

KARAKTERISASI PENYIMPANGAN NILAI TEGANGAN DC DARI SEBUAH GRUP STANDAR DIODA ZENER

THE DRIFT CHARACTERIZATION OF THE DC VOLTAGE VALUE FROM A GROUP OF ZENER DIODE STANDARDS

Agah Faisal, M. Syahadi dan R. Hadi Sardjono

Puslit Metrologi LIPI, Kompleks Puspipstek, Setu, Tangerang Selatan 15314

Email: faisal@kim.lipi.go.id

ABSTRAK

Karakterisasi penyimpangan nilai tegangan DC dari sebuah grup standar berbasis perangkat zat padat dioda Zener telah dilakukan. Pengamatan dilakukan pada nilai rata-rata tegangan DC sebuah grup standar diode Zener yang mengalami penyimpangan terhadap waktu dan dapat disesuaikan berdasarkan persamaan garis lurus. Perbandingan dengan metode oposisi yang diterapkan antara setiap individu dalam sebuah grup dengan dioda acuan dievaluasi bersama untuk mendapatkan laju penyimpangan beda nilai di antara mereka. Bersama dengan evaluasi terhadap laju penyimpangan diode Zener acuan, laju penyimpangan nilai rata-rata grup dapat ditentukan. Dengan mengetahui laju penyimpangan nilai rata-rata dan nilai awal grup diode Zener, maka nilai grup diode Zener pada waktu ke- t (E_{Gt}) dapat ditentukan melalui persamaan garis lurus $E_{Gt} [V] = -2,57 \times 10^{-8} (t - t_0) + 9,9999883$.

Kata kunci: grup standar, diode Zener, metode oposisi, laju penyimpangan

ABSTRACT

The drift characterization of the DC voltage value from a standard group based on solid state device of Zener diode is done. The observation is performed on the mean value of the DC voltage from a group of Zener diode standards that drifted due to the time and can be fitted as the linear equation. Comparison by opposition method applied to each individual Zener diode within the group and the reference Zener diode are evaluated together to obtain the drift rate of the difference value among them. Together with the evaluation of the drift of the reference Zener diode, the drift rate of the reference diode Zener mean value at the time of t (E_{Gt}) can be determined using linear equation of $E_{Gt} [V] = -2,57 \times 10^{-8} (t - t_0) + 9,9999883$.

Keywords: standard group, Zener diode, opposition method, drift rate

1. PENDAHULUAN

Penelitian di bidang ilmu fisika zat padat pada akhir 1950-an memicu pertumbuhan industri semikonduktor sehingga, pada awal tahun 1960-an, diode Zener, sebagai suatu standar tegangan DC berbasis perangkat zat padat, mulai digunakan sebagai standar acuan menggantikan *Weston Cell*, yaitu standar sel tegangan DC berbasis kimia-listrik (Elmqvist dkk., 2001). Tidak seperti *Weston Cell*, diode Zener lebih tahan terhadap gangguan mekanis dalam transportasi ketika program rekalisasi standar dilakukan oleh laboratorium eksternal. Selain itu, diode Zener lebih tidak sensitif terhadap suhu lingkungan (Andrew, 1971). Diode Zener juga mampu menjaga kestabilan level tegangan walaupun terdapat pembebanan pada terminal keluarannya. Selain itu, tegangan

keluarannya berubah relatif lambat dan dapat diprediksi terhadap waktu (Witt, Reyman, & Avrons, 1995).

Saat ini, banyak lembaga metrologi nasional dan laboratorium kalibrasi besar di dunia internasional telah menggunakan standar acuan primer berbasis fisika kuantum melalui representasi tegangan DC dengan *Josephson Voltage Standard* (JVS). Begitu juga Puslit Metrologi LIPI yang telah membangun ketertelusuran mandiri tegangan DC kepada sistem JVS yang dapat diprogram (PJVS). Puslit Metrologi LIPI menjadikan acuan ini (PJVS-LIPI) sebagai suatu sistem untuk pemeliharaan nilai tegangan DC sejak tahun 2008. Pengembangan yang telah dilakukan adalah pencapaian ketelitian pengukuran sampai beberapa bagian per sepuluh juta (Sardjono,

2010; 2013). PJVS sebagai standar tegangan acuan secara peran dapat menggantikan diode Zener. Namun, keberadaan diode Zener tetap dipertahankan sebagai standar pembandingan dalam pengoperasian PJVS.

Beberapa nilai aktual tegangan DC dari diode Zener telah diperoleh sampai dengan tahun 2012 melalui pengoperasian PJVS-LIPI. Namun, sistem ini berhenti bekerja karena terdapat permasalahan sehingga harus melakukan penggantian *chip* di tahun 2014. Setelah proses pemasangan *chip* baru berhasil, karakterisasi PJVS-LIPI masih perlu dilakukan sebelum sistem ini dioperasikan kembali untuk pemeliharaan nilai tegangan DC pada fase berikutnya. Dengan demikian, PJVS-LIPI belum memberikan nilai acuan lagi untuk tegangan DC sejak tahun 2012 dan karakterisasi sistem ini masih dalam pengerjaan sampai penulisan *paper* ini. Namun, nilai acuan tegangan DC masih dapat diperoleh secara prediksi berdasarkan beberapa data yang pernah didapatkan. Penentuan nilai prediksi ini ditentukan melalui suatu persamaan yang diturunkan oleh berbagai data yang disesuaikan dengan *least-square fit* untuk mendapatkan suatu persamaan garis lurus (Yamazaki, Aoki, & Yokoi, 1996).

Metode yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah penentuan karakterisasi laju penyimpangan nilai aktual tegangan DC dengan level 10 V dari sebuah grup standar acuan yang terdiri dari empat buah diode Zener. Nilai tersebut merupakan nilai rata-rata yang diprediksi berdasarkan *least-square fit*. Semua data yang disesuaikan untuk menentukan persamaan garis menggunakan *least-square fit* adalah berasal dari riwayat pengukuran dalam satu tahun antara empat buah diode Zener dalam satu grup dan satu buah diode Zener acuan yang memiliki nilai turunan dari JVS. Pengembangan metode ini bertujuan untuk pemeliharaan nilai tegangan DC alternatif berbasis grup diode zener.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Representasi Tegangan DC Standar

Setelah sekitar sepuluh tahun ditemukannya *tunneling effect* oleh ilmuwan Inggris, B.

Josephson, baru pada tahun 1970-an banyak laboratoium standar di berbagai negara maju yang merepresentasikan standar tegangan DC berbasis AC *Josephson Effect* yang kemudian dikenal sebagai *Josephson Voltage Standard* (JVS). *AC Josephson Effect* ini merupakan kuantisasi tegangan berdasarkan paparan frekuensi gelombang mikro kepada suatu *Josephson Junction*, yaitu suatu penghubungan dua buah superkonduktor yang dipisahkan oleh isolator tipis. Kuantisasi tersebut membentuk berbagai tingkatan dari tegangan konstan yang independen terhadap geometri penghubungan (*junction*), medan magnet, dan daya dari gelombang mikro (Taylor, 1990). Kuantisasi tersebut mengikuti persamaan (1) di bawah ini

$$V_n = n \cdot f \cdot \frac{1}{K_J} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

f = frekuensi gelombang mikro (Hertz)

n = bilangan integer

K_J = konstanta Josephson = $2e/h = 483597,9$ GHz/V

Suatu standar tegangan DC berbasis diode Zener digunakan untuk memindahkan nilai JVS ke dalam peralatan ukur. Karena secara praktis diseminasi nilai tegangan DC kepada nilai tegangan DC multi rentang lebih sederhana dilakukan menggunakan diode Zener. Walaupun kalibrasi multirentang tegangan dapat dilakukan berbasis JVS (Georgakopoulos, Budovsky, Grady, & Hagen, 2013), secara ekonomi, penggunaan diode Zener untuk menurunkan nilai tegangan DC lebih murah dibandingkan JVS. Tidak seperti JVS yang nilai tegangannya adalah nilai intrinsik berdasarkan konstanta Josephson, nilai pada diode Zener hanya merupakan nilai dan ketidakpastian saat kalibrasi terhadap JVS yang perlu dikoreksi dengan penyimpangan nilai (*drift*) tipikal diode Zener yang digunakan.

2.2 Prediksi Nilai Acuan Diode Zener

Riwayat pengukuran nilai acuan tegangan DC pada diode Zener merupakan riwayat diseminasi nilai JVS dari waktu ke waktu. Semua data tersebut dapat digunakan untuk memprediksi laju *drift* berdasarkan *least-square fit* untuk

mendapatkan suatu persamaan garis yang representatif dengan karakteristik keluaran tegangan DC oleh diode Zener. Selain waktu, keluaran nilai tegangan DC pada diode Zener juga dipengaruhi oleh suhu, kelembapan, dan tekanan. Model matematis dari nilai tegangan DC suatu diode Zener dapat dinyatakan dalam persamaan (2) (Power & Walsh, 2005).

$$V(t, T, H, P) = f(t - t_0, T_{ref}, H_{ref}, P_{ref}) + g(T - T_{ref}) + h(H - H_{ref}) + i(P - P_{ref}) + j(t) \dots\dots\dots (2)$$

Suku pertama adalah fungsi yang merepresentasikan *drift* tipikal diode Zener pada kondisi ruang acuan. Suku kedua, ketiga, dan keempat masing-masing merupakan fungsi nilai koreksi berdasarkan koefisien thermis, koefisien kelembapan, dan koefisien tekanan pada kondisi suhu, kelembapan relatif, dan tekanan yang berbeda dari kondisi suhu acuan. Suku kelima adalah *noise* intrinsik dari keluaran tegangan DC pada diode Zener. Pada kondisi pengukuran yang sama dengan kondisi acuan, di mana semua pengukuran dilakukan pada laboratorium internal yang terkondisi, semua nilai koreksi dapat diabaikan. Deviasi secara acak pada kondisi lingkungan yang menyimpang dari kondisi lingkungan acuan berkontribusi pada sumber ketidakpastian sehingga persamaan (2) dapat disederhanakan menjadi persamaan nilai tegangan DC suatu diode Zener sebagai fungsi dari waktu.

Berdasarkan observasi nilai acuan tegangan DC diode Zener selama satu tahun, model persamaan nilai tegangan DC suatu diode Zener sebagai fungsi dari waktu adalah model persamaan garis lurus yang secara matematis dinyatakan dengan persamaan (3).

$$V_t = mt + V_0 \dots\dots\dots (3)$$

m adalah laju *drift* yang dapat ditentukan secara independen terhadap kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembapan relatif, dan tekanan. Hal tersebut dapat dilakukan apabila interval kalibrasi mendekati satu tahun dan komponen kondisi lingkungan serupa untuk setiap kalibrasi sehingga tidak mempengaruhi perhitungan laju drift m (Hamilton & Tarr, 2003). V_0 adalah nilai

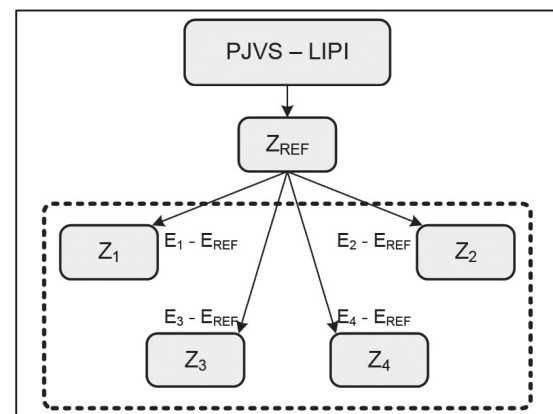
awal tegangan DC diode Zener sebagai nilai tegangan pada waktu $t = 0$ dan V_t adalah nilai prediksi tegangan DC diode Zener pada waktu t . Berdasarkan data-data berpasangan antara nilai tegangan (y_i) terhadap waktu (x_i) yang dipaskan dengan *least-square fit*, m dan V_0 dapat ditentukan dengan persamaan (4) dan (5).

$$m = \frac{N \left(\sum_{i=1}^N (x_i y_i) \right) - \left(\sum_{i=1}^N (x_i) \right) \left(\sum_{i=1}^N (y_i) \right)}{N \left(\sum_{i=1}^N (x_i^2) \right) - \left(\sum_{i=1}^N (x_i) \right)^2} \dots\dots\dots (4)$$

$$V_0 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (x_i^2) \right) \left(\sum_{i=1}^N (y_i) \right) - \left(\sum_{i=1}^N (x_i) \right) \left(\sum_{i=1}^N (x_i y_i) \right)}{N \left(\sum_{i=1}^N (x_i^2) \right) - \left(\sum_{i=1}^N (x_i) \right)^2} \dots\dots\dots (5)$$

2.3 Pengukuran dengan Grup Diode Zener

Catatan teknis NBS oleh Eicke dan Cameron (1967) telah menggambarkan suatu prosedur untuk memelihara nilai tegangan DC dengan suatu grup yang terdiri dari tiga, empat, lima, dan enam buah sel standar tersaturasi. Prosedur ini diterapkan pada suatu grup standar yang memiliki nilai rata-rata yang konstan. Berbeda dari NBS, observasi yang dilakukan pada sebuah grup standar yang terdiri dari empat buah diode Zener di Puslit Metrologi LIPI selama satu tahun memberikan gambaran bahwa nilai grup juga mengalami *drift* sehingga metode berdasarkan *least-square fit* juga digunakan pada nilai rata-rata dari grup standar tersebut. Skema pengukuran untuk mengobservasi laju *drift* tersebut diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengukuran untuk Mengobservasi Laju *Drift* Tegangan DC Sebuah Grup Standar Acuan

Perbandingan suatu unit dengan unit lainnya pada diode Zener dilakukan dengan metode oposisi untuk mendapatkan selisih tegangan. Dalam metode oposisi ini, dua buah diode Zener, yang akan diperbandingkan, dihubungkan secara seri dengan arah posisi tegangan yang saling berkebalikan dan dua terminal dengan polaritas positif masing-masing dihubungkan dengan meter sehingga beda nilai tegangan yang relatif kecil dari nilai nominal Zener terbaca pada meter. Ada dua kemungkinan memposisikan unit diode Zener acuan dalam pengukuran menggunakan metode oposisi ini, yaitu polaritas positifnya dihubungkan pada terminal positif meter atau polaritas positifnya dihubungkan pada terminal negatif meter. Penghubungan pertama disebut hubung *forward* dan yang kedua disebut hubung *reverse*. Skema sirkuit dengan kedua modus penghubungan berdasarkan metode oposisi tersebut dapat diilustrasikan dalam Gambar 2.

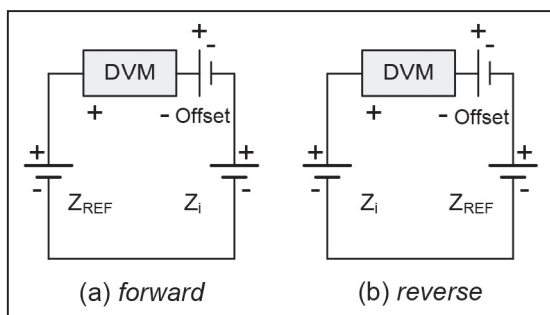
Kedua modus penghubungan pada metode oposisi ini dilakukan untuk menghilangkan efek *offset* yang diberikan oleh gaya gerak listrik (GGL) *thermis*. Beda nilai aktual tegangan DC dari suatu diode Zener yang tidak diketahui (E_i) terhadap nilai aktual tegangan DC dari diode Zener acuan dapat dituliskan dengan persamaan matematis sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (6).

$$E_i - E_{REF} = \frac{1}{2} \cdot (E_{REV} - E_{FWD}) \quad \text{..... (6)}$$

dengan:

E_{REF} = nilai aktual tegangan DC dari diode Zener acuan (V)

E_{REV} = pembacaan DVM pada penghubungan *reverse* (V)



Gambar 2. Skema Sirkuit Perbandingan Dua Diode Zener Berdasarkan Metode Oposisi

E_{FWD} = pembacaan DVM pada penghubungan *forward* (V)

Laju *drift* setiap individu dari beda nilai aktual tegangan DC suatu diode Zener yang tidak diketahui terhadap nilai diode Zener acuan, $m[E_i - E_{REF}]$, dapat ditentukan melalui observasi hasil pengukuran dalam satu tahun. Oleh karena nilai rata-rata grup dinyatakan dengan persamaan (7),

$$E_G = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad \text{..... (7)}$$

maka

$$m[E_G - E_{REF}] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m[E_i - E_{REF}] \quad \text{..... (8)}$$

Selain itu,

$$m[E_G - E_{REF}] = m[E_G] - m[E_{REF}] \quad \text{..... (9)}$$

maka laju *drift* group diode Zener dapat dievaluasi melalui persamaan [10].

$$m[E_G] = m[E_G - E_{REF}] + m[E_{REF}] \quad \text{..... (10)}$$

di mana:

$m[E_G - E_{REF}]$ = laju *drift* beda nilai rata-rata grup diode Zener terhadap nilai diode Zener acuan

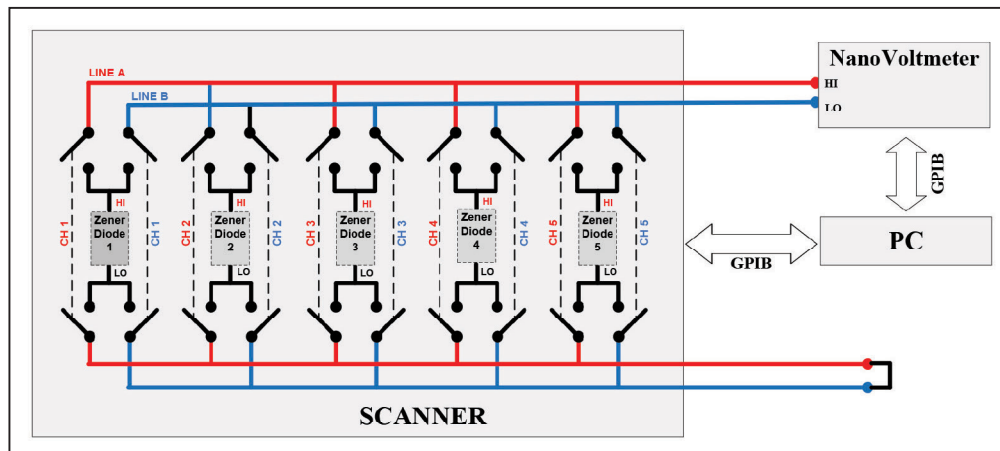
$m[E_{REF}]$ = laju *drift* diode Zener acuan

Dengan mengetahui laju *drift* dan nilai grup diode Zener pada waktu t_0 , maka nilai grup diode Zener pada waktu t dapat ditentukan melalui persamaan (11).

$$E_{Gt} = m[E_G] \cdot (t - t_0) + E_{Gt_0} \quad \text{..... (11)}$$

3. METODOLOGI

Skema penurunan nilai, sebagaimana telah diilustrasikan pada Gambar 1, dioperasikan untuk mendapatkan laju penyimpangan nilai tegangan DC 10 V sebuah grup standar acuan yang dipelihara di Puslit Metrologi LIPI. dioperasikan untuk menurunkan nilai intrinsik tegangan DC-nya kepada diode Zener acuan (Z_{REF}). Pengoperasian tahapan ini secara rutin dilakukan satu tahun sekali sebagai program recalibrasi standar acuan tegangan DC. Akan tetapi, karena PJVS-LIPI belum



Gambar 3. Diagram Skematis Sistem Otomasi Perbandingan antara Grup dengan Diode Zener Acuan

dapat dioperasikan lagi untuk mengkalibrasi, riwayat beberapa pengukuran dalam satu tahun, antara tahun 2010 sampai dengan tahun 2011, dievaluasi untuk memperkirakan laju *drift* dari diode Zener acuan ($m[E_{REF}]$). Program rekalisasi oleh laboratorium eksternal dilakukan pada semester kedua tahun 2015, di mana diode Zener acuan dikalibrasi oleh JVS yang dipelihara oleh BIPM. Salah satu tujuan program rekalisasi ini adalah untuk memvalidasi estimasi laju *drift* setelah empat tahun berjalan.

Tahap kedua adalah pemeliharaan sebuah grup standar yang terdiri dari empat buah diode Zener. Perbandingan setiap individu dalam grup dengan diode Zener acuan dilakukan secara otomatis dengan perangkat *digital nanovoltmeter*, *scanner*, dan komputer *desktop*. Metode oposisi yang diterapkan dalam perbandingan ini memberikan pembacaan beda nilai dari kedua unit yang diukur. Delapan data beda nilai untuk satu kali siklus pengukuran didapatkan melalui pemeliharaan grup standar. Pengukuran dilakukan setiap hari kerja dalam satu tahun dari bulan Maret 2015 sampai dengan bulan Maret 2016. Pengukuran hanya dihentikan saat program rekalisasi diode Zener acuan selama sekitar satu bulan dari Agustus 2015 sampai dengan September 2015. Riwayat pengukuran ini dievaluasi untuk mendapatkan laju *drift* beda nilai tegangan DC setiap individu dari suatu diode Zener yang tidak diketahui dengan diode Zener acuan ($m[E_i - E_{REF}]$). Laju *drift* beda nilai grup standar dengan nilai diode Zener acuan, $m[E_G - E_{REF}]$,

dapat ditentukan dengan merata-ratakan laju *drift* tersebut. Persamaan (10) digunakan untuk menentukan laju *drift* dari nilai grup standar ($m[E_G]$) berdasarkan pada laju *drift* beda nilai grup standar dengan nilai diode Zener acuan dan laju *drift* diode Zener acuan.

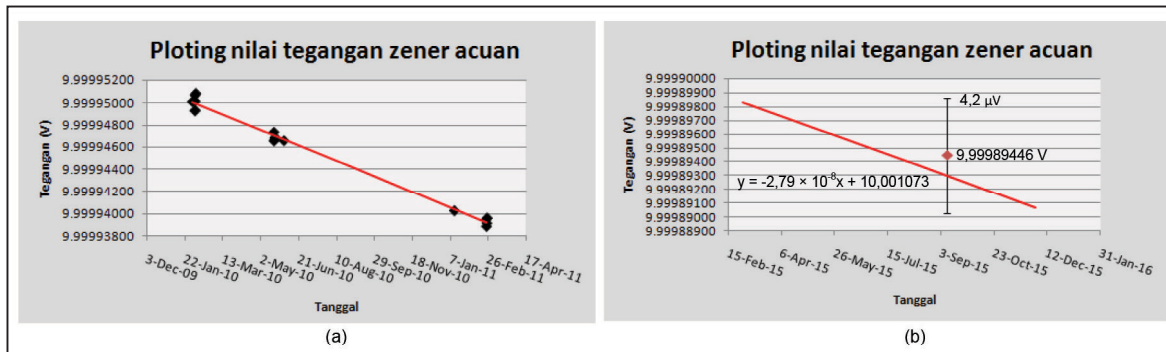
Dengan mengetahui laju *drift* grup dan nilai grup diode Zener pada waktu t_0 , nilai grup dioda Zener pada waktu pelaksanaan kalibrasi (t) dapat ditentukan melalui persamaan (11). Nilai aktual grup merupakan nilai rata-rata empat buah diode Zener anggotanya pada waktu t_0 , yaitu saat diode Zener acuan telah kembali ke laboratorium.

Sistem otomasi yang dioperasikan pada tahapan kedua dapat ditunjukkan pada Gambar 3. Posisi diode Zener 1 sampai dengan diode Zener 4 ditempatkan oleh setiap individu dalam grup standar diode Zener, sedangkan posisi diode Zener 5 ditempatkan oleh diode Zener acuan. Kelima diode Zener terhubung pada *scanner* dan keluaran dari *scanner* tersebut dihubungkan pada *digital nanovoltmeter*. Baik *scanner* maupun *digital nanovoltmeter*, keduanya beroperasi secara otomatis dengan kendali program yang dikembangkan dan dipasang ke dalam komputer *desktop*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Laju *Drift* Diode Zener Acuan

Beberapa nilai aktual diode Zener yang menjadi acuan telah diperoleh dari pengukuran dengan PJVS-LIPI mulai tanggal 1 Februari 2010 sampai dengan 24 Februari 2011. Berdasarkan



Ket.: (a) *Ploting* Riwayat Data Pengukuran dengan PJVS-LIPI dan (b) *Ploting* Data Kalibrasi Diode Zener Acuan Berdasarkan JVS-BIPM

Gambar 4. *Ploting* Nilai Tegangan Zener Acuan Riwayat Data Pengukuran - (4a) dan Data Kalibrasi Diode Zener Acuan Berdasarkan - (4b)

persamaan (4) dan (5), nilai laju *drift* tegangan DC 10 V diode Zener yang menjadi acuan ($m[E_{REF}]$) dapat ditentukan sebesar $-2,79 \times 10^{-8}$ V/hari dengan standar deviasi sebesar $7,4 \times 10^{-10}$ V/hari serta nilai awal ($V_0[E_{REF}]$) sebesar 10,001073 V dengan standar deviasi sebesar $3,0 \times 10^{-5}$ V. *Ploting* riwayat dari 16 data pengukuran dapat ditunjukkan pada Gambar 4a. Laju *drift* ini kemudian diperkirakan tidak dikoreksi sampai dengan lima tahun ke depan.

Program rekalisasi standar untuk diode Zener acuan telah dilaksanakan di BIPM Prancis. Data pengukurannya menyatakan bahwa pada tanggal 9 September 2015, keluaran tegangan DC sebesar 9,99989446 V dengan ketidakpastian standar sebesar 100 nV. Data tersebut diperoleh dengan pengondisian lingkungan pada suhu, kelembapan relative, dan tekanan udara masing-masing sebesar 20,7°C, 47%, dan 1011,9 hPa.

Setelah diode Zener ini kembali ke Laboratorium Metrologi Kelistrikan Puslit Metrologi LIPI, perbandingan diode Zener acuan dengan grup standar tegangan DC dilakukan pada tanggal 22 September 2015. Kondisi lingkungan saat pengukuran di laboratorium tersebut berada pada suhu, kelembapan relatif, dan tekanan masing-masing sebesar 22°C, 51%, dan 1006 hPa. Nilai dan ketidakpastian dari diode Zener acuan yang diperoleh dari laboratorium eksternal dapat bergeser setelah perjalanan waktu dan pengondisian lingkungan yang berbeda. Namun, untuk perjalanan waktu kurang dari satu bulan dan adanya kedekatan

pengondisian lingkungan antara laboratorium eksternal dengan laboratorium internal, maka diasumsikan nilai diode Zener tidak dikoreksi, tetapi perbedaan kondisi terhadap laboratorium eksternal ditambahkan ke dalam ketidakpastian.

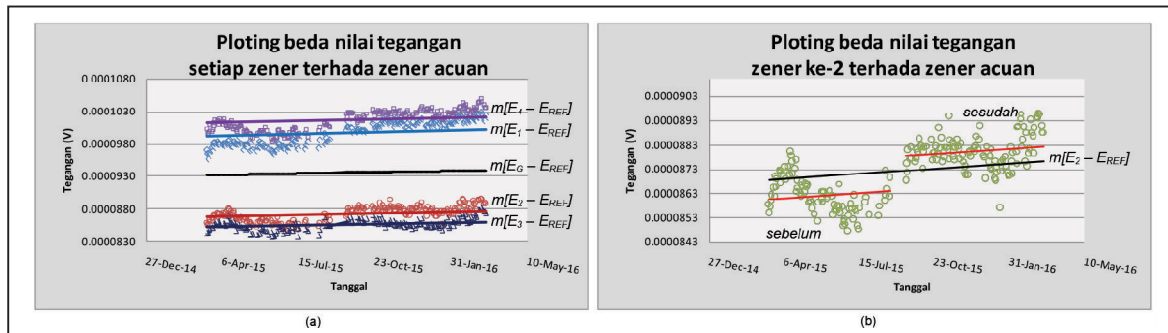
Ketidakpastian gabungan setelah menambahkan komponen stabilitas diode Zener kurang dari satu bulan, koefisien suhu, koefisien kelembapan, dan koefisien tekanan menjadi sebesar 4,2 μ V. Semua komponen ketidakpastian mengacu pada buku manual diode Zener acuan. Komponen stabilitas diode Zener kurang dari satu bulan menjadi kontributor ketidakpastian yang paling dominan.

Nilai keluaran tegangan DC diode Zener acuan yang merupakan hasil pengukuran BIPM Prancis ini dapat digunakan untuk memvalidasi laju *drift* yang diperkirakan tidak dikoreksi setelah lima tahun. Jika laju *drift* diteruskan sampai tahun 2015 dengan persamaan (12), maka persamaan tersebut masih berada pada wilayah cakupan keluaran tegangan DC sebesar $(9,9998945 \pm 0,0000042)$ V pada tanggal 9 September 2015, sebagaimana visualisasi yang ditampilkan pada Gambar 4b.

$$V_t = -2,79 \cdot 10^{-8} t + 10,001073 \dots\dots\dots (12)$$

Tabel 1. Laju *Drift* Setiap Individu dalam Grup terhadap Diode Zener Acuan

	$m[E_i - E_{REF}]$	Unit
$[E_1 - E_{REF}]$	$2,36 \times 10^{-9}$	V/hari
$[E_2 - E_{REF}]$	$2,06 \times 10^{-9}$	V/hari
$[E_3 - E_{REF}]$	$2,03 \times 10^{-9}$	V/hari
$[E_4 - E_{REF}]$	$2,41 \times 10^{-9}$	V/hari



Gambar 5. *Ploting* Setiap Zener terhadap Zener Acuan Selama Satu Tahun (5a) dan *Ploting* Zener Kedua terhadap Acuan pada Fase Sebelum dan Setelah Rekalibrasi (5b)

4.2 Laju *Drift* Grup Diode Zener

Pemeliharaan sebuah grup standar telah dilakukan untuk mengobservasi laju *drift* grup terhadap laju drift diode Zener acuan. Satu siklus pengukuran dengan metode oposisi mendapatkan empat pasang data beda nilai, *forward* dan *reverse*. Persamaan (6) digunakan untuk mengevaluasi beda nilai tegangan DC setiap individu dari diode Zener acuan. Hasil pengukuran dalam setahun memberikan informasi bahwa masing-masing laju drift individu terhadap acuan didapati sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Ploting data pengukuran dalam satu tahun untuk beda nilai tegangan setiap diode Zener dalam grup terhadap diode Zener acuan dapat dilihat pada Gambar 5a. Walaupun pengukuran rutin harian terhenti pada interval waktu Agustus 2015 sampai dengan September 2015 untuk pelaksanaan kalibrasi diode Zener acuan, fase sebelum dan setelah rekalibrasi memiliki tren yang identik. Untuk laju *drift* individu tipikal diode Zener kedua terhadap diode Zener acuan, sebagaimana ditunjukkan oleh *ploting* data pengukuran pada Gambar 5b, fase sebelum dan setelah rekalibrasi masing-masing memiliki laju sebesar $2,05 \times 10^{-9}$ V/hari dan $2,08 \times 10^{-9}$ V/hari. Oleh karena itu, laju *drift* tersebut berdasarkan observasi selama satu tahun dari Maret 2015 sampai dengan Maret 2016 dapat diasumsikan tidak bergeser.

Berdasarkan laju *drift* beda nilai grup standar dengan nilai diode Zener acuan dan laju *drift* diode Zener acuan, laju *drift* dari nilai grup standar ($m[E_G]$) dapat ditentukan menggunakan persamaan (10) dan diperoleh nilai sebesar $-2,57 \times 10^{-8}$ V/hari.

Tabel 2. Nilai Tegangan DC Setiap Individu Diode Zener pada Tanggal 22 September 2015

	Tegangan DC
E_1	9,9999945 V
E_2	9,9999818 V
E_3	9,9999803 V
E_4	9,9999967 V

4.3 Nilai Tegangan Grup Diode Zener

Penentuan nilai tegangan DC rata-rata dari suatu grup diode Zener pada tanggal ke- t dapat ditentukan berdasarkan rata-rata laju *drift* grup diode Zener dan nilai tegangan DC pada tanggal ke- t_0 . Laju *drift* grup diode Zener ($m[E_G]$) adalah sebesar $-2,57 \times 10^{-8}$ V/hari, sedangkan nilai tegangan DC rata-ratanya pada tanggal ke- t_0 perlu dihitung nilai setiap individu diode Zener dalam grup terlebih dahulu melalui metode oposisi satu per satu perbandingan dengan diode Zener acuan ketika diode Zener acuan baru selesai dikalibrasi ulang dan kembali ke laboratorium, yaitu pada tanggal 22 September 2015. Pada tanggal tersebut, nilai tegangan DC rata-rata dari grup diode Zener (E_{G0}) adalah 9,9999883 V. Detail nilai setiap individu ditabulasikan dalam Tabel 2. Nilai tegangan DC rata-rata pada tanggal ke- t dari grup diode Zener (E_{Gt}) dihitung menggunakan persamaan (11). Pada tanggal 10 Juni 2016, nilai E_{Gt} adalah sebesar 9,9999816 V.

5. KESIMPULAN

Karakterisasi penyimpangan nilai tegangan DC dari sebuah grup standar acuan berbasis perangkat zat padat diode Zener telah dilakukan.

Nilai rata-rata tegangan DC grup yang terdiri dari empat buah individu diode Zener pada level 10 V tersebut telah diamati dan mengalami penyimpangan terhadap waktu (*drift*) yang dapat disesuaikan berdasarkan persamaan garis lurus. Laju penyimpangan nilai rata-rata grup ditentukan berdasarkan informasi yang diperoleh dari laju penyimpangan diode Zener acuan yang memiliki nilai turunan dari JVS dan laju penyimpangan beda nilai setiap individu diode Zener dalam grup terhadap diode Zener acuan.

Laju penyimpangan nilai rata-rata grup ($m[E_G]$) yang diperoleh sebesar $-2,57 \times 10^{-8}$ V/hari. Berdasarkan kalibrasi terakhir terhadap diode Zener acuan oleh BIPM pada tanggal 22 September 2015, nilai tegangan DC setiap individu diode Zener dapat ditentukan. Nilai rata-ratanya ditetapkan sebagai nilai awal tegangan DC rata-rata grup pada tanggal ke- t_0 (E_{Gt0}) yang diperoleh sebesar 9,9999883 V. Dengan mengetahui laju penyimpangan dan nilai awal grup diode Zener, nilai grup diode Zener pada waktu ke- t dapat ditentukan melalui persamaan garis lurus $E_{Gt} [V] = -2,57 \times 10^{-8} (t - t_0) + 9,9999883$ V/hari. Berdasarkan persamaan yang ditentukan dari karakterisasi penyimpangan nilai tegangan tersebut, pemeliharaan nilai tegangan DC alternatif berbasis grup diode Zener dapat dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Puslit Metrologi LIPI dan jajaran manajemen yang telah menyediakan sarana dan prasarana untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BIPM key comparison on DC voltage Josephson standards 10 V BIPM.EMK10.b. <http://kcdb.bipm.org/AppendixB>.
- Andrew, D. F. (1971). *Maintenance of A Laboratory Unit of Voltage*. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, vol. IM-20, No.1.
- Eicke, W. G. & Cameron, J. M. (1967). *Designs for surveillance of the Volt maintained by a small group of saturated standard cells*. NBS Technical Note 430, October 9, 1967.
- Fluke 7000 Rev. 1, 11/04, *Volt Maintenance System User Manual*, PN 1563948, August 2000.
- Georgakopoulos, D., Budovsky, I., Grady, S., & Hagen, T. (Juni 2013). Quantum calibration system for digital voltmeter at voltages from 10 nV to 1 kV. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 62(6), 1581–1586.
- Hamilton, C. A. & Tarr, L. W. (2003) Projecting Zener DC reference performance between calibrations. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 52(2), 454–456.
- Pokatilov, A. (2008). *Development of national standard for voltage unit based on solid state references*. (Doctoral Thesis). ISSN. 1406-4731, ISBN. 978-9985-59-852-8.
- Power, O. & Walsh, J. O. (2005). Investigations of the long and medium term drift of Zener-based voltage standards. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 54(1), 330–336.
- Elmqvist, R. E., Cage, M. E., Tang, Y., Jeffery, A-M., Kinard, J. R., Dziuba, R. F., Oldham, N. M., & Williams, E. R. (2001). *The Ampere and Electrical Standards*. Volume 106, Number 1, January–February 2001. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 106, 65–103.
- Sardjono, R. H. (2010). Metode diseminasi standar nasional VDC berbasis PJVS KIM dengan ketelitian sampai dengan 0,2 ppm. *Jurnal Standardisasi*, 12(2).
- Sardjono, R. H. (2013). Pengaruh frekuensi daya radio frekuensi padastandar nasional VDC berketelitian lebih baik dari 0,1 ppm. *Jurnal Standardisasi*, 15(3).
- Taylor, B. N. (1990). New international representation of the Volt and Ohm effective January 1, 1990. *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 39(1), 2–5.
- Witt, T. J., Reymann, D., & Avrons, D. (April 1995). The stability of some Zener diode based voltage standards. *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, 44(2).
- Yamazaki, A., Aoki, T., & Yokoi, K. (1996). DC 10 V Zener standard system using predictive method. Dalam *NCSL Workshop & Symposium 1996*.