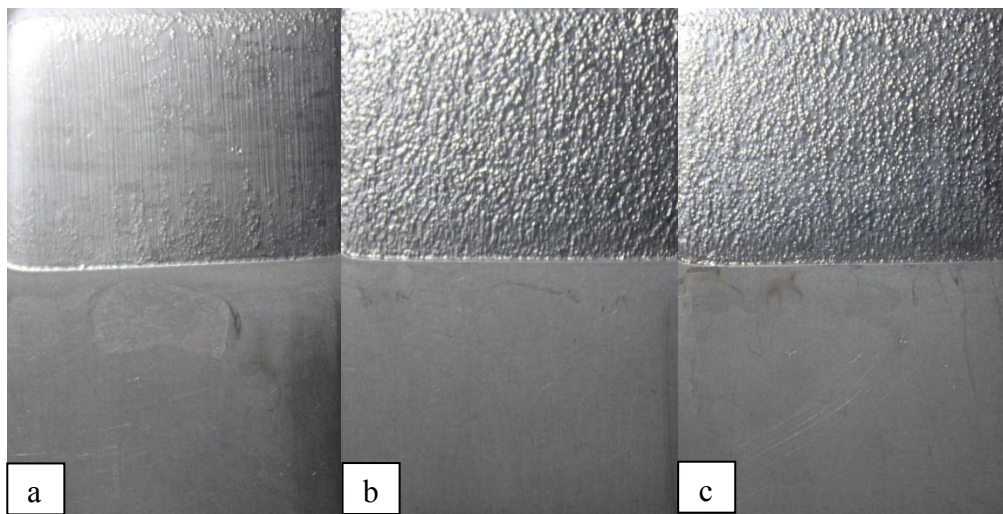


BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

1.1. Hasil *Anodizing*

Hasil *anodizing* spesimen aluminium 1XXX dengan suhu elektrolit yang dijaga antara 40-45 °C dan waktu pencelupan *anodizing* selama 5, 10 dan 15 menit dapat dilihat pada Gambar 4.1

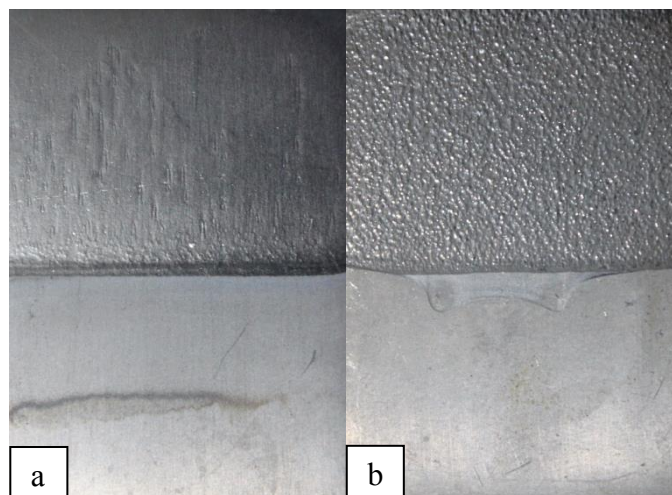


Gambar 4.1 Hasil *anodizing* aluminium 1XXX dengan suhu elektrolit 40-45 °C dan variasi waktu pencelupan (a) 5 menit. (b) 10 menit. (c) 15 menit.

Dari hasil *anodizing* yang ditampilkan pada gambar (a) dengan waktu pencelupan *anodizing* selama 5 menit, dapat terlihat permukaan lapisan oksida yang terbentuk lebih halus dan rata dibandingkan dengan spesimen lainnya dengan variasi pencelupan selama 10 dan 15 menit selain itu terlihat pula suatu titik-titik berukuran kecil yang terbentuk pada permukaan lapisan oksida. Lalu pada gambar (b) dengan waktu pencelupan *anodizing* selama 10 menit, dapat terlihat sudah terbentuknya lapisan oksida dengan tekstur kasar dan terlihat homogen tersebar pada permukaan lapisan oksida, apabila lapisan tersebut terkena cahaya akan memberi kesan mengkilap. Lalu pada gambar (c) dengan waktu pencelupan *anodizing* selama 15 menit, dapat terlihat terbentuknya permukaan

dengan tekstur kasar namun permukaan tersebut lebih halus jika dibandingkan permukaan lapisan oksida dengan waktu pencelupan selama 10 menit.

Setelah dilakukan proses *anodizing* terhadap aluminium 1XXX didapatkan beberapa hasil *anodizing* yang sesuai, yaitu terbentuknya lapisan oksida dengan tekstur kasar, namun adapula hasil *anodizing* yang tidak sesuai, hal tersebut disebabkan oleh salah satu parameter yang digunakan dalam proses *anodizing* yaitu suhu cairan elektrolit. dalam penelitian ini suhu elektrolit dijaga antara 40-45 °C. Suhu elektrolit yang kurang dari 40 °C atau lebih dari 45 °C akan menyebabkan perbedaan bentuk permukaan lapisan oksida. yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 (a) Hasil *anodizing* selama 15 menit dengan suhu kamar
(b) Hasil *anodizing* selama 15 menit dengan suhu elektrolit di atas 45°C.

Dari hasil *anodizing* diatas, pada gambar (a) dapat diketahui bahwa apabila suhu elektrolit berada pada suhu kurang dari 40°C atau pada suhu kamar akan menyebabkan tidak terbentuknya lapisan oksida dengan tekstur kasar. Hal tersebut disebabkan oleh turunnya densitas arus akibat suhu elektrolit yang rendah yang menyebabkan lapisan kasar menjadi sulit terbentuk. Lalu pada gambar (b) dapat diketahui bahwa suhu elektrolit yang lebih dari 45 °C akan menyebabkan *burning* (Hangus) pada lapisan dengan tekstur kasar yang telah terbentuk. Hal

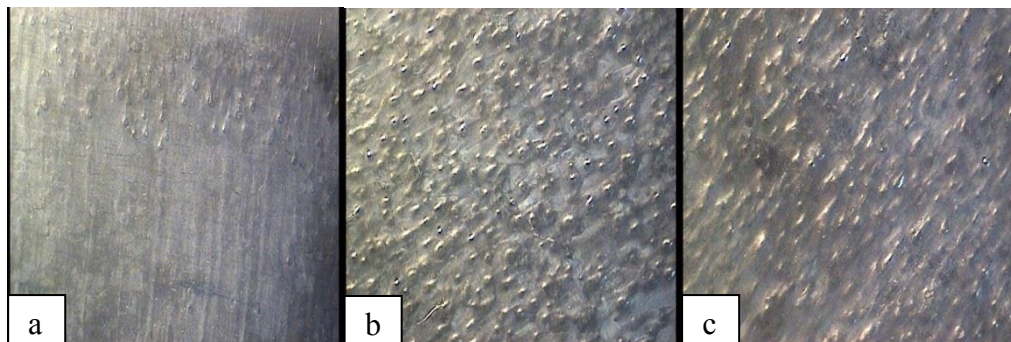
tersebut disebabkan oleh suhu elektrolit yang tinggi dapat mempengaruhi naiknya densitas arus, sehingga spesimen (anoda) akan menerima arus berlebih yang membuat suhu spesimen (anoda) menjadi terlalu tinggi dan menyebabkan *burning* (hangus) sehingga terlihat kusam.

Dari hasil *anodizing* diatas dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya waktu pencelupan *anodizing* dapat mempengaruhi struktur permukaan yang terbentuk, dimana semakin lama waktu pencelupan akan menghasilkan permukaan yang semakin kasar, namun terdapat waktu pencelupan maksimum dimana permukaan dengan tekstur kasar terbentuk secara maksimal yaitu pada pencelupan selama 10 menit, setelah itu permukaan tersebut akan cenderung berubah teksturnya. selain waktu pencelupan, suhu cairan elektrolit juga dapat mempengaruhi hasil *anodizing* dimana suhu cairan elektrolit dibawah 40°C menyebabkan tidak terbentuknya lapisan kasar pada permukaan dan jika suhu cairan elektrolit diatas 45°C akan menyebabkan permukaan kasar yang terbentuk menjadi kusam akibat *burning*.

1.2. Hasil Pengujian Foto Makro

1. Foto Makro Permukaan

Setelah dilakukan proses foto makro, didapat hasil berupa foto permukaan dari 3 spesimen dengan variasi waktu pencelupan 5, 10 dan 15 menit menggunakan perbesaran masing-masing 10 kali. hasil pengujian foto makro adalah sebagai berikut :



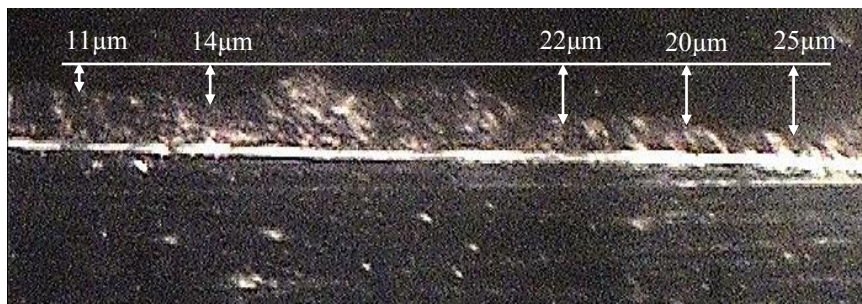
Gambar 4.3 Foto makro aluminium 1XXX setelah *anodizing* dengan waktu pencelupan (a) 5 menit. (b) 10 menit. (c) 15 menit.

1. Dari hasil pengujian foto makro pada gambar (a) dengan waktu pencelupan *anodizing* selama 5 menit, dapat terlihat mulai terbentuknya suatu titik-titik (*dotted surface*) yang tidak homogen tersebar pada bagian atas permukaan lapisan oksida. karakteristik dari permukaan tersebut memiliki bentuk yang menonjol dan kasar jika dibandingkan dengan permukaan lainnya yang terlihat lebih rata. Selain itu terlihat pula goresan pada permukaan aluminium akibat dari pengampelasan yang terlalu dalam.
2. Dari hasil pengujian foto makro pada gambar (b) dengan waktu pencelupan *anodizing* selama 10 menit, dapat terlihat titik-titik (*dotted surface*) mulai tampak homogen dan tersebar merata pada permukaan aluminium. Selain itu secara visual ukuran titik tersebut tampak lebih besar dibanding dengan ukuran titik pada aluminium sebelumnya dengan variasi pencelupan 5 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu pencelupan selama 10 menit dapat mempengaruhi bertambahnya jumlah dan ukuran titik-titik pada permukaan aluminium. karakteristik titik tersebut yaitu kasar, keras dan tidak rata. Selain itu jika terkena cahaya, permukaan (*dotted surface*) tersebut akan memantulkan cahaya sehingga memberi kesan mengkilap yang sangat berbeda dengan karakteristik material dasarnya yang kusam.
3. Dari hasil pengujian foto makro pada gambar (c) dengan waktu pencelupan *anodizing* selama 15 menit, dapat terlihat titik-titik (*dotted surface*) tampak seperti mengalami peluruhan pada permukaan aluminium. Peluruhan ini disebabkan oleh pencelupan *anodizing* yang terlalu lama, selain itu secara visual ukuran titik tersebut tampak lebih kecil jika dibandingkan dengan titik pada aluminium sebelumnya dengan variasi pencelupan 10 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu pencelupan selama 15 menit dapat menyebabkan permukaan mengalami peluruhan sehingga menurunkan ukuran titik pada permukaan aluminium, dengan kata lain waktu pencelupan selama 10 menit adalah waktu dimana titik terbentuk secara maksimal.

2. Foto Makro Lapisan

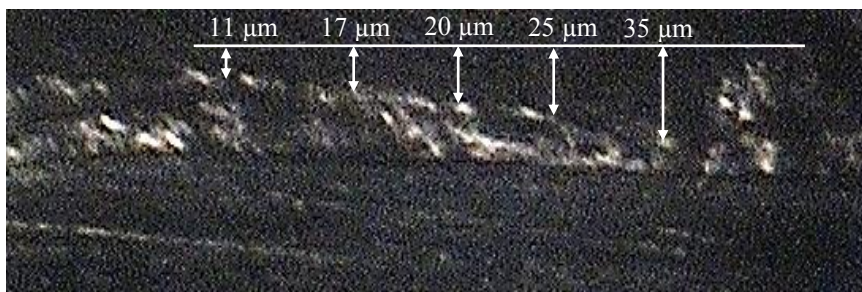
Foto makro selanjutnya dilakukan pada sisi samping dari 3 spesimen dengan variasi waktu pencelupan 5, 10 dan 15 menit dengan tujuan agar terlihat kontur titik/butiran yang terbentuk pada lapisan. Setelah itu dilakukan pengukuran ketinggian pada titik/butiran tersebut. Perbesaran yang digunakan masing-masing 55 kali. hasil foto makro adalah sebagai berikut :

1. Foto makro lapisan setelah proses *anodizing* dengan variasi waktu pencelupan selama 5 menit memperlihatkan kontur yang kasar pada permukaan aluminium dengan ketinggian butir rata-rata $18.4 \mu\text{m}$. Yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



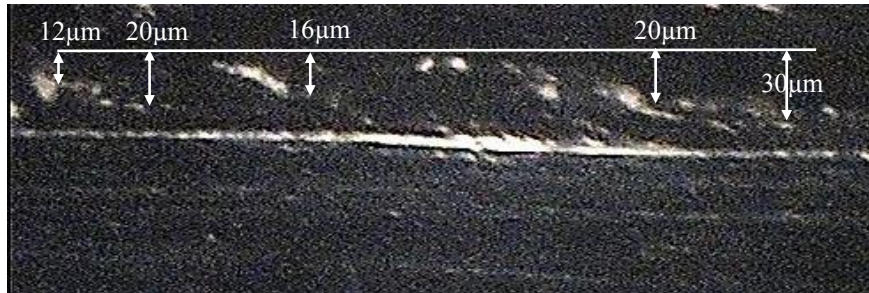
Gambar 4.4 Foto Makro lapisan oksida dengan variasi pencelupan *anodizing* 5 menit.

2. Foto makro lapisan setelah proses *anodizing* dengan variasi waktu pencelupan selama 10 menit memperlihatkan kontur yang lebih kasar dan tidak rata dibanding lapisan dengan pencelupan selama 5 menit. Ketinggian butir rata-rata $21.6 \mu\text{m}$. Yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Foto Makro lapisan oksida dengan variasi pencelupan *anodizing* 10 menit.

3. Foto makro lapisan setelah proses *anodizing* dengan variasi waktu pencelupan selama 15 menit memperlihatkan kontur butir yang lebih halus dibanding lapisan dengan pencelupan 10 menit Ketinggian butir rata-rata 19.6 μm .



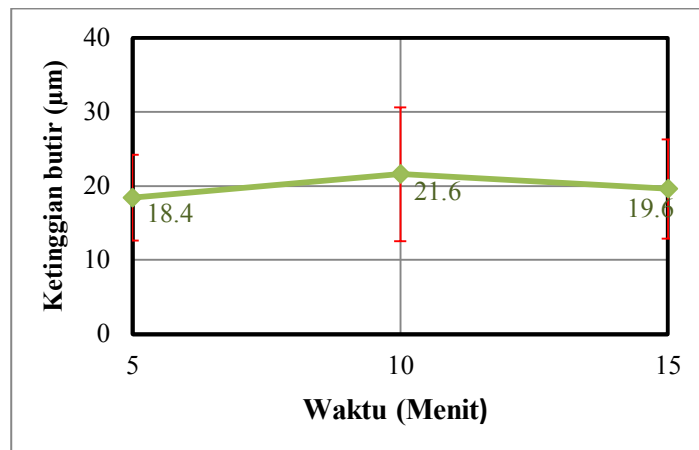
Gambar 4.6 Foto Makro lapisan oksida dengan variasi pencelupan *anodizing* 10 menit.

Hasil pengukuran ketinggian butir rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.1, kemudian ditampilkan dalam grafik variasi waktu pencelupan terhadap ketinggian butir rata-rata yang ditampilkan pada Gambar 4.7.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran ketinggian butir aluminium1XXX dengan waktu *anodizing* 5, 10 dan 5 menit

Waktu <i>anodizing</i> (Menit)	Ketinggian butir (μm)	Ketinggian butir rata-rata (μm)
5	11	18.4 \pm 5.77 SD
	14	
	22	
	20	
	25	
10	11	21.6 \pm 9.04 SD
	17	
	20	
	25	
	35	
15	12	19.6 \pm 6.69 SD
	20	
	16	
	20	
	30	

*SD : Standar Deviasi

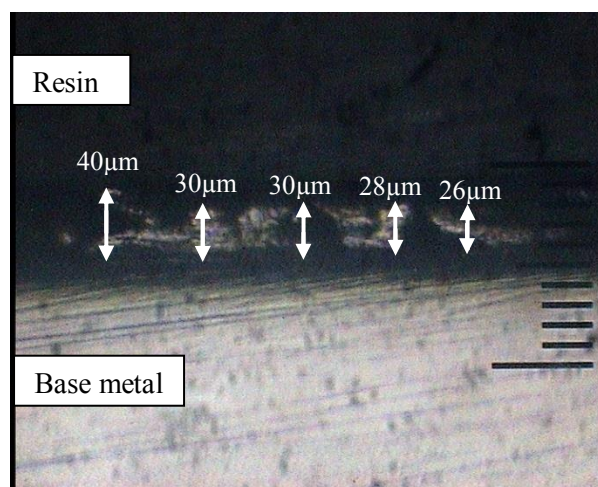


Gambar 4.7 Grafik hubungan antara lama waktu pencelupan pada proses *anodizing* terhadap ketinggian butir rata-rata.

1.3. Hasil Pengujian Foto Mikro

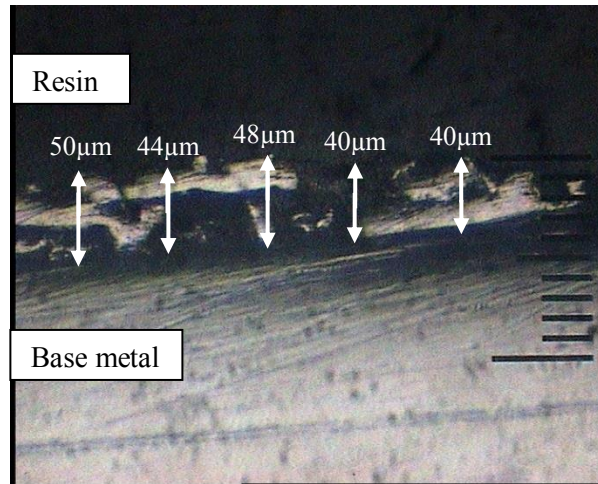
Setelah dilakukan pengujian foto mikro, didapatkan hasil yang memperlihatkan ketebalan lapisan oksida setelah proses *anodizing* menggunakan perbesaran masing masing 100 kali. Hasil pengujian adalah sebagai berikut :

1. Foto mikro aluminium setelah proses *anodizing* dengan variasi waktu pencelupan selama 5 menit menunjukkan adanya lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium dengan ketebalan lapisan oksida rata-rata 30.8 μm . Foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.8.



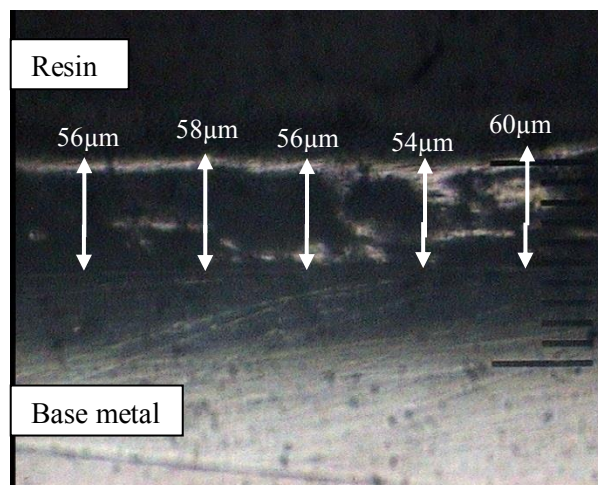
Gambar 4.8 Foto mikro ketebalan lapisan oksida dengan variasi pencelupan *anodizing* 5 menit

2. Foto mikro aluminium setelah proses *anodizing* dengan variasi waktu pencelupan selama 10 menit menunjukkan bahwa lapisan oksida yang terbentuk terlihat semakin kasar dan semakin tebal pada permukaan aluminium dengan ketebalan rata-rata $44.4\ \mu\text{m}$ Foto mikro dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Foto mikro ketebalan lapisan oksida dengan variasi pencelupan *anodizing* 10 menit

3. Foto mikro aluminium pada variasi waktu pencelupan selama 15 menit menunjukkan bahwa lapisan oksida yang terbentuk terlihat semakin tebal pada permukaan aluminium dengan ketebalan rata-rata $56.8\ \mu\text{m}$.



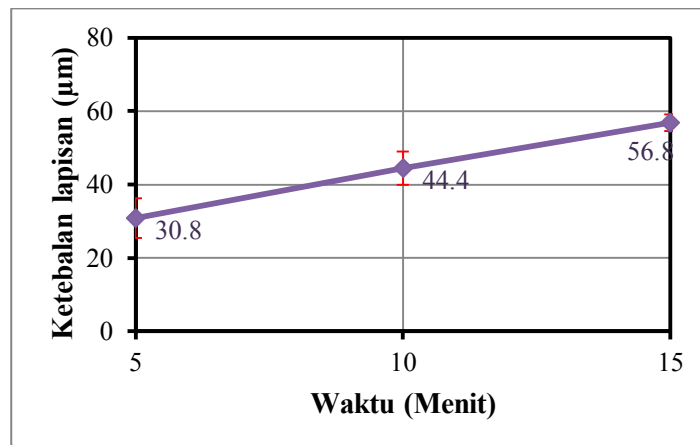
Gambar 4.10 Foto mikro ketebalan lapisan oksida dengan variasi pencelupan *anodizing* 15 menit

Tabel 4.2 Hasil pengukuran ketebalan lapisan oksida aluminium1XXX dengan waktu anodizing 5, 10 dan 5 menit

Waktu <i>anodizing</i> (Menit)	Ketebalan lapisan (μm)	Ketebalan lapisan rata-rata (μm)
5	40	$30.8 \pm 5.40 \text{ SD}$
	30	
	30	
	28	
	26	
10	50	$44.4 \pm 4.56 \text{ SD}$
	44	
	48	
	40	
	40	
15	56	$56.8 \pm 2.28 \text{ SD}$
	58	
	56	
	54	
	60	

*SD : Standar Deviasi

Hasil pengukuran ketebalan lapisan oksida rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.2. Kemudian ditampilkan dalam grafik variasi waktu pencelupan terhadap ketinggian butir rata-rata yang ditampilkan pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara lama waktu pencelupan pada proses *anodizing* terhadap ketebalan lapisan oksida.

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara ketebalan lapisan oksida pada permukaan aluminium setelah proses *anodizing* terhadap variasi lama waktu pencelupan selama 5, 10 dan 15 menit. pada waktu pencelupan selama 5 menit menghasilkan ketebalan rata-rata sebesar 30.8 μm . Selanjutnya ketebalan lapisan oksida pada permukaan aluminium setelah proses *anodizing* dengan variasi lama waktu pencelupan selama 10 menit menghasilkan ketebalan rata-rata sebesar 44.4 μm . Selanjutnya ketebalan lapisan oksida pada permukaan aluminium setelah proses *anodizing* dengan variasi lama waktu pencelupan selama 15 menit menghasilkan ketebalan rata-rata 56.8 μm .

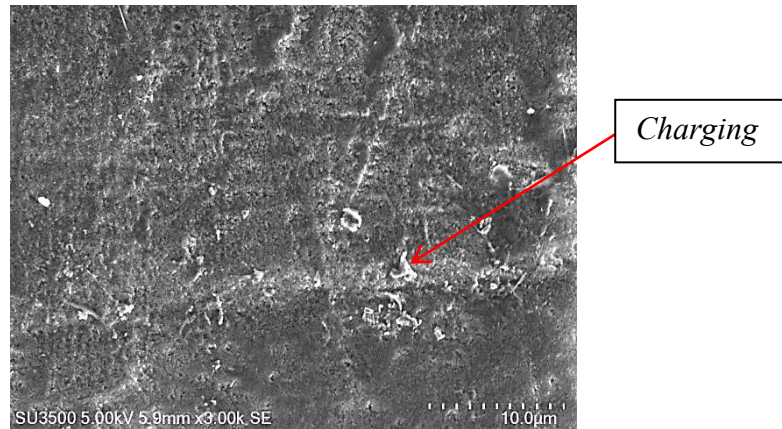
Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa variasi lama waktu pencelupan pada proses *anodizing* dapat mempengaruhi ketebalan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium 1XXX, dimana semakin lama waktu pencelupan pada proses *anodizing* akan menyebabkan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium menjadi semakin tebal hal ini disebabkan oleh perpindahan ion-ion dalam larutan elektrolit yang bertambah, dimana ion-ion tersebut semakin rapat dan membentuk suatu lapisan oksida yang semakin tebal seiring bertambahnya waktu pencelupan. Pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Shantiarsa (2009) mengenai variasi waktu pencelupan *anodizing* terhadap ketebalan lapisan oksida pada aluminium seri 2024-T3. Dari hasil penelitian *anodizing* menggunakan arus 3 A dengan variasi pencelupan 10, 20 dan 30 menit menghasilkan ketebalan berturut-turut 3,3 μm , 4,16 μm dan 5 μm . Penelitian tersebut Memberikan kesimpulan bahwa semakin lama waktu pencelupan pada proses *anodizing*, maka akan menghasilkan lapisan aluminium oksida yang semakin tebal.

1.4. Hasil pengujian *scanning electron microscope* (SEM)

Hasil pengujian SEM berupa gambar struktur mikro permukaan aluminium 1XXX yang telah di *anodizing* dengan magnifikasi (perbesaran) 3000, 10000 dan 12000 kali. hasil pengujian SEM adalah sebagai berikut :

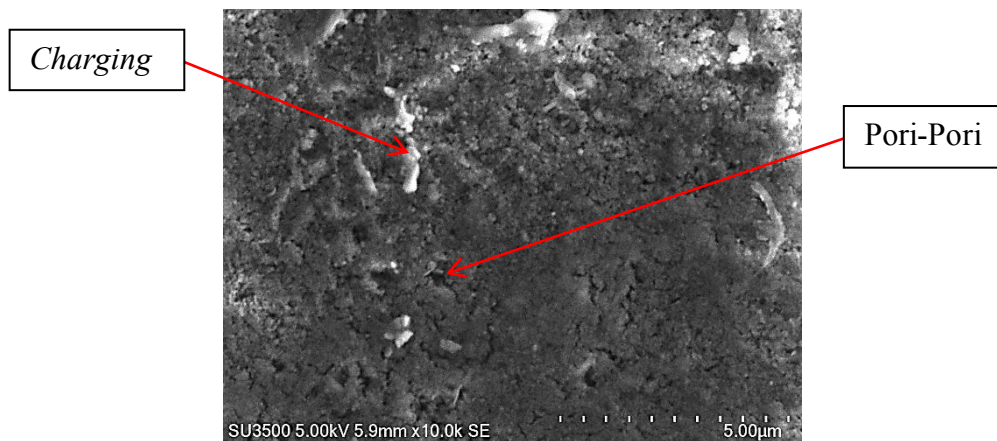
1. Foto SEM aluminium yang di *anodizing* selama 10 menit dengan magnifikasi 3000 kali memperlihatkan struktur permukaan yang tidak rata serta

masih terdapat *charging* pada gambar yang disebabkan oleh menumpuknya elektron pada satu titik yang dikarenakan *coating* yang kurang merata.



Gambar 4.12 Foto SEM aluminium *anodizing* selama 10 menit dengan magnifikasi 3000 kali

2. Foto SEM aluminium yang di *anodizing* selama 10 menit dengan magnifikasi 10000 kali memperlihatkan adanya lapisan yang berpori namun tidak homogen dan tersebar tidak merata pada permukaan. Permukaan yang berpori merupakan karakteristik dari material yang mengalami proses *anodizing*.



Gambar 4.13 Foto SEM aluminium *anodizing* selama 10 menit dengan magnifikasi 10000 kali

3. Foto SEM aluminium yang di *anodizing* selama 10 menit dengan magnifikasi 12000 kali memperlihatkan lapisan berpori terlihat lebih dominan namun tidak homogen tersebar pada permukaan aluminium *anodizing*. Ukuran pori berkisar antara 5 μm hingga 10 μm . Yang ditunjukkan pada Gambar 4.13.



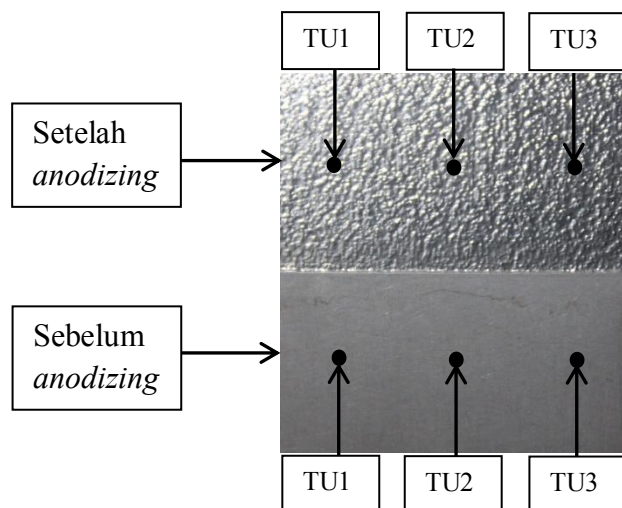
Gambar 4.14 Foto SEM aluminium *anodizing* selama 10 menit dengan magnifikasi 12000 kali

Dari hasil pengujian SEM dapat disimpulkan bahwa struktur permukaan berpori yang terlihat mengindikasikan adanya lapisan aluminium oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium 1XXX. Namun demikian lapisan aluminium oksida yang dihasilkan menunjukkan adanya permukaan yang tidak rata, hal ini disebabkan oleh suplai arus yang berlebihan ketika proses *anodizing*, sehingga terjadi proses peluruhan pada lapisan aluminium oksida kedalam larutan elektrolit dengan jumlah besar, dan menyebabkan pori pori lapisan aluminium oksida tergerus sehingga secara visual terlihat tidak rata.

Nugroho (2010) melakukan penelitian mengenai pengaruh lama waktu *anodizing* terhadap struktur mikro permukaan aluminium paduan 2024-T3 menggunakan alat uji SEM. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan adanya struktur berpori yang terbentuk pada aluminium paduan 2024-T3 setelah *anodizing*. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa proses *anodizing* yang semakin lama dapat menyebabkan pori-pori menjadi bertambah, selain itu ukuran pori-pori menjadi semakin besar dengan ukuran pori hingga 50 mikron.

1.5. Hasil pengujian kekerasan permukaan

Spesimen yang telah melalui proses *anodizing* kemudian diuji kekerasan permukaannya menggunakan metode *Micro Vickers Hardness Test*. Untuk membandingkan nilai kekerasan pada lapisan oksida yang terbentuk dipermukaan sebelum dan sesudah proses *anodizing*, dengan variasi waktu pencelupan selama 5, 10 dan 15 menit. Pembebanan yang digunakan pada pengujian *micro vickers ini* sebesar 25 gf dengan waktu pembebanan selama 5 detik.



Gambar 4.15 Contoh titik uji (TU) injakan *indentor* pada 3 titik pengujian *micro Vickers* sebelum dan sesudah *anodizing*

Dalam pengujian *micro vickers*, pengukuran nilai kekerasan dihitung dari hasil penumbukan dimana diperoleh suatu bekas injakan indentor pada spesimen. Bekas injakan indentor kemudian diukur pada diagonal (d). besar diagonal rata-rata dimasukkan dalam persamaan yang selanjutnya akan diperoleh *vickers hardness number* (VHN) atau nilai kekerasan *vickers*.

Hasil uji kekerasan berupa nilai kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.1, serta grafik hubungan antara lama waktu pencelupan terhadap nilai kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.

Tabel 4.3 Hasil pengujian kekerasan spesimen 1XXX sebelum dan sesudah proses *anodizing*.

Waktu (Menit)	Spesimen	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	d _{re-rata} (μm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-Rata (VHN)
	Raw Material	40.0	40.0	40.0	29.0	33.53 ± 4.05 SD
		36.0	37.0	36.5	34.8	
		35.0	36.0	35.5	36.8	
5	Anodized	29.0	31.0	30.0	51.50	51.79 ± 0.50 SD
		30.0	30.0	30.0	51.50	
		29.5	30.5	29.75	52.37	
10	Anodized	29.0	29.5	29.25	54.17	53.86 ± 0.52 SD
		29.0	29.5	29.25	54.17	
		29.5	29.5	29.5	53.26	
15	Anodized	29.0	29.0	29.0	55.1	55.16 ± 1.90 SD
		28.0	29.0	28.5	57.1	
		29.0	30.0	29.5	53.3	

*SD : Standar Deviasi

Contoh perhitungan nilai kekerasan (VHN) pada posisi injakan acak untuk pengujian raw material aluminium 1XXX ;

Diketahui :

$$P = 25 \text{ gf}$$

$$P = 25 \text{ gf} \times 10^{-3} \text{ kgf}$$

$$P = 0,025 \text{ kgf}$$

$$d \text{ rata-rata} = 40 \mu\text{m} \times 10^{-3} \text{ mm} = 0,040 \text{ mm}$$

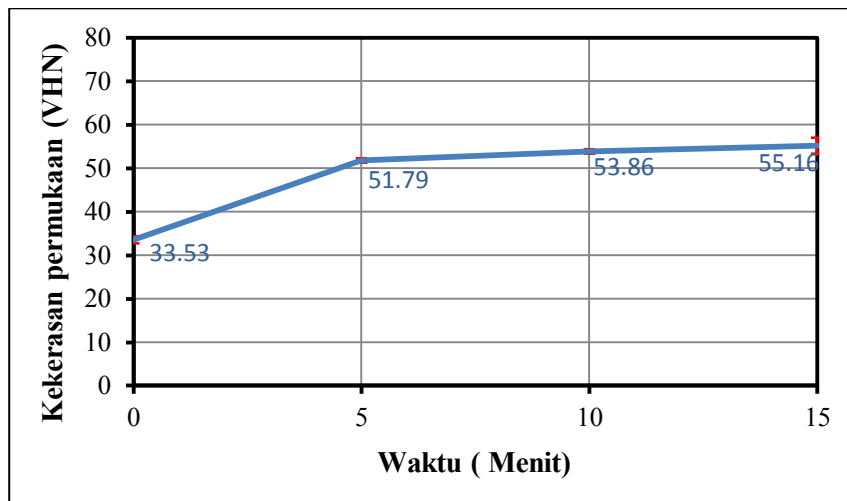
Ditanyakan : VHN

$$\text{VHN} = \frac{1.854 \times P}{(d)^2}$$

$$\text{VHN} = \frac{1.854 \times 0,025}{(0,40)^2}$$

$$\text{VHN} = 28,96$$

Dari tabel nilai kekerasan *vickers* (VHN) lalu dikonversi menjadi sebuah grafik hubungan antara nilai kekerasan permukaan aluminium terhadap lama waktu pencelupan *anodizing* yang ditunjukkan pada gambar 4.16 dibawah ini.



Gambar 4.16 Grafik hubungan antara variasi waktu pencelupan *anodizing* terhadap nilai kekerasan (VHN).

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara lama waktu pencelupan *anodizing* dengan variasi 5, 10 dan 15 menit terhadap nilai kekerasan permukaan beserta standar deviasinya. dari grafik tersebut dapat diketahui nilai kekerasan pada material dasar (*raw material*) sebelum proses *anodizing* adalah 33.53 VHN. lalu kekerasan rata-rata pada waktu pencelupan setelah *anodizing* selama 5 menit menghasilkan nilai kekerasan sebesar 51.79 VHN. Selanjutnya kekerasan rata-rata pada waktu pencelupan selama 10 menit menghasilkan nilai kekerasan sebesar 53.86 VHN. Selanjutnya nilai kekerasan rata-rata pada waktu pencelupan selama 15 menit menghasilkan nilai kekerasan sebesar 55.16 VHN. Sehingga nilai kekerasan tertinggi terdapat pada waktu pencelupan *anodizing* selama 15 menit, diikuti dengan nilai kekerasan pada waktu pencelupan *anodizing* selama 10 menit dan nilai kekerasan pada waktu *anodizing* selama 5 menit.

Dari hasil pengujian kekerasan yang ditampilkan pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa lama waktu pencelupan pada proses *anodizing* dapat mempengaruhi naiknya nilai kekerasan pada permukaan aluminium seri 1XXX,

dimana semakin lama waktu pencelupan pada proses *anodizing* dapat menyebabkan kekerasan permukaan menjadi semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh lapisan oksida yang bersifat keras sehingga ketika lapisan tersebut semakin tebal maka kekerasan pada permukaan menjadi semakin meningkat. Pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Shantiarsa (2009), tentang pengaruh variasi waktu pencelupan terhadap kekerasan permukaan aluminium 2024-T3 dengan variasi waktu 10, 20, 30 menit pada arus 3 ampere menghasilkan nilai kekerasan berturut turut sebesar 100,54 gr/ μm , 112,23 gr/ μm , dan 121,45 gr/ μm . Penelitian tersebut memberikan kesimpulan bahwa semakin lama waktu pencelupan *anodizing* dapat menyebabkan nilai kekerasan aluminium 2024-T3 menjadi semakin meningkat.