

## MENINGKATKAN KESTABILAN SISTEM PENGUKURAN STANDAR NASIONAL ARUS AC DENGAN METODA SANGKAR FARADAY LEBIH KECIL DARI 5 PPM

R. Hadi Sardjono

Sub-Divisi Metrologi Kelistrikan, Puslit KIM – LIPI, Serpong  
hadisarjono@kim.lipi.go.id

### Abstrak

Ketelitian pengukuran arus ac ditentukan oleh tingkat keandalan sistem pengukuran terhadap gangguan rugi-rugi baik yang berasal dari dalam maupun luar rangkaian. Selama ini sistem pengukuran standar nasional arus ac dilakukan dengan meletakkan instrument standar TCC (Thermal Current Transfer) diruang terbuka. Pada penelitian ini instrument standar TCC tersebut diletakkan didalam sebuah ruang anti medan elektromagnetik atau disebut sangkar Faraday. Berdasarkan hasil penelitian ini, tingkat rugi rugi telah terminimisasi dari sebesar 2.79 ppm menjadi 0.64 ppm.

**Kata kunci:** Ketelitian, Standar Nasional arus ac, sangkar Faraday, rugi-rugi

### Abstract

#### *A Stability Improvement of The ac Current National Standard by Using a Faraday Cage Method Lower Than 5 ppm*

*The accuracy of an ac current measurement is determined by the reliability of the measurement system of the noise disturbance source either internally or externally of the circuit. All this time, the measurement system of ac current National standard was prepared by placing the TCC standard instrument without cover surrounding it. In this research the TCC standard is covered in the anti-electromagnetic room or called as Faraday Cage. Based on this research, the noise level is being minimized from 2.79 ppm to become 0.64 ppm.*

**Keywords:** accuracy, the ac current national standard, Faraday cage

## 1. PENDAHULUAN

Sampai saat ini, tingkat ketelitian standar Nasional arus ac yang berada di sub-bidang metrologi kelistrikan, Puslit KIM-LIPI bisa mencapai lebih kecil dari 5 ppm. Standar arus ac ini telah direalisasikan dengan menggunakan sebuah sistem transfer thermal. Dengan sistem thermal ini maka acuan tertinggi besaran ac dapat tertelusur ke besaran dc yang dimiliki oleh sistem Josephson Voltage System<sup>1)</sup>. Kemampuan ukur sistem ini secara fisis telah direalisasi berdasarkan sistem rentang tunggal maupun rentang ganda. Pemeliharaan ketelitian ukur tertinggi diwakilkan oleh sistem rentang tunggal atau disebut juga sebagai Thermal Current Converter (TCC) karena lebih teliti dan ekonomis apabila dibandingkan dengan system rentang ganda atau disebut sebagai Thermal Transfer Standard (TTS)<sup>2)</sup>.

Pada dasarnya sistem pengukuran yang bisa dibangun dapat disesuaikan dengan kemampuan ukur dari individu individu TCC yaitu berkisar antara 100 mA sampai dengan 20 A. Terdapat 14 buah individual TVC yang perlu dijaga ketelitiannya di Laboratorium Metrologi

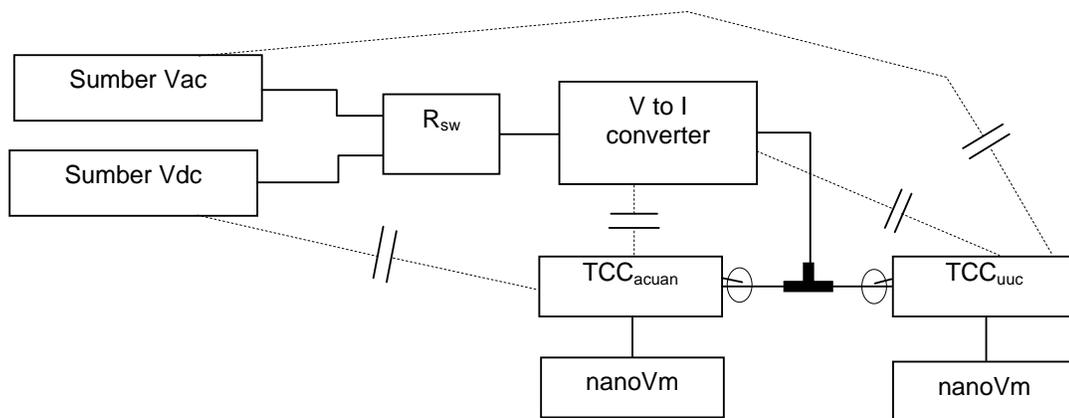
Kelistrikan yang masing masing rentang terdiri dari 100 mA, 200 mA, 300 mA, 500 mA, 1 A, 2 A, 3 A, 5 A, 10 A, 20 A. Ketelitian masing masing rentang ukur dijaga dengan sebuah proses pengukuran menggunakan metode perbandingan antar individu (Interkomparasi). Kemudian secara sistematis bagan ketertelusuran, TCC yang terkarakterisasi ini memiliki keabsahan untuk berada diposisi puncak didalam sebuah bagan ketertelusuran besaran arus ac standar. Tingkat ketelitian ukur TCC ini dapat ditingkatkan dengan cara meminimisasi tingkat rugi-rugi terutama yang bersumber dari lingkungan sekitar sistem pengukuran.

Ada dua jenis sumber rugi-rugi yang perlu diperhatikan dalam sistem pengukuran ini yaitu rugi rugi yang dibangkitkan sebagai akibat dari sistem seting alat standar yang kurang sempurna dan rugi rugi yang berupa medan elektromagnetik yang dibangkitkan sebagai akibat dari posisi ON instrumen pendukung disekitarnya. Rugi-rugi tersebut dapat diminimisasi dengan sebuah metode seting sepusat dan metode perisaian dengan sebuah sangkar Faraday yang akan direalisasikan dalam penelitian ini.

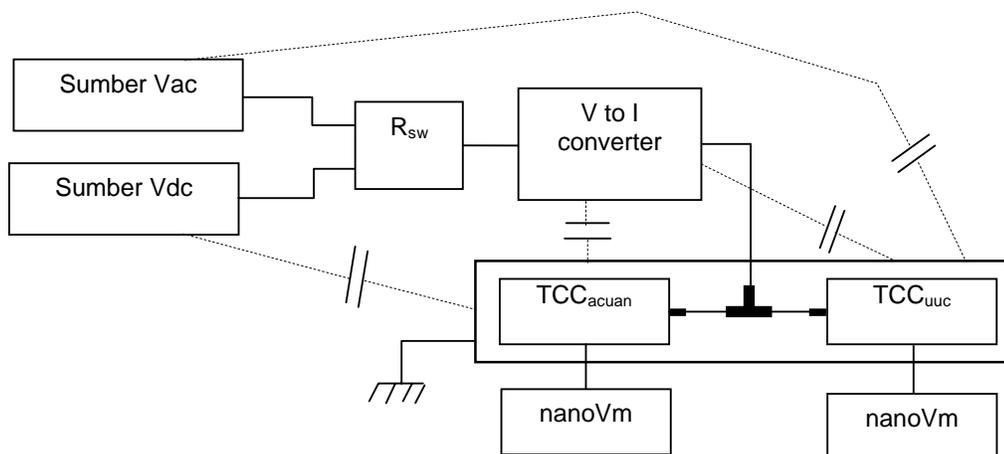
Rugi rugi medan magnet luar yang telah mengimbas TCC telah dapat dihindari dengan menggunakan perisai sangkar Faraday sehingga muatan acak yang semula terdapat di dinding sangkar menjadi terpolarisasi. Muatan terpolarisasi yang sebanding dengan nilai rugi rugi akibat medan ini selanjutnya di "ground" kan. Rugi rugi tata letak rangkaian pengukuran yang menimbulkan tegangan elektrostatis dikoneksi dapat dimantapkan dengan metoda sepusat. Tingkat minimisasi dengan menggunakan metode ini secara praktis pada pengukuran Build Up dari 1 ampere ke 2 ampere, dapat dibuktikan dalam penelitian ini dengan peningkatan hasil ketelitian ukur dari 2.79 ppm menjadi 0.64 ppm.

Medan listrik adalah salah satu variabel rugi – rugi yang sangat mengganggu pada sistem pengukuran arus ac dengan metode Thermal Current Converter (TCC). Sumber rugi – rugi ini pada dasarnya berasal dari tiga tempat yaitu alam yang bersifat permanen, instrumen listrik yang bersifat sementara dan persambungan antar instrumen yang bersifat sementara (lihat gambar 1a). Sumber rugi – rugi yang pertama dan kedua keberadaannya disengaja yang dapat diminimisasi dengan meletakkan peralatan yang bermaksud memisahkan secara listrik. Sedangkan yang ketiga keberadaannya tidak disengaja yang dapat diminimisasi dengan cara meletakkan terpisah secara mekanik (lihat gambar 1b).

## 2. PRINSIP DASAR RUGI RUGI KUAT MEDAN EKSTERNAL



Gambar 1a. Realisasi Rugi – rugi dalam Sistem Pengukuran



Gambar 1b. Realisasi Pengeliminasian Rugi – rugi dalam Sistem Pengukuran

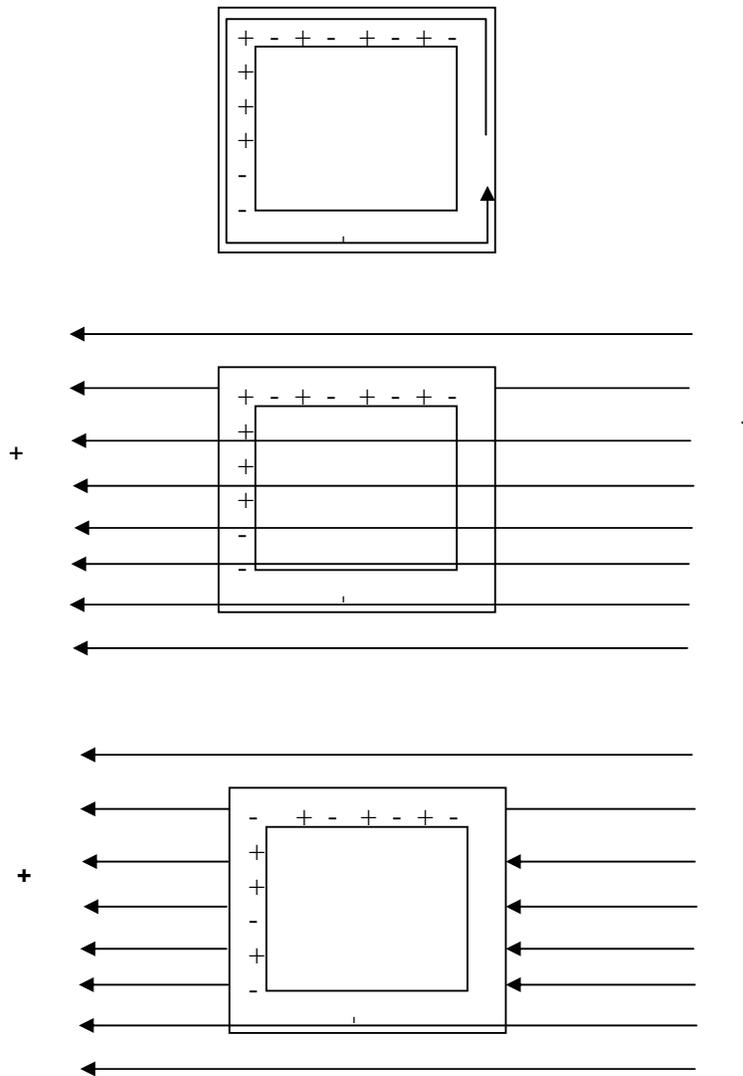
**2.1. Sifat Sumber Medan Listrik dan Metode Minimisasi Secara Listrik**

Hukum Gauss menyatakan bahwa fluks listrik,  $\Phi_E$ , melalui sebuah permukaan (A) tertutup, S, adalah samadengan jumlah muatan (q) yang berada (dengan kata lain didalam) dipermukaan tetutup S.

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (1)$$

Atau dengan kata lain bahwa  $\Phi_E$  tidak samadengan jumlah muatan yang berada diluar

permukaan, S, yang berkontribusi ke  $\Phi_E$  dan jika total muatan didalam permukaan tertutup (S) samadengan Nol, maka medan listrik disemua permukaan samadengan Nol.



Gambar 2 Proses Eliminasi Medan Listrik dalam Ruang Logam Tertutup

- **Konduktor Logam (Sangkar Faraday)**

Sebuah sifat khusus untuk muatan pada sebuah lempeng logam, tanpa mengindahkan bentuk adalah bahwa, jika arus yang mengalir adalah Nol, maka medan listrik yang berada didalam logam juga harus samadengan Nol. Muatan bebas dalam logam menuju permukaan logam dan mengatur diri sedemikian rupa sehingga medan listrik yang berada diseluruh ruang dalam logam adalah samadengan Nol. Elektrostatik adalah sebuah teori linier, jadi keseimbangan distribusi muatannya adalah unik, atau dengan kata lain dapat dikatakan bahwa ketika pengaturan diri dari muatan-muatan ke permukaan logam terjadi maka medan listrik diseluruh ruang dalam yang terliputinya adalah samadengan Nol.

Jika terdapat komponen medan listrik pada permukaan konduktor yang paralel terhadap permukaan, lalu muatan akan mengalir. Pada kesetimbangannya, disitu tidak terdapat arus dalam elektrostatik, jadi medan listrik pada permukaan konduktor adalah tegaklurus terhadap seluruh permukaan logam dimanapun berada, atau dapat dinyatakan bahwa medan listrik adalah searah dengan permukaan normalnya.

Dengan demikian maka dimungkinkan untuk digambarkan sebagai sebuah Permukaan Gauss Kecil disekitar sebuah Elemen kecil dan untuk menunjukkannya dibantu oleh:

$$\vec{E} = \frac{\sigma \cdot n}{\epsilon_0} \text{ (permukaan sebuah Konduktor) Gauss} \quad (2)$$

- **Permukaan Logam Tertutup (Sangkar Faraday)**

Sebuah efek menarik bahwa permukaan logam tertutup, bagaimanapun bentuknya, memancarkan keluar sumber medan listrik. Banyak eksperimen teknologi tinggi telah dilakukan dalam ruang logam, disebut Sangkar Faraday, jadi efek tersebut menjadikan sebaran medan listrik diabaikan. Dengan pernyataan lain, jika tidak terdapat muatan dalam permukaan logam tertutup, maka medan listrik medan listrik didalam ruang permukaan logam manapun adalah Nol. Ini merupakan hasil yang sangat lebih umum daripada teori Shell yang hanya dipergunakan pada muatan kulit bola merata (uniform spherical shells of charge).

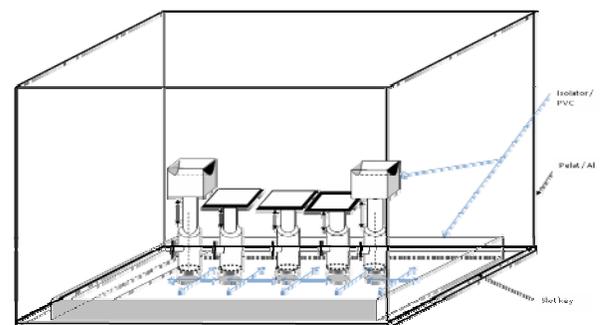
- **Aplikasi Sangkar Faraday**

Pada sistem rangkaian pengukuran arus ac terutama pada tingkat ketelitian tinggi mencapai 5 ppm keberadaan noise sangat tidak diinginkan, oleh karena itu maka perlu dirancang sebuah

sistem rangkaian yang memiliki noise yang rendah. Untuk merancang sebuah sistem pengukuran arus ac berbasis Thermal Current Converter dengan noise rendah maka perlu diketahui asal usul dan penyebab terjadinya noise. Salah satu penyebab terjadinya noise adalah adanya gelombang elektromagnet liar yang masuk kedalam sistem rangkaian pengukuran dan mengenai bagian rangkaian/komponen yang peka terhadap gelombang elektromagnet sehingga terjadi berinterferensi dengan pulsa sistem lalu menimbulkan pulsa yang acak, dan liar tak terkendali. Maka perlu dibuat sebuah perisai untuk menahan gelombang elektromagnetik masuk kedalam sistem pengukuran terutama pada bagian/komponen yang peka terhadap gelombang elektromagnet, dan sangkar Faraday adalah sebuah sistem yang cukup dapat diandalkan untuk melindungi sistem dari medan elektromagnetik luar.

Penggunaan sangkar Faraday untuk meredam noise dapat dilakukan dengan membungkus/melingkupi seluruh sistem rangkaian dengan sebuah sangkar Faraday, cara ini lebih murah dan lebih mudah karena hanya diperlukan sebuah sangkar Faraday, tetapi cara ini hanya dapat melindungi rangkaian dari gelombang elektromagnetik luar dan tidak dapat melindungi bagian/komponen yang peka dari gelombang elektromagnet yang ditimbulkan oleh komponen-komponen lain yang ada di dalam rangkaian.

Cara lainnya adalah dengan membungkus komponen atau sebagian rangkaian yang peka terhadap gelombang elektromagnetik dengan sangkar Faraday untuk melindungi komponen tersebut dari gelombang elektromagnetik baik yang berasal dari luar rangkaian atau pun yang berasal dari komponen atau bagian lain dari rangkaian tersebut (lihat gambar 1).



Gambar 1 Rancang Bangun Perisai Sangkar dan Pemusat Rangkaian

## 2.2. Sifat Sumber Medan Listrik dan Metode Minimisasi secara Mekanik

Pada sistem pengukuran TCC terdapat tiga titik koneksi rawan rugi – rugi akibat tidak selarasnya posisi tipe konektor khusus frekuensi Radio (Radio Frequency) yang diperantarai oleh konektor T (T connector) (lihat gambar 1). Secara rangkaian koneksi yang tidak sempurna tersebut sangat tendensius terjadinya lucutan muatan antara ujung kawat dan konektor T sehingga bisa diasumsikan sebagai sebuah kapasitor. Besar nilai gangguan yang akan ditimbulkan oleh sistem koneksi ini setara dengan persamaan berikut, jika anggapan kawat penghubung tanpa resistansi ini dicabut, katakanlah kawat itu sekarang memiliki resistansi sebesar R, untai listrik pengisian kapasitor ini menjadi rangkaian seri antara R dan C. Persamaan tegangannya menurut Hukum Kirchoff adalah:

$$i.R + \frac{q}{C} = V_0 \quad (3)$$

dimana:

$V_0$ : beda tegangan yang diberikan oleh sumber tegangannya,

$i$ : arus listrik atau laju aliran muatan listrik yang masuk ke dalam kapasitor yaitu sebesar  $i = \frac{dq}{dt}$ ,

sehingga persamaan diatas dapat dijadikan persamaan diferensial :

$$\frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC}.q = \frac{V_0}{R} \quad (4)$$

Mengingat pada saat awal pengisiannya ( $t = 0$ ) kapasitor tidak berisi muatan listrik, penyelesaiannya dapat langsung diperoleh :

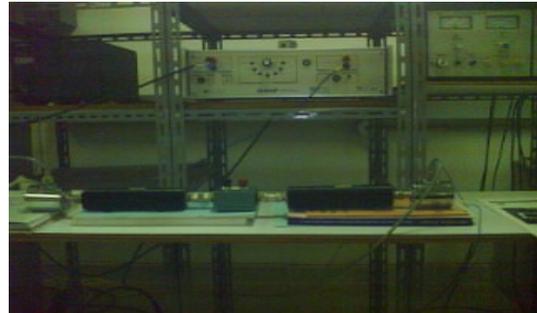
$$q(t) = C.V_0.(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (5)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa pengisian muatan listrik pada suatu kapasitor merupakan proses transien, yang keadaan akhirnya adalah nilai asimtotis yang tidak lain adalah persamaan awal.

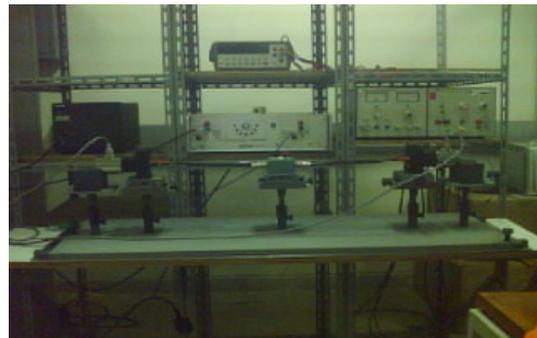
## 3. HASIL PENGUKURAN

Berdasarkan komposisi rugi – rugi yang dipastikan akan mengganggu sistem pengukuran TCC maka pada penelitian ini di realisasikan dua sistem pengaman yaitu dalam bentuk sangkar Faraday dan penyalaras posisi. Sistem penyalaras posisi secara listrik bersifat isolator dan secara mekanis diletakkan di permukaan sangkar bagian bawah. Dengan demikian maka minimisasi rugi – rugi sstem pengukuran ini dapat dicapai melalui dua proses pengukuran

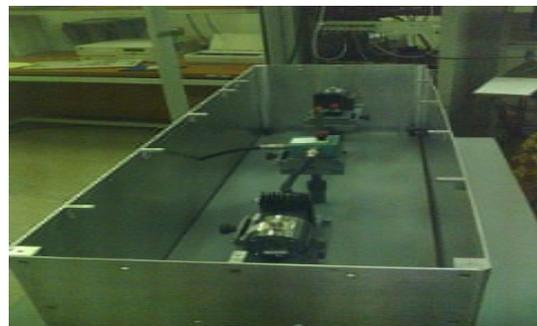
yaitu sistem pengukuran tanpa menggunakan perisai sangkar Faraday (lihat Gambar 2) dan dengan menggunakan perisai Sangkar Faraday (lihat gambar 3a, b dan c).



Gambar 2 Tata Letak Rangkaian Pengukuran Tanpa Perisai Sangkar Faraday



Gambar 3a Tata Letak Pengukuran Menggunakan Penyalaras Posisi



Gambar 3b Tata Letak Pengukuran Menggunakan Penyalaras Posisi



Gambar 3c Tata Letak Rangkaian Pengukuran dengan Perisai Sangkar Faraday

*thermal* dari kuantitas ac rms dan dc. Beda kuantitas tersebut kemudian dijadikan sebagai nilai spesifikasi yang besarnya dapat diperoleh sebagai<sup>3)</sup>,

$$\delta = \frac{Q_{ac} - Q_{dc}}{Q_{dc}}$$

dimana:

$Q_{ac}$ : kuantitas AC root-mean-square (V), dan

$Q_{dc}$ : kuantitas DC (V) yang, ketika polaritas dibalik, menghasilkan rerata output yang sama.

Kedua nilai  $Q_{ac}$  dan  $Q_{dc}$  tersebut secara berulang dapat diperoleh berdasarkan hasil pengukuran yang secara sistematis dapat direalisasikan seperti tabel pengukuran (lihat lembaran Kalibrasi) berikut:

Sistem pengukuran TCC yang diterapkan dalam perancangan ini menggunakan prinsip energi thermal. Artinya bahwa ketelitian pengukuran sangat tergantung pada tingkat konversi *energy*

Tabel 1 Lembar pengukuran

Nama Instrument	:		Order Number	:	
Pabrik	:		Page	:	of
Tipe/No. Seri	:				
Tanggal masuk	:				
Tanggal kalibrasi	:		Room Temperature	:	(.....±.....) <sup>0</sup> C
Lab. Kalibrasi	:		Room Humidity	:	(.....±.....) %
Komentar	:				
AC-DC transfer Arus suplai:		A			
Waktu Pemanasan	:	hours			
$N_{ref}$ AC	:		$N_{lut}$	:	

**Level AC - 10 Hz**

DC+ (μA)	AC (μA)	DC- (μA)	AC-DC (μA)	$\delta_{Rerata}$ (μA)	Std. Dev (μA/A)	$\delta_{Ref}$ (μA)	$\delta_{Test}$ (μA)
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							

**Level AC- 50 Hz**

DC+ (μA)	AC (μA)	DC- (μA)	AC-DC (μA)	$\delta_{Rerata}$ (μA)	Std. Dev (μA/A)	$\delta_{Ref}$ (μA)	$\delta_{Test}$ (μA)
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							

Persamaan model matematis tersebut secara sistem diturunkan berdasarkan hubungan antara karakteristik instrumen TCC dan sinyal. Namun karena instrumen yang akan diteliti disini adalah TCC maka sinyal yang dipergunakan

tersebut hanya diperlukan karena sifat kestabilannya. Dengan demikian maka secara fungsi keterkaitnya dari beberapa instrument yang terlibat kedalam sistem pengukuran ini adalah sebagai instrumen standar (TCC) dan instrumen bantu (sumber arus ac dan dc). Dari

rangkaian sistem pengukuran tersebut, secara umum sumber sumber ketidakpastian dapat diestimasi berdasarkan 2 variabel yaitu,

$$u_C(X_{ij})^2 = c_A^2 \cdot u_A(X_A)^2 + c_B^2 \cdot u_B(X_B)^2$$

dimana:

$u_A(X_A)$ : sumber ketidakpastian pengukuran Tipe A, dan

$u_B(X_B)$ : sumber ketidakpastian pengukuran Tipe B,

Sumber ketidakpastian pengukuran Tipe A bersifat stastikal yang bersumber dari kesalahan acak (random) sedangkan Tipe B adalah bersifat estimasi yang bersumber dari dokumentasi sertifikat pengukuran dan karakteristik. Sesuai dengan tata letak sistem pengukuran dalam penelitian ini, sumber ketidakpastian Tipe B berasal dari instrumen TCC referensi, instrumen TCC Test, pengukur suhu dan kelembaban, pen tata letak an frekuensi, dan koneksi. Sehingga secara spesifik, sumber sumber ketidakpastian sistem pengukuran TCC ini dapat diturunkan sebagai sebuah persamaan berikut:

$$u_C(x)^2 = c_1^2 \cdot u_1(x)^2 + c_2^2 \cdot u_2(x)^2 + c_3^2 \cdot u_3(x)^2 + c_4^2 \cdot u_4(x)^2 + c_5^2 \cdot u_5(x)^2 + c_6^2 \cdot u_6(x)^2 + c_7^2 \cdot u_7(x)^2 + c_8^2 \cdot u_8(x)^2 \quad \mu A \dots\dots \quad (6)$$

dimana:

$u_1$ : sumber ketidakpastian karena kesalahan acak (repeatability),

$u_2$ : sumber ketidakpastian dari TCC Standar,

$u_3$ : sumber ketidakpastian karena koneksi rangkaian pengukuran,

$u_4$ : sumber ketidakpastian karena drift TCC standar,

$u_5$ : sumber ketidakpastian pengaruh suhu dan kelembaban,

$u_6$ : sumber ketidakpastian karena pembulatan (sensitifitas kalkulasi),

$u_7$ : sumber ketidakpastian karena tata letak frekuensi, dan

$u_8$ : sumber ketidakpastian karena stabilitas TCC Test.

Karena sistem pengukuran ini menggunakan metode pengukuran langsung maka,

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = c_6 = c_7 = c_8 = 1$$

Sehingga persamaan (6) menjadi,

$$u_C(x)^2 = u_1(x)^2 + u_2(x)^2 + u_3(x)^2 + u_4(x)^2 + u_5(x)^2 + u_6(x)^2 + u_7(x)^2 + u_8(x)^2 \quad \mu A \dots\dots \quad (7)$$

Tabel 2 Hasil Pengukuran

Formasi Pengukuran (Build-up atau Build-down)		Tidak menggunakan Sangkar Faraday		Menggunakan Sangkar Faraday	
Rentang Ukur (A)	Frekuensi (kHz)	Rata - rata ( A/A)	Std.Deviasi ( A/A)	Rata - rata ( A/A)	Std. Deviasi ( A/A)
<b>1 → 2</b> (Build Up)	0.04	2.3	6.1	-1.3	0.8
	0.055	-0.3	1.4	-1.2	0.7
	0.3	2.8	3.7	0.0	0.5
	0.5	0.8	1.5	-1.1	0.8
	1	-0.2	1.8	-3.3	0.4
	5	3.8	1.1	1.6	0.6

#### 4. ANALISA DATA

TCC (Thermal Current Conver) adalah sebuah sistem converter HOLT<sup>4)</sup> dengan thermo element didalamnya yang memiliki terminal input untuk catu tegangan ac yang diperoleh dari proses konversi dari besaran arus ke besaran tegangan oleh sebuah Tahanan shunt.. TCC ini bisa beroperasi pada rentang arus ac dengan frekuensi rendah 20 Hz sampai dengan menengah 1 MHz<sup>5)</sup> . Untuk membuktikan efektifitas kerja unit meminimisasi gangguan ini maka pada penelitian ini akan dilakukan

pengukuran dengan rentang arus 1 A pada frekuensi sampai dengan 10 kHz.

Pada saat proses pengukuran dilakukan dengan aplikasi sangkar Faraday imbasan medan eksternal ke badan instrumen standar (TCC) yang terletak didalamnya dapat dihindarkan. Imbasan medan tersebut bisa mengakibatkan gangguan berupa arus liar yang mengakumulasikan diri dengan arus sebenarnya didalam proses pengukuran. Sedangkan secara kuantitatif arus gangguan ini dapat dimonitor berdasarkan pembacaan hasil pengukuran yang tidak stabil.

Tingkat kestabilan pada pembacaan hasil ukur adalah tingkat kesalahan random yang terjadi dalam sistem pengukuran disebabkan oleh 2 gangguan yaitu yang berbentuk imbasan medan elektromagnetik dan kegagalan koneksi rangkaian pengukuran. Kedua gangguan ini bersifat impuls yang sesuai dengan sifat kesalahan random (lihat persamaan 5). Oleh sebab itu didalam penelitian ini dianggapkan bahwa tingkat ketelitian sistem pengukuran TCC ini secara kuantitatif dapat ditentukan oleh tingkat meminimisasi sumber ketidakpastian yang tercampur alam kesalahan random.

Secara teknis kesalahan random terdiri dari beberapa sumber kesalahan dimana secara spesifik masih belum bisa didefinisikan karena keterbatasan teknis. Dua sumber kesalahan utama dalam sistem rangkaian pengukuran yang dapat didefinisikan secara kualitatif yaitu yang datang dari dalam rangkaian (sistem koneksi) dan yang datang dari luar rangkaian (medan elektromagnetik). Dalam penelitian ini, dua sumber kesalahan tersebut diminimisasi dengan cara mengembangkan sistem koneksi yang terpusat dan perisai medan elektromagnetik sangkar Faraday.

Selanjutnya, nilai kuantitatif sumber kesalahan yang dapat diperoleh dari hasil pembacaan pengukuran tersebut secara matematis diturunkan kedalam bentuk formulasi berupa nilai ketidakpastian kombinasi (lihat persamaan 7). Secara eksperimen, penelitian ini mengeterapkan metode perbandingan sistem pengukuran yaitu antara metode sistem pengukuran tanpa dan dengan menggunakan pemusat posisi (rugi-rugi kontak Reverse-Forward diabaikan karena sangat kecil<sup>(6)</sup>) dan perisai sangkar Faraday (lihat gambar 2 dan 3). Untuk itu maka nilai ketidakpastian total dapat disederhanakan dengan menghitungnya berdasarkan persamaan sebagai berikut,

$$u_C(x)^2 = u_1(x)^2 + u_3(x)^2 + k\mu A \quad \dots \quad (8)$$

dimana

$$k = u_2(x)^2 + u_4(x)^2 + u_5(x)^2 + u_6(x)^2 + u_7(x)^2 + u_8(x)^2$$

Variable k adalah nilai konstanta yang diturunkan berdasarkan 2 metode pengukuran yang diterapkan dalam penelitian ini yaitu metode pengukuran tanpa dan dengan menggunakan perisai sangkar Faraday (lihat gambar 2 dan 3). Oleh sebab itu, selisih nilai kuantitatif variable k dapat didefinisikan sebagai tingkat perubahan ketelitian yang dihasilkan dari hasil peningkatan kualitas sistem pengukuran. Jika nilai k positif berarti kualitas sistem pengukuran hasil penelitian ini meningkat dan jika negatif adalah sebaliknya. Untuk itu maka nilai konstanta k didefinisikan sebagai nilai koreksi ketidakpastian (kestabilan) sistem pengukuran sebesar,

$$k = u_C(x)^2 - (u_1(x)^2 + u_3(x)^2) \mu A$$

atau

$$k = u_C(x)^2 - u_R(x)^2$$

dimana

$u_C(x)^2$  adalah nilai ketidakpastian total sebelum menggunakan pelindung sangkar Faraday dan penyelarar posisi, dan

$u_R(x)^2$  adalah nilai ketidakpastian total setelah menggunakan pelindung sangkar Faraday dan penyelarar posisi.

Nilai ketidakpastian pengukuran adalah batas ketidakstabilan hasil sebuah proses pengukuran yang besarnya dapat dianalogikan ke dalam nilai standar deviasi pengukuran karena pengukuran dilakukan dengan faktor cakupan yang sama dan pada 2 metode pengukuran berdasarkan jumlah pengukuran yang sama atau  $n = 5$ . Dua metode pengukuran TCC dalam penelitian ini telah menghasilkan besar nilai koreksi seperti terlihat dalam Tabel 3.

Tabel 3 Nilai Koreksi Sistem Pengukuran TCC dengan Metode Tanpa dan Menggunakan Penyelarar Posisi Dan Perisai Sangkar Faraday

Formasi Pengukuran (Build-up atau Build-down)		Tidak menggunakan Sangkar Faraday	Menggunakan Sangkar Faraday	k (Koreksi)
Rentang Ukur (A)	Frekuensi (kHz)	Std.Deviasi ( A/A)	Std. Deviasi ( A/A)	( A/A)
<b>1 → 2</b> (Build Up)	0.04	6.1	0.8	5.2
	0.055	1.4	0.7	0.7
	0.3	3.7	0.5	3.2
	0.5	1.5	0.8	0.7
	1	1.8	0.4	1.4
	5	1.1	0.6	0.5
Rerata		2.79	0,64	1.95

Penggunaan pelindung sangkar Faraday pada sistem rangkaian pengukuran ini telah terbukti cukup efektif dipergunakan untuk mengurangi tingkat gangguan (noise) yang ada diruang pengukuran. Seperti terlihat pada tabel 3, pengukuran telah dilakukan dengan rentang ukur 1 A untuk proses desiminasi ketelitian instrumen TCC dari TCC rentang 1 A ke TCC rentang 2 A. Model perbandingan ini dikenal sebagai metode perbandingan Build Up. Selain daripada itu karakterisasi TCC juga telah dilakukan terhadap sinyal ac sehingga didalam penelitian ini dilakukan pengukuran dengan 6 rentang frekuensi pengukuran

Secara ilmiah telah dinyatakan bahwa adalah mustahil bahwa sebuah sistem pengukuran bisa terbebas atau terhindar dari gangguan (noise) secara mutlak, namun optimalisasi operasional sistem pengukuran secara teknis perlu realisasikan. Seperti yang terlihat dalam pembahasan pada penelitian ini bahwa pada prinsipnya sumber sumber gangguan bisa berasal dari medan elektromagnetik luar rangkaian dan dalam rangkaian itu sendiri. Kedua sumber gangguan tersebut masing masing telah terminimisasi dengan pengoptimalisasian ketelitian pengukurannya dengan aplikasi sistem perisai sangkar Faraday dan penyetel posisi.

Minimalisasi gangguan telah berhasil dilakukan melalui penelitian ini, namun perlu disadari pula bahwa bagaimana pun juga pelindung sangkar Faraday ini bukanlah sebuah perisai yang bisa bekerja dengan sempurna. Oleh karena itu, diperlukan adanya proses penelitian lanjut terutama yang berlandaskan faktor-faktor yang membatasi kemampuannya, antara lain:

- Karena adanya hambatan listrik pada konduktor, maka tidak semua medan listrik yang dihasilkan untuk melawan tidak sama dengan medan listrik yang datang, sehingga tidak semua medan yang datang dapat ditahan.
- Kebanyakan konduktor menunjukkan gejala ferromagnetik pada frekuensi rendah sehingga tidak semua medan listrik yang datang dapat ditahan.
- Adanya *hole* pada konduktor yang menghalangi arus listrik yang melewatinya sehingga medan listrik yang dihasilkan tidak sepenuhnya berlawanan dengan medan listrik yang datang, hal ini akan mengurangi kemampuan perisai.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa, walaupun sangkar Faraday memiliki beberapa keterbatasan namun, sangkar Faraday masih merupakan cara yang sangat efektif untuk meredam gangguan pada rangkaian pengukuran, karena sebagian besar gangguan yang timbul pada rangkaian pengukuran berasal dari gelombang elektromagnet liar. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan aplikasi unit ini ternyata telah mampu meningkatkan ketidakpastian pengukuran dari 2.79 ppm menjadi 0.64 ppm.

Untuk mendapatkan sistem perisai yang efektif, selain posisi instrumen TCC dirangkai secara sepusat juga bisa terletakkan persis ditengah ruang perisai agar dijamin bisa terhindar dari terjadinya loncatan elektron dari dinding perisai ke instrumen TCC dari proses elektrostatik.

## DAFTAR PUSTAKA

- H. Sasaki, V. Bujanja, S. Kiryu, F. Hirayama, M. Maezawa and A. Shoji. 2000. "Evaluation of ac-dc Difference of Thermal Converters using an SFQ based D/A Converter, " submitted to the CPEM2000 Conference Digest.
- C. J. Burroughs, S. P. Benz, C. A. Hamilton, T. E. Harvey, J. R. Kinard, T. E. Lipe and H. Sasaki. 1999 "Thermoelectric transfer difference of thermal converters measured with a Josephson source," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 48, No. 2, pp.279-281.
- Hadi Sardjono. 2007. Perancangan Sistem Desiminasi Konverter Tegangan Thermal (KTT) Berdasarkan Analisa Beda Tegangan AC – DC", Jurnal Teknik Komputer, Vol. 15, No. 1, ISSN 0853-6732, 23a/DIKTI/Kep/2004, hal. 110-127, Jakarta, Februari.

Technical Bulletin No. 8601. HOLT Instrument Laboratory, Division of CPD Engineering Incorporated

I. Budovsky. 1995. "Very low frequency ac-dc transfer standard," IEEE Trans. Instrum. Meas, Vol. 44, No. 2, pp. 367-369.

H. Sasaki, B. D. Inglis, K. Takahashi, and M. Klonz. 1997. "Determination of the time constants of thermoelectric effects in thermal converters using a Fast-Reversed DC," IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 46, No. 2, pp. 377-381.