

KARAKTERISTIK TCR DAN VCR RESISTOR PASTA RESISTOR PADA SUBSTRAT ALUMINA DENGAN TEKNOLOGI FILM TEBAL

Rhezananta Arya H., M. Julius dan R. Arief Setyawan

Abstrak — Resistor merupakan komponen yang sangat berperan dalam rangkaian film tebal. Resistor berteknologi film tebal mempunyai karakteristik yang terdiri dari TCR (*Temperature Coefficient of Resistance*) dan VCR (*Voltage Coefficient of Resistance*). Dari alasan di atas maka perlu untuk mengetahui bagaimana pembuatan resistor film tebal dan mengetahui karakteristiknya.

Penelitian ini menggunakan proses *screen printing* dalam pembuatan resistor yang kemudian melalui proses pengendapan (15 menit), *drying* (15 menit), *firing* (7 menit) dan kemudian didiamkan pada suhu ruangan (5 menit) dan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.

Rata-rata nilai VCR terbesar dihasilkan oleh resistor ($R_s = 10,37 \Omega/\square$) dengan screen T150 pada aspek rasio 5/1 sebesar $-18,87\%/V$. Rata-rata nilai VCR terkecil dihasilkan oleh resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) dengan screen T200 pada aspek rasio 1/1 sebesar $10417\%/V$. Rata-rata nilai TCR terbesar resistor dihasilkan oleh resistor ($R_s = 10,37 \Omega/\square$) dengan screen T180 pada aspek rasio 1/1 sebesar

$831,58\text{ppm}/^\circ\text{C}$. Rata-rata nilai TCR terkecil dihasilkan oleh resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) dengan screen T150 pada aspek rasio 5/1 sebesar $212,70\text{ppm}/^\circ\text{C}$.

VCR yang didapatkan rata-rata bernilai negatif (-) sehingga setiap kenaikan tegangan menyebabkan penurunan nilai resistansi pada resistor film tebal berbahan palladium. TCR yang didapatkan rata-rata hasil yang bernilai positif (+) sehingga setiap kenaikan suhu menyebabkan kenaikan nilai resistansi pada resistor atau disebut sebagai koefisien suhu positif.

Kata kunci : aspect ratio, resistivitas lembaran (R_s), koefisien tegangan resistansi (VCR), koefisien suhu resistansi (TCR)

I. PENDAHULUAN

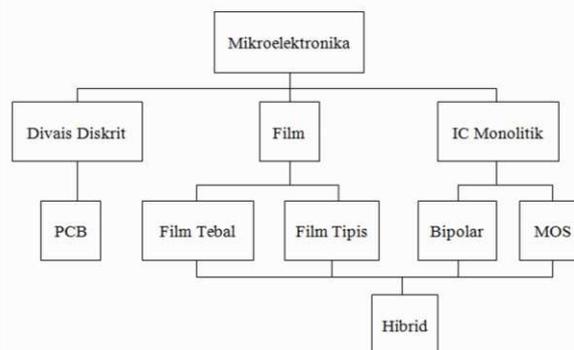
Teknologi *thick film* (TFT) merupakan salah satu bagian dari teknologi proses mikroelektronika untuk fabrikasi komponen komponen elektronika secara *screenprinting*. Teknologi ini telah banyak digunakan secara luas dalam industri komponen hibrid mikroelektronika dan diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti otomotif, telekomunikasi, medis, dan pengembangan sensor dan aktuator.

Rhezananta Arya H. adalah mahasiswa program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (penulis dapat dihubungi melalui email: Rhezaarya23@gmail.com).

Ir. M. Julius St., MS. dan R. Arief Setyawan, ST., MT adalah staf pengajar program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. (email : m.julius.st@ub.ac.id; rarief@ub.ac.id)

Teknologi ini termasuk dalam teknologi mikroelektronika yang digunakan untuk memperkecil

sirkuit elektronik. Teknologi ini diterapkan untuk merealisasikan pembuatan sirkuit elektronik berdimensi kecil dengan pertimbangan peningkatan fungsi kemampuan perkomponen, pengurangan berat, kekuatan daya uji, dan kemampuan stabilitas terhadap lingkungan. Teknologi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu : Teknologi film tebal, teknologi film tipis, dan teknologi rangkaian terpadu (*Integrated Circuit*) [6].



Gambar 1. Blok Klasifikasi Mikroelektronika [6]

Resistor merupakan komponen yang sangat berperan dalam rangkaian film tebal. Resistor berteknologi film tebal mempunyai karakteristik yang terdiri dari TCR (*Temperature Coefficient of Resistance*) dan VCR (*Voltage Coefficient of Resistance*). Dari alasan di atas maka perlu untuk mengetahui bagaimana pembuatan resistor film tebal dan mengetahui karakteristiknya.

Keunggulan yang diperoleh dalam pencetakan resistor seperti dapat diperoleh nilai toleransi yang kecil dan juga dapat dilakukan pengetriman, koefisien temperatur yang rendah membuat film tebal suatu proses yang penting.

II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

A. Perancangan Resistor Film Tebal

Resistansi sebuah resistor berbanding lurus terhadap resistivitas bahan dan panjang resistor dan berbanding terbalik dengan daerah luasan yang tegak lurus arah aliran arus dan ditunjukkan dalam Gambar 2.

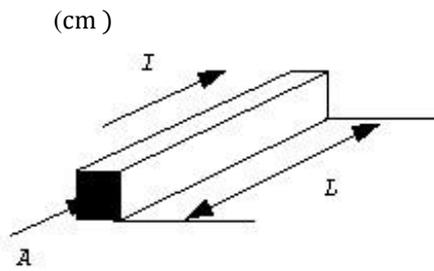
Nilai resistansi konduktor hibrida film tebal ditentukan oleh dimensi atau ukuran konduktor dan resistivitas lembaran (*sheet resistivity*) pasta yang digunakan [6]. Resistansi R sebuah resistor dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (1)$$

Dengan :

$$R = \text{Resistansi } (\Omega) \quad \rho = \text{Resistivitas } (\Omega\text{m}) \quad l = \text{Panjang Resistor (cm)}$$

$$A = \text{Luasan yang tegak lurus arah aliran arus}$$



Gambar 2. Resistansi Resistor Bentuk Empat Persegi Panjang dengan Luasan A dan Panjang L

[2]

Daerah luasan yang tegak lurus arah aliran arus A resistor merupakan perkalian ketebalan film t dengan lebar w .

$$A = t \cdot w \quad (2)$$

Dengan :

A = luasan yang tegak lurus arah aliran arus (cm^2), t = tebal resistor (cm), w = lebar resistor (cm)

Sehingga dari Persamaan 1 dan 2 didapat:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (3)$$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{t \cdot w} \quad (4)$$

Dengan :

ρ = resistivitas ($\Omega \cdot \text{cm}$) l = panjang resistor (cm) t = tebal resistor (cm) w = lebar resistor (cm) R = resistansi (Ω)

Ketebalan lapisan film tebal hasil proses diatas substrat dianggap konstan, sehingga untuk mendapatkan nilai resistor.

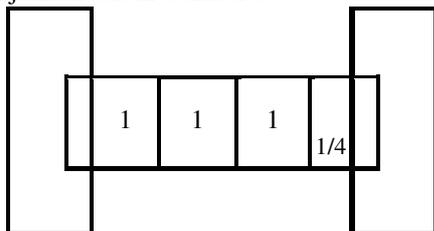
$$R_s = \frac{\rho}{t} \quad (5)$$

Dengan :

ρ = resistivitas ($\Omega \cdot \text{cm}$) t = tebal resistor (cm) R_s = resistivitas lembaran (W/a)

B. Aspect Ratio

Bentuk resistor teknologi hibrida film tebal dapat berbentuk empat persegi panjang atau bentuk topi (*hatshaped*). Panjang l dibagi lebar w menghasilkan jumlah luasan resistor. Perbandingan panjang dan lebar resistor didefinisikan sebagai aspect ratio. Nilai aspect ratio sama dengan jumlah luasan resistor. *Aspect ratio* ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Jumlah Luasan Resistor Empat Persegi

[2]

Perkalian jumlah luasan dengan resistivitas lembaran adalah besarnya resistansi yang ditunjukkan dalam Persamaan (6) berikut:

$$R = R_s \cdot A \quad (6)$$

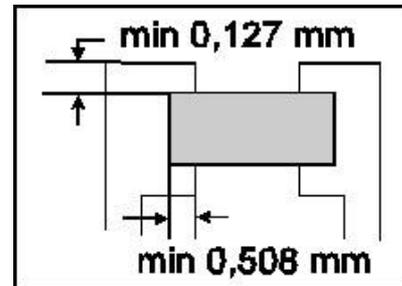
Dengan :

R_s = resistivitas lembaran (Ω / \square), l = panjang resistor (cm), w = lebar resistor (cm), R = resistansi (Ω)

C. Aturan Perancangan Resistor Persegi Panjang

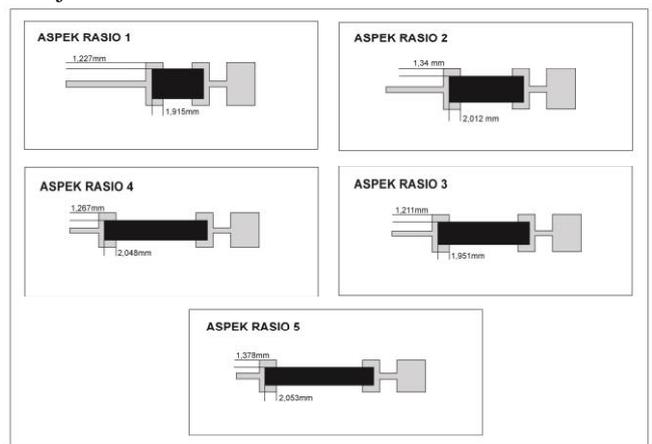
Ukuran minimum secara praktek adalah 0,508 mm kali 0,508 mm. Ukuran minimum yang dianjurkan adalah 0.762 mm kali 0.762 mm.

Bentuk pola resistor dan konduktor mempunyai bagian *overlap* resistor (bagian lebih panjang resistor yang melapisi konduktor) minimum yang diperbolehkan sebesar 0,508 mm dan bagian *underlap* konduktor (bagian lebih konduktor pada setiap sisi resistor) minimum sebesar 0,127 mm yang ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Pedoman Perancangan Dimensi Resistor Persegi Panjang

Pada perancangan ini digunakan lima aspek rasio yang berbeda – beda yang telah memenuhi pedoman perancangan dimensi resistor persegi panjang yang ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Resistor dengan Aspek Rasio yang Memenuhi Pedoman Perancangan Resistor Persegi Panjang

D. Perancangan Resistor pada Substrat Faktor yang menentukan nilai resistansi resistor film tebal yaitu resistivitas lembaran (R_s) dan *aspect ratio* (l/w) yang ditunjukkan dalam Persamaan (6). Sehingga untuk memproses resistor film tebal dengan diketahuinya nilai R_s maka perlu untuk

menentukan nilai *aspect ratio* yang berhubungan dengan dimensi resistor. Dengan ketebalan lapisan pasta resistor film tebal yang umum sebesar 0,0254mm.

Besar perbandingan panjang dan lebar yang digunakan (*aspect ratio*) yang akan dibuat sebesar 5/1, 4/1, 3/1, 2/1 dan 1/1. Untuk mengetahui nilai resistansi resistor pada substrat dengan R_s yang berbeda – beda ditunjukkan dalam Tabel 1 dan 2.

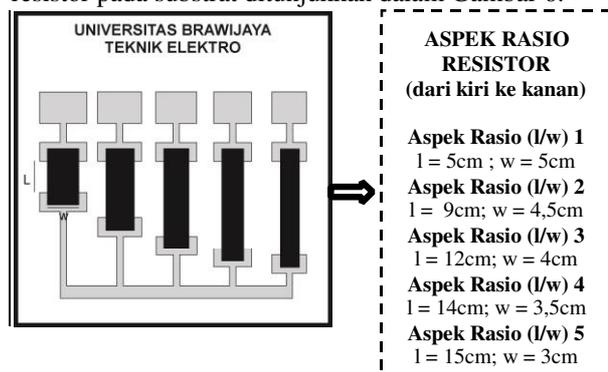
Tabel 1. Nilai Resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$

No.	Aspect Ratio	Dimensi		Nilai resistansi rancangan (Ω)
		()	()	
1.	1/1	5	5	10,37
2.	2/1	9	4,5	20,74
3.	3/1	12	4	31,11
4.	4/1	14	3,5	41,48
5.	5/1	15	3	51,85

Tabel 2. Nilai Resistor dengan $R_s = 1.023K\Omega/\square$

No.	Aspect Ratio	Dimensi		Nilai resistansi rancangan (Ω)
		()	()	
1.	1/1	5	5	1023
2.	2/1	9	4,5	2046
3.	3/1	12	4	3069
4.	4/1	14	3,5	4092
5.	5/1	15	3	5115

Bentuk rancangan resistor film tebal akan dibuat pada setiap keping substrat dengan ukuran kerapatan *screen* T120, T150, T165, T185 dan T200 dan dengan menggunakan dua pasta resistor dengan nilai R_s (*resistivity sheet*) yang berbeda - beda . Bentuk tata letak rancangan resistor pada substrat ditunjukkan dalam Gambar 6.

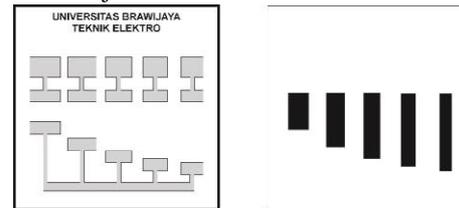


Gambar 6. Pola Rancangan Resistor Film Tebal

E. Proses Pembuatan Pola

Proses pembuatan pola resistor dan konduktor diawali dengan membuat desain tata letak pola dengan *software* Corel Draw X3. Kemudian pola dicetak pada kertas dengan menggunakan *printer*. Gambar kemudian dilapisi dengan minyak untuk mempermudah dalam proses pemindaian

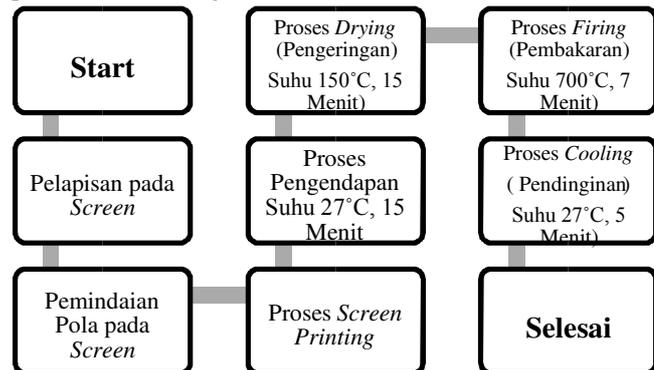
pola. Pola konduktor dan resistor yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Pola Konduktor dan Resistor

F. Proses Keseluruhan Pembuatan Resistor Berteknologi Film Tebal

Keseluruhan proses pembuatan resistor film tebal pada substrat ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Proses Keseluruhan Pembuatan Resistor

Langkah pertama adalah mencampurkan larutan *solvent* dan *sensitizer* sebagai lapisan emulsi yang disapukan kedua sisi screen yang kemudian dikeringkan di ruangan gelap. Selanjutnya pola konduktor/resistor diletakkan di atas screen (dengan pola menghadap ke screen) dan di atasnya diberi kaca yang digunakan untuk menyangga pola. Dibawah screen diberi kain hitam yang berfungsi untuk meredam cahaya dari lampu. Kemudian screen disinari dengan lampu UV (ultraviolet) dengan jarak 5cm selama 40 detik. Setelah proses penyinaran, pola akan terlihat samar pada screen. Screen kemudian dibilas dengan air hingga tercetak pola pada screen. Selanjutnya screen dikeringkan dan screen siap digunakan untuk mencetak konduktor/resistor. Proses selanjutnya adalah proses pencetakan (screen printing). Pasta yang akan digunakan (konduktor/resistor) dituangkan secukupnya pada pola pada screen bagian dalam (Sisi sebaliknya) dan diratakan menggunakan rakel sebanyak maks. 3 kali (apabila lebih terdapat kemungkinan hasil cetakan yang kurang bagus). Pasta yang telah tercetak pada substrat dibiarkan mengendap pada suhu ruangan selama 15 menit. Selanjutnya substrat melalui proses drying (pengeringan). Substrat diletakkan ke dalam oven dan dipanaskan dengan suhu 150°C selama 15 menit. Kemudian substrat melalui proses firing (pembakaran). Substrat diletakkan di dalam furnace dan dipanaskan dalam range suhu 700° - 800°C selama 7 menit. Selanjutnya substrat didiamkan pada suhu ruangan selama 5 menit. Maka proses pembuatan resistor film tebal dianggap selesai.

Screen dengan kerapatan yang bermacam – macam digunakan untuk mengetahui pengaruh kerapatan screen dengan nilai TCR dan VCR resistor berteknologi film tebal.

Pasta resistor dengan R_s (*Resistivity Sheet*) yang berbeda juga digunakan untuk mengetahui pengaruh kerapatan *screen* terhadap nilai TCR VCR pada pasta resistor yang digunakan. Ukuran *screen* yang digunakan yaitu T120, T150, T165, T180 dan T200. Resistor hasil proses film tebal ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 9 . Resistor Hasil Proses Film Tebal Pada Keseluruhan Substrat

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengukuran dan analisis dilakukan untuk menganalisis apakah sistem telah bekerja sesuai perancangan. Pengukuran ini meliputi pengukuran resistansi dan tegangan pada resistor , pengukuran penyimpangan dimensi resistor, pengukuran penyimpangan nilai resistor , pengukuran koefisien suhu resistansi (TCR) dan koefisien tegangan resistansi (VCR).

A. Pengukuran Penyimpangan Dimensi Resistor

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui penyimpangan dimensi hasil proses pembuatan resistor film tebal pada substrat.

Pengukuran ini dilakukan dengan bantuan *profile projector*.

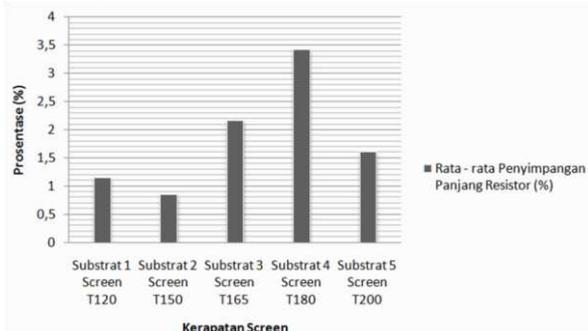
Substrat diletakkan di bawah lensa kamera proyektor. Lensa diarahkan pada substrat. Setelah diperoleh gambar yang jelas pada layar profil proyektor pengukuran dapat dilakukan. Pada layar profil proyektor terdapat dua garis sumbu koordinat x dan y yang digunakan sebagai acuan untuk memulai dan mengakhiri pengukuran dengan menggeser letak substrat yang diukur dengan menggunakan alat penggeser yang terdapat pada profil proyektor. Pengukuran dimulai dengan menentukan titik awal dari panjang/lebar benda yang diukur dan menekan tombol reset alat ukur kemudian dilakukan pergeseran dari titik awal panjang/lebar benda yang diukur sesuai dengan sumbu koordinat pergeserannya sampai dengan titik akhir panjang/lebar benda.

Selanjutnya nilai hasil pengukuran akan ditampilkan pada lcd yang terdapat pada profil proyektor. Hasilnya dinyatakan dalam satuan *mm*. Proses pengukuran penyimpangan dimensi resistor ditunjukkan dalam Gambar 10.

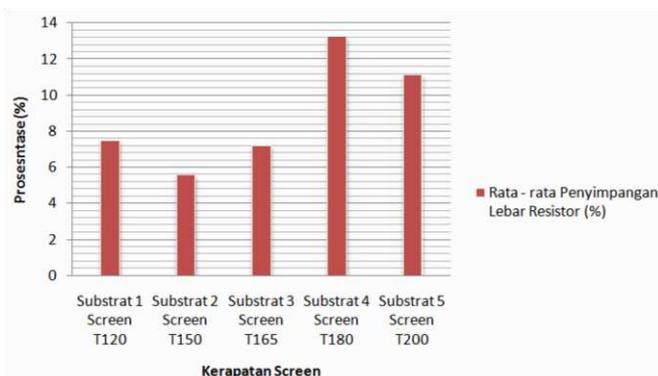


Gambar 10. Proses Pengukuran Penyimpangan Dimensi Menggunakan Profil Proyektor

Hasil rata – rata pengukuran penyimpangan panjang resistor (L) dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ ditunjukkan dalam Gambar 11. Hasil rata – rata penyimpangan lebar resistor (W) dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ ditunjukkan dalam Gambar 12.

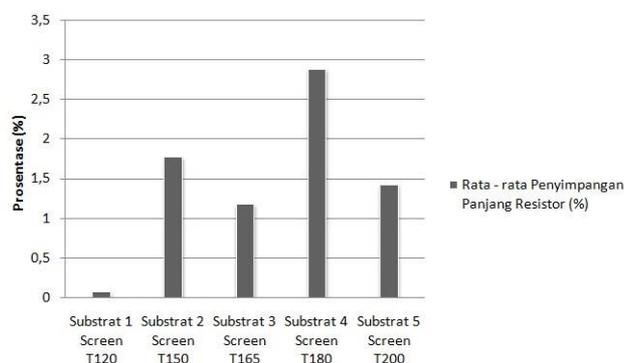


Gambar 11. Grafik Rata – rata Penyimpangan Panjang Resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ (L)

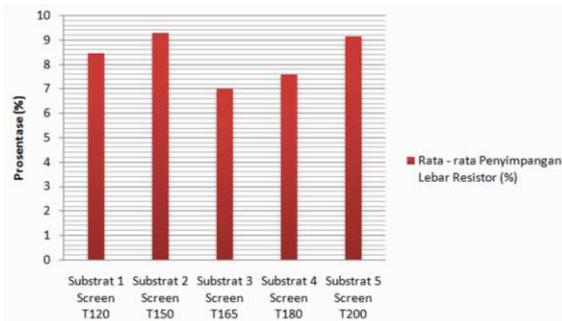


Gambar 12. Grafik Rata – rata Penyimpangan Lebar Resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ (W)

Hasil rata – rata pengukuran penyimpangan panjang resistor (L) dengan $R_s = 1,023K\Omega/\square$ ditunjukkan dalam Gambar 13. Hasil rata – rata penyimpangan lebar resistor (W) dengan $R_s = 1,023\Omega/\square$ ditunjukkan dalam Gambar 14.



Gambar 13. Grafik Rata – rata Penyimpangan Panjang Resistor dengan $R_s = 1,023 K\Omega/\square$ (L)



Gambar 14. Grafik Rata – rata Penyimpangan Lebar Resistor dengan $R_s = 1,023 \text{ K}\Omega/\square$ (W)

Dari hasil pengukuran penyimpangan dimensi resistor pada substrat, maka dapat dihitung persen penyimpangan dengan Persamaan (7) :

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Penyimpangan}}{\text{Nilai Nominal}} \times 100 \quad (7)$$

Dari hasil pengukuran penyimpangan dimensi resistor didapatkan rata – rata penyimpangan panjang (L) resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ sebesar 1,8428 % dan rata– rata penyimpangan lebar (W) resistor sebesar 8,9366 %. Untuk resistor dengan $R_s = 1,023 \text{ K}\Omega/\square$ Rata – rata penyimpangan panjang (L) resistor sebesar 1,47% dan rata – rata penyimpangan lebar (W) sebesar 8,2988 %.

Penyimpangan panjang (L) dan Lebar (W) terbesar dihasilkan oleh resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) dengan *screen* T180 sebesar 3,427% dan 13,267 %. Sedangkan penyimpangan panjang (L) terkecil dihasilkan oleh resistor ($R_s = 1,023\text{K}\Omega/\square$) dengan *screen* T120 sebesar 0,073% dan penyimpangan lebar terkecil dihasilkan oleh resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) dengan *screen* T150 sebesar 5,571%.

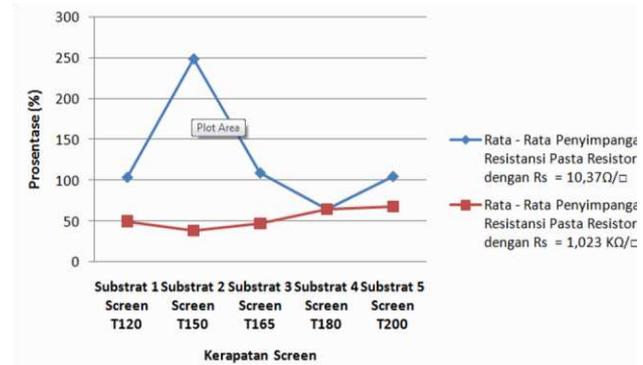
Dari hasil pengukuran penyimpangan dimensi resistor pada substrat di atas, penyimpangan pada tiap *screen* berbeda – beda. Hal ini disebabkan oleh ukuran absolut resistor hasil proses *screen printing* seperti tidak rataanya substrat; anyaman *screen*, emulsi dan tekanan pada proses *screen printing*.

B. Pengukuran Penyimpangan Nilai Resistor

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi resistor hasil teknologi film tebal dan besar penyimpangan nilai resistansinya. Pengukuran dilakukan dengan cara menyentuhkan *probe* pada *multimeter* pada kedua terminal resistor. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *multimeter* digital yang difungsikan sebagai ohmmeter.

Proses pengukuran penyimpangan nilai resistor ditunjukkan dalam Gambar .

Hasil rata – rata pengukuran penyimpangan dimensi resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ dan $R_s = 1,023\text{K}\Omega/\square$ untuk keseluruhan substrat ditunjukkan dalam Gambar 15.



Gambar 15. Rata – rata Hasil Penyimpangan resistansi resistor dengan $R_s = 10,37 \Omega/\square$ dan $R_s = 1,023 \text{ K}\Omega/\square$.

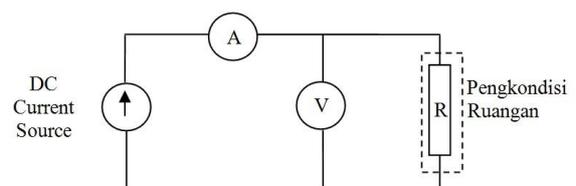
Dari hasil pengukuran penyimpangan nilai resistor pada substrat, maka dapat dihitung persen penyimpangan dengan Persamaan (8) :

$$\text{Penyimpangan} = \frac{\text{Penyimpangan}}{\text{Nilai Nominal}} \times 100 \quad (8)$$

Untuk resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$, penyimpangan terbesar dihasilkan oleh resistor dengan *screen* T150 sebesar 248,36% dan penyimpangan terkecil dihasilkan oleh resistor dengan *screen* T180 sebesar 64,89%. Untuk resistor dengan $R_s = 1,023\text{K}\Omega/\square$, penyimpangan terbesar dihasilkan oleh resistor dengan ukuran *screen* T200 sebesar 67,81% dan penyimpangan terkecil dihasilkan oleh resistor dengan *screen* T150 sebesar 38,92%. Dari hasil pengukuran di atas , didapatkan hasil penyimpangan yang berbeda – beda yang disebabkan penyimpangan dimensi pada masing – masing resistor sehingga nilai resistor yang didapatkan semakin besar.

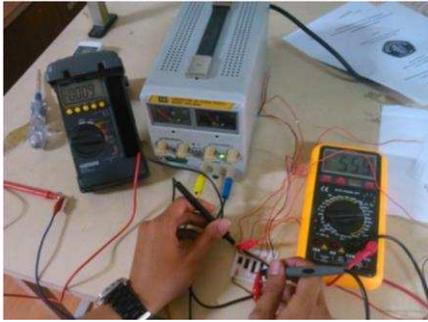
C. Pengukuran Koefisien Tegangan Resistansi (VCR)

Pengukuran koefisien tegangan resistansi dilakukan dengan cara memberikan arus searah yang berbeda – beda pada resistor yang kemudian diukur nilai tegangannya. Dari hasil pengukuran tegangan, nilai resistansi resistor dapat diketahui dengan membagi tegangan yang terukur dengan arus yang melewati rangkaian. Nilai tegangan dan nilai resistansi hasil pengukuran digunakan dalam Persamaan (9) untuk mencari nilai koefisien tegangan resistansi (VCR). Rangkaian pengukuran ditunjukkan dalam Gambar 16.



Gambar 16. Rangkaian Pengukuran Tegangan Resistansi Resistor

Proses pengukuran koefisien tegangan resistansi ditunjukkan dalam Gambar 17.



Gambar 17. Proses Pengukuran Tegangan Resistansi Resistor

Perhitungan VCR dilakukan pada suhu 27 °C , 54 °C , 84 °C dan 150 °C dengan mengatur pengkondisi ruangan di sekitar resistor dan pada resistor dengan aspek rasio 1/1, 2/1, 3/1, 4/1 dan 5/1. Perhitungan koefisien tegangan resistansi resistor menggunakan Persamaan (9) dengan tegangan referensi pada arus sebesar 1 mA :

$$VCR = \frac{R(T) - R(T_0)}{R(T_0) \cdot (T - T_0)} \quad (9)$$

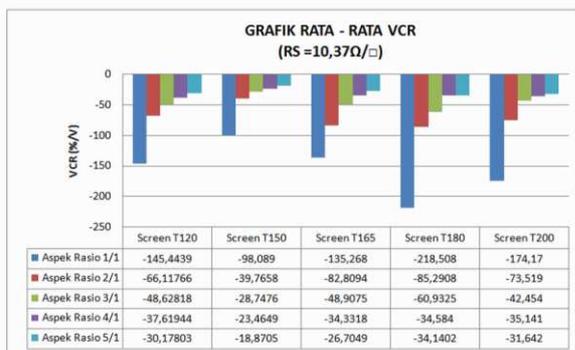
Contoh perhitungan VCR pada resistor dengan aspek rasio 1 (screen T120) dan kondisi suhu 27 °C (suhu ruangan) :

Tabel 3. Tabel Pengukuran VCR

I(mA)	T120 Aspect Ratio 1	Suhu
		27 °C
1	R (Ω)	24,5
	V(mV)	24,5
2	R (Ω)	23,3
	V(mV)	46,6

$$VCR = \frac{24,5 - 23,3}{24,5 \cdot (27 - 27)} = \frac{1,2}{24,5 \cdot 0} = -221,627 \% / V$$

Rata – rata hasil pengukuran VCR resistor (Rs = 10,37Ω/□) pada tiap suhu yang digunakan, masing – masing aspek rasio dan ukuran screen ditunjukkan dalam Gambar 18.



Gambar 18. Nilai rata-rata Koefisien Tegangan Resistansi (VCR) pada resistor(Rs = 10,37Ω/□) masing-masing aspek rasio dan ukuran screen

Rata – rata nilai VCR terbesar dihasilkan oleh resistor (Rs = 10,37 Ω/□) dengan screen T150 pada aspek rasio 5/1 sebesar -18,87%/V. Rata – rata nilai VCR terkecil dihasilkan oleh resistor (Rs = 1,023KΩ/□) dengan screen T200 pada aspek rasio 1/1 sebesar -10417%/V.

Dari hasil perhitungan rata – rata nilai VCR resistor disimpulkan bahwa semakin besar aspek rasio semakin besar nilai VCR yang didapat dan semakin besar Rs (Resistivity Sheet) semakin kecil nilai VCR.

Dari pengukuran VCR didapatkan rata – rata hasil yang bernilai negatif (-) sehingga setiap kenaikan tegangan menyebabkan penurunan nilai resistansi pada resistor film tebal berbahan palladium.

D. Pengukuran Koefisien Suhu Resistansi (TCR)

Pengukuran ini dilakukan dengan cara mengukur resistansi pada suhu tertentu dan tertentu (suhu yang diinginkan pada pengkondisi ruangan) yang digunakan untuk mengukur koefisien suhu resistansi (TCR). Pada pengukuran ini ditambahkan pengkondisi ruangan dengan suhu 27 °C , 54 °C, 84 °C dan 150 °C di sekitar resistor yang digunakan untuk mengukur nilai resistor pada suhu tersebut yang kemudian digunakan untuk mencari nilai koefisien suhu resistansi. Proses pengukuran koefisien suhu resistansi ditunjukkan dalam Gambar 19.



Gambar 19. Proses Pengukuran Suhu Resistansi Resistor

Perhitungan koefisien suhu resistansi resistor menggunakan Persamaan (10) dengan suhu referensi 27 °C (suhu ruangan) :

$$TCR = \frac{R(T) - R(T_0)}{R(T_0) \cdot (T - T_0)} \quad (10)$$

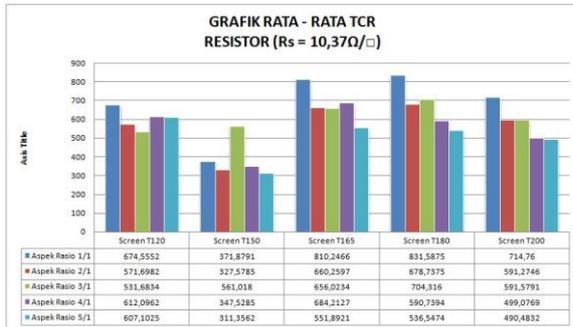
Contoh perhitungan TCR pada resistor (screen T120) dengan arus 1 mA :

Tabel 4. Tabel Pengukuran TCR

No.	Aspect Ratio (l/w)	I (mA)	Screen T120			
			Suhu (°C)			
			27 °C	52 °C	84 °C	150 °C
1.	1/1	1	R(Ω)	R(Ω)	R(Ω)	R(Ω)
			24,5	24,8	25,5	27,3

$$TCR = \frac{10}{24,5} \cdot \frac{R(52) - R(27)}{52 - 27} = \frac{10}{24,5} \cdot \frac{24,8 - 24,5}{25} = 489,79592 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$$

Rata – rata hasil pengukuran TCR resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) pada tiap suhu yang digunakan, masing – masing aspek rasio dan ukuran *screen* ditunjukkan dalam Gambar 20.



Gambar 20. Nilai rata-rata Koefisien Suhu Resistansi (TCR) resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) pada masing-masing aspek rasio dan ukuran *screen*

Rata – rata nilai TCR terbesar resistor dihasilkan oleh resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) dengan *screen* T180 pada aspek rasio 1/1 sebesar 831,58ppm/°C . Rata – rata nilai TCR terkecil dihasilkan oleh resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) dengan *screen* T150 pada aspek rasio 5/1 sebesar 212,70ppm/°C .

Pada perhitungan nilai TCR resistor untuk setiap aspek rasio didapat nilai TCR yang juga bervariasi yang disebabkan karena cetakan *screen* dan karakteristik lapisan film tebal yang berbeda pada setiap proses.

Dari hasil perhitungan rata – rata nilai TCR resistor dapat dilihat bahwa semakin besar semakin besar R_s (*Resistivity Sheet*) semakin kecil nilai TCR.

Dari pengukuran TCR didapatkan rata – rata hasil yang bernilai positif (+) sehingga setiap kenaikan suhu menyebabkan kenaikan nilai resistansi pada resistor film tebal berbahan *palladium* atau disebut sebagai koefisien suhu positif .

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembuatan dan pengukuran resistor berteknologi film tebal pada substrat yang dilakukan di di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil pengukuran penyimpangan dimensi resistor didapatkan rata – rata penyimpangan panjang (L) resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ sebesar 1,8428 % dan rata– rata penyimpangan lebar (W) resistor sebesar 8,9366 %. Untuk resistor dengan $R_s = 1,023 K\Omega/\square$ Rata – rata penyimpangan panjang (L) resistor sebesar 1,47% dan rata – rata penyimpangan lebar (W) sebesar 8,2988 %. Penyimpangan dimensi resistor pada tiap *screen* yang digunakan berbeda – beda. Hal ini disebabkan oleh ukuran absolut resistor hasil proses *screen printing* seperti tidak rata pada substrat; anyaman *screen*, emulsi dan tekanan pada proses *screen printing*.
- Berdasarkan hasil pengukuran penyimpangan nilai resistor. Penyimpangan terbesar dihasilkan oleh resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ menggunakan *screen* T150 sebesar 248,36% dan penyimpangan terkecil dihasilkan

oleh resistor dengan $R_s = 1,023K\Omega/\square$ menggunakan *screen* T150 sebesar 38,92%. Dari hasil pengukuran di atas , didapatkan hasil penyimpangan yang berbeda – beda yang disebabkan penyimpangan dimensi pada masing – masing resistor sehingga nilai resistor yang didapatkan semakin besar

- Dari hasil perhitungan rata – rata nilai VCR resistor dapat disimpulkan bahwa semakin besar aspek rasio semakin besar nilai VCR yang didapat dan semakin besar R_s (*Resistivity Sheet*) semakin kecil nilai VCR. Dari pengukuran VCR didapatkan rata – rata hasil yang bernilai negatif (-) sehingga setiap kenaikan tegangan menyebabkan penurunan nilai resistansi pada resistor film tebal berbahan *palladium*.
- Nilai TCR resistor untuk setiap aspek rasio bervariasi yang disebabkan karena cetakan *screen* dan karakteristik lapisan film tebal yang berbeda pada setiap proses. Dari hasil perhitungan rata – rata nilai TCR resistor dapat disimpulkan bahwa semakin besar semakin besar R_s (*Resistivity Sheet*) semakin kecil nilai TCR dan dari pengukuran TCR didapatkan rata – rata hasil yang bernilai positif (+) sehingga setiap kenaikan suhu menyebabkan kenaikan nilai resistansi pada resistor film tebal berbahan *palladium* atau disebut sebagai koefisien suhu positif .

B. Saran

Dari hasil penelitian pada tugas akhir ini telah dihasilkan resistor dengan nilai koefisien tegangan resistansi (VCR) dan koefisien suhu resistansi (TCR) yang bervariasi pada parameter aspek rasio, *screen* dan suhu pengukuran yang dipakai. Maka diperlukan penelitian lebih lanjut menyangkut :

- Parameter-parameter dalam setiap tahap proses *screen printing*
- Pengaruh besarnya aspek rasio yang lebih besar dan R_s (*Resistivity Sheet*) yang lebih tinggi terhadap nilai VCR dan TCR agar didapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Desiana, Eka. 2010. *Perencanaan dan Pembuatan Nitrat dengan Teknologi Film Tebal (Thick Film)*. Skripsi Universitas Brawijaya.
- Dorf, Richard C. 1993. *The Electrical Engineering Handbook*. Florida: CRC Press, Inc
- Effendi, Elli Herlia. 1996. *Konduktor Film Tebal pada Rangkaian Hybrid-IC*. IPT Technical Journal Vol.1 No.5-6 Oktober 1995/ Januari 1996. LIPI. Bandung.
- Effendrik, Popong. 1997. *Karakterisasi Konduktor Pasta Palladium-Perak Pada Substrat Alumina Dengan Teknologi Hibrida Film Tebal*. Skripsi Universitas Brawijaya.
- Harper, Charles A. 1974. *Hanbook of thick Film Hybrid Microelektronics*. Mc graw-Hill Book Company. USA.

- [6] Haskard, Malcolm R. 1987. *Thick Film Hybrid Manufacture and Design*. Prentice hall, Inc. New Jersey.
- [7] Harper, Charles A and Ronald M. Sampson. 1984. *Elektronik Material handbook*. Mc graw-Hill Book Company. Singapore.
- [8] Julius St, M. 1993. *Sablon Screen Printing*. UPT Penerbitan FT-UB. Malang.
- [9] Julius St, M.1997. *Laporan Akhir Pembuatan Laboratorium Teknologi Film Tebal Sarana Miniatur Rangkaian Elektronika*. Jurusan Teknik Elektro-Fakultas Teknik-Universitas Brawijaya. Malang.
- [10] Julius St. M., Atma. Sholeh.HP., *Pembuatan Resistor Film Tebal*. ELEKTRO-INDONESIA-PII No.18 Th.IV, Desember 1997
- [11] Julius St. M. *Hibrida Film Tebal Untuk Pengecilan Rangkaian Elektronika*. ELEKTRO INDONESIAPII No.12 Th.III, September 1996.

Rhezananta Arya Humaniora, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2014, Karakteristik VCR dan TCR Resistor Pasta Resistor Dengan Teknologi Film Tebal (*Thick Film Technology*) , Dosen Pembimbing : Ir. M. Julius St., MS. dan R. Arief Setyawan, ST., MT
