

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

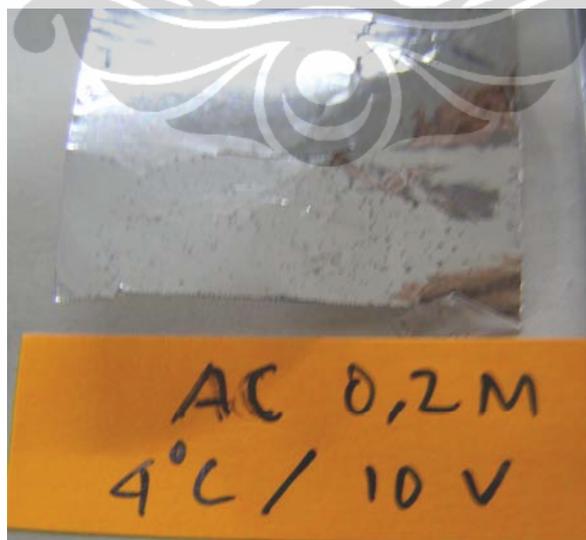
#### 4.1 PENGAMATAN VISUAL

Pengamatan visual pada sampel setelah mengalami proses anodisasi dapat dilihat pada gambar berikut.

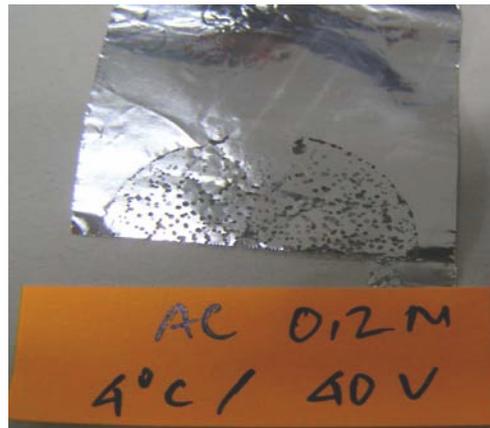
##### 4.1.1. Temperatur anodisasi 4 °C



**Gambar 4.1.** Foto permukaan sampel sebelum dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M



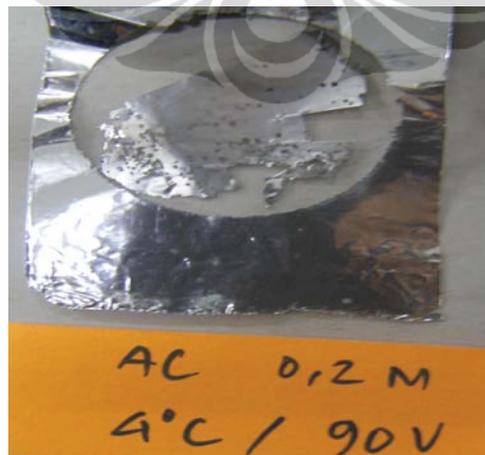
**Gambar 4.2.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 4 °C, tegangan 10 volt



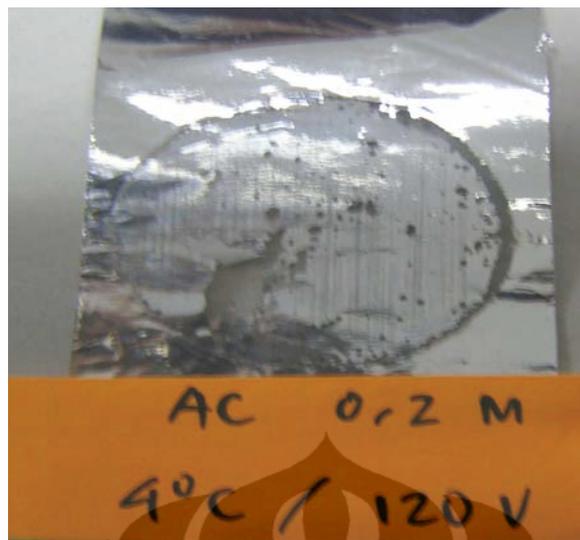
**Gambar 4.3.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan CH<sub>3</sub>COOH 0,2 M, temperatur 4 °C, tegangan 40 volt



**Gambar 4.4.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan CH<sub>3</sub>COOH 0,2 M, temperatur 4 °C, tegangan 70 volt



**Gambar 4.5.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan CH<sub>3</sub>COOH 0,2 M, temperatur 4 °C, tegangan 90 volt

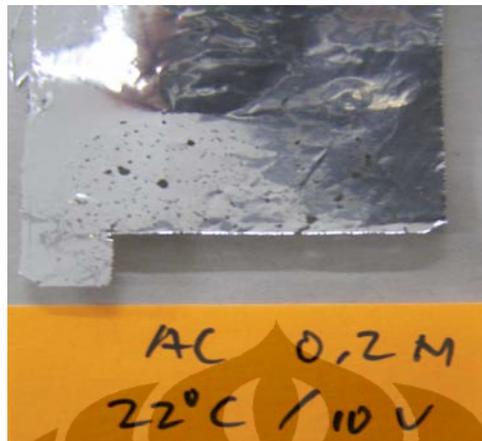


**Gambar 4.6.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur  $4^\circ\text{C}$ , tegangan 120 volt

Pada pengujian dengan temperatur  $4^\circ\text{C}$ , di permukaan sampel sudah terdapat pori yang dapat dilihat dengan kasat mata, dimana ukuran pori tersebut makin membesar pada tegangan 40 volt. Pada tegangan 40 volt daerah pinggir dari permukaan sampel sudah mengalami pelarutan dan ukuran porinya lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran sampel pada tegangan 10 volt. Selanjutnya pada tegangan 70 volt kondisi permukaan yang terekspos dengan larutan elektrolit mengalami kehancuran setelah dianodisasi selama 30 menit tetapi sampel tidak terlepas dari bagian aluminium foil, sedangkan kondisi sampel pada tegangan 90 volt, daerah pinggir dari sampel mengalami pelarutan sempurna, sehingga sampel yang terekspos dengan larutan elektrolit hampir terlepas dari aluminium foil tetapi pada bagian tengahnya masih terlihat utuh namun terlihat pori dengan ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan sampel pada tegangan 40 volt.

Pada pengujian pada tegangan 120 volt dengan temperatur  $4^\circ\text{C}$ , waktu pengujian hanya dilakukan dalam waktu 6 menit karena pada kondisi tersebut di bagian pinggir sampel sudah mulai mengalami pelarutan dan jika diteruskan maka kondisi sampel akan hancur.

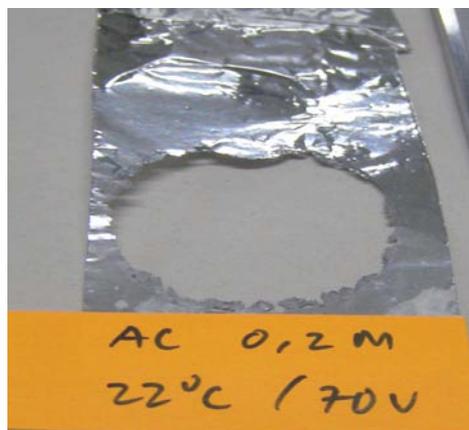
#### 4.1.2. Temperatur anodisasi 22 °C



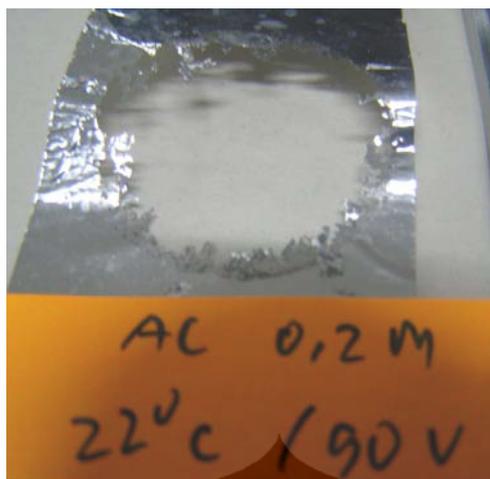
**Gambar 4.7.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 22 °C, tegangan 10 volt



**Gambar 4.8.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 22 °C, tegangan 40 volt



**Gambar 4.9.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 22 °C, tegangan 70 volt



**Gambar 4.10.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 22 °C, tegangan 90 volt



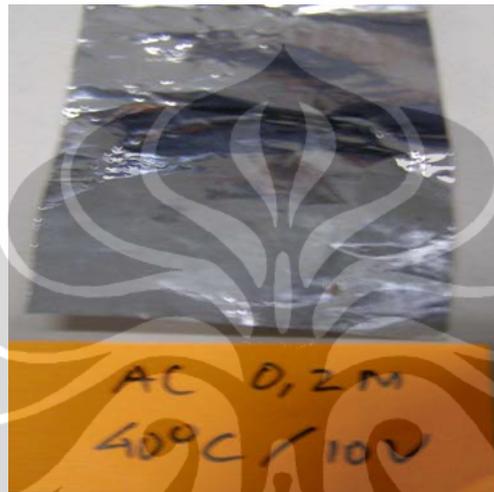
**Gambar 4.11.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 22 °C, tegangan 120 volt

Pada pengujian dengan temperatur 22 °C, kondisi permukaan sampel pada tegangan 10 volt sudah terlihat pori yang ukurannya hampir sama dengan sampel yang dianodisasi pada temperatur 4 °C, namun pada temperatur 22 °C, di permukaan sampel terdapat beberapa ukuran pori yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran pori disekitarnya. Selanjutnya pada sampel dengan tegangan 40 volt, terlihat lubang-lubang pada permukaan sampel dan dibagian pinggirnya sudah mulai mengalami pelarutan.

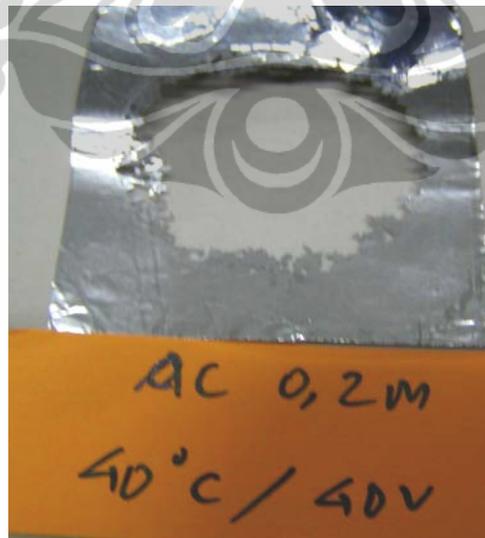
Pada pengujian anodisasi pada tegangan 90 volt dan 120 volt, sampel mengalami kehancuran di mulai dari bagian tengah, kondisi ini berbeda dengan sampel yang dianodisasi pada temperatur 4 °C, dimana pelarutan sampel dimulai

dari bagian pinggir. Waktu pengujian untuk kedua sampel tersebut hanya dilakukan selama 14 menit untuk sampel pada tegangan 90 volt dan 10 menit untuk sampel pada tegangan 120 volt, karena apabila diteruskan sampel akan larut semua.

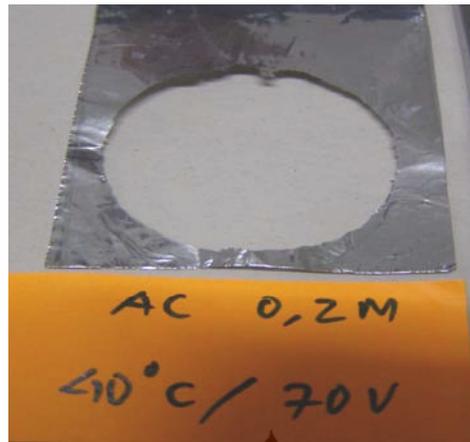
#### 4.1.3. Temperatur anodisasi 40 °C



**Gambar 4.12.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 40 °C, tegangan 10 volt



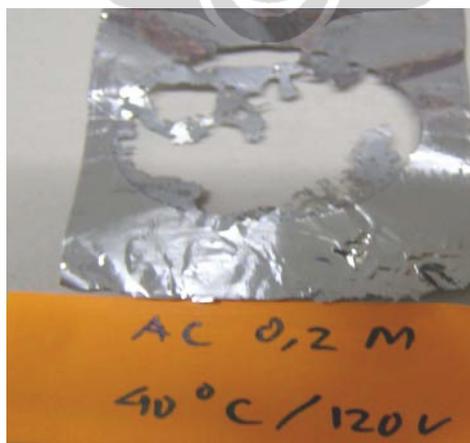
**Gambar 4.13.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 40 °C, tegangan 40 volt



**Gambar 4.14.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 40 °C, tegangan 70 volt



**Gambar 4.15.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 40 °C, tegangan 90 volt



**Gambar 4.16.** Foto permukaan sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 40 °C, tegangan 120 volt

Pada temperatur anodisasi 40 °C, kondisi permukaan sampel pada tegangan 10 volt secara kasat mata tidak terlihat pori atau lubang dan juga tidak terjadi perubahan warna pada permukaan. Sedangkan pada percobaan dengan variasi tegangan yang lebih tinggi sampel mengalami kehancuran, tetapi masih terdapat sisa-sisa aluminium pada bagian pinggirnya, kondisi ini dapat dilihat pada gambar 4.13 , gambar 4.15 dan gambar 4.16.

Secara umum kerusakan sampel dominan terjadi untuk kondisi anodisasi pada variasi temperatur dan tegangan yang lebih tinggi

## 4.2. PENGAMATAN DIAMETER PORI

Pengujian selanjutnya adalah pengamatan diameter pori, sampel-sampel yang di gunakan untuk pengamatan diameter pori untuk masing-masing temperatur adalah 3 sampel. Pengamatan ukuran pori dilakukan pada sampel yang dianodisasi dengan temperatur 4 °C, 22 °C dan 40 °C yang dipengaruhi oleh potensial 10 volt, 40 volt dan 90 volt, dengan menggunakan alat nikon *measuring microscope* MM-40 di Laboratorium Metalografi dan Perlakuan Panas, Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Sebelumnya di lakukan pengambilan foto makro masing-masing sampel dengan menggunakan alat *stereo microscope* pembesaran 10 X untuk mengetahui kondisi pori yang lebih jelas.

### 4.2.1. Pengamatan diameter pori ditinjau dari perubahan tegangan



**Gambar 4.17.** Foto makro sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 4 °C, potensial 10 volt, pembesaran 10 X



**Gambar 4.18.** Foto makro sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 4 °C, potensial 40 volt, pembesaran 10 X

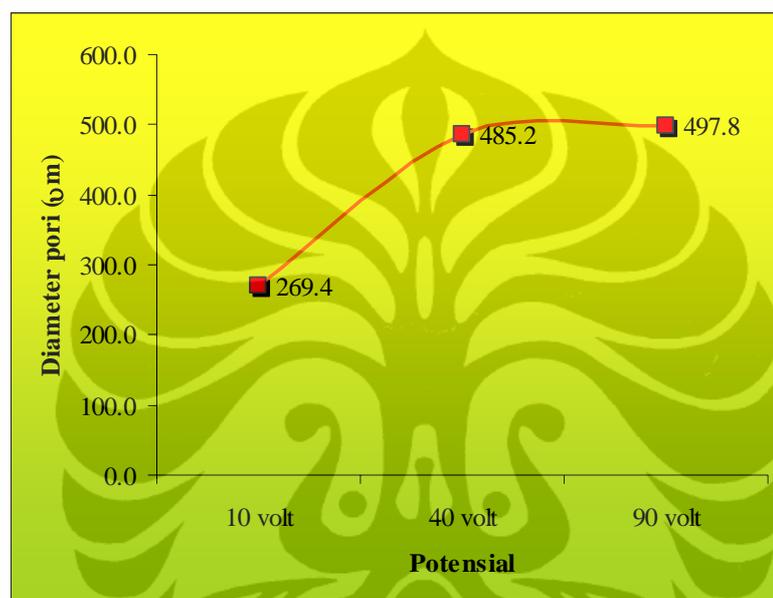


**Gambar 4.19.** Foto makro sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 4 °C, potensial 90 volt, pembesaran 10 X

Pada temperatur anodisasi 4 °C, tegangan 10 volt, ukuran pori pada permukaan sampel terlihat lebih kecil jika dibandingkan dengan kondisi sampel pada tegangan 40 volt dan tegangan 90 volt, dan tingkat keteraturan pori tersusun kurang teratur. Ukuran pori untuk masing-masing sampel yang dianodisasi pada temperatur 4 °C dan variasi tegangan 10, 40 dan 90 volt dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Hasil pengukuran diameter pori lapisan oksida pada temperatur anodisasi 4 °C di tegangan yang berbeda

Temperatur	Potensial	i	ii	iii	iv	v	rata-rata (μm)
4 °C	10 volt	300	240	269	306	232	269.4
	40 volt	544	363	618	402	499	485.2
	90 volt	412	456	513	521	587	486.0



**Gambar 4.20.** Grafik pengaruh potensial anodisasi terhadap diameter pori lapisan oksida pada temperatur 4 °C

Hasil pengukuran diameter pori lapisan oksida pada temperatur 4 °C menunjukkan, ukuran diameter pori cenderung meningkat seiring dengan kenaikan tegangan anodisasi. Dikarenakan diameter pori lapisan oksida masing-masing sampel kurang merata, maka pengukuran diameter pori dengan *measuring microscope* dilakukan pada 5 titik yang berbeda dan dihitung rata-ratanya.

Ukuran pori yang kurang merata dan tidak seragam bukan hanya ditunjukkan oleh sampel anodisasi pada tegangan 10 volt, tetapi juga pada sampel lainnya. Kenaikan ukuran pori yang cukup signifikan terjadi pada sampel anodisasi tegangan 10 volt dibandingkan dengan tegangan 40 volt, selanjutnya pada tegangan 90 volt perubahan ukuran pori jika dibandingkan dengan tegangan 40 volt tidak mengalami perubahan yang drastis, namun jika dilihat dari foto makro antara tegangan 40 volt dan 90 volt, kehancuran lebih banyak dialami oleh

sampel anodisasi tegangan 90 volt, karena masing-masing ukuran pori yang masih beraturan bentuknya makin membesar dan bergabung dengan pori-pori yang lainnya, sehingga membentuk lubang yang lebih besar dan cenderung tidak beraturan bentuknya.

Penyebab kurang meratanya ukuran pori bisa disebabkan preparasi yang kurang sempurna dan masih sangat sederhana tahapannya, karena penelitian tentang preparasi sampel anodisasi menggunakan larutan elektrolit asam asetat pada aluminium foil jarang dilakukan seperti terlihat dalam Tabel 4.2, sehingga penulis mengambil asumsi untuk preparasi dan parameter operasi seperti yang sudah dipaparkan pada rumusan masalah dan ruang lingkup penelitian. Selain itu penyebab dari ketidakteraturan pori adalah adanya partikel yang tidak larut pada logam aluminium yaitu partikel  $FeAl_3$  yang umumnya ada di aluminium foil hasil pengerolan <sup>[24]</sup>.

**Tabel 4.2.** Standar proses anodisasi <sup>[19]</sup>

Procedure	Chemical composition	Temperature		Voltage, Vdc	Current density		Appearance and other characteristics
		°C	°F		A/dm <sup>2</sup>	A/ft <sup>2</sup>	
Sulfuric acid	5-25 wt% sulfuric acid  0.1-5 wt% aluminum sulfate	15-25	60-75	15-20	0.8-3	7.5-28	Transparent
Oxalic acid	3-5 wt% oxalic acid	20-30	70-85	25	1-1.5	9.5-14	Yellowish
Chromic acid	10 wt% chromic acid	45-55	115-130	40-50	0.3-1	28-9.5	Grayish
Phosphoric acid	3-10 wt% phosphoric acid	20-30	70-85	40-100	0.5-2	4.75-18.5	Light blue
Hard anodizing	10-20 wt% sulfuric acid  0.1-10 wt% aluminum sulfate  1 wt% oxalic acid	0-5	32-40	25-60	2-4	18.5-37	Transparent, hardness, >600 HV
Kalcolor	5 wt% sulfuric acid  10 wt% sulfosalicylic acid	22-25	70-75	25-70	2-3.2	18.5-29.75	Bronze-black
Alkaline anodizing	8-12 wt% sodium hydroxide  2-3 wt% hydrogen peroxide  0.1-0.5 wt% sodium phosphate	10-20	50-70	30-70	1-4	9.5-37	Resistant in basic solutions
Alternating current anodizing	15-30 % sulfuric acid	0-40	32-105	15-30 <sup>(8)</sup>	3-12	28-112	Soft, flexible, sulfide included
Molten salt anodizing	66 mol% potassium bisulfate  33 mol% sodium bisulfate	180	355	>160	1	9.5	$\alpha$ -alumina

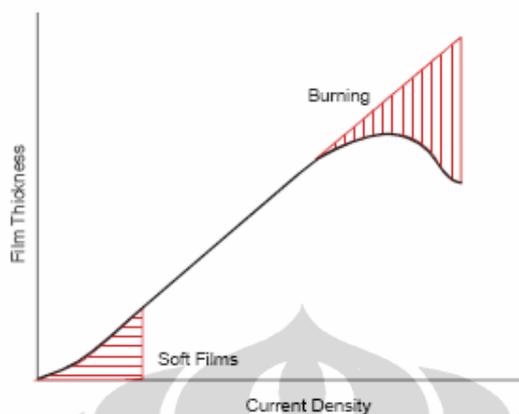
Rusaknya permukaan sampel sebenarnya bukan pengaruh dari larutan asam asetat yang menyebabkan logam larut dengan banyak, hal ini dikarenakan Asam asetat merupakan elektrolit lemah (konstanta disosiasi  $1,8 \times 10^{-5}$  dan pKa 4,75), data tersebut dapat dilihat pada tabel kekuatan asam dan basa berbagai jenis larutan pada halaman lampiran, dimana pada zat ini hanya sebagian kecil molekulnya yang larut bereaksi dengan air untuk membentuk ion dan saat aluminium terekspos dengan asam, aluminium terurai menjadi ion dan membentuk lapisan film yang protektif. Selain itu juga bisa disebabkan adanya retakan halus pada permukaan yang cukup dalam, tidak terlihat oleh mata dan tidak bisa hilang begitu saja dengan proses preparasi yang dilakukan dengan langkah yang sangat sederhana.

Peningkatan ukuran diameter pori sesuai dengan penelitian yang dilakukan GD Sulka dalam penelitiannya, *Nanostructured Materials in Electrochemistry: Highly Ordered Anodic Porous Alumina Formation by Self-Organized Anodizing* tahun 2008, pada peningkatan tegangan maka rapat arus juga meningkat, dan sebaliknya, pada tegangan tinggi maka rapat arus juga semakin meningkat dan temperatur juga akan ikut meningkat, sehingga diameter pori juga akan semakin besar [25]. Peningkatan tegangan akan meningkatkan ketebalan barrier layer yang akan menginisiasi benih-benih pori di dekat batas antara oksida dan larutan. Benih ini muncul karena lapisan oksida yang bersifat insulator dikenai tegangan yang tinggi sehingga ketika rusak akan menimbulkan benih pori [16].

Tegangan dan rapat arus juga ikut mempengaruhi hasil dari lapisan oksida yang dibentuk. Proses anodisasi sebaiknya dilakukan pada kondisi tegangan yang konstan. Besarnya tegangan yang dibutuhkan pada berbagai variasi larutan elektrolit dan aplikasi dari proses anodisasi bervariasi antara 10 hingga 25 volt. Umumnya tegangan yang tinggi digunakan pada aplikasi yang beroperasi pada suhu rendah dan menggunakan larutan elektrolit yang tidak pekat pada saat proses anodisasinya.

Adapun penggunaan rapat arus yang lebih tinggi diaplikasikan untuk mengimbangi proses anodisasi yang menggunakan larutan elektrolit pekat. Rapat arus di bawah rentang ini akan menghasilkan produk lapisan film yang lebih lunak, berpori banyak dan tipis. Pada rapat arus yang sangat tinggi, cenderung akan terjadi *burning*, dimana hal ini merupakan pengembangan dari aliran rapat

arus yang berlebihan pada area tertentu sehingga terjadi pemanasan lokal pada area tersebut. Hal ini akan dijelaskan pada gambar di bawah ini :



**Gambar 4.21.** Grafik pengaruh rapat arus terhadap ketebalan lapisan oksida <sup>[26]</sup>

Pada penelitian ini, penulis menggunakan larutan asam asetat yang kurang pekat, yaitu hanya 0,2 M atau setara dengan 1,14 % berat. Sehingga pada penggunaan tegangan lebih dari 70 volt, sampel hasil anodisasi cenderung terjadi *burning*, begitu pula dengan temperatur anodisasi 40 °C, sampel juga terjadi *burning*. Pada penggunaan tegangan 10 volt, temperatur 4 °C, meskipun sampel mengalami *burning*, tetapi kerusakan dari sampel tidak begitu parah.

Hal ini diakibatkan karena kurang pekatnya larutan elektrolit yang digunakan dimana pada zat ini hanya sebagian kecil molekulnya yang larut bereaksi dengan air untuk membentuk ion. Karena tergolong elektrolit lemah, asam asetat berarti memiliki konduktivitas yang rendah untuk menghantarkan listrik dan menghasilkan ion-ion yang *mobile* dalam membentuk reaksi antar muka pembentukan oksida sehingga lapisan oksida yang terbentuk sangat tipis dan lebih lunak, dimana jika digunakan tegangan yang lebih tinggi akan menghasilkan rapat arus yang berlebihan di daerah-daerah tertentu pada permukaan sampel yang selanjutnya akan terjadi pemanasan lokal di daerah-daerah tersebut.

Larutan asam asetat jarang digunakan sebagai media elektrolit pada anodisasi aluminium, sehingga penulis sulit menentukan standar anodisasi yang menggunakan larutan asam asetat. Tetapi jika di komparasikan dengan larutan

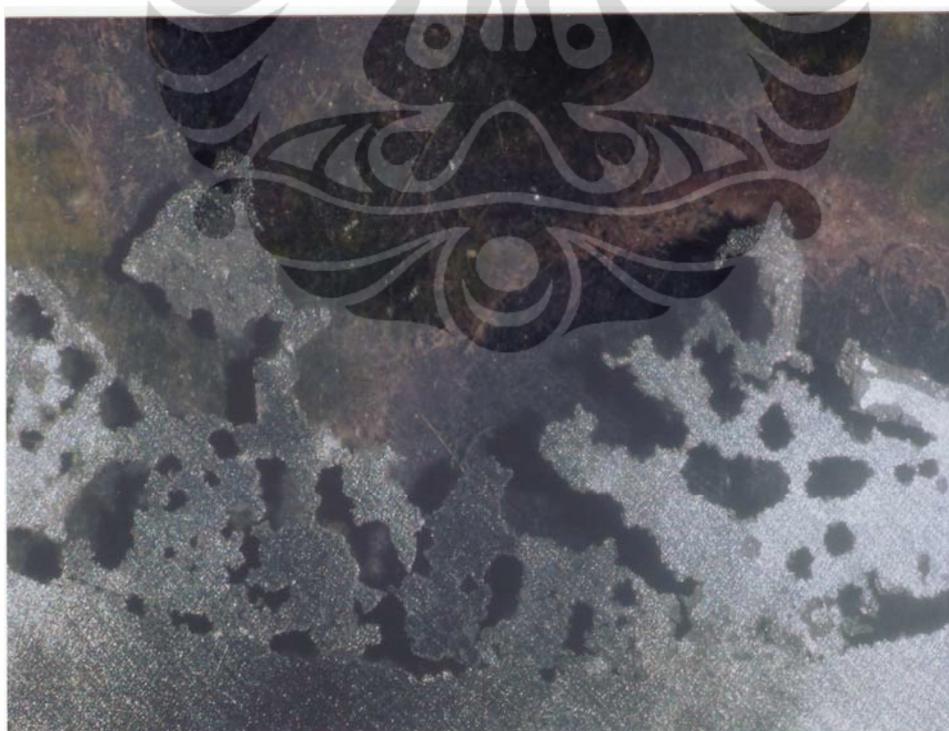
elektrolit yang lain, diantaranya seperti larutan oksalat 0,3 M yang digunakan oleh Masuda dan Fukuda pada tahun 1995, Jim Hoon Kim dan timnya tahun 2004 dan Soo Hwang Jeong dan Kun Hong Lee tahun 2004, keteraturan yang tinggi dari *anodic aluminum oxide* (AAO) dapat dicapai dengan penggunaan tegangan sebesar 40 volt. Untuk mendapatkan keteraturan yang tinggi, tegangan yang digunakan dalam proses anodisasi perlu disesuaikan untuk jenis larutan yang berbeda, asam sulfat membutuhkan tegangan 25-27 volt untuk mendapatkan AAO dengan keteraturan tinggi, sedangkan asam fosfat membutuhkan tegangan 195 volt. Penggunaan tegangan yang berbeda akan menyebabkan perbedaan diameter pori yang dihasilkan. Semakin tinggi tegangan yang digunakan maka diameter pori akan semakin besar. Tetapi pada larutan asam asetat dengan konsentrasi 0,2 M, range tegangan lebih dari 10 v – 120 v serta range temperatur 22 °C – 40 °C belum didapati kecenderungan lapisan oksida yang berpori seperti yang diharapkan. Ukuran pori yang lebih kecil cenderung terjadi pada tegangan 10 volt dan temperatur 4 °C. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan konsentrasi larutan asam asetat yang lebih pekat serta tegangan proses yang lebih rendah lagi.



**Gambar 4.22.** Foto makro sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 22 °C, potensial 10 volt, pembesaran 10 X



**Gambar 4.23.** Foto makro sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur  $22\text{ }^\circ\text{C}$ , potensial 40 volt, pembesaran 10 X

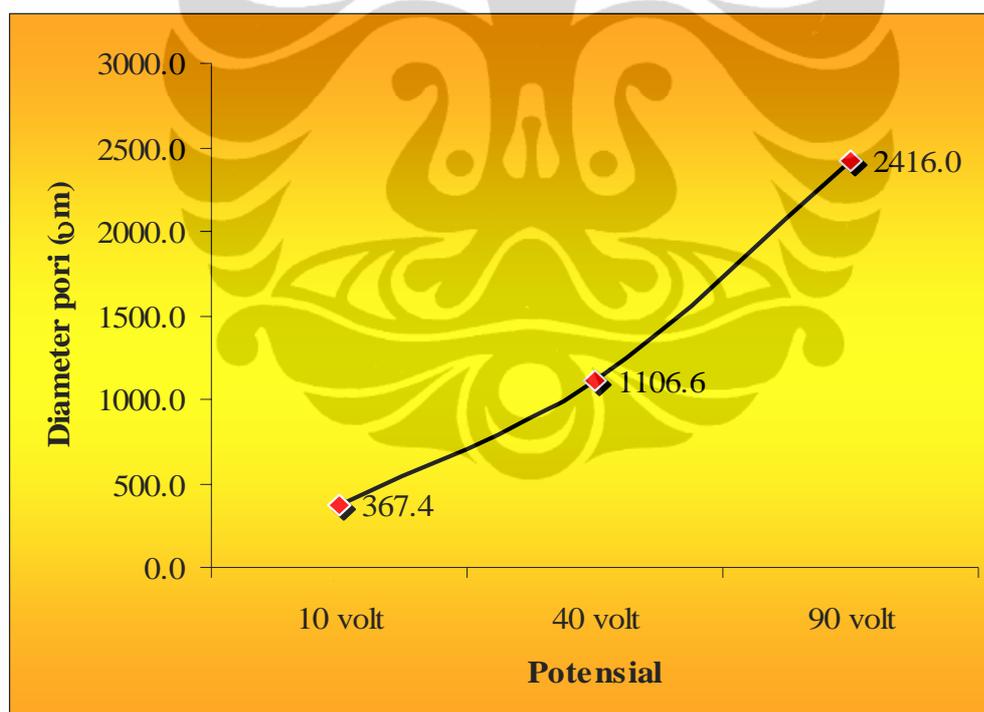


**Gambar 4.24.** Foto makro sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur  $22\text{ }^\circ\text{C}$ , potensial 90 volt, pembesaran 10 X

Pada temperatur anodisasi 22 °C, tegangan 10 volt, ukuran pori pada permukaan sampel terlihat paling kecil yaitu 367,4  $\mu\text{m}$  jika dibandingkan dengan kondisi sampel pada tegangan 40 volt dan tegangan 90 volt. Ukuran pori untuk masing-masing sampel yang dianodisasi pada temperatur 22 °C dan variasi tegangan 10, 40 dan 90 volt dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Hasil pengukuran diameter pori lapisan oksida pada temperatur anodisasi 22 °C di tegangan yang berbeda

Temperatur	Potensial	i	ii	iii	iv	v	rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
22 °C	10 volt	378	401	324	311	423	367.4
	40 volt	1,222	1,446	1,214	803	848	1106.6
	90 volt	2,495	2,213	2,294	2,597	2,481	2416.0



**Gambar 4.25.** Grafik pengaruh potensial anodisasi terhadap diameter pori lapisan oksida pada temperatur 22 °C

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.25, kenaikan ukuran diameter pori lapisan oksida mengalami kenaikan secara eksponensial, kondisi ini berbeda dengan grafik pada Gambar 4.20. Penyebab dari perbedaan kondisi ini jika dilihat

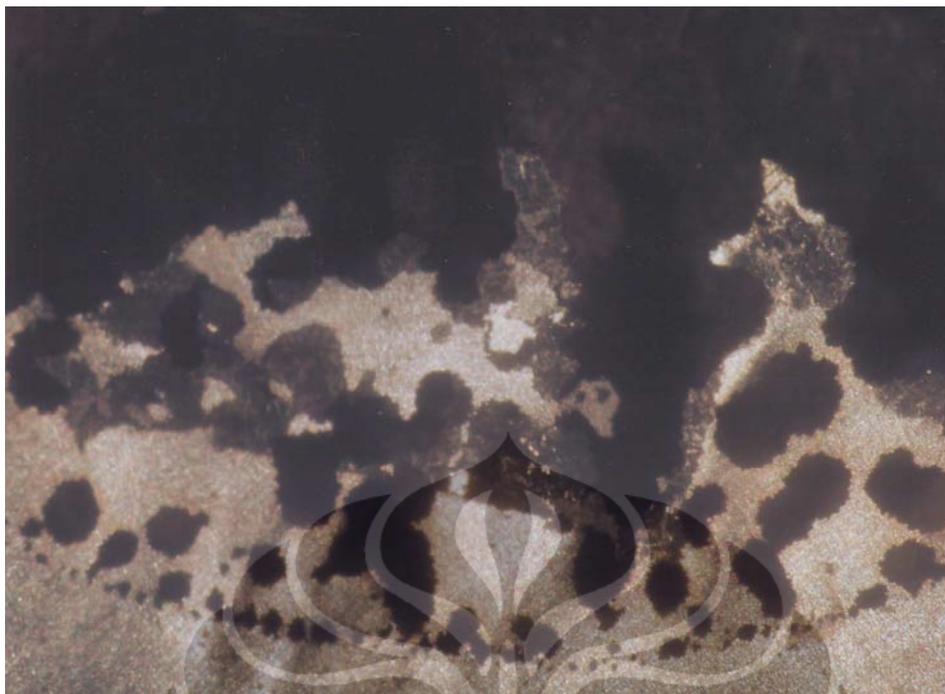
dari grafik adalah adanya perubahan temperatur anodisasi yang lebih tinggi, dari temperatur 4 °C ke temperatur 22 °C. Peningkatan temperatur anodisasi seperti yang telah dijelaskan dalam landasan teori akan meningkatkan ukuran diameter pori.



**Gambar 4.26.** Foto makro sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 40 °C, potensial 10 volt, pembesaran 10 X



**Gambar 4.27.** Foto makro sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur 40 °C, potensial 40 volt, pembesaran 10 X

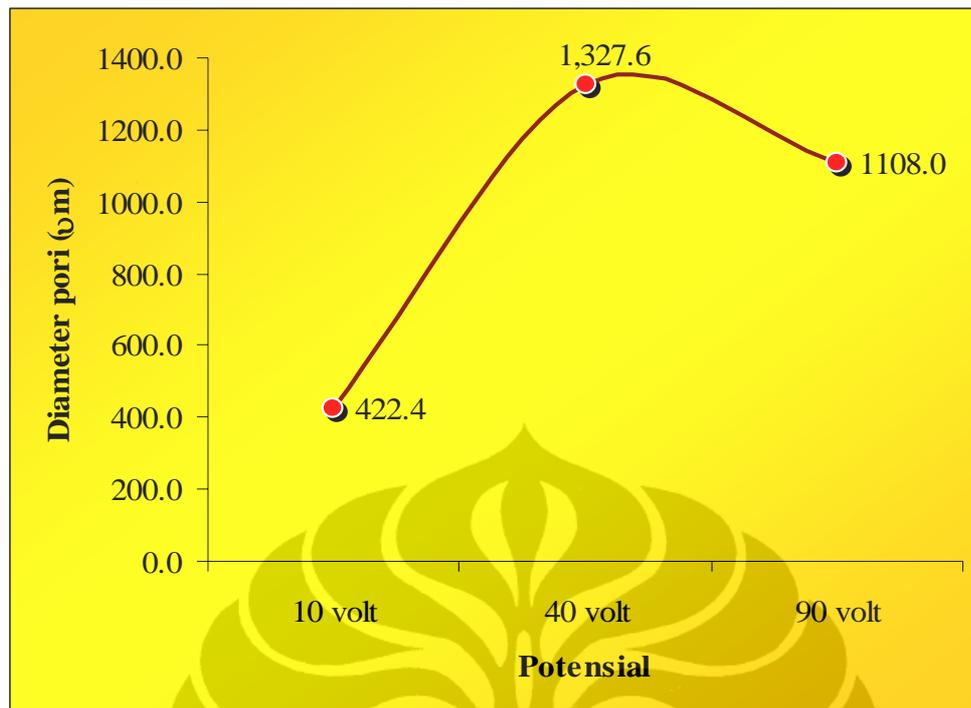


**Gambar 4.28.** Foto makro sampel setelah dianodisasi dengan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,2 M, temperatur  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , potensial 90 volt, pembesaran 10 X

Pada temperatur anodisasi  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , ukuran pori pada permukaan sampel terlihat mengalami peningkatan dari tegangan 10 volt ke tegangan 40 volt, ukurannya meningkat dari  $422,4\ \mu\text{m}$  menjadi  $1.327,6\ \mu\text{m}$ . Kemudian mengalami penurunan pada tegangan 90 volt ( $1.108\ \mu\text{m}$ ). Ukuran pori untuk masing-masing sampel yang dianodisasi pada temperatur  $44\text{ }^\circ\text{C}$  dan variasi tegangan 10, 40 dan 90 volt dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4.** Hasil pengukuran diameter pori lapisan oksida pada temperatur anodisasi  $40\text{ }^\circ\text{C}$  di tegangan yang berbeda

Temperatur	Potensial	i	ii	iii	iv	v	rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
$40\text{ }^\circ\text{C}$	10 volt	441	401	326	369	575	422.4
	40 volt	1,361	1,130	1,496	1,264	1,387	1,327.6
	90 volt	1,067	1,277	1,062	947	1,187	1108.0



**Gambar 4.29.** Grafik pengaruh potensial anodisasi terhadap diameter pori lapisan oksida pada temperatur 40 °C

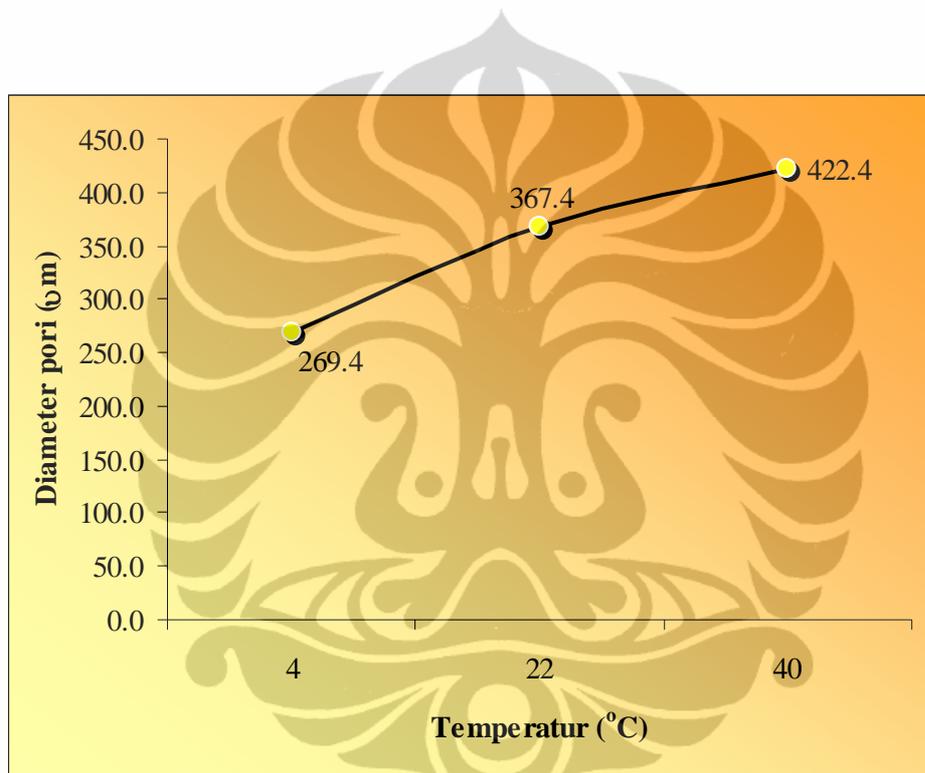
Jika dilihat dari foto makro sampel yang dianodisasi pada tegangan 40 volt dan 90 volt, ukuran pori dari masing-masing sampel cenderung sama. Pada sampel tegangan 40 volt sulit didapati bentuk pori yang cenderung berbentuk bulat, sehingga pengukuran pori dari sampel tegangan 40 volt diambil dari pori yang sudah bergabung bentuknya, sedangkan sampel pada tegangan 90 volt masih terdapat pori yang berbentuk bulat.

#### 4.2.2. Pengamatan diameter pori ditinjau dari perubahan temperatur

Pada tegangan anodisasi 10 volt, ukuran pori mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan temperatur dan kenaikan ini apabila di lihat dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.30 cenderung berbentuk kurva logaritmik jika dilakukan trendline pada grafik. Hal ini dapat dilihat pada data hasil pengukuran pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5.** Hasil pengukuran diameter pori lapisan oksida pada potensial anodisasi 10 volt di temperatur yang berbeda

Potensial	Temperatur (°C)	i	ii	iii	iv	V	rata-rata (µm)
10 volt	4	300	240	269	306	232	269.4
	22	378	401	324	311	423	367.4
	40	441	401	326	369	575	422.4

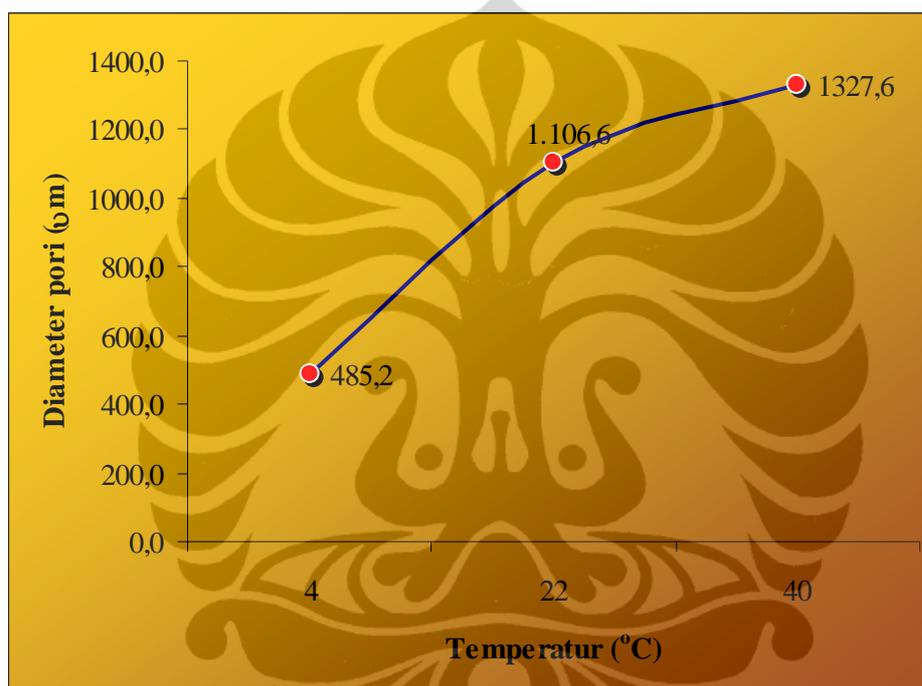


**Gambar 4.30.** Grafik pengaruh temperatur anodisasi terhadap diameter pori lapisan oksida pada potensial 10 volt

Sedangkan pada kondisi tegangan 40 volt, kenaikan secara signifikan terjadi pada perubahan temperatur 4 °C ke temperatur 22 °C, dari 485,2 µm menjadi 1.106,6 µm, tetapi perubahan yang cenderung konstan terjadi dari perubahan tegangan 40 volt ke tegangan 90 volt. Hal ini dapat dilihat pada data hasil pengukuran pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6.** Hasil pengukuran diameter pori lapisan oksida pada potensial anodisasi 40 volt di temperatur yang berbeda

Potensial	Temperatur (°C)	i	ii	iii	iv	V	rata-rata (µm)
40 volt	4	544	363	618	402	499	485.2
	22	1,222	1,446	1,214	803	848	1,106.6
	40	1.361	1.130	1.496	1.264	1.387	1327,6

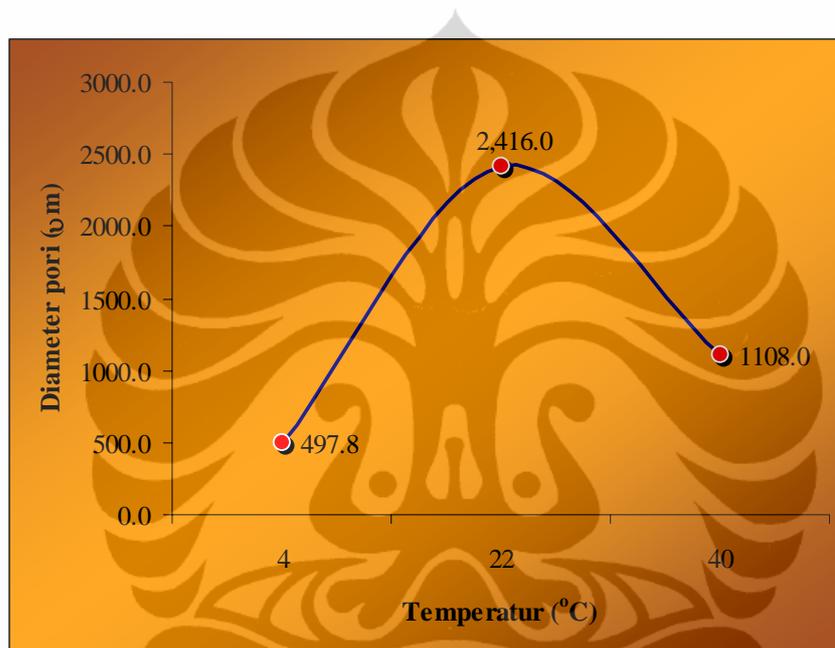


**Gambar 4.31.** Grafik pengaruh temperatur anodisasi terhadap diameter pori lapisan oksida pada potensial 40 volt

Selanjutnya pada tegangan 90 volt, terjadi kenaikan ukuran diameter pori pada sampel anodisasi temperatur 4 °C ke temperatur 22 °C (dari 497,8 µm menjadi 2.416 µm), tetapi ukuran diameter pori mengalami penurunan dari temperatur 22 °C ke temperatur 40 °C. Penyebab dari ketidaksesuaian dengan kondisi ini jika dibandingkan dengan literatur yang ada lebih disebabkan karena pengukuran diameter pori yang kurang tepat, karena ukuran pori yang cenderung berbentuk bulat sulit di dapatkan mengingat kondisi sampel yang telah hancur. Hal ini dapat dilihat pada data hasil pengukuran pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7.** Hasil pengukuran diameter pori lapisan oksida pada potensial anodisasi 90 volt di temperatur yang berbeda

Potensial	Temperatur (°C)	i	ii	iii	iv	v	rata-rata (µm)
90 volt	4	412	456	513	521	587	497.8
	22	2,495	2,213	2,294	2,597	2,481	2,416.0
	40	1,067	1,277	1,062	947	1,187	1108.0

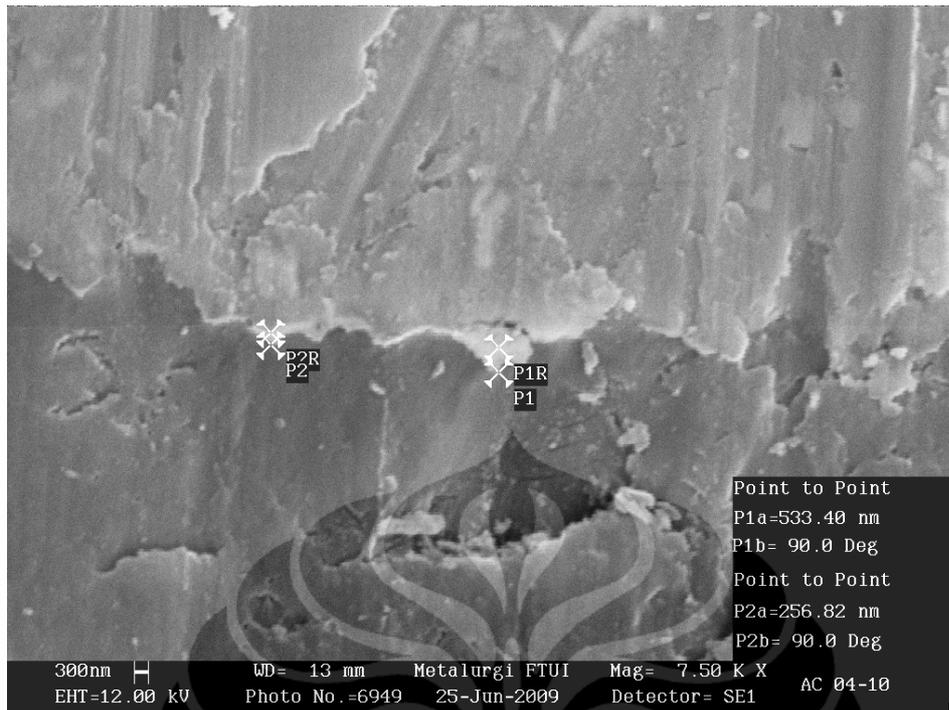


**Gambar 4.32.** Grafik pengaruh temperatur anodisasi terhadap diameter pori lapisan oksida pada potensial 90 volt

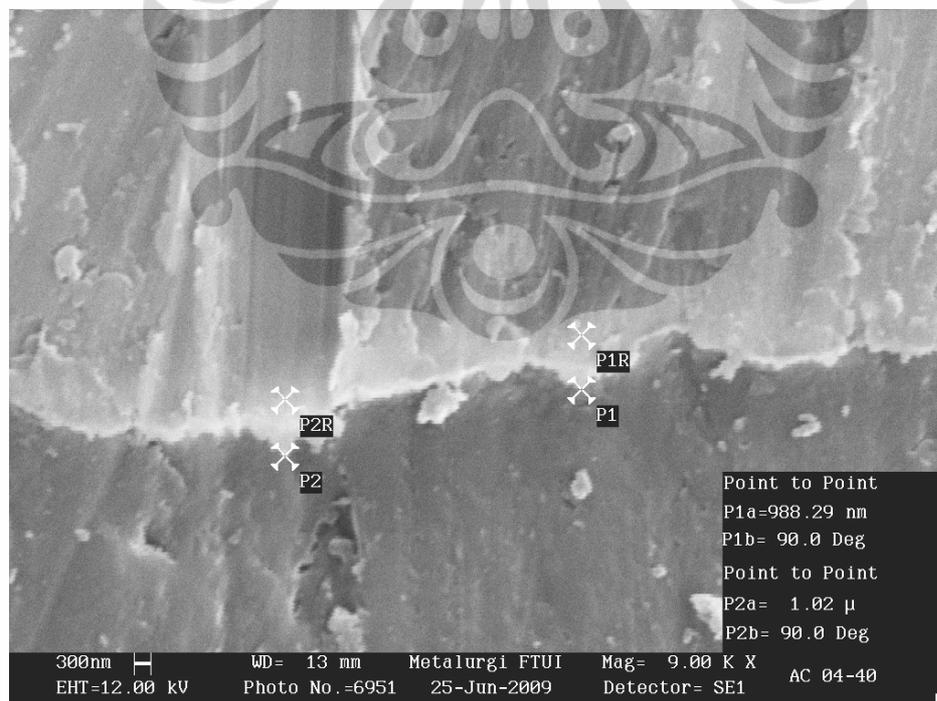
Dari hasil pengamatan pengukuran diameter pori pada perubahan temperatur dan tegangan anodisasi, ukuran diameter pori yang terjadi adalah 269,4 µm sampai 2416 µm dengan tingkat keteraturan pori yang kurang teratur dan pori-pori berbentuk bulat cenderung terjadi pada temperatur dan tegangan yang lebih rendah.

#### 4.3. PENGAMATAN KETEBALAN LAPISAN OKSIDA

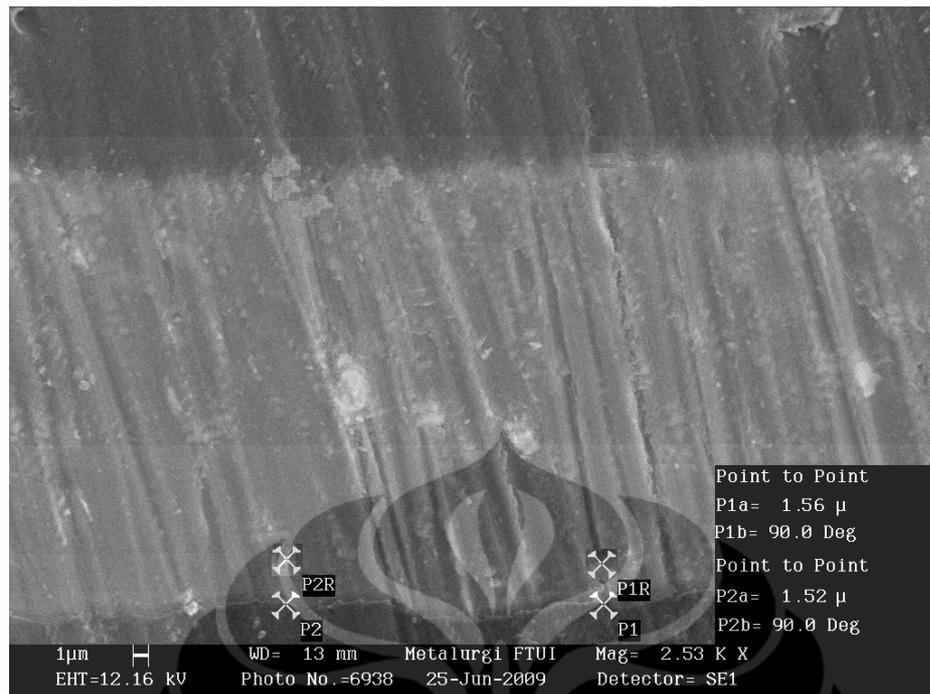
Pengamatan dan pengukuran ketebalan lapisan oksida dilakukan dengan menggunakan alat SEM (*scanning electron microscope*). Hasil dari pengukuran ketebalan lapisan oksida ditinjau dari perubahan tegangan dan temperatur.



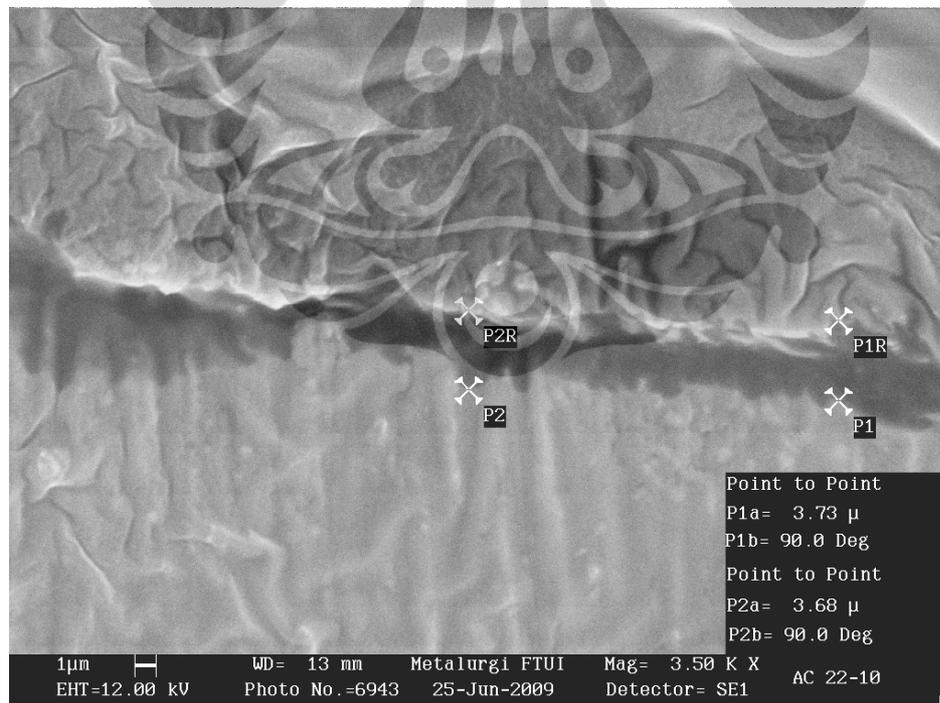
**Gambar 4.33.** Foto SEM ketebalan oksida pada temperatur 4 °C, tegangan 10 volt



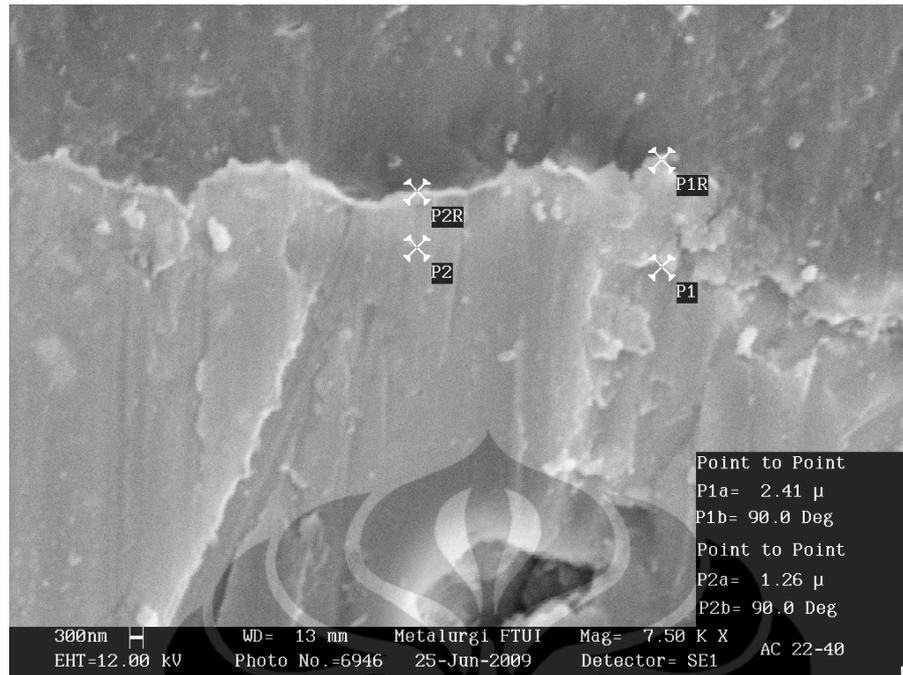
**Gambar 4.34.** Foto SEM ketebalan oksida pada temperatur 4 °C, tegangan 40 volt



**Gambar 4.35.** Foto SEM ketebalan oksida pada temperatur 4 °C, tegangan 90 volt



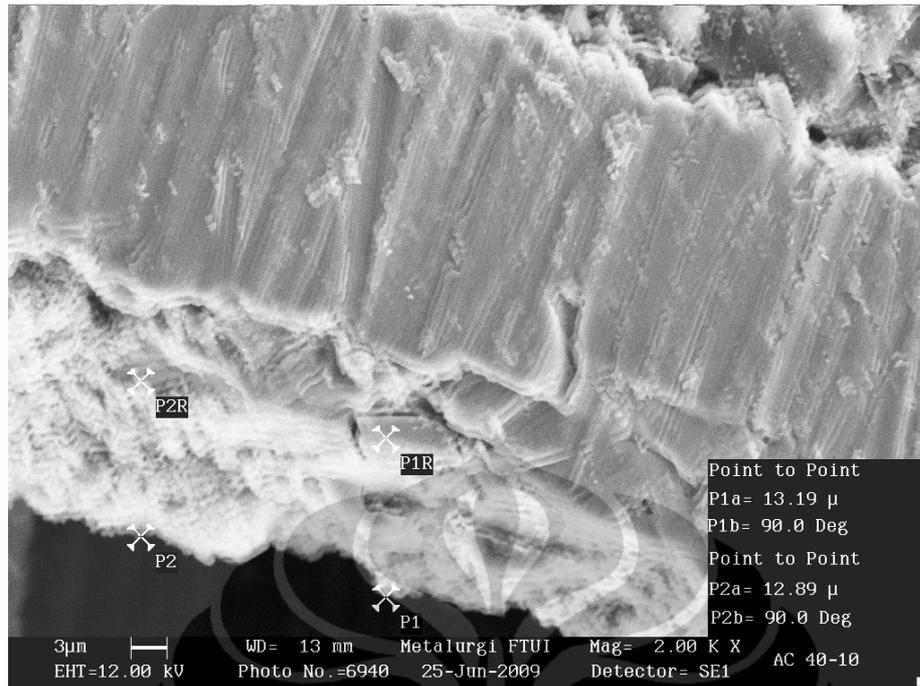
**Gambar 4.36.** Foto SEM ketebalan oksida pada temperatur 22 °C, tegangan 10 volt



**Gambar 4.37.** Foto SEM ketebalan oksida pada temperatur 22 °C, tegangan 40 volt



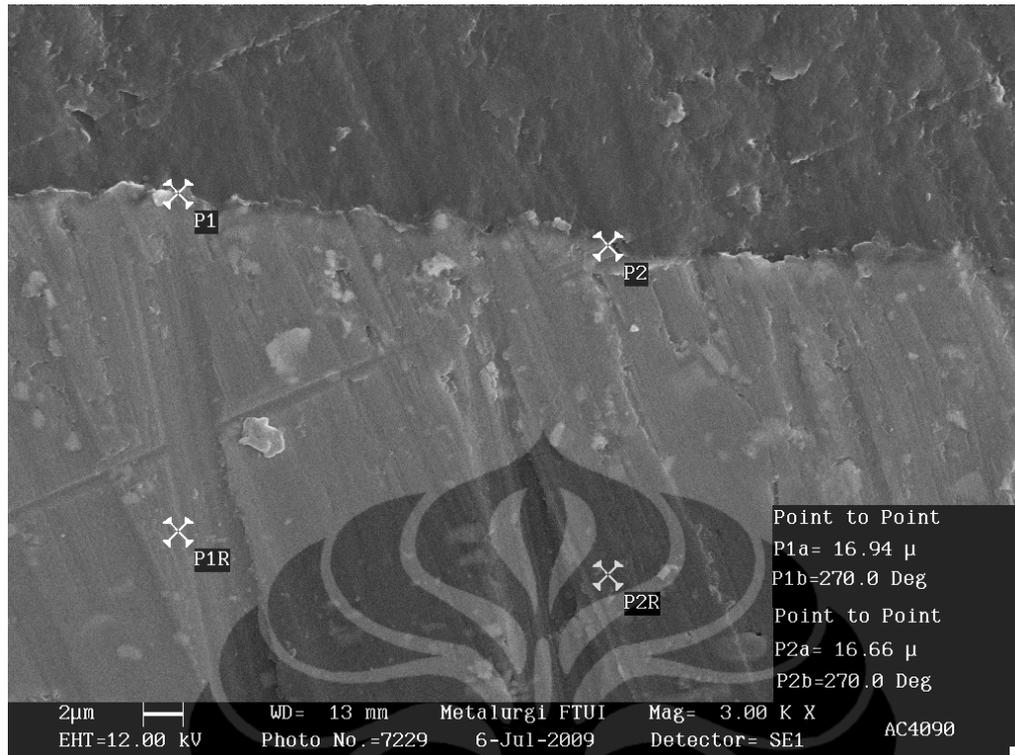
**Gambar 4.38.** Foto SEM ketebalan oksida pada temperatur 22 °C, tegangan 90 volt



**Gambar 4.39.** Foto SEM ketebalan oksida pada temperatur 40 °C, tegangan 10 volt



**Gambar 4.40.** Foto SEM ketebalan oksida pada temperatur 40 °C, tegangan 40 volt



**Gambar 4.41.** Foto SEM ketebalan oksida pada temperatur 40 °C, tegangan 90 volt

#### **4.3.1. Pengamatan ketebalan lapisan oksida ditinjau dari perubahan tegangan**

Pengujian ketebalan oksida dalam penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan pada temperatur 4 °C menyebabkan kenaikan ketebalan rata-rata lapisan oksida. Ketebalan lapisan oksida mengalami kenaikan berturut-turut 0,388  $\mu\text{m}$ , 1,048  $\mu\text{m}$ , dan 1,564  $\mu\text{m}$  pada tegangan 10 volt, 40 volt dan 90 volt.

Pada temperatur 22 °C justru menunjukkan hal sebaliknya, makin tinggi tegangan menyebabkan penurunan ketebalan rata-rata lapisan oksida. Ketebalan lapisan oksida mengalami penurunan berturut-turut 3,69  $\mu\text{m}$ , 2,11  $\mu\text{m}$ , dan 1,08  $\mu\text{m}$  pada tegangan 10 volt, 40 volt dan 90 volt.

Pada temperatur 40 °C menunjukkan hasil pengujian ketebalan oksida, makin tinggi tegangan menyebabkan kenaikan ketebalan rata-rata lapisan oksida. Ketebalan lapisan oksida mengalami kenaikan berturut-turut 13,06  $\mu\text{m}$ , 15,74  $\mu\text{m}$ , dan 16,83  $\mu\text{m}$  pada tegangan 10 volt, 40 volt dan 90 volt.

**Tabel 4.8.** Hasil pengukuran ketebalan lapisan oksida pada temperatur anodisasi 4 °C di tegangan yang berbeda

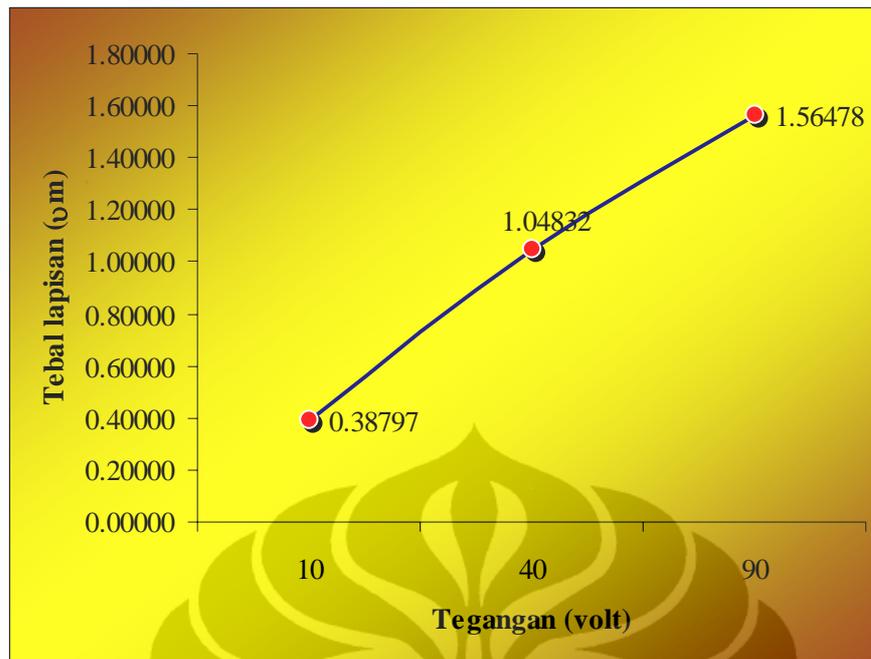
Temperatur	Tegangan (volt)	d (um)				rata-rata (μm)
		i	ii	iii	iv	
4 (°C)	10	0.5334	0.25682	0.34589	0.41578	0.38797
	40	0.9883	1.065	1.12	1.02	1.04832
	90	1.5642	1.5289	1.6126	1.5534	1.56478

**Tabel 4.9.** Hasil pengukuran ketebalan lapisan oksida pada temperatur anodisasi 22 °C di tegangan yang berbeda

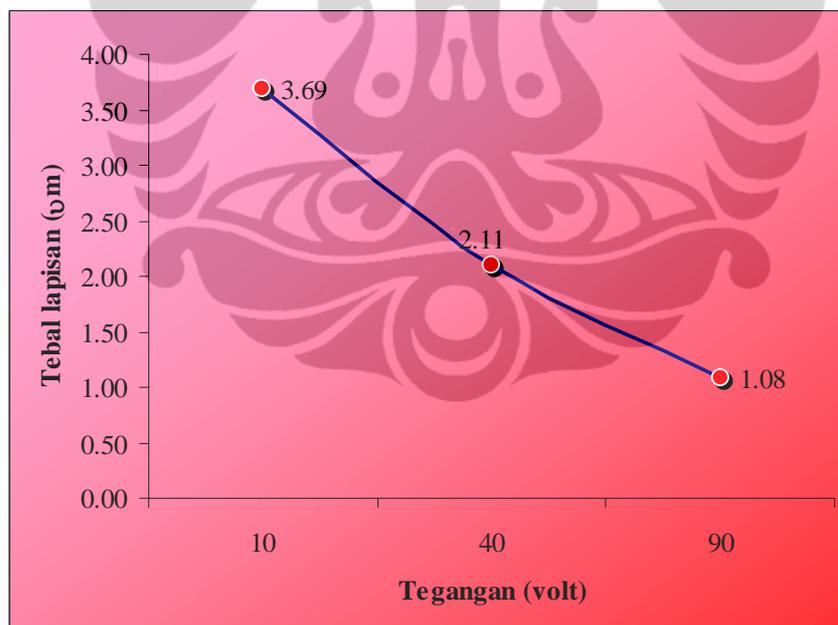
Temperatur	Tegangan (volt)	d (um)				rata-rata (μm)
		i	ii	iii	iv	
22 (°C)	10	3.73	3.64	3.68	3.72	3.69
	40	2.41	2.26	1.26	2.49	2.11
	90	1.12	1.16	0.91	1.13	1.08

**Tabel 4.10.** Hasil pengukuran ketebalan lapisan oksida pada temperatur anodisasi 40 °C di tegangan yang berbeda

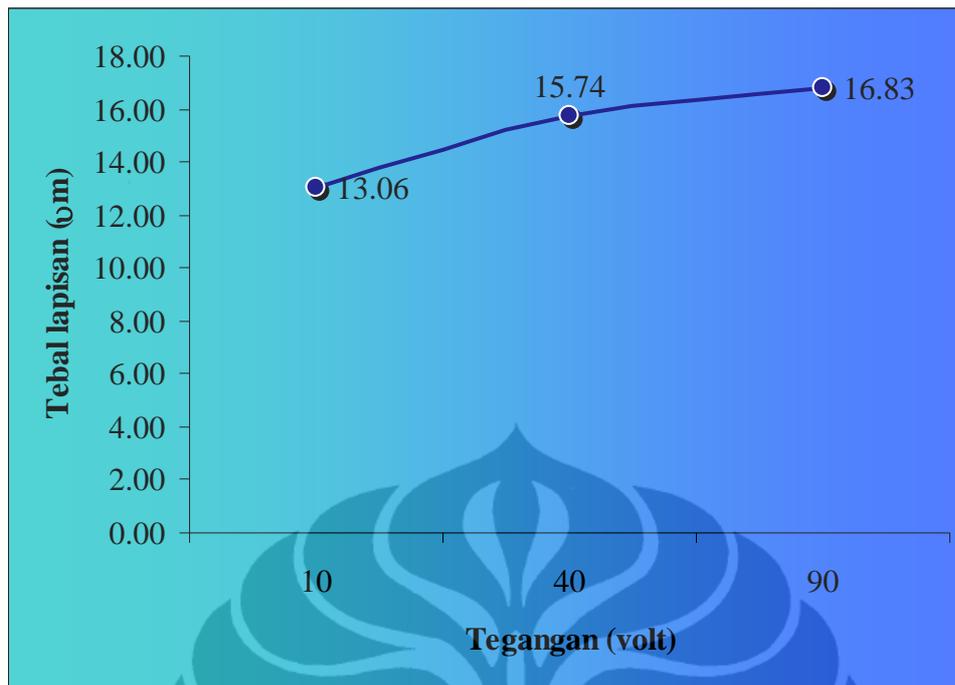
Temperatur	Tegangan (volt)	d (um)				rata-rata (μm)
		i	ii	iii	iv	
40 (°C)	10	13.19	13.23	12.89	12.94	13.06
	40	15.68	15.76	15.62	15.91	15.74
	90	16.85	16.66	16.88	16.94	16.83



**Gambar 4.42.** Grafik pengaruh tegangan anodisasi terhadap tebal lapisan oksida pada temperatur 4 °C



**Gambar 4.43.** Grafik pengaruh tegangan anodisasi terhadap tebal lapisan oksida pada temperatur 22 °C



**Gambar 4.44.** Grafik pengaruh tegangan anodisasi terhadap tebal lapisan oksida pada temperatur 40 °C

Variasi ketebalan lapisan oksida yang terjadi pada hasil anodisasi ini dapat disebabkan oleh berbagai hal. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, berbagai faktor seperti temperatur, rapat arus, tegangan dan berbagai faktor lainnya dapat mempengaruhi lapisan oksida yang dihasilkan. Pada penelitian ini sebagian besar faktor faktor tersebut dibuat tetap, kecuali tegangan dan temperatur. Variasi ketebalan ini dapat terjadi karena perubahan tegangan yang diikuti oleh perubahan rapat arus yang terjadi selama penelitian. Hal ini terjadi karena selama 30 menit percobaan anodisasi pada temperatur anodisasi 4 °C dengan perubahan tegangan 10 volt, 40 volt dan 90 volt, rapat arus yang dihasilkan bervariasi antara  $13,4 \text{ mA/cm}^2 - 0,16 \text{ A/cm}^2$ . Sedangkan pada temperatur anodisasi 22 °C dengan perubahan tegangan yang sama dengan sebelumnya, rapat arus yang dihasilkan bervariasi antara  $19,8 \text{ mA/cm}^2 - 0,22 \text{ A/cm}^2$ . Selanjutnya pada temperatur anodisasi 40 °C, rapat arus yang dihasilkan bervariasi antara  $2,6 \text{ mA/cm}^2 - 0,25 \text{ A/cm}^2$ . Ketika terjadi penurunan atau peningkatan arus, kemungkinan larutan elektrolit yang sedang bereaksi dengan permukaan sampel akan mengalami penurunan ataupun peningkatan mobilitas reaksi sehingga pada daerah tertentu akan diperoleh lapisan yang lebih rendah maupun semakin tinggi <sup>[27]</sup>, hal ini juga semakin dimungkinkan

dengan adanya proses agitasi yang dilakukan selama reaksi berlangsung. Peningkatan rapat arus akan meningkatkan ketebalan lapisan oksida, maka dapat diperkirakan dengan adanya perubahan rapat arus selama proses anodisasi memungkinkan menjadi penyebab tidak meratanya temperatur pada larutan, walaupun telah mengalami agitasi dengan kecepatan 500 rpm.

Faktor lain yang menyebabkan terbentuknya variasi ketebalan adalah preparasi sampel. Sampel aluminium foil yang digunakan sangat tipis dan cukup sulit untuk memastikan bahwa lapisan oksida pada permukaan sampel pada saat proses anodisasi telah rata (*flat*). Kurang meratanya lapisan oksida pada permukaan hasil anodisasi diperkirakan dapat memicu variasi ketebalan lapisan oksida yang terbentuk. Pada Gambar 4.43, ketebalan lapisan oksida mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya tegangan, hasil ini justru berbeda dengan hasil literatur yang ada, penyebab dari perbedaan ini dikarenakan sewaktu sampel di mounting secara penampang melintang dan kemudian diampelas, lapisan oksida yang terbentuk sebelumnya menjadi terkikis, selain itu juga disebabkan karena kondisi sampel yang sudah hancur.

Selanjutnya, variasi ketebalan ini juga dapat disebabkan oleh adanya inklusi atau zat pengotor yang masih terdapat pada permukaan sampel. Walaupun pada awal proses telah dilakukan proses *degreasing*, masih terdapat kemungkinan pengotor yang tidak larut dan tetap berada pada permukaan. Atau dapat juga inklusi baru menempel pada permukaan sampel selama rentang waktu antara proses *degreasing* dengan proses anodisasi itu sendiri. Adanya rentang waktu ini menyebabkan permukaan yang telah bersih terkontaminasi dengan partikel dan media lain yang mengandung pengotor. Permukaan yang terkontaminasi oleh inklusi akan lebih singkat waktu reaksinya dibanding dengan permukaan yang bersih pada waktu proses anodisasi yang sama. Hal ini terjadi karena dibutuhkan waktu tambahan di awal reaksi pada lapisan yang mengandung inklusi supaya pengotor yang ada larut terlebih dahulu bersama larutan, baru kemudian lapisan tersebut mengalami reaksi anodisasi dengan asam asetat.

#### 4.3.2. Pengamatan ketebalan lapisan oksida ditinjau dari perubahan temperatur

Selanjutnya dilakukan pengamatan ketebalan lapisan oksida pada tegangan 10 volt, ketebalan oksida dalam penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur menyebabkan kenaikan ketebalan rata-rata lapisan oksida. Ketebalan lapisan oksida mengalami kenaikan berturut-turut 0,388  $\mu\text{m}$ , 3,693  $\mu\text{m}$ , dan 13,063  $\mu\text{m}$  pada temperatur 4  $^{\circ}\text{C}$ , 22  $^{\circ}\text{C}$ , dan 40  $^{\circ}\text{C}$ .

Pada pengamatan ketebalan lapisan oksida pada tegangan 40 volt, ketebalan oksida dalam penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur menyebabkan kenaikan ketebalan rata-rata lapisan oksida. Ketebalan lapisan oksida mengalami kenaikan berturut-turut 1,048  $\mu\text{m}$ , 2,105  $\mu\text{m}$ , dan 13,063  $\mu\text{m}$  pada temperatur 4  $^{\circ}\text{C}$ , 22  $^{\circ}\text{C}$ , dan 40  $^{\circ}\text{C}$ .

Sedangkan pengamatan ketebalan lapisan oksida pada tegangan 90 volt, ketebalan oksida dalam penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur juga menyebabkan kenaikan ketebalan rata-rata lapisan oksida. Ketebalan lapisan oksida mengalami kenaikan berturut-turut 1,565  $\mu\text{m}$ , 1,080  $\mu\text{m}$ , dan 16,833  $\mu\text{m}$  pada temperatur 4  $^{\circ}\text{C}$ , 22  $^{\circ}\text{C}$ , dan 40  $^{\circ}\text{C}$ .

Hasil pengukuran ketebalan lapisan oksida pada tegangan 10 volt, 40 volt dan 90 volt di temperatur yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 4.11 – 4.13.

**Tabel 4.11.** Hasil pengukuran ketebalan lapisan oksida pada tegangan anodisasi 10 volt di temperatur yang berbeda

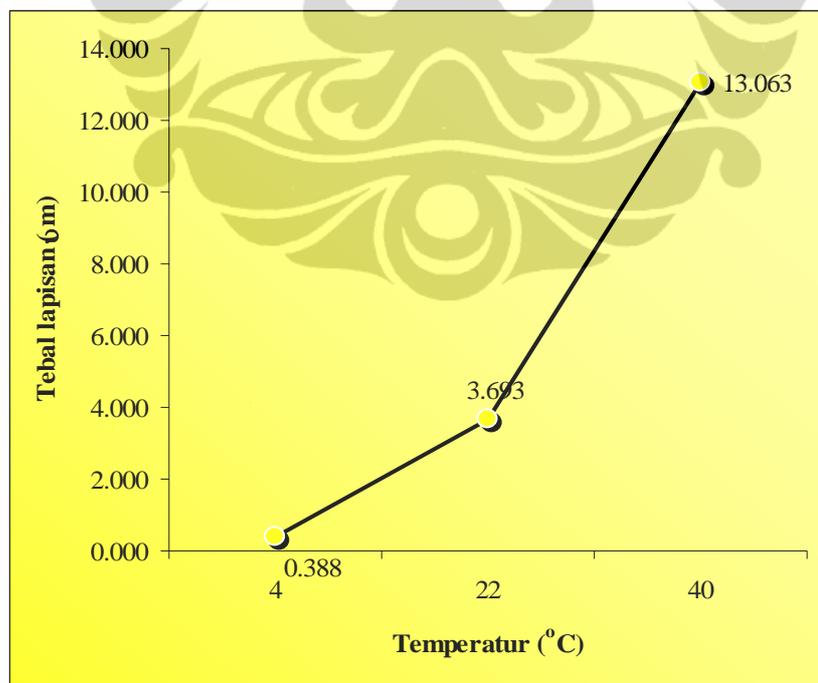
Potensial	Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	i	ii	iii	iv	rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
10 volt	4	0.533	0.257	0.346	0.416	0.388
	22	3.730	3.640	3.680	3.720	3.693
	40	13.190	13.230	12.890	12.940	13.063

**Tabel 4.12.** Hasil pengukuran ketebalan lapisan oksida pada tegangan anodisasi 40 volt di temperatur yang berbeda

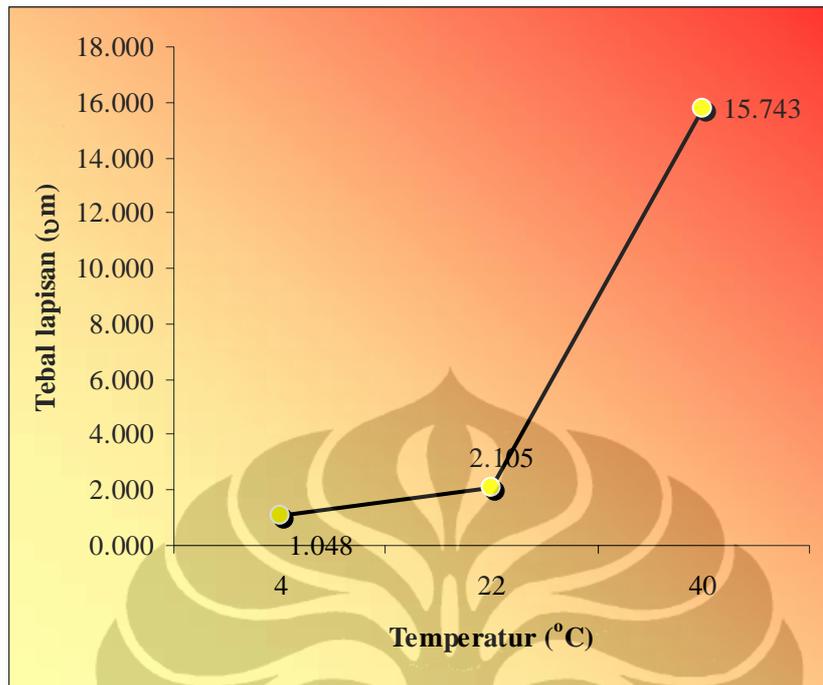
Potensial	Temperatur (°C)	i	ii	iii	iv	rata-rata (μm)
40 volt	4	0.988	1.065	1.120	1.020	1.048
	22	2.410	2.260	1.260	2.490	2.105
	40	15.680	15.760	15.620	15.910	15.743

**Tabel 4.13.** Hasil pengukuran ketebalan lapisan oksida pada tegangan anodisasi 90 volt di temperatur yang berbeda

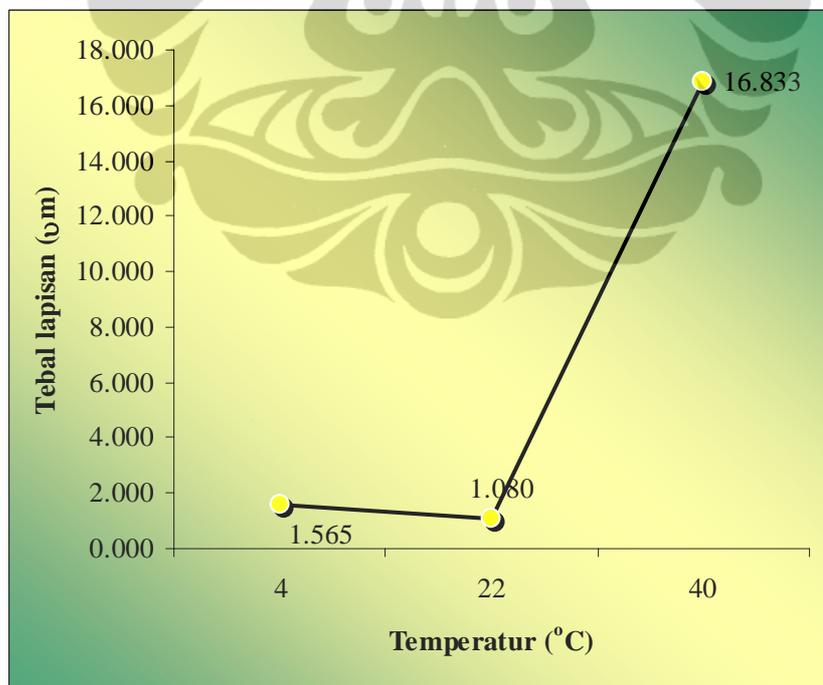
Potensial	Temperatur (°C)	i	ii	iii	iv	rata-rata (μm)
90 volt	4	1.564	1.529	1.613	1.553	1.565
	22	1.120	1.160	0.910	1.130	1.080
	40	16.850	16.660	16.880	16.940	16.833



**Gambar 4.45.** Grafik pengaruh temperatur anodisasi terhadap tebal lapisan oksida pada tegangan 10 volt



**Gambar 4.46.** Grafik pengaruh temperatur anodisasi terhadap tebal lapisan oksida pada tegangan 40 volt



**Gambar 4.47.** Grafik pengaruh temperatur anodisasi terhadap tebal lapisan oksida pada tegangan 90 volt