

BAB V

PENGUKURAN DAN ANALISIS

Pengukuran dan analisis dilakukan untuk membandingkan sistem pada kondisi tertentu. Pengukuran yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengukuran Penyimpangan Dimensi Resistor
2. Pengukuran Penyimpangan Nilai Resistor
3. Pengukuran Koefisien Suhu Resistansi (TCR) dan Koefisien Tegangan Resistansi (VCR)

5.1 Pengukuran Penyimpangan Dimensi Resistor

5.1.1 Tujuan

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

5.1.2 Alat yang Digunakan

- 1) Profile Projector Mitutoyo PJ311

5.1.3 Metode Pengukuran

Pengukuran ini dilakukan dengan bantuan *profile projector*. Pada pengukuran ini ada dua cara penyinaran untuk menghasilkan gambar pada layar yang disesuaikan dengan benda yang diukur. Untuk pengukuran film menggunakan penyinaran *contour*, sedang untuk pengukuran lapisan pada substrat digunakan penyinaran permukaan.

Substrat diletakkan di bawah lensa kamera proyektor. Lensa diarahkan pada substrat. Pemilihan lensa pembesaran dan fokus disesuaikan dengan 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 5.1.



Gambar 5.1 Proses Pengukuran Penyimpangan Dimensi Menggunakan Profile Proyektor

5.1.4 Hasil Pengukuran dan Analisis

Pengukuran penyimpangan dimensi pada substrat dilakukan dengan mengukur panjang (p) dan lebar (w) resistor hasil proses. Lapisan resistor yang diukur mempunyai warna hitam dan terletak diantara lapisan konduktor yang berwarna silver. Hasil pengukuran dimensi resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) menggunakan *screen* T120 dan Hasil pengukuran dimensi resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) menggunakan *screen* T120 ditunjukkan dalam Tabel 5.1 dan Tabel 5.2. Hasil pengukuran penyimpangan dimensi yang lain ditunjukkan dalam Lampiran 1. Hasil rata - rata pengukuran penyimpangan dimensi resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) keseluruhan ditunjukkan dalam Tabel 5.3. Hasil rata - rata pengukuran penyimpangan dimensi resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) keseluruhan ditunjukkan dalam Tabel 5.4. Grafik rata – rata pengukuran penyimpangan dimensi resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 5.2. Grafik rata – rata pengukuran penyimpangan dimensi resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 5.3.

Tabel 5.1 Penyimpangan Dimensi Resistor Menggunakan *Screen* T120 ($R_s = 10,37\Omega/\square$)

No.	Aspect Ratio (l/w)	Rancangan		Hasil		Penyimpangan (%)	
		l (mm)	w (mm)	l (mm)	w (mm)	l (mm)	w (mm)
1.	1/1	5	5	4,959	5,331	0,82678	6,208966
2.	2/1	9	4.5	8,812	4,755	2,133454	5,362776
3.	3/1	12	4	11,92	4,282	0,671141	6,585708

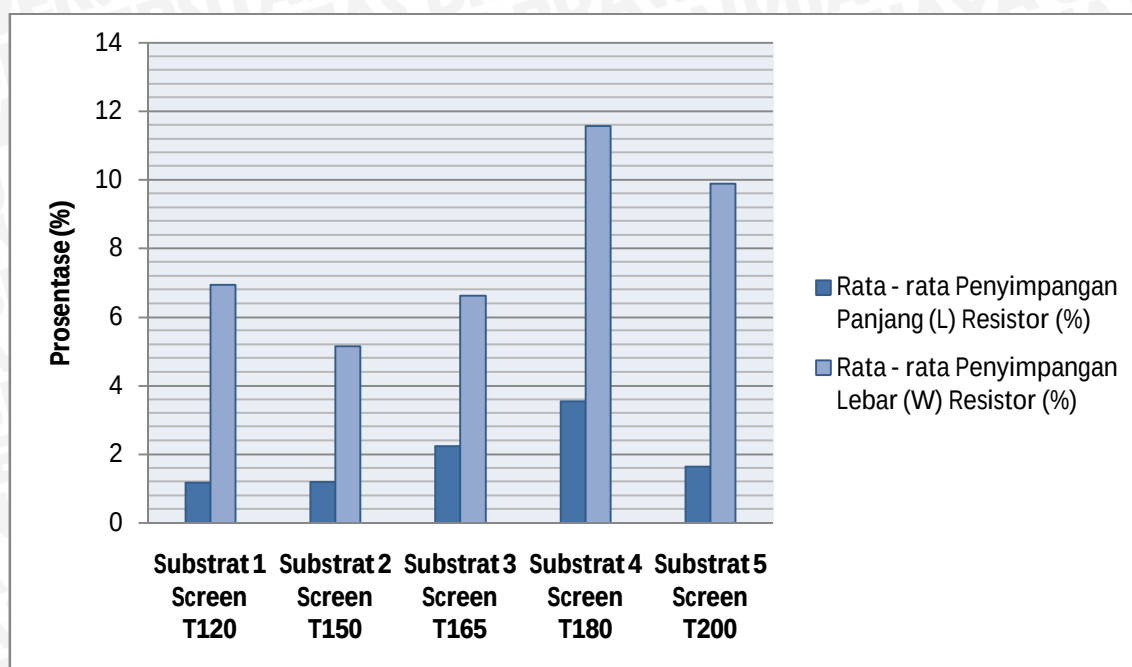
4.	4/1	10,5	3,5	13,899	3,779	0,726671	7,382906
5.	5/1	12	3	14,779	3,304	1,495365	9,200969

Tabel 5.2 Penyimpangan Dimensi Resistor Menggunakan Screen T120 ($R_s = 1,023 K\Omega/\square$)

No.	Aspect Ratio (l/w)	Rancangan		Hasil		Penyimpangan (%)	
		l (mm)	w (mm)	l (mm)	w (mm)	l (mm)	w (mm)
1.	1/1	5	5	5,07	5,366	1,380671	6,820723
2.	2/1	9	4,5	8,936	4,711	0,716204	4,478879
3.	3/1	12	4	12,021	4,315	0,174694	7,300116
4.	4/1	10,5	3,5	13,898	3,916	0,733919	10,62308
5.	5/1	12	3	15,035	3,315	0,23279	9,502262

Tabel 5.3 Rata – rata Penyimpangan Dimensi Resistor dengan $R_s = 10,37 \Omega/\square$ Untuk Setiap Resistor pada Substrat

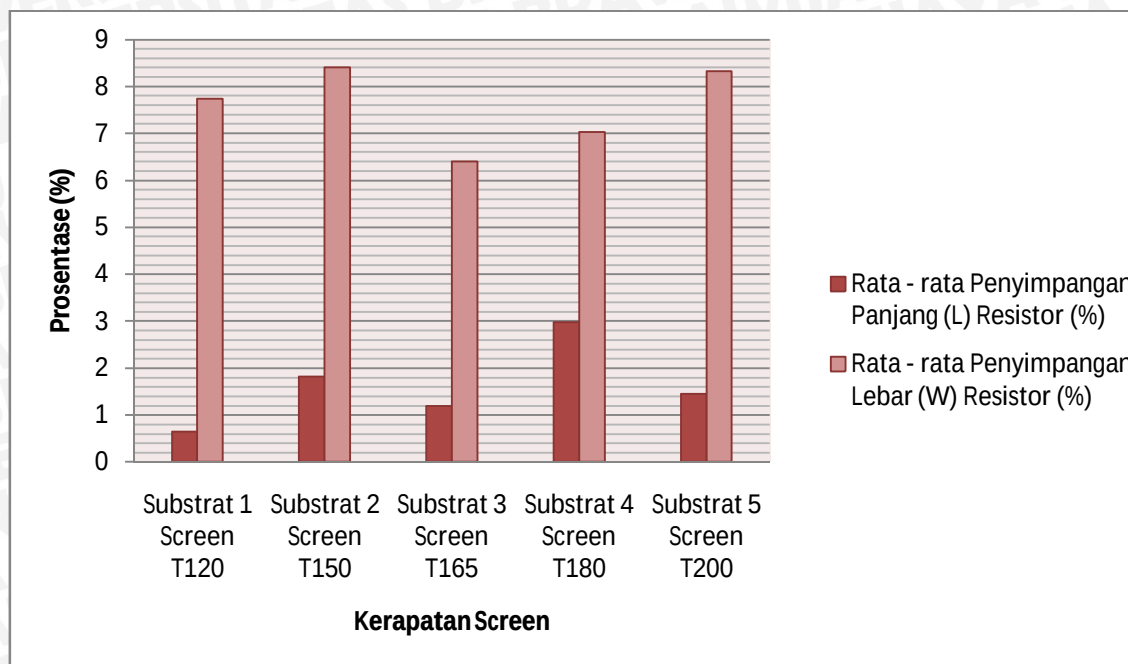
No.	Aspect ratio (l/w)	Substrat 1		Substrat 2		Substrat 3		Substrat 4		Substrat 5	
		Screen T120		Screen T150		Screen T165		Screen T180		Screen T200	
		L (%)	W (%)	L (%)	W (%)	L (%)	W (%)	L (%)	W (%)	L (%)	W (%)
1.	1/1	0,82	6,2	2	2,1	4,97	4,15	4,99	6,66	1,79	5,97
2.	2/1	2,13	5,36	1,12	2,42	2,7	4,86	4,13	8,85	2,83	7
3.	3/1	0,67	6,58	0,8	4,16	0,73	3,54	3,11	11,44	1,25	10,63
4.	4/1	0,72	7,38	0,31	6,46	1,84	8,59	2,55	14,55	1,21	11
5.	5/1	1,49	9,2	1,68	10,68	0,94	11,97	2,98	16,34	1,1	14,79
Rata - rata		1,17	6,94	1,19	5,16	2,24	6,62	3,55	11,57	1,64	9,9



Gambar 5.2 Grafik Rata – rata Penyimpangan Dimensi Resistor ($R_s = 10,37 \Omega/\square$)

Tabel 5.4 Rata – rata Penyimpangan Dimensi Resistor dengan $R_s = 1,023 K\Omega/\square$ Untuk Setiap Resistor pada Substrat

No.	Aspect ratio (l/w)	Substrat 1 Screen T120		Substrat 2 Screen T150		Substrat 3 Screen T165		Substrat 4 Screen T180		Substrat 5 Screen T200	
		L (%)	W (%)	L (%)	W (%)	L (%)	W (%)	L (%)	W (%)	L (%)	W (%)
1.	1/1	1,38	6,82	2,24	6,94	0,38	4,23	4,79	7,44	1,56	8,85
2.	2/1	0,71	4,47	3,06	6,32	1,41	4,37	3,06	5,54	1,95	5,08
3.	3/1	0,17	7,3	1,34	6,12	1,11	3,66	1,98	5,54	1,25	7,01
4.	4/1	0,73	10,62	1,44	9,39	1,4	6,84	2,68	6,74	1,17	9,27
5.	5/1	0,23	9,5	0,96	13,29	1,65	12,96	2,38	9,88	1,3	11,45
Rata - rata		0,64	7,74	1,81	8,41	1,19	6,41	2,98	7,03	1,45	8,33



Gambar 5.3 Grafik Rata – rata Penyimpangan Dimensi Resistor ($R_s = 1,023 \text{ K}\Omega/\square$)

Dari hasil pengukuran penyimpangan dimensi resistor pada substrat, maka dapat dihitung persen penyimpangan dengan Persamaan (5.1) :

$$\text{Penyimpangan} = \frac{|\text{Dimensi hasil pengukuran} - \text{Dimensi rancangan}|}{\text{Dimensi hasil pengukuran}} \times 100 \quad (5.1)$$

Dari hasil pengukuran penyimpangan dimensi resistor didapatkan rata – rata penyimpangan panjang (L) resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ sebesar 1,96% dan rata– rata penyimpangan lebar (W) resistor sebesar 8,044%. Untuk resistor dengan $R_s = 1,023 \text{ K}\Omega/\square$ Rata – rata penyimpangan panjang (L) resistor sebesar 1,619386 % dan rata – rata penyimpangan lebar (W) sebesar 7,589678 %.

Penyimpangan panjang (L) dan lebar (W) terbesar dihasilkan oleh resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) dengan *screen* T180 sebesar 3,55% dan 11,57%. Sedangkan penyimpangan panjang (L) terkecil dihasilkan oleh resistor ($R_s = 1,023\text{K}\Omega/\square$) dengan *screen* T120 sebesar 0,64% dan penyimpangan lebar (W) terkecil dihasilkan oleh resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) dengan *screen* T150 sebesar 5,16%.

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*.

5.2 Pengukuran Penyimpangan Nilai Resistor

5.2.1 Tujuan

Untuk mengetahui nilai resistansi resistor hasil teknologi film tebal dan besar penyimpangan nilai resistansinya.

5.2.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Multimeter

5.2.3 Metode Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan cara menyentuhkan probe pada *multimeter* pada kedua terminal resistor. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan multimeter digital tipe Sanwa CD800a yang difungsikan sebagai ohmmeter.

5.2.4 Hasil Pengukuran dan Analisis

Hasil pengukuran penyimpangan nilai resistor yang menggunakan *screen* T120 dengan menggunakan pasta resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ dan $R_s = 1,023K\Omega/\square$ ditunjukkan dalam Tabel 5.5 dan 5.6. Hasil pengukuran penyimpangan nilai resistor yang lain ditunjukkan dalam Lampiran 2. Hasil rata - rata pengukuran penyimpangan nilai resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ dan $R_s = 1,023K\Omega/\square$ keseluruhan ditunjukkan dalam Tabel 5.4. Grafik rata – rata pengukuran penyimpangan nilai resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ dan $R_s = 1,023K\Omega/\square$ keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 5.4.

Tabel 5.5 Penyimpangan Resistansi Resistor Menggunakan *Screen* T120 ($R_s = 10,37\Omega/\square$)

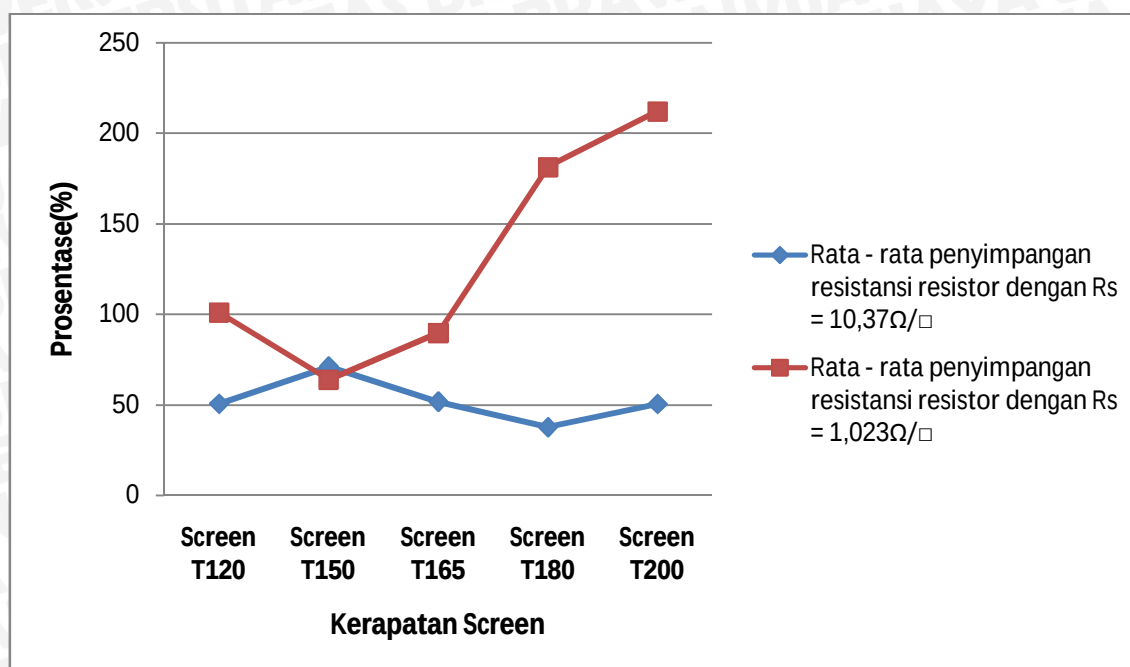
Screen T120				
No.	Aspect Ratio	R Teori(Ω)	R Praktik(Ω)	Penyimpangan(%)
1.	1/1	10,37	23,2	55,30172
2.	2/1	20,74	45,3	54,21634
3.	3/1	31,11	60,7	48,74794
4.	4/1	41,48	78,3	47,02427
5.	5/1	51,85	100	48,15
Rata –rata				50,68805

Tabel 5.6 Penyimpangan Resistansi Resistor Menggunakan Screen T120 ($R_s = 1,023K\Omega/\square$)

No.	Screen T120			
	Aspect Ratio	R Teori(Ω)	R Praktik(Ω)	Penyimpangan(%)
1.	1/1	1023	519	97,10983
2.	2/1	2046	1055	93,93365
3.	3/1	3069	1393	120,3159
4.	4/1	4092	1951	109,7386
5.	5/1	5115	2770	84,65704
Rata –rata				101,151

Tabel 5.7 Rata – Rata Nilai Penyimpangan Resistansi Pasta Resistor dengan R_s yang Berbeda

No.	Aspect Ratio (l/w)	Rata - Rata Penyimpangan Resistansi Resistor dengan $R_s =$ 10,37 $\Omega/\square$ (%)	Rata - Rata Penyimpangan Resistansi Resistor dengan $R_s =$ 1,023 K $\Omega/\square$ (%)
1.	Substrat 1 Screen T120	50,68805	101,151
2.	Substrat 1 Screen T150	71,14141	64,03139
3.	Substrat 1 Screen T165	51,85167	89,79412
4.	Substrat 1 Screen T180	37,89829	181,3102
5.	Substrat 1 Screen T200	50,59355	211,937



Gambar 5.4 Grafik Rata – rata Penyimpangan Nilai Resistansi Pasta Resistor dengan R_s yang Berbeda – beda

Dari hasil pengukuran penyimpangan nilai resistor pada substrat, maka dapat dihitung persen penyimpangan dengan Persamaan (5.2) :

$$\text{Penyimpangan} = \frac{|R \text{ Hasil Pengukuran} - R \text{ Rancangan}|}{R \text{ Hasil Pengukuran}} \times 100 \quad (5.2)$$

Untuk resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$, penyimpangan terbesar dihasilkan oleh resistor dengan screen T150 sebesar 71,14% dan penyimpangan terkecil dihasilkan oleh resistor dengan screen T180 sebesar 37,89%. Untuk resistor dengan $R_s = 1,023K\Omega/\square$, penyimpangan terbesar dihasilkan oleh resistor dengan ukuran screen T200 sebesar 211,93% dan penyimpangan terkecil dihasilkan oleh resistor dengan screen T150 sebesar 64,03%. Dari hasil pengukuran di atas, dapat dilihat bahwa resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ cenderung memiliki penyimpangan yang lebih rendah dibanding resistor dengan $R_s = 1,023K\Omega/\square$. Hasil penyimpangan yang didapatkan berbeda – beda yang disebabkan kekentalan pasta, anyaman screen dan penyimpangan dimensi pada masing – masing resistor sehingga nilai resistor yang didapatkan semakin besar.

5.3. Pengukuran Koefisien Suhu Resistansi (TCR) dan Koefisien Tegangan Resistansi (VCR)

5.3.1 Tujuan

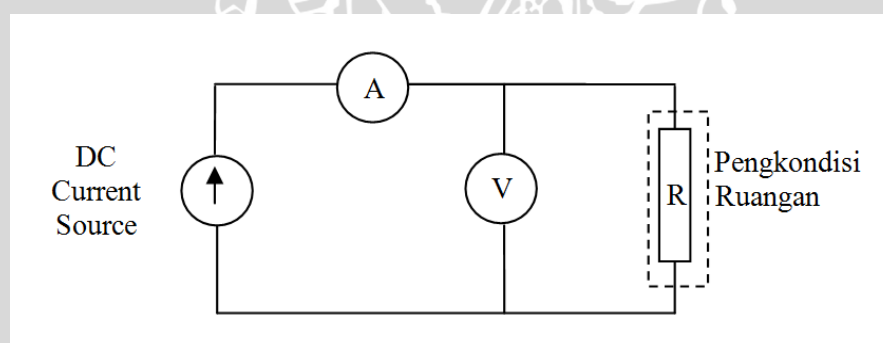
Tujuan pengukuran koefisien tegangan resistansi (VCR) dan koefisien suhu resistansi (TCR) yaitu untuk mengetahui karakteristik resistor yang dipengaruhi suhu dan tegangan dengan memberikan arus searah serta pada kondisi suhu tertentu. Resistor yang diuji yaitu dari keseluruhan resistor pada masing-masing substrat.

5.3.2 Alat yang Digunakan

- Digital Multimeter Sanwa Tipe CD800a
- Laboratory Power Supply Tipe GPS-3030
- Termometer
- Pengkondisi Ruangan

5.3.3 Metode Pengukuran

Pengukuran koefisien tegangan resistansi dan koefisien suhu resistansi dilakukan dengan cara memberikan arus searah yang berbeda – beda dan kondisi ruangan yang berbeda - beda pada resistor yang kemudian diukur nilai tegangan dan resistansinya. Nilai koefisien suhu resistansi didapat dari pengukuran resistansi resistor dalam dua kondisi suhu. Sedangkan nilai koefisien tegangan resistansi didapat dari pengukuran dari dua tegangan resistor. Rangkaian pengukuran ditunjukkan dalam Gambar 5.5.



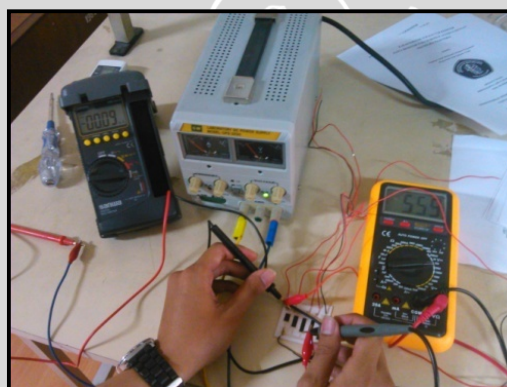
Gambar 5.5 Rangkaian Pengukuran Tegangan Resistor

Langkah – langkah pengukuran koefisien tegangan resistansi dan koefisien suhu resistansi diawali dengan menghubungkan sumber arus DC searah ke amperemeter dan voltmeter atau langsung pada multimeter. Kemudian menghubungkan kedua kaki voltmeter dengan kedua ujung pad konduktor yang menghubungkan masing – masing aspek rasio resistor. Resistor ditempatkan dalam kondisi ruangan (suhu 27°C, 52°C, 84°C dan 150°C). Untuk suhu 27°C menggunakan suhu ruangan di luar oven. Pengaturan suhu ruangan 52°C dan 84°C menggunakan pemanas berupa lampu 25W dan 75W yang diletakkan didalam oven yang di nonaktifkan. Untuk suhu ruangan 150°C menggunakan furnace yang diatur pada suhu 150°C.

Untuk mendapatkan suhu ruangan sebesar 52°C lampu 25W di dalam oven dibiarkan menyala selama ± 5 menit untuk mencapai suhu maksimal (52°C) dari lampu 25W. Sedangkan untuk mendapatkan suhu ruangan sebesar 84°C lampu 75W di dalam oven dibiarkan menyala selama 6-7 menit untuk mendapatkan suhu maksimal (84°C) dari lampu 75W.

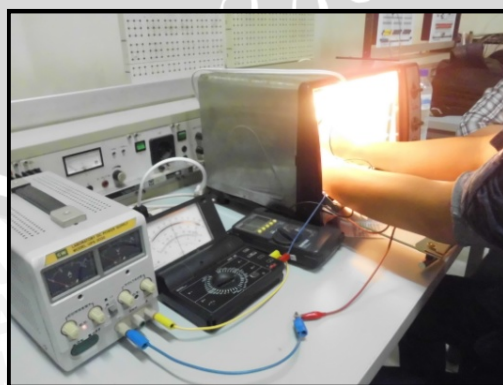
Pengaturan arus masukan dari catu daya. Arus masukan yang digunakan sebesar 1mA hingga 5mA. Arus yang keluar dari catu daya dapat dilihat pada amperemeter atau multimeter. Tegangan yang timbul pada resistor yang terhubung melalui pad konduktor dapat dilihat pada voltmeter atau pada multimeter. Dari hasil pengukuran tegangan, nilai resistansi dapat diketahui dengan membagi tegangan yang timbul pada resistor yang terhubung melalui pad konduktor dengan arus yang melewati rangkaian.

Proses pengukuran tegangan pada resistor pada suhu ruangan 27°C ditunjukkan dalam Gambar 5.6.



Gambar 5.6. Proses Pengukuran Tegangan Resistor pada Suhu Ruangan 27°C

Proses pengukuran tegangan pada resistor pada suhu ruangan 52°C dan 84°C ditunjukkan dalam Gambar 5.7.



Gambar 5.7. Proses Pengukuran Tegangan Resistor pada Suhu Ruangan 52°C dan 84°C

Proses pengukuran tegangan pada resistor pada suhu ruangan 150°C ditunjukkan dalam Gambar 5.8.



Gambar 5.8. Proses Pengukuran Tegangan Resistor pada Suhu Ruangan 150°C

5.3.4 Hasil Pengukuran dan Analisis

Pengukuran nilai tegangan resistor diperlukan untuk menghitung nilai koefisien suhu resistansi (TCR) dan koefisien tegangan resistansi (VCR). Hasil pengukuran tegangan resistor menggunakan *screen* T120 ($R_s = 10,37\Omega/\square$) ditunjukkan dalam Tabel 5.8. Hasil pengukuran tegangan resistor ($R_s = 1,023\text{K}\Omega/\square$) menggunakan *screen* T120 ditunjukkan dalam Tabel 5.9. Hasil pengukuran tegangan resistor yang lain ditunjukkan dalam Lampiran 3.

Tabel 5.8 Hasil Pengukuran Tegangan Resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) Menggunakan *Screen* T120

No.	Aspect Ratio (l/w)	I (mA)	Screen T120							
			27°C		52°C		84°C		150°C	
			V(mV)	R(Ω)	V(mV)	R(Ω)	V(mV)	R(Ω)	V(mV)	R(Ω)
1.	1/1	1	24,5	24,5	24,8	24,8	25,5	25,5	27,3	27,3
2.	2/1	1	49,2	49,2	49,8	49,8	51	51	53,5	53,5
3.	3/1	1	64,5	64,5	65,1	65,1	66,4	66,4	69,4	69,4
4.	4/1	1	82,6	82,6	83,6	83,6	85,6	85,6	90	90
5.	5/1	1	105,1	105,1	106,5	106,5	109,5	109,5	114,7	114,7
6.	1/1	2	46,6	23,3	47,4	23,7	48,1	24,05	51,2	25,6
7.	2/1	2	94,1	47,05	95	47,5	97,3	48,65	101,1	50,55
8.	3/1	2	123,3	61,65	124,3	62,15	127,2	63,6	131,7	65,85
9.	4/1	2	158,2	79,1	160,4	80,2	163,4	81,7	170,2	85,1
10.	5/1	2	201,8	100,9	204,5	102,25	208,5	104,25	216,1	108,05
11.	1/1	3	68,8	22,93	70	23,33	71	23,66	75,1	25,03
12.	2/1	3	138,8	46,26	140,8	46,93	143	47,66	148,5	49,5
13.	3/1	3	181,5	60,5	184,3	61,43	187	62,33	194	64,66
14.	4/1	3	233,1	77,7	237,2	79,06	240,2	80,06	253,5	84,5
15.	5/1	3	296,2	98,73	302,2	100,73	308,3	102,76	319,3	106,43

16.	1/1	4	91	22,75	92	23	93,8	23,45	100,2	25,05
17.	2/1	4	183,5	45,87	186	46,5	189,3	47,325	198,3	49,575
18.	3/1	4	239,8	59,95	243,1	60,775	247,4	61,85	259,5	64,875
19.	4/1	4	308,4	77,1	312,5	78,125	318,5	79,625	334,1	83,525
20.	5/1	4	393,8	98,45	398,1	99,525	405	101,25	425	106,25
21.	1/1	5	113,2	22,64	115,1	23,02	117,4	23,48	124,3	24,86
22.	2/1	5	228,4	45,68	231,4	46,28	235,7	47,14	246	49,2
23.	3/1	5	299,3	59,86	302,7	60,54	307,7	61,54	321,7	64,34
24.	4/1	5	383,4	76,68	389,4	77,88	396	79,2	414	82,8
25.	5/1	5	489	97,8	495	99	504	100,8	527	105,4

Tabel 5.9 Hasil Pengukuran Tegangan Resistor ($R_s = 1,023 \text{ K}\Omega/\square$) Menggunakan Screen T120

No.	Aspect Ratio (l/w)	I (mA)	Screen T120							
			27°C		52°C		84°C		150°C	
			V(Volt)	R(Ω)	V(Volt)	R(Ω)	V(Volt)	R(Ω)	V(Volt)	R(Ω)
1.	1/1	1	0,541	541	0,545	545	0,546	546	0,561	561
2.	2/1	1	1,037	1037	1,043	1043	1,050	1050	1,068	1068
3.	3/1	1	1,313	1313	1,333	1333	1,346	1346	1,367	1367
4.	4/1	1	1,757	1757	1,767	1767	1,788	1788	1,810	1810
5.	5/1	1	2,340	2340	2,345	2345	2,365	2365	2,405	2405
6.	1/1	2	1,031	515,5	1,042	521	1,050	525	1,068	534
7.	2/1	2	1,983	991,5	2,007	1003,5	2,016	1008	2,045	1022,5
8.	3/1	2	2,538	1269	2,574	1287	2,597	1298,5	2,640	1320
9.	4/1	2	3,388	1694	3,437	1718,5	3,460	1730	3,502	1751
10.	5/1	2	4,540	2270	4,58	2290	4,62	2310	4,67	2335
11.	1/1	3	1,527	509	1,533	511	1,545	515	1,564	521,33
12.	2/1	3	2,950	983,33	2,962	987,33	2,985	995	3,027	1009
13.	3/1	3	3,78	1260	3,80	1266,66	3,83	1276,66	3,88	1293,33
14.	4/1	3	5,06	1686,66	5,07	1690	5,11	1703,33	5,17	1723,33
15.	5/1	3	6,70	2233,33	6,74	2246,66	6,78	2260	6,84	2280
16.	1/1	4	2,018	504,5	2,024	506	2,045	511,25	2,084	521
17.	2/1	4	3,91	977,5	3,92	980	3,96	990	4,03	1007,5
18.	3/1	4	5	1250	5,02	1255	5,08	1270	5,16	1290
19.	4/1	4	6,68	1670	6,70	1675	6,77	1692,5	6,89	1722,5
20.	5/1	4	8,95	2237,5	8,98	2245	9,07	2267,5	9,23	2307,5
21.	1/1	5	2,510	502	2,519	503,8	2,540	508	2,576	515,2
22.	2/1	5	4,86	972	4,88	976	4,92	984	4,99	998
23.	3/1	5	6,22	1244	6,26	1252	6,31	1262	6,40	1280
24.	4/1	5	8,32	1664	8,37	1674	8,43	1686	8,55	1710
25.	5/1	5	11,32	2264	11,39	2278	11,46	2292	11,58	2316

Dari hasil pengukuran tegangan di atas dapat diketahui bahwa semakin tinggi suhu ruangan pengukuran yang digunakan semakin tinggi nilai resistansi resistor.

a. Pengukuran Koefisien Tegangan Resistansi

Nilai tegangan hasil pengukuran digunakan dalam Persamaan (2.3) untuk mencari nilai koefisien tegangan resistansi (VCR) dengan tegangan pada arus 1mA

sebagai tegangan referensi. Perhitungan VCR pada resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) dengan aspek rasio 1 (*screen* T120) dan kondisi suhu 27°C (suhu ruangan) :

$$\text{VCR} = \frac{100(R_2 - R_1)}{R_1 (V_2 - V_1)}$$

$$\text{VCR}_{1a} = \frac{100 (23,3 - 24,5)}{24,5 (46,6 \cdot 10^{-3} - 24,5 \cdot 10^{-3})}$$

$$= -221,627 \%/\text{V}$$

Dari hasil pengukuran VCR di atas diperoleh rata – rata VCR resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) untuk setiap kondisi suhu pada aspek rasio 1/1. Hasil pengukuran rata – rata VCR resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) menggunakan *screen* T120 dan arus masukan 1mA untuk setiap kondisi suhu pada aspek rasio 1/1 ditunjukkan dalam Tabel 5.10. Nilai rata - rata VCR resistor untuk setiap kondisi suhu pada aspek rasio dan ukuran *screen* yang lain ditunjukkan dalam Lampiran 4-1.

Tabel 5.10 Rata – rata Nilai VCR Resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) Menggunakan *Screen* T120 dan Arus Masukan 1mA untuk Setiap Kondisi Suhu pada Aspek Rasio 1/1

Screen T120				
VCR (%/V)				
	27°C	52°C	84°C	150°C
	-221,6271	-196,2603	-251,6051	-260,55
	-144,6538	-131,1376	-157,7246	-173,95
	-107,4114	-108,0069	-117,7045	-113,06
	-85,59004	-79,48416	-86,1977	-92,142
Rata- rata	-139,8206	-128,7223	-153,308	-159,92

Hasil rata – rata nilai VCR resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) untuk setiap kondisi suhu pada aspek rasio 1/1 di rata – rata dan dikelompokkan dengan hasil rata – rata aspek rasio yang lain. Hasil rata – rata nilai VCR untuk setiap aspek rasio ditunjukkan dalam Tabel 5.11. Nilai rata - rata VCR resistor untuk setiap aspek rasio pada ukuran *screen* dan R_s yang lain ditunjukkan dalam Lampiran 4-2. Grafik nilai rata – rata VCR masing – masing resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ dan $R_s = 1,023K\Omega/\square$ untuk setiap aspek rasio ditunjukkan dalam Gambar 5.9 dan Gambar 5.10. Nilai rata – rata VCR resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ dan $R_s = 1,023K\Omega/\square$ untuk keseluruhan aspek rasio ditunjukkan dalam Tabel 5.12 dan 5.13.

Tabel 5.11 Rata – rata VCR Resistor Menggunakan Screen T120 ($R_s = 10,37\Omega/\square$) untuk Setiap Aspek Rasio

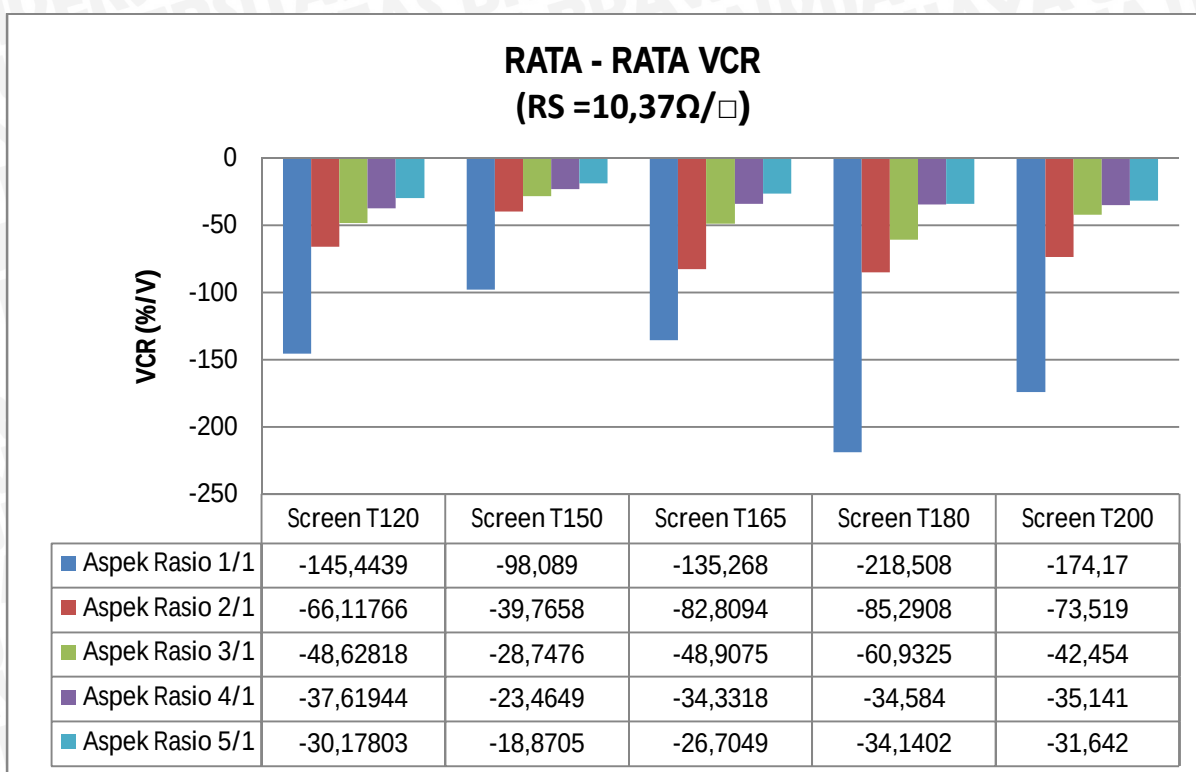
Aspek Rasio (L/W)	Resistansi (Ω)	VCR (%/V)				Rata - rata
		27°C	52°	84°C	150°C	
1/1	23,2	-139,8205	-128,7222	-153,3079	-159,925	-145,4439
2/1	45,3	-63,5658	-63,2709	-65,8936	-71,7402	-66,1176
3/1	60,7	-49,7575	-47,661	-47,0932	-50,0009	-48,6281
4/1	78,3	-37,1952	-34,8241	-38,6015	-39,8568	-37,6194
5/1	100	-28,2626	-27,2478	-31,2455	-33,956	-30,178

Tabel 5.12 Nilai Rata – rata VCR Resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) untuk Keseluruhan Aspek Rasio

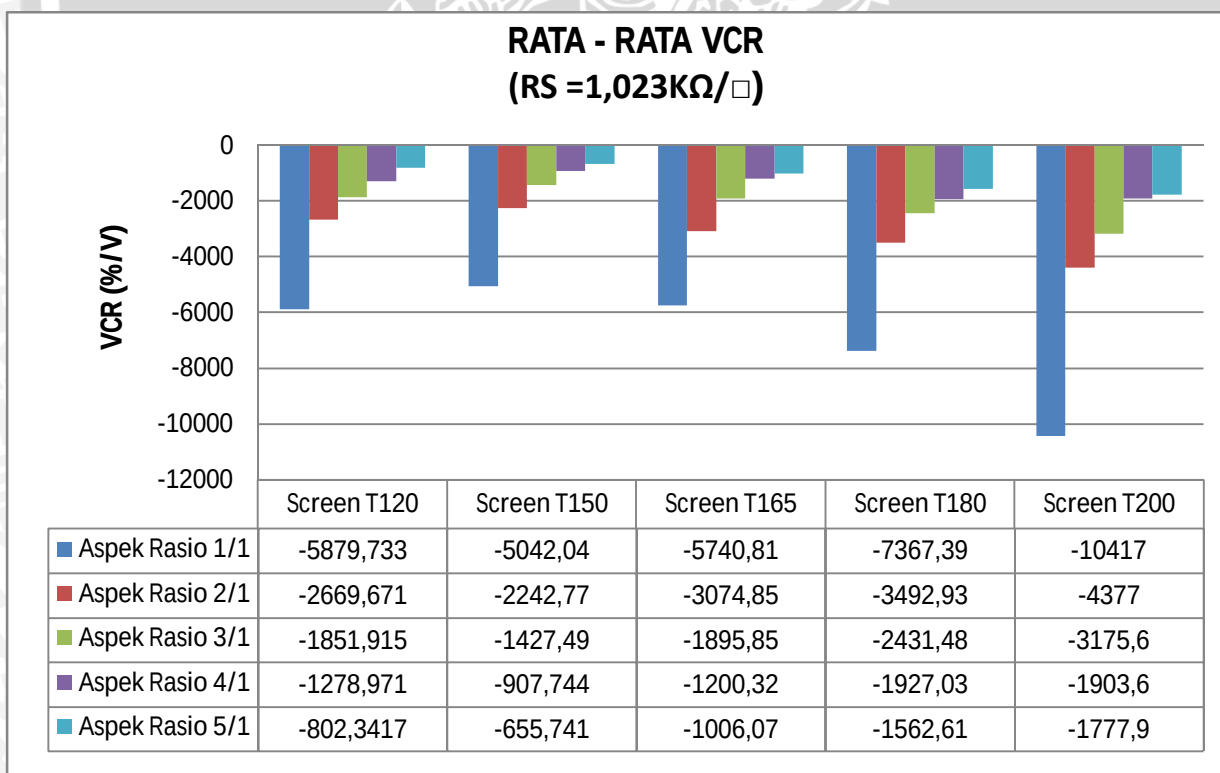
Aspek Rasio (L/W)	Rata – Rata VCR (%/V)				
	Screen T120	Screen T150	Screen T165	Screen T180	Screen T200
1/1	-145,4439	-98,089	-135,268	-218,508	-174,17
2/1	-66,1176	-39,7658	-82,8094	-85,2908	-73,519
3/1	-48,6281	-28,7476	-48,9075	-60,9325	-42,454
4/1	-37,6194	-23,4649	-34,3318	-34,584	-35,141
5/1	-30,178	-18,8705	-26,7049	-34,1402	-31,642

Tabel 5.13 Nilai Rata – rata VCR Resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) untuk Keseluruhan Aspek Rasio

Aspek Rasio (L/W)	Rata – Rata VCR (%/V)				
	Screen T120	Screen T150	Screen T165	Screen T180	Screen T200
1/1	-5879,73	-5042,04	-5740,81	-7367,39	-10417
2/1	-2669,67	-2242,77	-3074,85	-3492,93	-4377
3/1	-1851,91	-1427,49	-1895,85	-2431,48	-3175,6
4/1	-1278,97	-907,744	-1200,32	-1927,03	-1903,6
5/1	-802,34	-655,741	-1006,07	-1562,61	-1777,9



Gambar 5.9 Grafik Nilai Rata – rata VCR Masing – masing Resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$



Gambar 5.10 Grafik Nilai Rata – rata VCR Masing – masing Resistor dengan

$R_s = 1,023 K\Omega/\square$

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.

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

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

b. Pengukuran Koefisien Suhu Resistansi

Untuk perhitungan nilai koefisien suhu resistansi hasil proses maka dihitung nilai resistansi dari setiap pemberian arus dalam setiap kondisi ruangan dan perbedaan kondisi suhu ruangan yang digunakan dalam Persamaan (2.4) dengan menggunakan suhu ruangan (27°C) sebagai suhu referensi.

Contoh perhitungan TCR pada resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) yang menggunakan *screen* T120 dengan arus masukan 1mA :

$$\text{TCR} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (T_2 - T_1)} \cdot 10^6$$

$$\begin{aligned} \text{TCR}_{1a} &= \frac{545 - 541}{541 (52 - 27)} \cdot 10^6 \\ &= 295,74861 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Nilai TCR resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) menggunakan *screen* T120 pada $I = 1\text{mA}$ ditunjukkan dalam Tabel 5.14. Nilai TCR resistor pada arus, R_s dan penggunaan ukuran *screen* yang lain ditunjukkan dalam Lampiran 5-1.

Tabel 5.14 Nilai TCR Resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) Menggunakan *Screen* T120

No.	Aspek Rasio (L/W)	TCR Screen T120 (ppm/ $^\circ\text{C}$)		
		52 $^\circ\text{C}$	84 $^\circ\text{C}$	150 $^\circ\text{C}$
1.	1/1	295,74861	162,14288	300,55753
2.	2/1	231,43684	219,93267	243,04004
3.	3/1	609,2917	440,93478	334,3674
4.	4/1	227,66079	309,53879	245,24434
5.	5/1	85,470085	187,4344	225,83559

Data hasil pengukuran TCR resistor kemudian dikelompokkan sesuai dengan aspek rasio resistor dan dirata - rata. Hasil rata – rata TCR resistor menggunakan *screen* T120 untuk aspek rasio 1/1 ditunjukkan dalam Tabel 5.15. Nilai TCR resistor untuk aspek rasio dan ukuran *screen* yang lain ditunjukkan dalam Lampiran 5-2.

Tabel 5.15 Nilai Rata – rata TCR Resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) untuk Aspek Rasio 1/1

I (mA)	Aspek Rasio 1/1 T120		
	52°C	84°C	150°C
1	295,7486137	162,1428803	300,5575342
2	426,7701261	323,3107016	291,7681941
3	157,1709234	206,8038466	191,6718578
4	118,9296333	234,7295394	265,8995866
5	143,4262948	209,6875655	213,7790302
Rata - rata	228,4091183	227,3349067	252,7352406

Hasil pengukuran rata – rata TCR resistor untuk setiap aspek rasio dikelompokkan dengan aspek rasio yang lain. Hasil pengukuran TCR resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) untuk setiap aspek rasio ditunjukkan dalam Tabel 5.16. Nilai rata – rata TCR masing – masing aspek rasio resistor pada ukuran *screen* yang lain ditunjukkan dalam Lampiran 5-3. Nilai rata – rata TCR resistor dengan $R_s = 10,37 \Omega/\square$ dan $R_s = 1,023K \Omega/\square$ untuk keseluruhan aspek rasio ditunjukkan dalam Tabel 5.17 dan 5.18. Grafik nilai rata – rata TCR masing – masing resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$ dan $R_s = 1,023K\Omega/\square$ untuk setiap aspek rasio ditunjukkan dalam Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.

Tabel 5.16 Nilai Rata – rata TCR Resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) Menggunakan *Screen* T120
Untuk Setiap Aspek Rasio

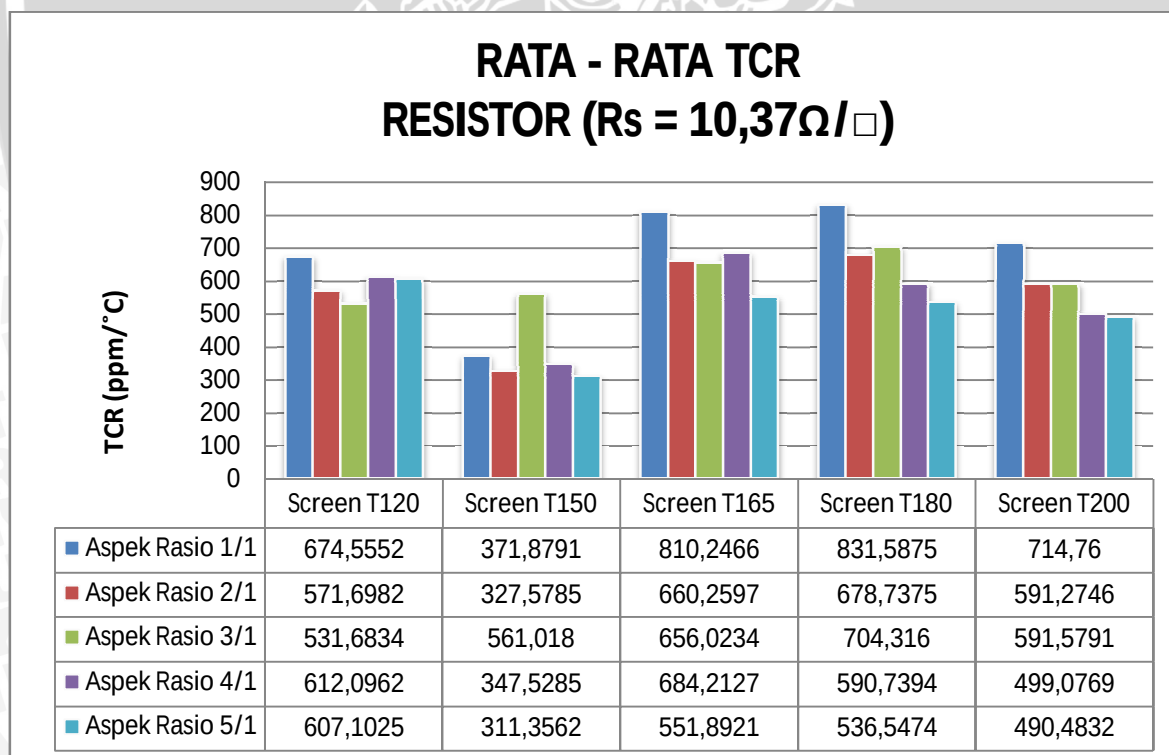
Aspek Rasio (L/W)	TCR <i>Screen</i> T120 (ppm/°C)			Rata - rata
	52°C	84°C	150°C	
1/1	228,4091	227,3349	252,7352	236,1598
2/1	229,036	232,3148	234,5225	231,9578
3/1	361,1296	323,0861	273,8954	319,3704
4/1	249,058	264,7335	234,8521	249,5479
5/1	211,7574	231,7039	213,9447	219,1354

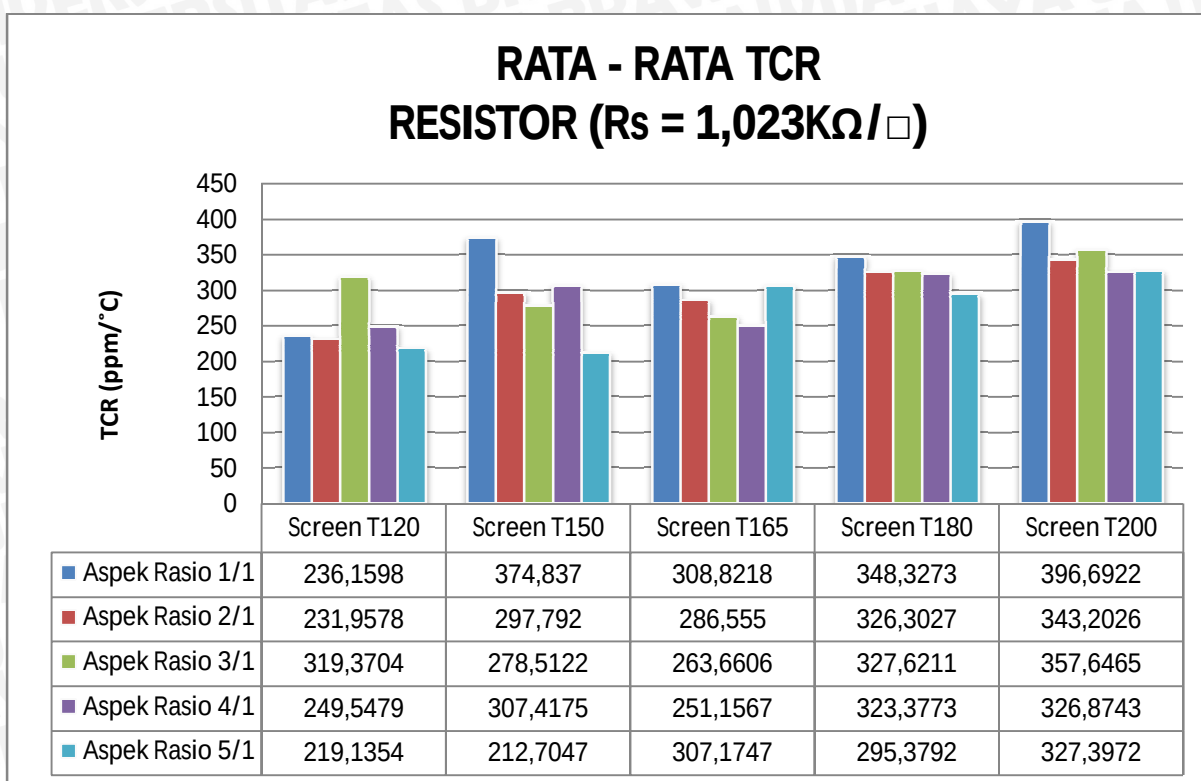
Tabel 5.17 Nilai Rata – rata TCR Resistor ($R_s = 10,37\Omega/\square$) untuk Keseluruhan Aspek Rasio

Aspek Rasio (L/W)	Rata – Rata TCR(ppm/°C)				
	Screen T120	Screen T150	Screen T165	Screen T180	Screen T200
1/1	674,5552	371,8791	810,2466	831,5875	714,76
2/1	571,6982	327,5785	660,2597	678,7375	591,2746
3/1	531,6834	561,018	656,0234	704,316	591,5791
4/1	612,0962	347,5285	684,2127	590,7394	499,0769
5/1	607,1025	311,3562	551,8921	536,5474	490,4832

Tabel 5.18 Nilai Rata – rata TCR Resistor ($R_s = 1,023K\Omega/\square$) untuk Keseluruhan Aspek Rasio

Aspek Rasio (L/W)	Rata – Rata TCR(ppm/°C)				
	Screen T120	Screen T150	Screen T165	Screen T180	Screen T200
1/1	236,1598	374,837	308,8218	348,3273	396,6922
2/1	231,9578	297,792	286,555	326,3027	343,2026
3/1	319,3704	278,5122	263,6606	327,6211	357,6465
4/1	249,5479	307,4175	251,1567	323,3773	326,8743
5/1	219,1354	212,7047	307,1747	295,3792	327,3972

Gambar 5.11 Grafik Nilai Rata – rata TCR Masing – masing Resistor dengan $R_s = 10,37\Omega/\square$



Gambar 5.12 Grafik Nilai rata – rata TCR Masing – masing Resistor dengan $R_s = 1,023K\Omega/\square$

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-beda pada setiap proses.

Dari hasil perhitungan rata – rata nilai TCR resistor dapat disimpulkan bahwa 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 *cermet* atau disebut sebagai koefisien suhu positif .