12] |
| 1 | 600 | 0,9 | 0,5 | 15 | 14 | 0,3 | 0,02 | 0,05 | 17 | 2 | 41 |
| 0,8 lag | 480 | 2,0 | 0,6 | 20 | 15 | 0,3 | 0,03 | 0,06 | 22 | 2 | 50 |
| 0,8 lead | 480 | 1,9 | 0,6 | 20 | 17 | 0,3 | 0,03 | 0,06 | 25 | 2 | 53 |
| 0,5 lag | 300 | 1,5 | 1,0 | 30 | 18 | 0,3 | 0,05 | 0,10 | 31 | 2 | 70 |
| 0,5 lead | 300 | 3,5 | 1,0 | 30 | 21 | 0,3 | 0,05 | 0,10 | 35 | 2 | 74 |

Tabel 5 Resume hasil pengukuran power converter EMH C1-2.

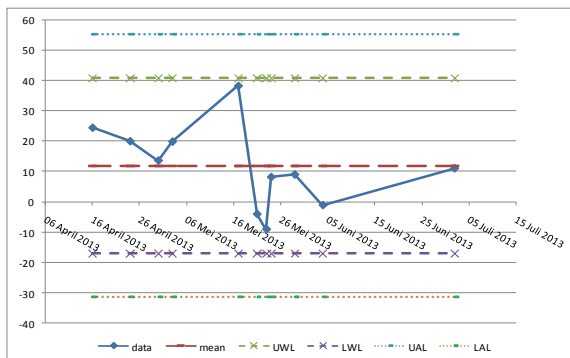
| Tegangan (V) | Arus (A) | PF | Kesalahan (μ W/VA) | Ketidakpastian (μ W/VA) |
|--------------|----------|----------|-------------------------|------------------------------|
| 120 | 5 | 1 | -43 | 35 |
| | | 0,5 lag | -47 | 34 |
| | | 0,5 lead | -39 | 35 |
| | | 0,0 lag | -3 | 33 |
| | | 0,0 lead | -4 | 33 |

Lebih dari pada itu, pengecekan terhadap suatu hasil pengukuran koreksi pembacaan power meter oleh sistem acuan daya AC telah dilakukan selama periode 4 bulan. Pengecekan

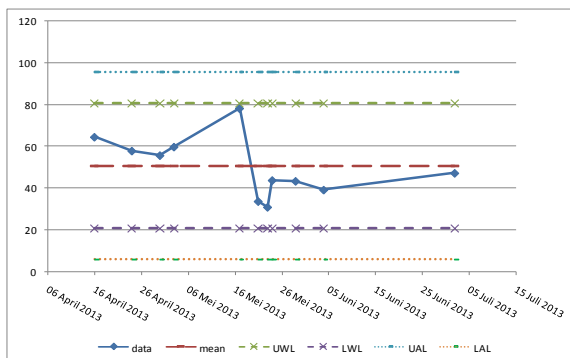
tersebut dimaksudkan untuk dapat menset perkiraan batas-batas peringatan dan tindakan. sehingga dalam periode interval cek antara nilai

yang diharapkan berada pada ambang kontrol dari batas-batas tersebut.

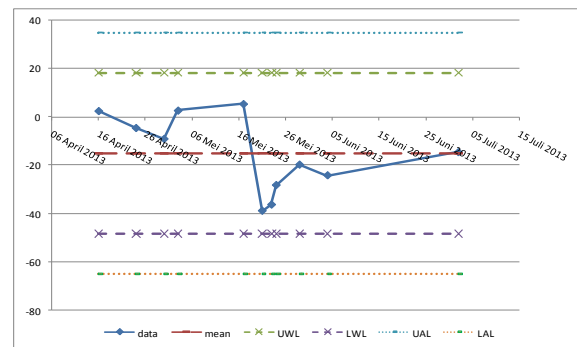
Pengecekan tersebut juga memberikan informasi perubahan atau penyimpangan hasil pengukuran terhadap perjalanan waktu yang biasa dikenal dengan istilah *drift*. Adapun metode pengecekan dilakukan sama halnya dengan pengukuran koreksi pembacaan power meter sebagaimana telah dipaparkan dalam metode penelitian. Sebanyak 11 hasil pengukuran diperoleh selama pengecekan hasil pengukuran pada tegangan 120 V, arus 5 A, dan frekuensi 53 Hz untuk faktor daya PF = 1; 0,8 lag; 0,8 lead; 0,5 lag; dan 0,5 lead. Hasil pengukuran tersebut diplotkan kedalam bagan dimana faktor peubahnya adalah waktu. Bagan-bagan pengecekan tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



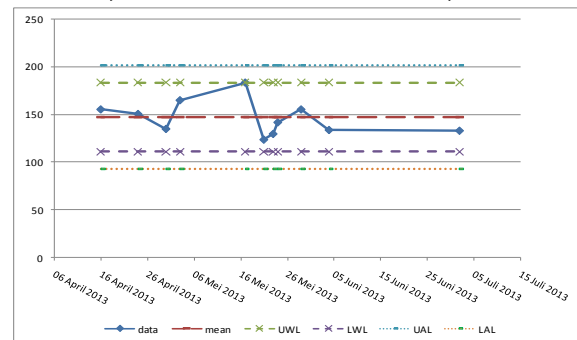
Gambar 3a Pengecekan untuk tegangan 120 V, arus 5 A, frekuensi 53 Hz dan PF = 1.



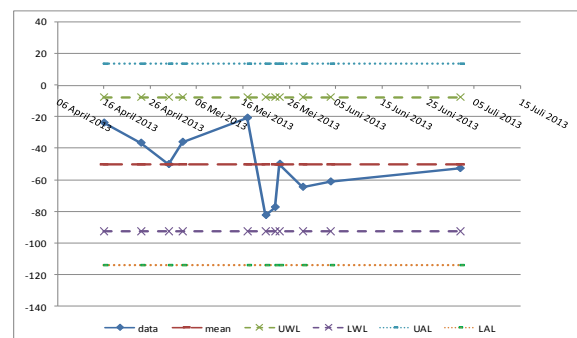
Gambar 3b Pengecekan untuk tegangan 120 V, arus 5 A, frekuensi 53 Hz dan PF = 0,8 lag.



Gambar 3c Pengecekan untuk tegangan 120 V, arus 5 A, frekuensi 53 Hz dan PF = 0,8 lead.



Gambar 3d Pengecekan untuk tegangan 120 V, arus 5 A, frekuensi 53 Hz dan PF = 0,5 lag.



Gambar 3e Pengecekan untuk tegangan 120 V, arus 5 A, frekuensi 53 Hz dan PF = 0,5 lead.

Nilai "*mean*" adalah nilai rata-rata dari "Kor. UUC (ppm)", yang diperoleh dari 11 hasil pengukuran dalam menentukan nilai koreksi pembacaan power meter. Nilai "*UWL*" adalah nilai batas peringatan atas (*upper warning limit*), yang diperoleh dari nilai rata-rata ditambah dua kali simpangan baku, nilai "*LWL*" adalah nilai batas peringatan bawah (*lower warning limit*), yang diperoleh dari nilai rata-rata dikurang dua kali simpangan baku. Nilai "*UAL*" adalah nilai batas tindakan atas (*upper action limit*), yang diperoleh dari nilai rata-rata ditambah tiga kali simpangan baku, dan nilai "*LAL*" adalah nilai batas tindakan bawah (*lower action limit*), yang diperoleh dari nilai rata-rata dikurang tiga kali simpangan baku. Selama data pengukuran pada periode kemudian didapati berada pada interval

"UWL" dan "LWL", maka kepercayaan pada status kalibrasi berada pada kendali statistik. Lebih dari sekedar pengecekan, kendali statistik ini dapat membantu dalam hal memperkirakan drift sistem standar acuan daya AC sehingga dapat ditambahkan sebagai sumber kontribusi ketidakpastian pengukuran. Tabel 6 merupakan

rekap atas kendali statistik yang ditunjukkan kedalam suatu bagan, dimana setiap titik pengukuran yang telah dilakukan, nilai koreksi UUC dengan ketidakpastian gabungannya berada pada batas-batas kendali peringatan dan tindakan.

Tabel 6 Batas-batas kendali atas hasil pengukuran suatu standar power meter ZERA RMM3001.

| Teg (V) | Ar (A) | Cos Phi | Daya Nom. (W) | Kor. UUC /ppm | Com Unc. /ppm | Mean Kor. UUC /ppm | UWL /ppm | LWL /ppm | UAL /ppm | LAL /ppm |
|---------|--------|----------|---------------|---------------|---------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| 120 | 5 | 1 | 600 | 11 | 17 | 12 | 41 | -17 | 55 | -31 |
| | | 0,8 lag | 480 | 47 | 22 | 51 | 81 | 21 | 96 | 6 |
| | | 0,8 lead | 480 | -15 | 25 | -15 | 18 | -48 | 35 | 65 |
| | | 0,5 lag | 300 | 133 | 31 | 147 | 184 | 111 | 202 | 93 |
| | | 0,5 lead | 300 | -53 | 35 | -50 | -8 | -93 | 14 | -114 |

5. KESIMPULAN

Melalui penelitian ini, sistem pengukuran berbasis *standard watt converter* (SWC) telah dibangun untuk mewujudkan standar pengukuran acuan daya AC dengan ketelitian pengukuran yang lebih baik dari 75 ppm (pada faktor cakupan 2 dan tingkat kepercayaan 95%). Unjuk kerja sistem pada suatu standar power meter UUC (*Unit Under Calibration*) pada titik pengukuran: tegangan 120 V, arus 5 A, frekuensi 53 Hz, dan faktor daya 1; 0,8 lag; 0,8 lead; 0,5 lag dan 0,5 lead telah menghasilkan laporan kalibrasi sebagai ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil evaluasi memberikan laporan bahwa nilai tersebut berkesesuaian dengan kelas akurasi dari power meter ZERA RMM3001 yaitu berkelas 0,02 % atau sebesar 200 ppm.

Selain realisasi standar secara fisik berupa sistem pengukuran yang tertelusur pada sistem satuan internasional (SI) serta unjuk kerjanya dalam diseminasi nilai standar acuan, pemeliharaan dan pengendalian hasil pengukuranpun telah dilakukan, sehingga menghasilkan suatu bagan kendali atas pengukuran suatu standar power meter UUC, sebagai contoh ZERA RMM3001.

DAFTAR PUSTAKA

- Akil, H. A, dkk. (2007). *Naskah Akademik: Penataan peraturan perundang-undangan kemetrollogian untuk mendukung daya saing nasional*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Pusat Penelitian Kalibrasi, Instrumentasi, dan Metrologi - LIPI.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). Komite Akreditasi Nasional (KAN-BSN). *KAN Guide on Measurement Assurance (KAN-G-06)*. Juni 2004. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI ISO/IEC 17025: 2008, Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi*. Jakarta: BSN.
- Faisal, A, dkk. (2012). *Kalibrasi Standar Daya Listrik dengan metode pengukuran langsung menggunakan standard watt converter*. Publikasi Ilmiah PPI-KIM.
- Instruction Manual. (1984). *Standard Watt Converter Type 2885*. Yokogawa November 1984, Jepang.
- JCGM 100:2008. (2008). *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement*. September 2008, BIPM.
- Munir M, Faisal A. (2014). *Metode Komparasi pada Kalibrasi Standar-Antara untuk Besaran Daya AC*. Draft Publikasi Ilmiah PPI-KIM 2014.
- Service Manual. (2004). *Reference Multimeter Fluke 8508A*. Fluke Corporation, September 2004 United State of America.
- Tomota. M, Suyiama. T, Yamaguchi. K. (1986). *An Electronic multiplier for accurate power measurements*. IEEE Trans. Power. Del., vol PWRD-1, pp. 61-67, Juli 1986.
- User Manual. (2008). *Electrical Power Standard Fluke 6100A*. Fluke Corporation, Desember 2008 United Kingdom.Filipski. P.S (1990). *A TDM Wattmeter with 0.5 MHz Carrier Frequency*. IEEE Trans. on Instrum. and Meas., vol 39, No 1 Februari 1990.