

PENGEMBANGAN SISTEM PENGUKURAN OTOMATIS UNTUK *THERMAL VOLTAGE CONVERTER* BERBASIS VISUAL BASIC PADA KETELITIAN DI BAWAH 2 μV

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC MEASUREMENT SYSTEM FOR THERMAL VOLTAGE CONVERTER BASED ON VISUAL BASIC IN UNCERTAINTY BELOW 2 μV

Hadi Sardjono, Mohamad Syahadi, Hayati Amalia

Pusat Riset dan Pengembangan Sumber Daya Manusia - Badan Standardisasi Nasional
(Pusrisbang SDM – BSN)
Kompleks Puspiptek, Gedung 430, Setu, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia 15314
E-mail : hadisarjono@bsn.go.id

ABSTRAK

Sejak 24 tahun yang lalu, pengukuran *Thermal Voltage Converter* (TVC) telah dilakukan secara semi-otomatis di Laboratorium Standar Nasional Satuan Ukuran Kelistrikan (Lab SNSU Kelistrikan) yang dikelola oleh Pusat Riset dan Pengembangan Sumber Daya Manusia – Badan Standardisasi Nasional (Pusrisbang SDM – BSN). Proses pengukuran didukung oleh perangkat lunak Turbo Pascal berbasis DOS dengan perangkat keras (*hardware*) yang mutu operasionalnya telah mengalami penurunan. Sementara itu, pemeliharaan ketertelusuran harus mutlak dijamin oleh mutu sistem pengukuran yang andal, baik secara *software* maupun *hardware*. Pada penelitian ini telah dilakukan pengembangan sistem pengukuran TVC tersebut menggunakan suatu program otomatis berbasis Visual Basic. Proses kontrol diubah dari sistem kontak putar yang berbasis 3 langkah pengukuran menjadi 2 langkah pengukuran dengan posisi pengukuran DC+ dan AC. Proses pengukuran polaritas DC- diperoleh dengan cara mengontrol instrumen sumber DC melalui program yang dibangun menggunakan perangkat lunak Visual Basic. Berdasarkan hasil analisis terhadap pengukuran yang telah dilakukan, selain jumlah data pengukuran dapat direduksi, ketelitian hasil pengukuran juga meningkat dari 1.8 μV menjadi 1.7 μV pada titik ukur 1 V.

Kata kunci: *Thermal Voltage Converter* , otomasi pengukuran, visual basic.

ABSTRACT

Since 24 years ago, Thermal Voltage Converter (TVC) measurements have been carried out semi-automatically in the Laboratory of National Measurement Standards for Electricity (Lab NMS for Electricity) managed by Center for Research and Human Resource Development – National Standardization Agency of Indonesia. The measurement process was supported by DOS-based Turbo Pascal software with hardware devices whose operational quality has decreased. Meanwhile, the maintenance of traceability has to be absolutely guaranteed by the quality of a measurement system which reliable both software and hardware. In this research, the TVC measurement system development has been carried out using an automatic program based on Visual Basic software. The control process is changed from a rotary contact system based on three measurement steps to two measurement steps with DC+ and AC measurement positions. The DC- polarity measurement process is obtained by controlling the DC source instrument through a program built using Visual Basic software. Based on the analysis results of the measurement performed, in addition to the amount of measurement data can be reduced, the measurement results accuracy also increases from 1.8 μV to 1.7 μV at the one Volt measurement point.

Keywords: *thermal voltage converter, automatic measurement, visual basic.*

1. PENDAHULUAN

Laboratorium Standar Nasional Satuan Ukuran – Badan Standardisasi Nasional (Lab SNSU BSN) mengemban tanggung jawab yang besar sejak diterbitkannya Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian (UU SPK) pasal 43, yang menetapkan BSN sebagai pengelola Standar Nasional untuk Satuan Ukuran (SNSU). Lab SNSU Kelistrikan – BSN sebagai salah satu laboratorium nasional yang berada di bawah naungan Lab SNSU BSN memiliki tanggung jawab antara lain

mendiseminasikan satuan kelistrikan melalui aktifitas kalibrasi tegangan listrik AC (V_{AC}). Peranan pengukuran tegangan listrik AC dalam aspek ekonomi sangat besar karena aplikasi dari pengukuran ini adalah muara dari proses penghematan konsumsi pengguna listrik baik untuk perumahan maupun industri.

Instrumen standar *Thermal Voltage Converter* (TVC), standar primer untuk besaran kelistrikan V_{AC} yang dimiliki oleh Lab SNSU Kelistrikan – BSN, adalah berupa *Thermo Element* (TE) yang mampu mengkalibrasi peralatan kelistrikan

tegangan AC dengan rentang pengukuran dari 1 V sampai dengan 1.000 V pada frekuensi kerja 10 Hz hingga 10 kHz (Hermach, 1976). Pengukuran paling akurat untuk V_{AC} adalah dengan membandingkannya dengan tegangan DC (V_{DC}) menggunakan TVC yang mempunyai kemampuan untuk memberikan respon yang hampir sama ketika disuplai dengan V_{AC} dan V_{DC} . Tegangan bolak-balik pada V_{AC} dan langsung pada V_{DC} memiliki amplitudo efektif yang sama ketika mereka menghasilkan jumlah daya yang identik dalam elemen resistif murni (R. S.M. Ali, 2014) (Halawa & Al-Rashid, 2010). Hal ini dikarenakan sebuah *single junction* TVC (SJTV) merupakan resistor listrik aktif (pemanas) yang suhunya dirasakan oleh elemen termokopel standar (Mohammed, 2009).

Selama 20 tahun, ketelitian standar TVC telah dipelihara dengan menggunakan sebuah proses pengukuran berbasis sistem pengukuran semi otomatis. Pemeliharaan ketelitian TVC ini juga telah dilakukan dengan metode *Build-up Build-down* sehingga dapat mengurangi waktu dan biaya kalibrasi (Sardjono & Wijonarko, 2018). Selain itu, teknik *Budovsky* telah mengurangi kompleksitas pengukuran transfer AC-DC, waktu pengukuran dan ketidak-pastian pengukuran di beberapa titik dengan

menggunakan sistem pengukuran semi-otomatis (Pal, Ahmad, & Govil, 2013). Proses pengukuran tersebut dilakukan berbasis sistem operasi DOS dengan menggunakan perangkat lunak Turbo Pascal. Secara teknis, sistem pengukuran ini perlu dikembangkan (*up-grade*) karena adanya keterbatasan dalam hal operasional instrumen sumber standar DC dan keandalan operasional perangkat lunak. Pengembangan ini dapat dilakukan dengan cara menambahkan perangkat keras pada desain komparator termasuk *stepping motor-driven switch* dan *range changer* dari standar transfer elektronik komersial. Perangkat lunak yang dirancang ulang dapat dengan mudah dimodifikasi untuk menerima instrumen baru dan prosedur baru (Filipski & Rinfret, 2000).

Sistem pengukuran TVC terdiri dari dua buah sumber tegangan (AC dan DC), dua buah meter tegangan DC, satu buah unit kontak putar, satu buah TVC standar, dan satu buah TVC UUT. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui beda nilai kemampuan transfer dari besaran AC ke DC yang disebut nilai beda transfer AC-DC. Kedua TVC, TVC standar dan TVC UUT, secara bersama-sama disuplai oleh sumber tegangan AC dan DC secara bergantian menggunakan sebuah kontak pembalik (*reversing switch*) sehingga dapat dilakukan pengukuran berdasarkan suplai tegangan AC, pada frekuensi

tertentu, dan tegangan DC, yang terdiri dari sinyal DC+ dan DC-. Urutan pengukurannya mengikuti teknik Budovsky yang disebut dengan 3 langkah pengukuran, yaitu DC+, AC, DC- (Budovsky & Inglis, 1999). Tiga langkah pengukuran tersebut menghasikan sejumlah data pengukuran beda transfer AC-DC yang diperoleh menggunakan sebuah program komputer.

Karena sumber tegangan DC yang dipergunakan untuk sistem pengukuran tersebut mengalami kerusakan karena umur operasional yang sudah lama dan sudah tidak diproduksi lagi, maka perlu dikembangkan sistem kontak baru. Pada penelitian ini telah berhasil dikembangkan sebuah sistem pengontak-an baru yang hanya melakukan dua proses pengukuran, yaitu berdasarkan suplai tegangan DC dan AC saja. Kontak yang baru ini dilakukan secara otomatis menggunakan perangkat lunak *Visual Basic*. Dengan sistem kontak yang baru ini, penggunaan sumber tegangan DC yang lama, yang merupakan sumber tegangan bertipe analog, dapat digantikan perannya dengan menggunakan sumber tegangan DC yang baru bertipe digital. Dengan demikian, sistem pengukuran TVC dapat dilakukan secara otomatis penuh karena kontrol suplai tegangan DC dapat dilakukan berdasarkan program yang telah dibangun.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip pengukuran TVC adalah membandingkan efek panas dari sebuah elemen yang disuplai oleh tegangan AC dan tegangan DC secara bergantian. Efek panas dari elemen tersebut dibaca dengan menggunakan *thermocouple* dalam bentuk tegangan (EMF/ *electromotive force*). Model matematis untuk pengukuran ini ditunjukkan oleh Persamaan (1) (El-Metwally & Halawa, 2013).

$$\delta_{AC-DC} = \frac{V_{AC} - V_{DC}}{V_{DC}} \dots\dots\dots [1]$$

di mana :

δ_{AC-DC} = nilai beda transfer AC-DC

V_{AC} = tegangan AC

V_{DC} = tegangan DC

V_{DC} merupakan nilai rata-rata dari pengukuran *forward* dan *reverse*, yaitu ketika TVC disuplai tegangan DC dengan dibalik polaritasnya secara bergantian. Nilai V_{DC} ini didapatkan dengan menggunakan rumus pada Persamaan (2).

$$V_{DC} = \frac{V_{DC+} + V_{DC-}}{2} \dots\dots\dots [2]$$

di mana :

V_{DC} = tegangan DC

V_{DC+} = nilai hasil pengukuran ketika disuplai oleh tegangan DC dengan polaritas *forward*

V_{DC} = nilai hasil pengukuran ketika disuplai oleh tegangan DC dengan polaritas *reverse*

Oleh karena efek panas dari elemen TVC berupa tegangan EMF, maka kuantitas EMF DC (E_{DC}) dan EMF AC (E_{AC}) dapat merepresentasikan keluaran EMF dari *thermocouple* ketika V_{DC} dan V_{AC} disuplai ke TVC. Untuk mengevaluasi nilai beda transfer AC-DC dari TVC, Persamaan 1 dijabarkan menjadi Persamaan 3 sebagai berikut (JCGM200:2012, 2012) (Rasha S.M. Ali, 2015) :

$$\delta_{UUT} - \delta_{STD} = \frac{E_{STDAC} - E_{STDDC}}{n_{STD} E_{STDDC}} - \frac{E_{UUTAC} - E_{UUTDC}}{n_{UUT} E_{UUTDC}} \quad (3)$$

di mana :

δ_{UUT} = nilai beda transfer AC-DC TVC UUT

δ_{STD} = nilai beda transfer AC-DC TVC STD

E_{STDAC} = keluaran *electromotive force* (EMF) dari standar (STD) TVC untuk tegangan AC

E_{UUTAC} = keluaran *electromotive force* (EMF) dari *Unit Under Test* (UUT) TVC untuk tegangan AC

E_{STDDC} = rata-rata *electromotive force* (EMF) dari TVC STD untuk

tegangan DC *forward* dan *reverse*

E_{UUTDC} = rata-rata *electromotive force* (EMF) dari TVC UUT untuk tegangan DC *forward* dan *reverse*.

Pada Persamaan (3) terdapat komponen “n” yang merupakan eksponen dari TVC yang menggambarkan karakteristik dari *input-output* TVC yang dirumuskan berdasarkan Persamaan (4).

$$E = KV^n \dots\dots\dots [4]$$

di mana :

E = *output* EMF dari TVC

V = tegangan yang disuplai ke TVC

K = konstanta perubahan elemen *heater*

n = n indek yang normalnya memiliki nilai antara 1,6 ~ 1,9 (Rasha S.M. Ali, 2011).

Dengan menurunkan Persamaan (4), hubungan antara perubahan tegangan suplai dari TVC (ΔV) dan perubahan *output* dari TVC (ΔE) dapat dirumuskan pada Persamaan (5) (Nanoelectronics Research Institute - AIST, 2010) (Mageed, Zobaa, Raouf, El-Rahman, & Aziz, 2010):

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta E}{n.E}$$

atau

$$n = \frac{\Delta E}{E} \times \frac{V}{\Delta V} \dots\dots\dots [5]$$

di mana :

n = n indek yang normalnya memiliki nilai antara 1,6 ~ 1,9 (Rasha S.M. Ali, 2011).

- ΔE = perubahan *output* dari TVC
- ΔV = perubahan tegangan suplai dari TVC
- E = *output* EMF dari TVC
- V = tegangan yang disuplai ke TVC

Evaluasi dan pengecekan nilai indeks dengan menggunakan Persamaan (5) harus dilakukan terlebih dahulu. Jika nilainya berada di antara rentang 1,6 hingga 1,9, maka kondisi TVC adalah baik dan siap digunakan untuk pengukuran.

Pada penelitian ini dilakukan proses pengukuran dengan metode perbandingan antara TVC standar dengan TVC UUT untuk mendapatkan nilai beda transfer AC-DC TVC UUT yang dapat dicari menggunakan formulasi pada Persamaan (6).

$$\delta_{AC-DC\ standar} = \delta_{AC-DC\ UUT} + \delta_{AC-DC\ koreksi} \dots\dots\dots [6]$$

di mana :

- $\delta_{AC-DC\ standar}$ = beda konversi thermal tegangan AC terhadap tegangan DC untuk TVC standar
- $\delta_{AC-DC\ UUT}$ = beda konversi thermal tegangan AC terhadap tegangan DC untuk TVC UUT
- $\delta_{AC-DC\ koreksi}$ = koreksi beda konversi thermal tegangan AC terhadap tegangan DC antara TVC standar dan UUT.

Dengan menambahkan beberapa komponen ketidakpastian, model

matematis untuk mengevaluasi nilai beda transfer AC-DC TVC UUT (δ_{UUT}) dapat diturunkan menjadi Persamaan (7) (Syahadi, Sardjono, & Khairiyati, 2015) (Farrance & Frenkel, 2012).

$$\begin{aligned} \delta_{UUC} = f(x) &= (\delta_{REF TVC} + \delta_{Drift REF TVC}) + (\delta_{repeatability} + \\ &= \Delta_{DC Source} + \Delta_{connector} + \Delta_{temperature} + \delta_{sensitivity} \\ &= \Delta_{frequency} + \delta_{UUT stability} \dots\dots\dots [7] \end{aligned}$$

di mana :

- δ_{UUT} = beda AC-DC TVC UUT
- $\delta_{REF TVC}$ = beda AC-DC TVC Standar
- $\Delta_{Drift REF TVC}$ = koreksi karena *drift* TVC_{REF}
- $\delta_{repeatability}$ = *repeatability* beda AC-DC
- $\Delta_{DC Source}$ = sumber DC
- $\Delta_{connector}$ = koreksi konektor
- $\Delta_{temperature}$ = koreksi suhu
- $\Delta_{sensitivity}$ = koreksi sensitifitas TVC
- $\Delta_{frequency}$ = koreksi frekuensi
- $\Delta_{UUT stability}$ = koreksi stabilitas TVC_{UUT}

3. METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Perangkat Kontrol

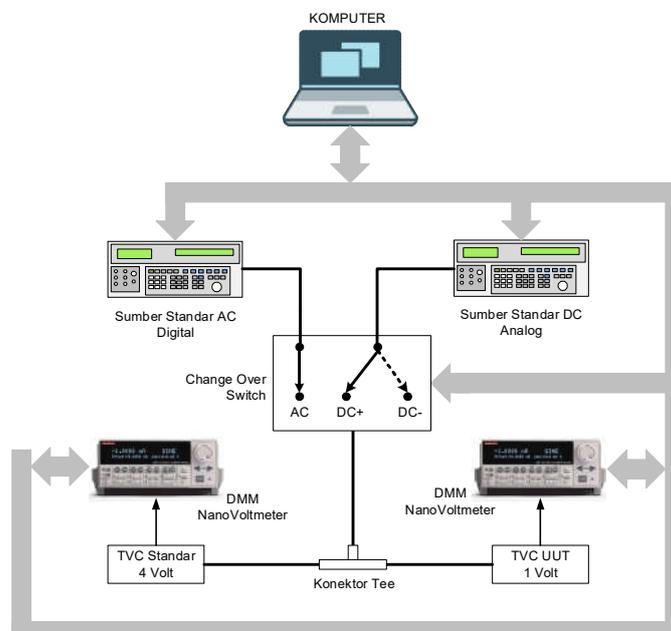
Metode 3 Langkah dan 2 Langkah

Data pengukuran DC+, AC, dan DC- dapat diperoleh berdasarkan skema rangkaian pengukuran TVC metode 3 langkah yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Algoritma rangkaian pengukuran TVC dengan menggunakan 2 langkah kontak tidak mengurangi teknis pelaksanaan pengambilan data seperti pengukuran yang

dihasilkan oleh rangkaian pengukuran TVC metode 3 langkah, yaitu DC+, AC, DC-. Perbedaan yang terjadi pada proses pengukuran ini disebabkan oleh adanya kemampuan suplai sumber standar DC standar analog yang mengalami kerusakan operasional (teknis) sehingga tidak bisa menghasilkan besaran DC-. Sebagai gantinya berupa sumber DC standar digital yang secara spesifikasi teknis hanya mampu membangkitkan maksimal 3 V apabila menggunakan sistem rangkaian dengan metode 3 langkah. Pada penelitian ini besaran data pengukuran DC- diperoleh dengan mengontrolnya melalui suatu perangkat lunak.

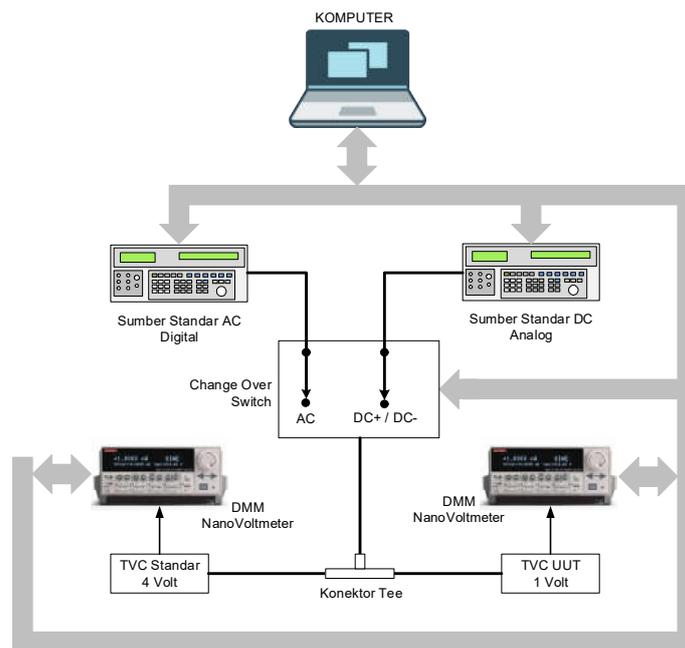
Unit kontrol dari sistem pengukuran ini dibangun berdasarkan rangkaian beberapa

komponen relai sehingga dapat menerima sinyal digital untuk melakukan formasi pengukuran DC dan AC (lihat Gambar 2). Sinyal bit yang dikontrol oleh perangkat lunak Visual Basic dari komputer dengan bantuan pengubah (*converter*) jalur S-P dan berujung di dua terminal saluran kabel terdiri dari 2 bit sinyal kontrol. Dua bit sinyal ini dikontrol sebagai formasi 1-0 dan 0-1 yang masing masing dipergunakan untuk mengontrol langkah pengukuran AC dan DC. Pada langkah pengukuran DC dengan selang waktu 2 kali lipat dari 1 langkah pengukuran dipergunakan untuk membalik polaritas pembangkitan sumber standar DC dari polaritas positif (+) dan polaritas negatif (-).



Gambar 1. Skematik rangkaian pengukuran TVC metode 3 langkah

(Sumber : SJ ELECTRONICS POWER TEST & MEASUREMENT; Laptop, Komputer Gratis Ikon)



Gambar 2. Skematik rangkaian pengukuran TVC metode 2 langkah

(Sumber : SJ ELECTRONICS POWER TEST & MEASUREMENT; Laptop, Komputer Gratis Ikon)

Namun sistem pengukuran tersebut dipandang perlu untuk dikembangkan melalui program penelitian khusus yang berdana, disebut penelitian tematik, pada tahun 2017 karena sumber standar DC yang dipergunakan masih berbasis analog dan mengalami beberapa kerusakan disebabkan usia alat yang sudah lama. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya digunakan instrumen standar DC masa kini yang telah berbasis digital. Keterbatasan instrumen digital ini hanya mampu membangkitkan besaran tegangan DC di bawah 3 V, sedangkan TVC yang harus dikalibrasi memiliki titik ukur mencapai 1.000 V. Oleh karena sistem pengukuran TVC membutuhkan 3 langkah

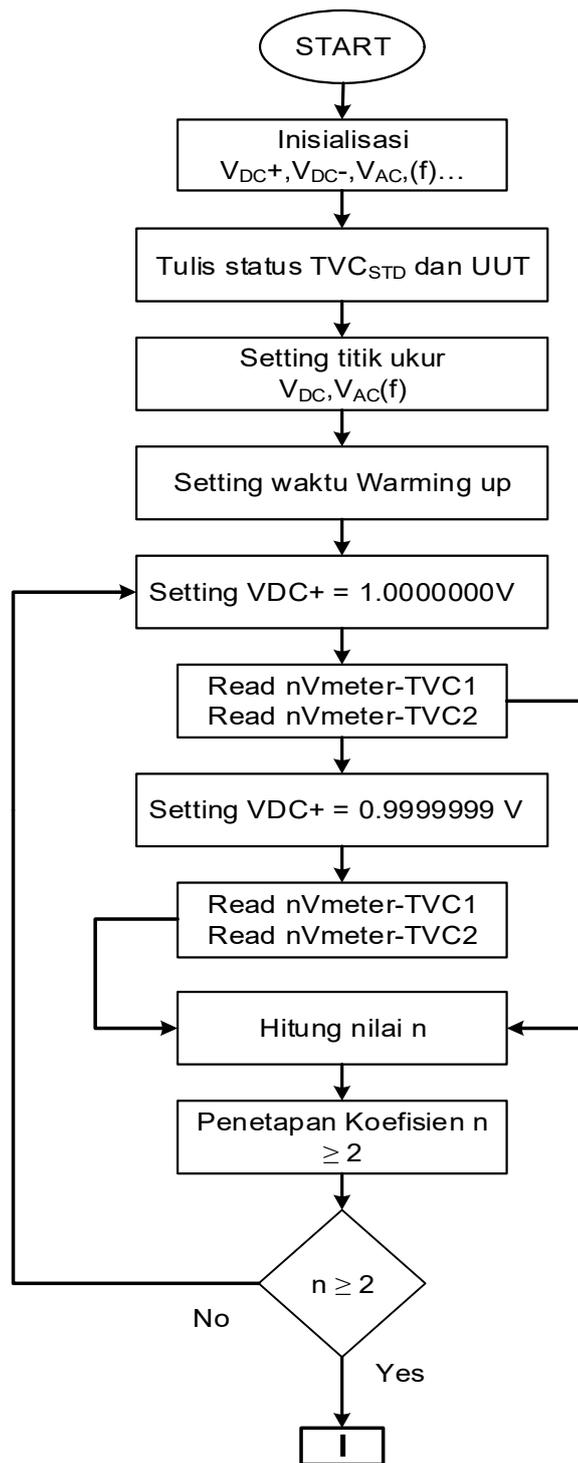
pengambilan data yaitu DC+, AC, DC-, maka pada penelitian ini akan dibangun sebuah sistem kontak 2 langkah, yaitu AC dan DC yang dilengkapi dengan tambahan perangkat lunak untuk mengontrol sumber standar digital agar dapat membangkitkan besaran DC-. Dengan demikian, pada 1 langkah pengontakan DC dipergunakan untuk menghasilkan data pengukuran DC (DC+) hasil kontak dan DC- hasil pengontrolan sumber standar DC dengan perangkat lunak.

3.2. Perancangan Perangkat Lunak

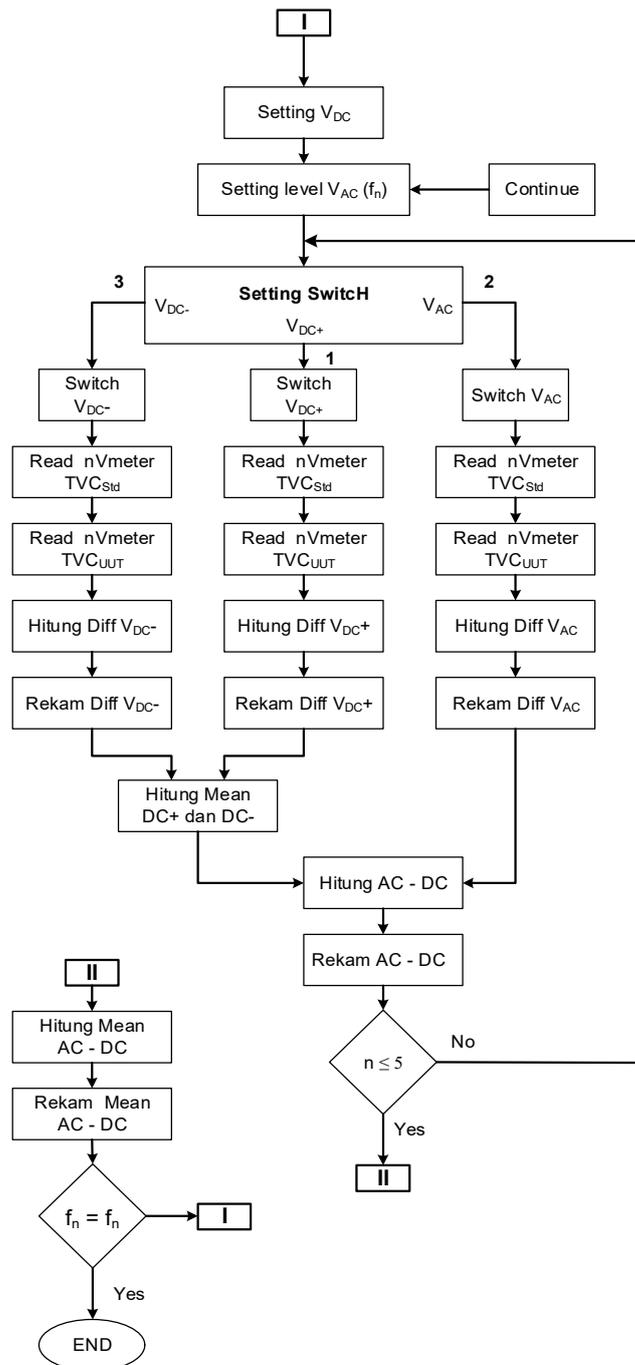
Alur langkah yang dilakukan pada proses pengukuran otomatis, sesuai dengan diagram alur algoritma program verifikasi

kestabilan pengukuran yang ditunjukkan oleh Gambar 3 dan algoritma program pengambilan data dan rekaman hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh Gambar 4, dapat gambarkan berdasarkan tahapan tahapan berikut :

- a) Pengaturan awal variabel
- b) Verifikasi pengukuran pada bilangan n (stabilitas TVC) antara 1.6 sampai dengan 1.9
- c) Penetapan titik pengukuran V_{DC} dan V_{AC}
- d) Otomasi suplai sumber $V_{AC1.1}$ pada frekuensi f_1 dan perekaman hasil pengukuran output $TVC_{AC1.1}$
- e) Otomasi suplai sumber V_{DC1+} dan perekaman hasil pengukuran output TVC_{DC1+}
- f) Otomasi suplai sumber $V_{AC1.2}$ pada frekuensi f_1 dan perekaman hasil pengukuran output $TVC_{AC1.2}$
- g) Otomasi suplai sumber V_{DC1-} (membalik polaritasi sumber) dan perekaman hasil pengukuran output TVC_{DC1-}
- h) Otomasi suplai sumber $V_{AC1.3}$ pada frekuensi f_1 dan perekaman hasil pengukuran output $TVC_{AC1.3}$
- i) Ulangi langkah d – h sebanyak 5 kali
- j) Kalkulasi nilai beda AC-DC dan tampilkan untuk titik pengukuran 1
- k) Otomasi suplai sumber $V_{AC2.1}$ pada frekuensi f_2 dan perekaman hasil pengukuran output $TVC_{AC2.1}$
- l) Otomasi suplai sumber V_{DC2+} dan perekaman hasil pengukuran output TVC_{DC2+}
- m) Otomasi suplai sumber $V_{AC2.2}$ pada frekuensi f_2 dan perekaman hasil pengukuran output $TVC_{AC2.2}$
- n) Otomasi suplai sumber V_{DC2-} (membalik polaritasi sumber) dan perekaman hasil pengukuran output TVC_{DC2-}
- o) Otomasi suplai sumber $V_{AC2.3}$ pada frekuensi f_2 dan perekaman hasil pengukuran output $TVC_{AC2.3}$
- p) Ulangi langkah j – o sebanyak 5 kali
- q) Kalkulasi nilai beda AC-DC dan tampilkan untuk titik pengukuran 2
- r) Secara berkelanjutan, seterusnya untuk f_1 sampai dengan f_n
- s) Ulangi langkah d) sampai dengan r) secara berkelanjutan, seterusnya untuk titik ukur tegangan selanjutnya sampai dengan 1.000 V.
- t) Selesai



Gambar 3. Algoritma program verifikasi kestabilan pengukuran



Gambar 4. Algoritma program pengambilan data dan rekaman hasil pengukuran

3.3. Perancangan Perangkat Keras (R-F Switch)

Perangkat keras kontak *Reversing* (R) memiliki dua pasang terminal *input* yang masing masing sebagai terminal sinyal AC dan sinyal DC dan sepasang terminal *output*. Setiap terminal input tersebut dapat

disambungkan secara bergiliran ke terminal *output* melalui sepasang relai tipe Jenning. Relai tipe Jenning, seperti yang

ditunjukkan oleh Gambar 5, memiliki spesifikasi teknis yang sesuai dengan kemampuan alir sinyal AC maupun DC

mencapai 4 kV. Relai Jenning tipe *SPDT* (*Single Pole Doble Throw*) ini dapat difungsikan untuk mengalirkan sinyal pengukuran dengan mensuplai sinyal pembangkit (*energizer*) berupa tegangan DC sebesar 12 V pada arus maksimal 0,26 A.

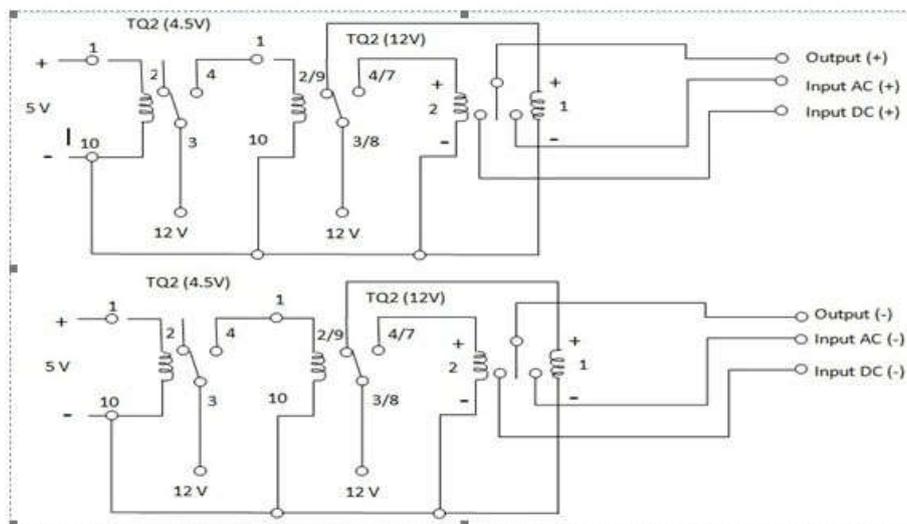


Gambar 5. Relai Jenning tipe SPDT RF60-26S

Sinyal pembangkit (*energizer*) dapat mengaktifkan relai untuk menyalurkan sinyal dari terminal sinyal pengukuran dari

satu terminal yang disebut sebagai *single pole* ke kedua terminal yang disebut *double throw* secara bergantian. Artinya, apabila terminal *single pole* dialiri sinyal pengukuran, maka pada saat relai diaktivasi akan terjadi aliran sinyal (disambungkan) dari terminal *single pole* ke salah satu terminal sinyal pengukuran. Demikian pula sebaliknya untuk terminal sinyal pengukuran lainnya.

Untuk membangun sebuah unit kontak metode 2 langkah dibutuhkan 2 relai tipe SPDT, artinya dibutuhkan dua formasi sinyal pembangkit (*energizer*) yaitu 1,0 dan 0,1. Masing masing relai di-*energize* oleh formasi rangkaian relai mikro tertentu sehingga dapat diperoleh sebuah proses kerja untuk mengalirkan sinyal pengukuran AC dan DC secara bergantian (lihat Gambar 6).



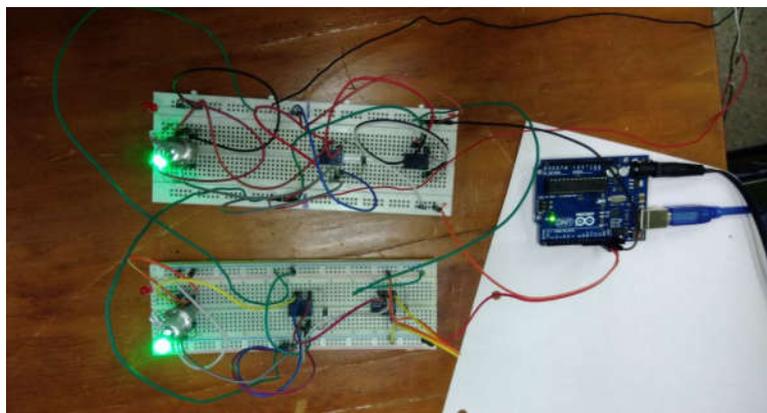
Gambar 6. Rangkaian *Relay* Kontak R Berbasis Analog Metode 2 Langkah

3.4. Rangkaian Pengubah Jalur Data Seri ke Paralel dan Pemandu R-F Switch

Sinyal masukan pengontrol kontak *Reversing* yang berupa bilangan biner berbasis formasi aliran data paralel diperoleh dari komputer yang berbasis *OS Window's* memiliki formasi aliran serial. Untuk keperluan itu dibangun sebuah unit pengubah aliran data dari serial ke paralel. Unit pengubah aliran dilakukan dengan menggunakan pengubah (*converter*) komersial tipe ARDUINO. Sesuai dengan kebutuhan sinyal pemandu pengubah aliran ini akan mensuplai dua bit formasi, yaitu 1,0 dan 0,1 maka diperoleh formasi

pengukuran berupa warna lampu LED.

Formasi bit 1 dan 0 akan memandu kontak *reversing* untuk menyalakan LED warna hijau yang menunjukkan formasi pengukuran AC dan pada bit formasi 0 dan 1 untuk menyalakan LED warna merah yang menunjukkan formasi pengukuran DC. Artinya LED warna hijau akan memandu relai utama (tipe Jenning) menyalurkan aliran sinyal AC dari sumber AC dan warna merah akan mengalirkan aliran sinyal DC dari sumber DC. Gambar 7 menunjukkan proses kerja kontak *reversing* pada posisi pengukuran AC setelah dipandu oleh unit pengubah.

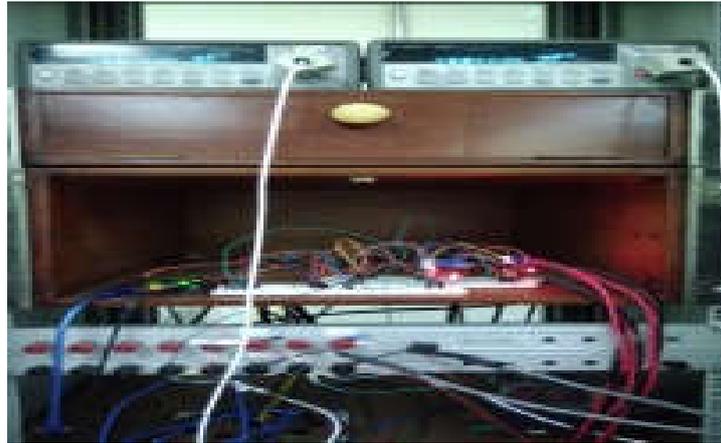


Gambar 7. Unit Pengubah Jalur Serial – Paralel dan Unit Kontrol

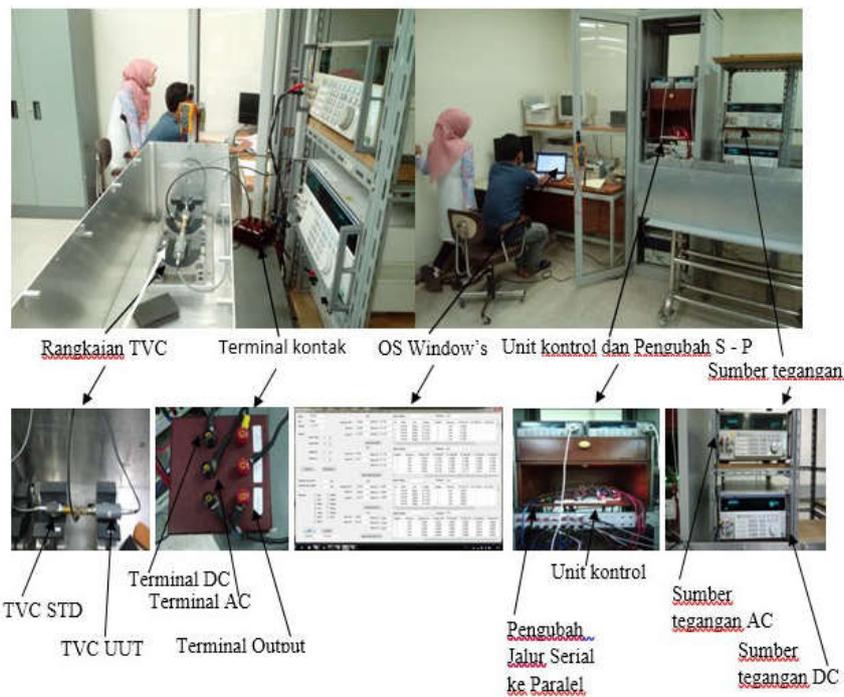
3.5. Implementasi Unit Kontak *Reversing* dan Unit Pengubah pada Sistem Pengukuran TVC

Fungsi utama unit pengubah (lihat Gambar 8) jalur S-P (Serial ke Paralel) adalah sebagai tatap muka terminal USB dari komputer ke input unit kontrol. Formasi

bit yang dikirim oleh komputer dengan terminal USB adalah sederetan bit 0 dan 1 secara serial (satu per satu bit). Adapun unit kontrol yang terdiri dari sekumpulan relai akan bekerja berdasarkan formasi masukan paralel (serentak).



Gambar 8. Koneksi Unit Kontrol dan Unit Pengubah Jalur



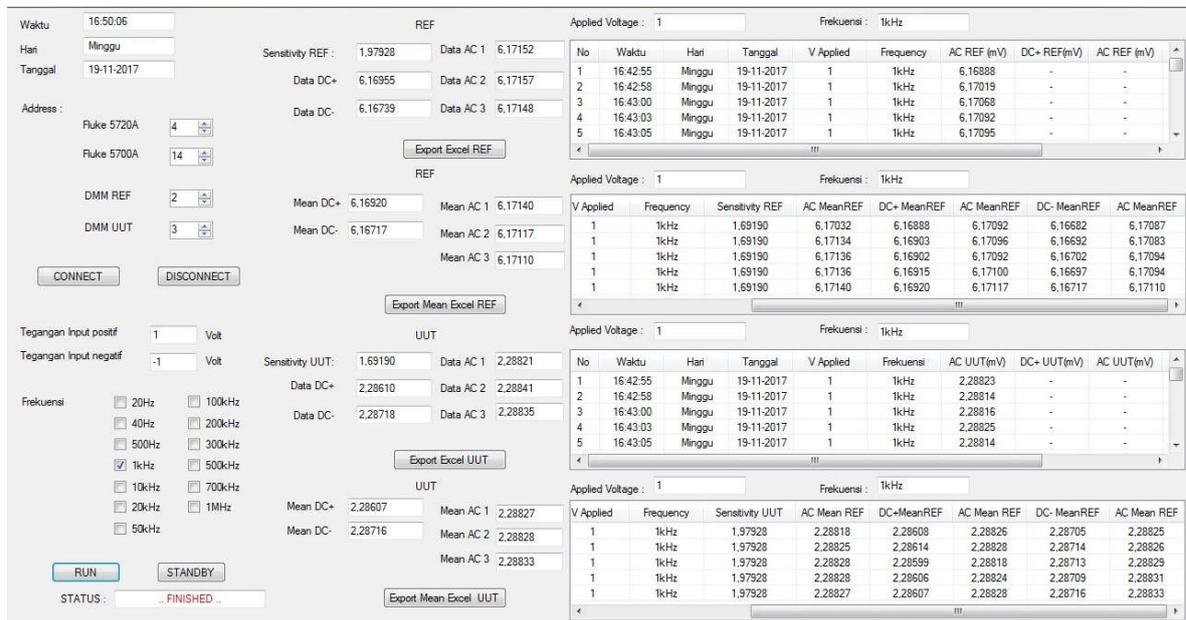
Gambar 9. Integrasi unit kontrol dan kontak putar pada sistem pengukuran metode 2 langkah

Unit kontrol ini terdiri dari beberapa relai sekunder yang tugasnya memformat aliran bit tertentu sehingga dapat memandu relai utama (primer) untuk berfungsi terminal pengukuran AC dan DC.

Terdapat 3 variabel utama yang dipergunakan dalam proses pengukuran TVC metode 2 langkah ini, yaitu data pengukuran (V_{AC} , V_{DC+} , V_{DC-}), data proses analisis (rerata V_{DC} , rerata V_{AC}) dan data hasil pengukuran (beda AC-DC).

Gambar 10 menjelaskan secara visual proses pengukuran sedang berjalan pada titik ukur penelitian yaitu $1 V_{DC}$ dan $1 V_{AC}$

pada frekuensi 1 kHz (lihat juga pada Tabel 1).



Gambar 10. Visualisasi proses pengukuran TVC metode 2 langkah

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses awal dari pengukuran ini (lihat Gambar 10) adalah mengukur nilai rasio besaran sinyal V_{DC} pada tegangan input terhadap tegangan output dari masing masing TVC, yaitu TVC_{REF} dan TVC_{UUT} . Nilai rasio tersebut adalah nilai N yang berada pada kisaran 1,6 sampai dengan 1,9 yang menunjukkan bahwa proses pengukuran dapat dilanjutkan karena baik TVC_{REF} maupun TVC_{UUT} sudah beroperasi dalam keadaan stabil. Sebaliknya, apabila nilai N berada di luar kisaran nilai tersebut maka pengukuran tidak dapat diteruskan.

Pada penelitian ini telah dihasilkan sebuah proses diseminasi ketelitian TVC

tipe elemen *single junction* model Ballantine dari titik ukur 1 V ke titik ukur 2 V yang disebut sebagai metode *Build-Down (BD)*. Untuk mendapatkan data hasil ukur yang optimum maka pengambilan dari masing masing data individu AC, DC+, dan DC, yang ditunjukkan oleh Tabel 1, merupakan nilai rerata dari beberapa cuplikan data.

Data hasil pengukuran TVC metode 2 langkah tersebut dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai beda AC-DC dan deviasi standar, seperti yang terlihat pada Tabel 2. Adapun hasil pengukuran terakhir dengan menggunakan metode 3 langkah telah dilakukan pada waktu yang lalu pada 15 Februari 2008 diperoleh data hasil

pengukuran seperti terlihat pada Tabel 3.

Pada prinsipnya baik metode pengukuran 2 langkah maupun metode pengukuran 3 langkah telah menggunakan peralatan bantu dengan ketelitian yang sama di antaranya adalah kabel pengukuran, alat ukur standar nanoVoltmeter, sumber standar AC, dan termasuk relai utama sebagai kontak pembalik (*reversing switch*). Perbedaan yang terjadi adalah terletak pada sistem operasi perangkat lunak dan sumber

standar DC. Sumber standar DC yang dipergunakan pada metode 3 langkah sifatnya lebih tradisional, yaitu tipe analog, namun memiliki kemampuan untuk membangkitkan tegangan DC V_{DC} – mencapai titik ukur 1.000 V melalui terminal depan. Adapun pada metode 2 langkah V_{DC} – mencapai titik ukur – 1.000 V dapat dilakukan dengan membalik polaritas V_{DC}^+ secara internal melalui perantara perangkat lunak.

Tabel 1. Hasil pengukuran BD TVC Ballantine tipe elemen model pada titik ukur 1 V dengan metode 2 langkah

No	Tanggal	V_{Suplai} (V)	Frek (kHz)	Sens UUT	AC ₁ - UUT (mV)	DC ⁺ UUT (mV)	AC ₂ - UUT (mV)	DC ⁻ UUT (mV)	AC ₃ - UUT (mV)
1	20-11-2017	1	1	1,6919	2,28818	2,28608	2,28826	2,28705	2,28825
2		1	1	1,6919	2,28825	2,28614	2,28828	2,28714	2,28826
3		1	1	1,6919	2,28828	2,28599	2,28818	2,28713	2,28829
4		1	1	1,6919	2,28828	2,28606	2,28824	2,28709	2,28831
5		1	1	1,6919	2,28827	2,28607	2,28828	2,28716	2,28833

Tabel 2. Hasil analisis data pengukuran BD TVC Ballantine tipe elemen pada titik ukur 1 V dengan metode 2 langkah (Sardjono, H., Wijonarko, S., 2018)

No	AC1(mV)	DC+(mV)	AC2(mV)	DC-(mV)	AC-DC (mV)	Std Dev (mV)	Unc. (μ V)
1	2,28828	2,28608	2,28826	2,28705	0,0017		
2	2,28825	2,28614	2,28828	2,28714	0,0016		
3	2,28828	2,28599	2,28818	2,28713	0,0017		
4	2,28828	2,28606	2,28824	2,28709	0,0017		
5	2,28827	2,28607	2,28828	2,28716	0,0017		
					0,0017	0,029875	0,013360

Tabel 3. Hasil analisis data pengukuran BD TVC tipe elemen model Ballantine pada titik ukur 1 V dengan metode 3 langkah (Sardjono, H., Wijonarko, S., 20184)

DC+(μ V)	AC(μ V)	DC-(μ V)	Std. Dev (μ V)	Unc. (μ V)
0,0	237,3	471,0		
1,6	240,0	474,5		
6,7	244,9	480,1		
12,5	253,3	487,3		
20,2	258,3	495,4		
		1.8	1,0	0,466798

Tabel 4. Kemampuan Pengukuran Terbaik (*Best Measurement Capability – BMC*) Metode 3 langkah

Rentang : 1 V		Frek : 1 kHz		(mode 3 langkah)							
Komponen Ketidakpastian	Satuan	Dist.	Simbol	K L	CF	Dof	KS	CS	$c_i v_i$	$(c_i v_i)^2$	$(c_i v_i)^2 / v_i^4$
Tipe A	$\mu V/V$	Normal	$u_1(x)$	0,5	2,2	4	0,2	1	0,2	0,0	0,0
Standar Acuan	$\mu V/V$	Normal	$u_2(x)$	5,5	2,0	60	2,8	1	2,8	7,7	0,1
Tee Connector	$\mu V/V$	Segi-4	$u_3(x)$	1,0	1,7	~	0,6	1	0,6	0,3	0,0
Drift	$\mu V/V$	Segi-4	$u_4(x)$	0,1	1,7	~	0,1	1	0,1	0,0	0,0
TVC _{Std}											
Suhu Ruang	$\mu V/V$	Segi-4	$u_5(x)$	1,0	1,7	~	0,6	1	0,6	0,3	0,0
Sens. Hitungan	$\mu V/V$	Segi-4	$u_6(x)$	0,1	1,7	~	0,1	1	0,1	0,0	$1,1E^{-104}$
Pengaturan Frekuensi	$\mu Hz/Hz$	Segi-4	$u_7(x)$	0,2	1,7	~	0,1	1	0,1	0,0	$1,8E^{-103}$
Stabilitas UUT	$\mu V/V$	Segi-4	$u_1(x)$	1,3	1,7	~	0,8	1	0,8	0,6	$3,2E^{-100}$
Penjumlahan										8,9	1,0
Ketidakpastian Gabungan, U_C											3,0
Derajat Kebebasan Efektif, ν_{eff}											82,0
Faktor Cakupan 95%, CL											2,0
Ketidakpastian Lanjut, U_{95}											6,0
											$\mu V/V$

Catatan : *KK* adalah *Komponen Ketidakpastian*, *KL* adalah *Ketidakpastian Lanjut*, *Dof* adalah *derajat kebebasan*, *CF* adalah *Faktor Cakupan*, *Dof* adalah *Derajat Kebebasan*, *KS* *Ketidakpastian Standar*, *CS* adalah *Koefisiensi Sensitifitas*, *c* adalah *koefisien ketidakpastian Standar*, *v* adalah *Derajat Kebebasan Standar*.

Tabel 5. Kemampuan Pengukuran Terbaik (*Best Measurement Capability – BMC*) Metode 2 langkah

Rentang : 1 V		Frek : 1 kHz		(mode 2 langkah)							
Komponen Ketidakpastian	Satuan	Dist.	Simbol	KL	CF	Dof	KS	CS	$c_i v_i$	$(c_i v_i)^2$	$(c_i v_i)^2 / v_i^4$
Tipe A	$\mu V/V$	Normal	$u_1(x)$	0,013	2,2	4	0,0	1	0,0	0,0	0,0
Standar Acuan	$\mu V/V$	Normal	$u_2(x)$	5,5	2,0	60	2,8	1	2,8	7,7	1,0
Tee Connector	$\mu V/V$	Segi-4	$u_3(x)$	1,0	1,7	~	0,6	1	0,6	0,3	0,0
Drift	$\mu V/V$	Segi-4	$u_4(x)$	0,1	1,7	~	0,1	1	0,1	0,0	0,0
TVC _{Std}											
Suhu Ruang	$\mu V/V$	Segi-4	$u_5(x)$	1,0	1,7	~	0,6	1	0,6	0,3	0,0
Sens. Hitungan	$\mu V/V$	Segi-4	$u_6(x)$	0,1	1,7	~	0,1	1	0,1	0,0	$1,1E^{-104}$
Pengaturan Frekuensi	$\mu Hz/Hz$	Segi-4	$u_7(x)$	0,2	1,7	~	0,1	1	0,1	0,0	$1,8E^{-103}$
Stabilitas UUT	$\mu V/V$	Segi-4	$u_8(x)$	1,3	1,7	~	0,8	1	0,8	0,6	$3,2E^{-100}$
Penjumlahan										8.9	1,0
Ketidakpastian Gabungan, U_C											3,0
Derajat Kebebasan Efektif, ν_{eff}											81,2
Faktor Cakupan 95%, CL											2,0
Ketidakpastian Lanjut, U_{95}											5,9 $\mu V/V$

Tabel 6. Perhitungan En

AC-DC _{2L} (μV)	AC-DC _{3L} (μV)	U _{2L} (μV)	U _{3L} (μV)	E _n
1,8	1,7	5,9	6,0	0,02

Dengan kondisi kondisi yang telah diperoleh seperti tersebut di atas, proses verifikasi dapat dilakukan dengan menghitung nilai En berdasarkan perbandingan nilai antara selisih beda tegangan TVC metode 2 langkah dan 3 langkah terhadap akar jumlah kuadrat nilai ketidakpastian pengukuran metode 2 langkah (lihat Tabel 5) dan 3 langkah (lihat Tabel 4) berdasarkan Persamaan (8) yang mana hasilnya tertuang pada Tabel 6.

$$E_n = \frac{Beda_{(AC-DC)-3} - Beda_{(AC-DC)-2}}{\sqrt{u_{3langkah}^2 + u_{2langkah}^2}} \dots\dots[8]$$

Nilai beda tegangan dan nilai ketidakpastian masing masing variabel dapat diperoleh berdasarkan perhitungan Persamaan (8) atau disebut sebagai *Best Measurement Capability (BMC)*.

5. KESIMPULAN

Telah dibangun sebuah sistem pengukuran TVC otomatis metode 2 langkah yang dikembangkan dari sebuah sistem pengukuran semi-otomatis metode 3 langkah. Dengan metode 2 langkah, proses pengukuran dapat dilakukan lebih singkat karena titik ukur DC telah dilakukan secara otomatis. Secara kuantitas metode

baru ini terbukti valid dengan nilai En sebesar 0,02.

Validasi sistem pengukuran ini perlu dipelihara secara berkala dengan ikut serta dalam program *Inter-Laboratory Comparison (ILC)* dalam jangka waktu yang telah disesuaikan oleh BIPM.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih atas dukungan langsung maupun tidak langsung yang telah diberikan oleh rekan-rekan dan pihak manajemen laboratorium metrologi kelistrikan - BSN sehingga pelaksanaan penelitian untuk mendukung proyek pelayanan kalibrasi dapat ditingkatkan kualitasnya. Sehingga dapat mempertahankan bagan ketertelusuran untuk kemampuan pengukuran tegangan listrik AC.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Ali, R. S.M. (2014). Automatic Determination of the Thin-Film Multijunction Thermal Voltage Converter Parameters. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 190, 1255–1263. <https://doi.org/10.2495/EQ141172>

- Ali, Rasha S.M. (2011). Comparison between two different designs in the AC voltage measurement. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 44(9), 1539–1542. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2011.06.005>
- Ali, Rasha S.M. (2015). New Internal Multi Range Resistors for AC Voltage Calibration by Using TVC. *Measurement Science and Technology*, 26(10), 1–5. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/26/10/105003>
- Budovsky, I., & Inglis, B. D. (1999). Evaluation of AC-DC Differences of NML Single-Junction Thermal Voltage Converters at Frequencies up to 1 MHz. *IMTC/99. Proceedings of the 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (Cat. No.99CH36309)*, 3, 1463–1467. <https://doi.org/10.1109/IMTC.1999.776051>
- El-Metwally, S. M., & Halawa, M. (2013). Investigation of Two Different Techniques for Accurate Measurements of Sinusoidal Signals. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 5(1), 12–19.
- Farrance, I., & Frenkel, R. (2012). Uncertainty of Measurement: A Review of the Rules for Calculating Uncertainty Components through Functional Relationships. *Clinical Biochemist Reviews*, 33(2), 49–75.
- Filipski, P. S., & Rinfret, R. L. (2000). An Automated AC-DC Transfer Calibration System. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 49(2), 279–284. <https://doi.org/10.1109/19.843064>
- Halawa, M., & Al-Rashid, N. (2010). Performance of Single Junction Thermal Voltage Converter (SJTVC) at 1 MHz via Equivalent Electrical Circuit Simulation. *UKSim2010 - UKSim 12th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, 631–636. <https://doi.org/10.1109/UKSIM.2010.120>
- Hermach, F. L. (1976). AC-DC Comparators for Audio-Frequency Current and Voltage Measurements of High Accuracy. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, IM-25(4), 489–494. <https://doi.org/10.1109/TIM.1976.6312271>
- JCGM200:2012. (2012). International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM). In *BIPM* (3rd ed.). <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2017.0>

- Mageed, H. M. A., Zobaa, A. F., Raouf, M. H. A., El-Rahman, A. H. A., & Aziz, M. M. A. (2010). An Improved Design of a Fully Automated Multiple Output Micropotentiometer. *Energy and Power Engineering*, 02(02), 103–110. <https://doi.org/10.4236/epe.2010.22015>
- Mohammed, R. S. . (2009). *Design and Implementation of Precise Thermal Converters for the Highly Accurate AC Voltage Applications* (Ain Shams University Egypt). Retrieved from <https://eng.asu.edu.eg/>
- Nanoelectronics Research Institute - AIST. (2010). *Technical Reference for ET2001 Thermal Voltage Converters* (1.03b). Tsukuba: Nikkom Co., Ltd.
- Pal, B., Ahmad, S., & Govil, A. K. (2013). Automation and Evaluation of Two Different Techniques to Calibrate Precision Calibrators for Low Frequency Voltage Using Thermal Devices. *Mapan - Journal of Metrology Society of India*, 28(1), 31–36. <https://doi.org/10.1007/s12647-012-0038-5>
- Sardjono, H., & Wijonarko, S. (2018). Calibration Process Quantity Reduction of the Thermal Voltage Converter Standard using a Three-stage Build-up and Build-down Method. *International Journal of Technology*, 9(1), 181–191. <https://doi.org/https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i1.1508>
- Syahadi, M., Sardjono, H., & Khairiyati, L. (2015). PENGUKURAN STANDAR TEGANGAN AC PADA FREKUENSI 20 Hz – 1 MHz MENGGUNAKAN THERMAL VOLTAGE CONVERTER. *PPI - KIM*.