

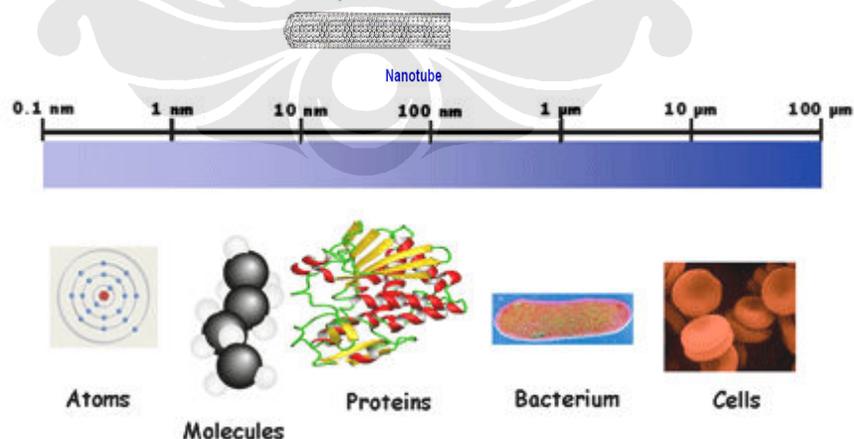
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. NANOTEKNOLOGI

Perkembangan ilmu dan teknologi nano saat ini berkembang sangat pesat. Jumlah penelitian ilmiah, publikasi dan paten di bidang nanoteknologi meningkat dengan tajam. Hal ini sangat berkaitan dengan semakin meningkatnya permintaan untuk produk dengan spesifikasi yang unggul namun ringan dan memiliki kecenderungan menuju dimensi yang semakin kecil.

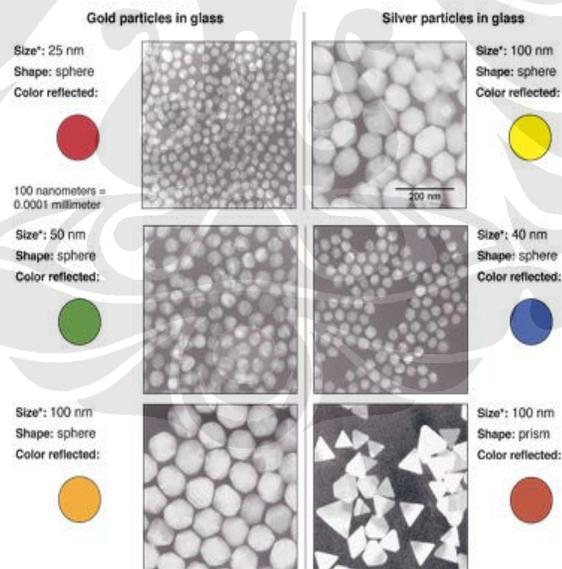
Kata nano berasal dari bahasa Yunani yaitu *νάνος* atau *nānos/nannos* yang dalam bahasa Inggris adalah *dwarf* (bertubuh kecil). Sedangkan dalam ukuran panjang, satu nanometer sama dengan 10^{-9} m. Nanoteknologi adalah suatu teknologi yang dihasilkan dari pemanfaatan sifat-sifat molekul atau struktur atom apabila berukuran nanometer [1]. Adanya pembentukan molekul atau struktur atom dalam ukuran nanometer (1-100 nm) memungkinkan terciptanya sifat-sifat yang mengejutkan dan berbeda dari sifat-sifat yang diperoleh dalam ukuran makroskopis.



Gambar 2.1. Perbandingan materi dalam skala nano-mikro [4]

Nano materials secara tidak disadari sebenarnya telah digunakan sejak zaman pertengahan. Para pengrajin gelas zaman pertengahan tanpa mereka sadari telah memanfaatkan sifat *nano materials* ketika mereka membuat warna merah pada gelas dengan mencampur Au klorida ke dalam gelas cair. Hal tersebut akan menghasilkan partikel Au yang halus dengan diameter 25 nanometer dimana dapat menyerap dan memantulkan cahaya matahari untuk membuat warna merah delima. Saat ini para ilmuwan dapat membuat nano partikel dengan ukuran yang berbeda-beda. Dr. Chad A. Mirkin dalam penelitiannya dapat menghasilkan warna yang berbeda-beda dari ukuran partikel yang berbeda-beda pula.

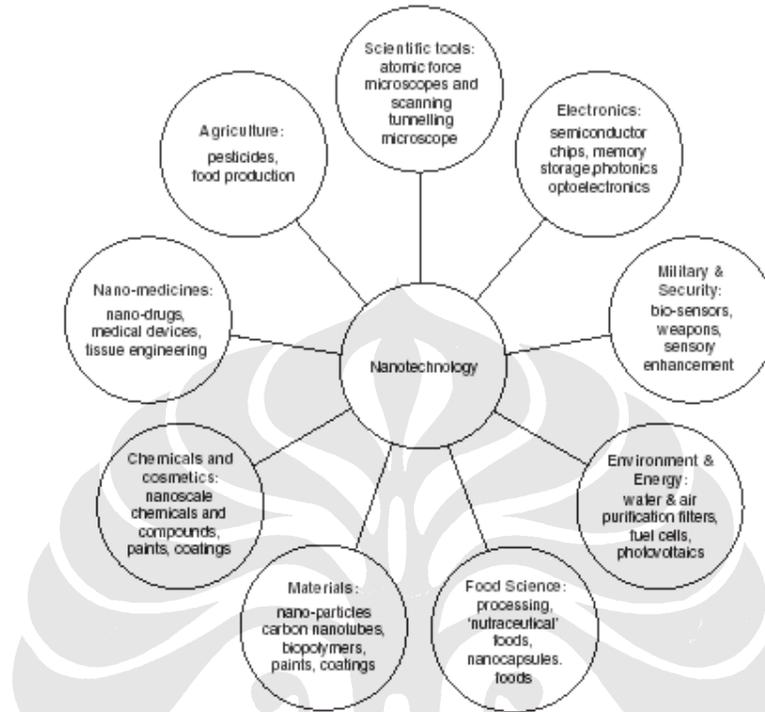
Penggunaan konsep nanoteknologi pertama kali disampaikan oleh seorang fisikawan bernama Richard Feynman dalam orasi ilmiah yang berjudul “*There’s Plenty of Room at the Bottom*” pada pertemuan *American Physical Society* di Caltech tahun 1959. Dalam pertemuan tersebut Feynman memprediksi bahwa kemampuan untuk memanipulasi per satuan atom atau molekul akan berkembang.



Gambar 2.2 Perolehan warna yang berbeda-beda dari ukuran dan bentuk partikel yang berbeda [5]

Dalam pengembangannya nanoteknologi banyak bersinggungan dengan disiplin ilmu yang lain. Beberapa diantaranya yaitu fisika, kimia, biologi, kedokteran, dan kelistrikan. Selain itu saat ini prospektif aplikasi nanoteknologi

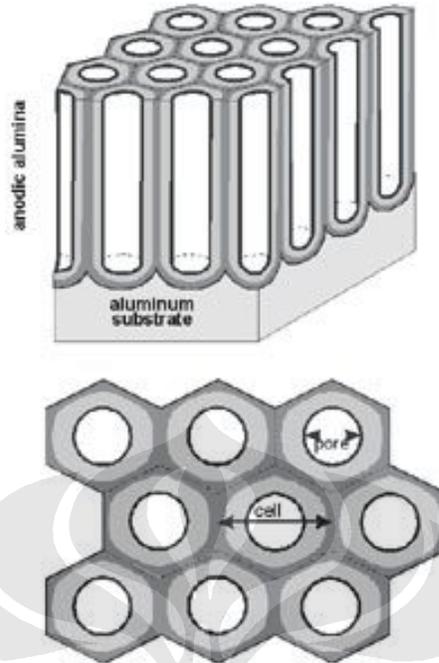
mencakup bidang yang sangat luas seperti elektronika, militer, energi dan lingkungan, makanan, material, kimia dan kosmetik, kedokteran dan pertanian.



Gambar 2.3. Prospektif aplikasi nano material [6]

2.2 *NANO POROUS ALUMINUM OXIDE*

Salah satu kajian nanoteknologi yang saat ini banyak mendapat perhatian adalah pembuatan *nano porous aluminum oxide*. *Nanoporous aluminum oxide* atau biasa juga disebut *anodic aluminum oxide* (AAO) adalah lapisan alumina berstruktur pori dalam orde nanometer yang tersusun dari proses sel elektrolisa/anodizing. Lapisan alumina tersebut dapat terbentuk dengan struktur yang seragam dan teratur pada kondisi temperatur, tegangan, jenis larutan dan konsentrasi larutan tertentu.



Gambar 2.4. Struktur *nanoporous aluminum oxide* [7]

Pelapisan oksida anodisasi untuk aluminium dan paduannya telah dimulai pada awal abad ke-20 yang umumnya digunakan untuk proteksi dan *finishing* permukaan aluminium. Dengan penemuan mikroskop elektron pada tahun 1950'an maka berkembanglah penelitian untuk karakterisasi oksida anodisasi. Namun teori pertumbuhan oksida belum dapat dibuktikan secara pasti pada masa ini.

Keller F, M.S. Hunter & D.L. Robinson [8] dalam penelitiannya tahun 1953 telah melaporkan struktur sel oksida anodisasi dengan lengkap dan menyatakan bahwa terdapat hubungan antara tegangan dan ukuran sel. Tim ini juga telah mendefinisikan sel sebagai sebuah unit area yang mempunyai sebuah lubang.

Selanjutnya berkembanglah penelitian tentang teori pertumbuhan oksida (Hoar & Mott, 1959; O'Sullivan & Wood, 1970; Thompson, 1978). Berkaitan dengan pertumbuhan oksida tersebut Thompson G.E. [9] mendiskusikan dua hal yaitu (1) pertumbuhan oksida aluminium pada persinggungan antara aluminium dan alumina karena transport dari ion Al^{3+} , OH^- dan O^{2-} dalam lapisan alumina, dan (2) pelarutan dan pengendapan dari oksida aluminium pada daerah persinggungan antara lapisan alumina dan larutan.

Penelitian tentang *nano porous aluminum oxide* terus berkembang hingga Masuda dan Fukuda [10] pada tahun 1995 untuk pertama kalinya menemukan sebuah metode baru untuk mensintesa lapisan oksida yang teratur. Tim ini melaporkan bahwa susunan sel yang sangat teratur pada lapisan oksida dapat diperoleh dengan menggunakan metoda *two-step anodization*. Dalam penelitiannya tim tersebut menggunakan larutan asam oksalat, tegangan 40 V, suhu 0 °C, dengan waktu 160 jam.

Penelitian-penelitian selanjutnya mengenai *nano porous aluminum oxide* cenderung difokuskan untuk mencari kondisi yang sesuai dalam mengontrol pembentukan sel dan lubang oksida aluminum. Hal ini diperlukan sebagai usaha untuk mengaplikasikan *nano porous aluminum oxide* pada pembuatan produk nanoteknologi. Beberapa aplikasi *nano porous aluminum oxide* untuk produk nanoteknologi diantaranya: (1) sebagai *template* untuk pembuatan *carbon nanotube*, (2) sebagai *template quantum dots*, dan (3) sebagai *nano porous membrane*.

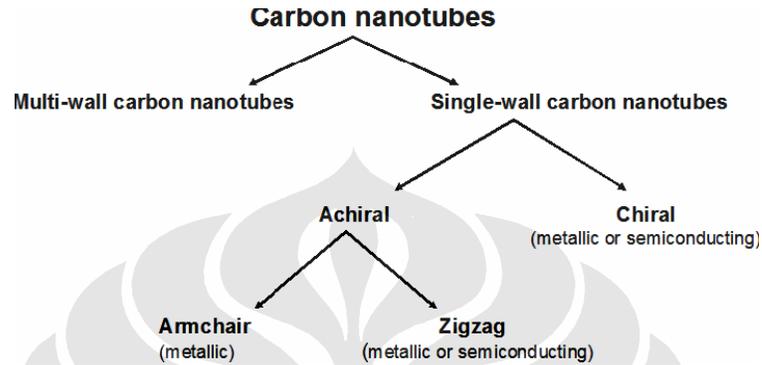
2.3 APLIKASI NANO POROUS ALUMINUM OXIDE

Saat ini *nano porous aluminum oxide* telah banyak dikaji untuk aplikasi produk nanoteknologi karena sifat-sifat yang dimilikinya. Perkembangan *nano porous aluminum oxide* didasarkan pada peningkatan kebutuhan nano material. Hal ini karena peningkatan permintaan material dengan ruang yang kecil namun memiliki karakteristik yang sangat baik dan unggul.

2.3.1 Carbon Nanotube

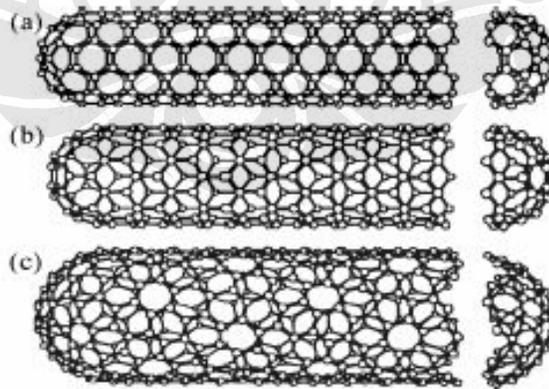
Carbon nanotube adalah tabung karbon hexagonal yang berorde nanometer. Sebuah *carbon nanotube* terdiri dari jaringan atom-atom karbon yang tersusun secara hexagonal. Perbandingan diameter dan panjang dari *carbon nanotube* bisa mencapai 1:1000. *Carbon nanotube* mempunyai sifat mekanis, elektrik dan termal yang unik. *Carbon nanotube* bisa diaplikasikan untuk perangkat transistor dan *microchip*, *energy storage*, *nanoprobe* dan sensor, dan material komposit.

Carbon nanotube ditemukan oleh Sumio Ijima tahun 1991 [11] dalam tulisannya yang berjudul *Helical Microtubules of Graphite Carbon*. Dengan penemuannya pada tahun 1991 tersebut, penelitian dan kajian tentang *carbon nanotube* oleh para ilmuwan di seluruh dunia meningkat secara tajam.



Gambar 2.5. Klasifikasi struktur *carbon nanotube*

Secara umum struktur *carbon nanotube* dibagi dua yaitu (1) *Single Walled Nanotube* (SWNT) dan (2) *Multi Walled Nanotube* (MNWT). Sedangkan SWNT dapat diklasifikasikan menjadi struktur *chiral*, zig-zag dan *armchair*. Masing-masing struktur akan memberikan sifat yang berbeda-beda.

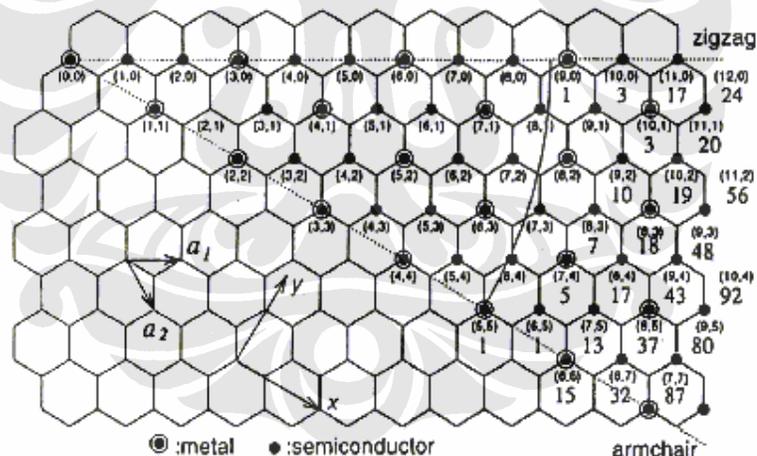


Gambar 2.6. Struktur SWNT.

a) struktur *armchair*, b) struktur zig-zag, c) struktur *chiral* [12]

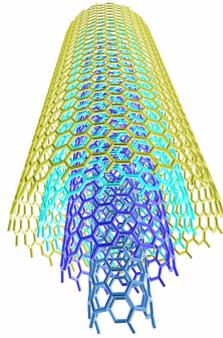
SWNT (*Single Walled Nanotube*) secara konseptual dapat diartikan sebagai sebuah *graphene* (jaringan karbon hexagonal setebal satu atom) yang digulung menjadi sebuah tabung. Sebuah SWNT dinamai berdasarkan indeks (n,m) yang disebut *chiral vector*. Dalam penamaan tersebut dipilih dua buah atom dalam *graphene*. Atom pertama dijadikan sebagai titik pangkal dan yang lain sebagai titik ujung. Kemudian *graphene* digulung menjadi sebuah tabung dimana kedua titik bertemu. Vektor yang terbentang dari atom pangkal ke atom ujung inilah yang disebut sebagai *chiral vector*.

Dengan *chiral vector* ini maka dapat diketahui struktur dari SWNT. Jika $m=0$ maka *nanotube* akan berstruktur zigzag, jika $n=m$ maka *nanotube* akan berstruktur *armchair*, dan jika $n \neq 0$ dan $n \neq m$ maka *nanotube* akan berstruktur *chiral*. Sifat elektrik juga dapat diketahui melalui *chiral vector* ini. Jika $n-m$ adalah kelipatan 3 maka *nanotube* bersifat *metallic* (konduktor) dan jika $n-m$ bukan kelipatan 3 maka *nanotube* bersifat semikonduktor.



Gambar 2.7. Kemungkinan semua struktur dan sifat elektrik SNWT melalui *chiral vector* [12]

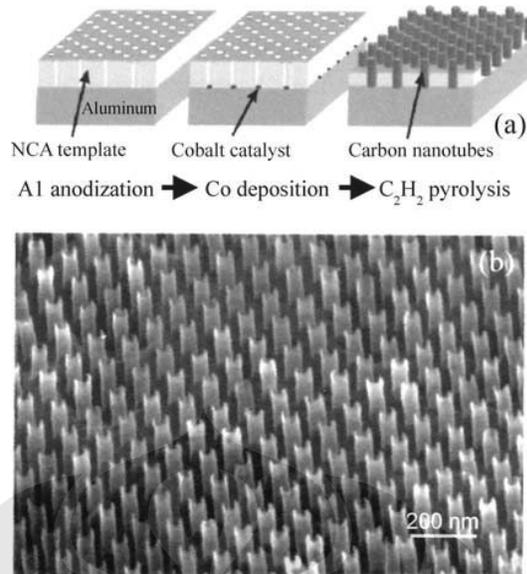
MWNT (*Multi Walled Nanotube*) dapat diartikan sebagai beberapa *graphene* yang digulung menjadi satu. MWNT terdiri dari beberapa SWNT yang berbeda diameter. Jarak antar lapisan dari MWNT adalah sekitar 3.3 \AA (330 pm).



Gambar 2.8. Struktur MWNT [12]

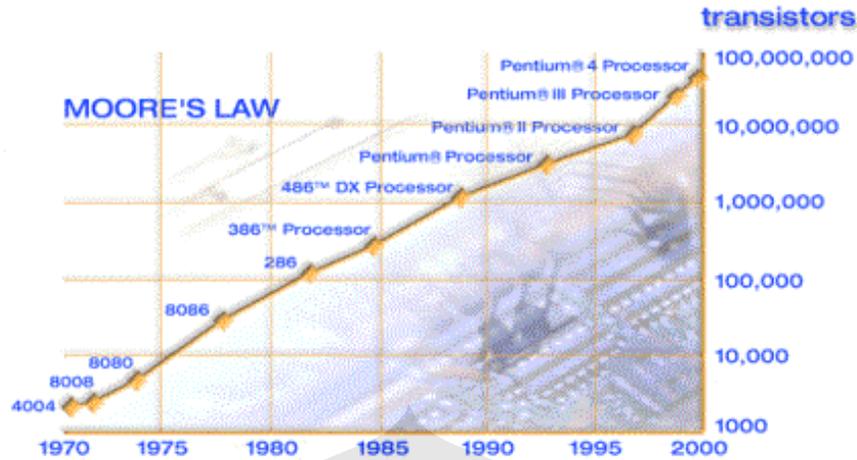
Proses fabrikasi *carbon nanotube* menggunakan *nano porous aluminum oxide* telah banyak menarik perhatian para ilmuwan. Fabrikasi *carbon nanotube* melalui *nano porous aluminum oxide* dilakukan melalui proses *chemical vapor deposition* (CVD). Pada proses ini, sintesa dilakukan dengan sumber karbon dalam fasa gas, menggunakan sumber energi seperti plasma, dan substrat tempat tumbuhnya *carbon nanotube*. Umumnya sumber gas karbon menggunakan *methane*, karbon monoksida, dan *acetylene*. Sumber energi digunakan untuk memecah molekul menjadi atom karbon yang reaktif. Kemudian karbon akan berdifusi ke dalam substrat yang dipanaskan dan dilapisi dengan katalis. Selanjutnya *carbon nanotube* akan terbentuk dengan teratur dan terkontrol dengan kepadatan yang tinggi.

Tahun 1999, Li [13] telah berhasil melakukan sintesa *carbon nanotube* menggunakan substrat *nano porous aluminum oxide*. Li dan timnya menggunakan katalis Co melalui proses CVD. Dengan menggunakan katalis Co, pyrolysis C_2H_2 dilakukan pada temperatur $650\text{ }^{\circ}C$. Proses ini dapat menghasilkan *carbon nanotube* dengan diameter 10 hingga beberapa ratus nanometer dan panjang hingga $100\text{ }\mu m$.



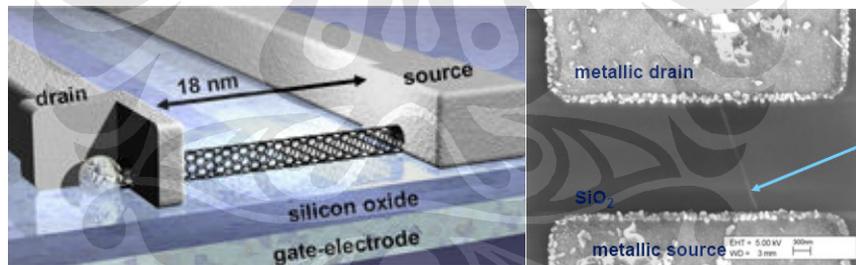
Gambar 2.9. Pembuatan *carbon nanotubes* menggunakan *template nano porous aluminum oxide* [13]

Salah satu aplikasi *carbon nanotube* yang sangat penting adalah pada bidang elektronika khususnya untuk *microchip*. Pendiri dari perusahaan perangkat komputer dunia Intel Dr. Gordon E. Moore pada tahun 1965 memprediksikan tentang jumlah penggunaan transistor pada IC. Menurutnya jumlah penggunaan transistor pada IC akan bertambah dua kali lipat dalam 18 sampai 24 bulan. Prediksi tersebut dikenal dengan sebutan *Moore's law*. Hukum ini terbentuk berdasarkan pengamatan empiris. Saat ini *Moore's law* dapat dibuktikan dengan peningkatan penggunaan transistor dalam *microprocessor* Intel. Kini sebuah *chip* dengan luas beberapa sentimeter persegi telah memuat sekitar 100 juta transistor. Dalam 10 tahun mendatang material silikon tidak dapat lagi digunakan untuk meningkatkan penggunaan transistor di dalam *chip*. Fungsi tersebut selanjutnya akan digantikan oleh *carbon nanotube*.



Gambar 2.10. Peningkatan penggunaan transistor dalam komputer Intel sesuai hukum Moore [14]

Secara sederhana sebuah *carbon nanotube* yang bersifat semikonduktor dapat digunakan untuk membuat perangkat sebuah transistor. Dengan memberikan tegangan ke *gate-electrode*, sifat *carbon nanotube* akan berubah dari konduktor menjadi isolator.



Gambar 2.11. Carbon nanotube sebagai konektor pada transistor microchip [4]

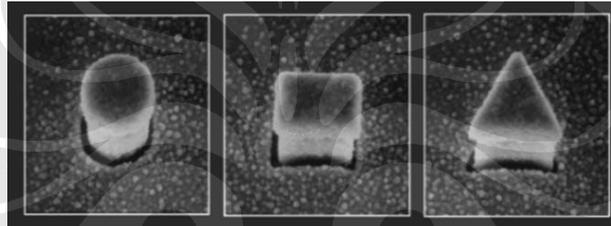
2.3.2. *Quantum Dots*

Quantum dots adalah partikel semikonduktor berorde nanometer yang mempunyai sifat optik yang unik. *Quantum dots* mempunyai spektrum emisi yang sempit dan sangat tergantung dari ukuran partikel. Perubahan ukuran partikel menyebabkan perubahan panjang gelombang dari cahaya yang dipancarkan. Semakin besar ukuran partikel maka semakin besar kecenderungan berwarna biru, dan semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar kecenderungan berwarna merah.



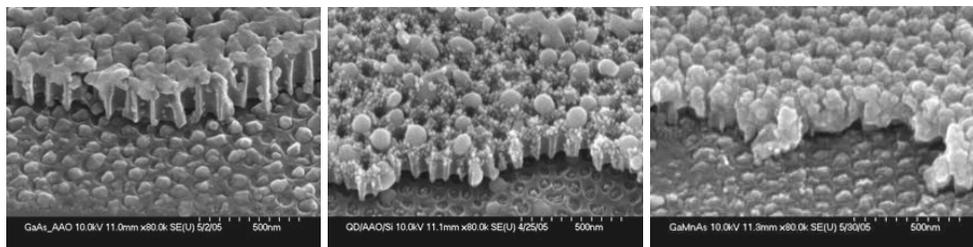
Gambar 2.12. Cahaya yang dipancarkan dengan ukuran partikel yang berbeda [15]

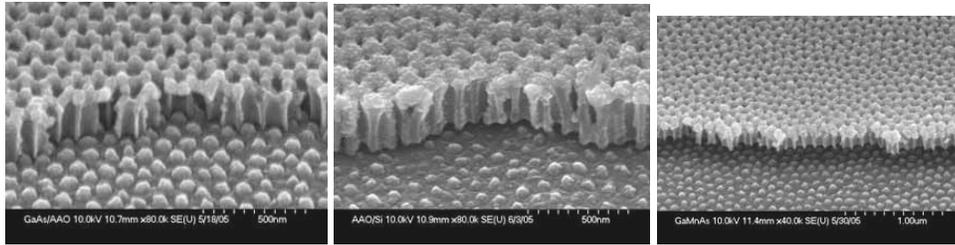
Quantum dots dapat digunakan pada aplikasi biologi, elektronika, dan optis. Beberapa contoh penggunaan quantum dots diantaranya adalah (1) *Light Emitting Diodes* (LEDs) dimana emisi warnanya yang dapat diubah dan disesuaikan, (2) semikonduktor, (3) transistor, dan (4) *solar cell*.



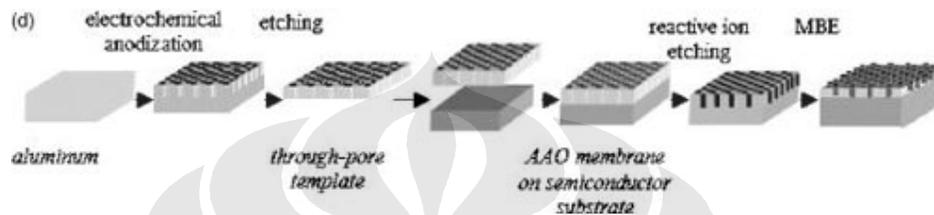
Gambar 2.13. *Quantum dots* dalam bentuk yang berbeda [16]

Quantum dots dapat difabrikasi dengan *nano porous aluminum oxide*. Salah satu penelitian menggunakan *nano porous aluminum oxide* sebagai *template* dilakukan oleh Se Young Jeong [17] dan timnya tahun 2007. Se Young Jeong menggunakan *template* aluminum oksida dengan diameter pori sebesar 60 – 65 nm dan ketebalan sekitar 150 – 200 nm. Dalam penelitian ini Se Young membentuk nano dots GaAs, GaN, dan GaMnAs dengan metode MBE (*molecular beam epitaxy*).





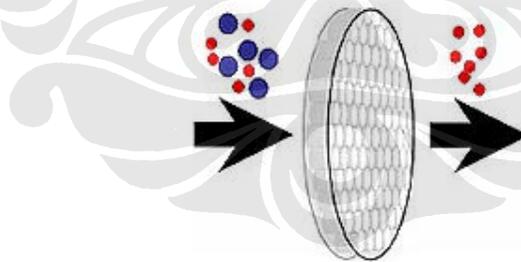
Gambar 2.14. *Nanodots* GaAs (kiri), GaN (tengah), dan GaMnAs (kanan) yang dibentuk dari *template* AAO [17]



Gambar 2.15. Proses pembuatan *quantum dots* menggunakan *template* AAO [18]

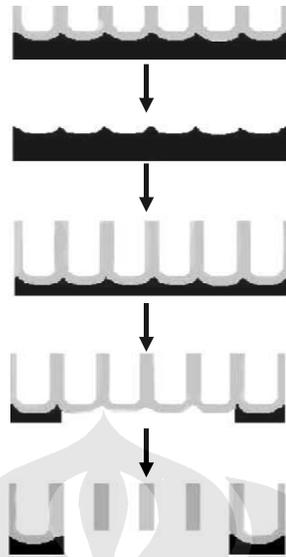
2.3.3. *Nano Porous Membrane*

Nano porous membrane adalah membran yang mempunyai diameter pori berukuran nanometer. Umumnya *nano porous membrane* digunakan untuk filtrasi dan separasi *nano materials*. Membran ini juga bisa dijadikan sebagai *template* untuk membuat nanostruktur seperti *nanodots* dan *nanowires*.



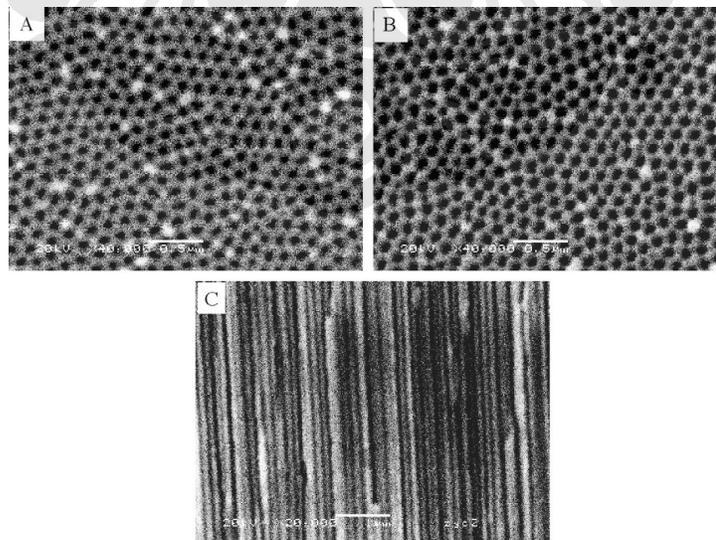
Gambar 2.16. Nanoporous membrane untuk separasi *nano materials* [19]

Nano porous membrane dibuat dengan proses anodisasi. Biasanya metode yang banyak digunakan untuk membuat *nano porous membrane* adalah *two-step anodizing* yang dilanjutkan dengan proses etsa untuk menghilangkan *barrier layer*. Tahun 1996, H. Masuda telah membuat *nano porous membrane* menggunakan metode *two-step anodizing*.



Gambar 2.17. Pembuatan *nano porous membrane* [20]

Pembuatan *nano porous membrane* dengan metode *two-step anodizing* dapat dilakukan dengan: (1) melakukan anodisasi pertama hingga terbentuk lapisan oksida, (2) menghilangkan lapisan alumina dengan campuran asam fosfat dan asam kromat, (3) melakukan anodisasi kedua untuk mendapatkan lapisan alumina yang teratur, (4) menghilangkan substrat aluminum menggunakan larutan HgCl_2 , (5) menghilangkan *barrier layer*/lapisan bawah menggunakan larutan asam fosfat.



Gambar 2.18. Gambar SEM dari *nano porous membrane*. (A) tampak atas, (B) tampak bawah, dan (C) tampak melintang [20]

2.4. ANODISASI

Anodisasi adalah sebuah proses pasivasi elektrolitik yang digunakan untuk meningkatkan ketebalan lapisan oksida alami pada permukaan sebuah logam tertentu. Penamaan anodisasi berasal dari proses pembentukan lapisan dimana logam tersebut menjadi anoda dalam sel elektrokimia. Beberapa logam yang dapat digunakan untuk anodisasi antara lain adalah aluminium, titanium, zinc, magnesium dan niobium. Dalam industri manufaktur, anodisasi banyak digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi, meningkatkan ketahanan aus, memberikan pewarnaan, dan meningkatkan daya adhesi untuk pengecatan.

Anodisasi digunakan pertama kali dalam skala industri pada tahun 1923 untuk melindungi pesawat terbang air Duralumin dari korosi. Anodisasi ini menggunakan larutan asam kromat yang disebut *Bengough-Stuart*. Proses ini terus berkembang dengan penggunaan variasi larutan anodisasi. Tahun 1927, Gower dan O'Brien melakukan proses anodisasi dengan larutan asam sulfat untuk pertama kalinya. Hingga kini asam sulfat merupakan larutan elektrolit yang paling umum digunakan untuk proses anodisasi.

Logam yang paling banyak digunakan untuk proses anodisasi adalah aluminium. Logam ini mudah bereaksi dengan oksigen untuk membentuk lapisan oksida yang tipis (Al_2O_3) di permukaannya. Lapisan oksida ini mempunyai titik leleh $2050\text{ }^\circ\text{C}$ dan lebih keras dari logam induknya. Lapisan oksida yang terbentuk secara alami mempunyai ketebalan sekitar 2-3 nm. Sedangkan setelah proses anodisasi, ketebalan lapisan oksida dapat mencapai kurang dari $0,5\text{ }\mu\text{m}$ hingga $150\text{ }\mu\text{m}$.

Secara umum, proses anodisasi dibagi menjadi tiga tipe [21]:

1. Tipe I

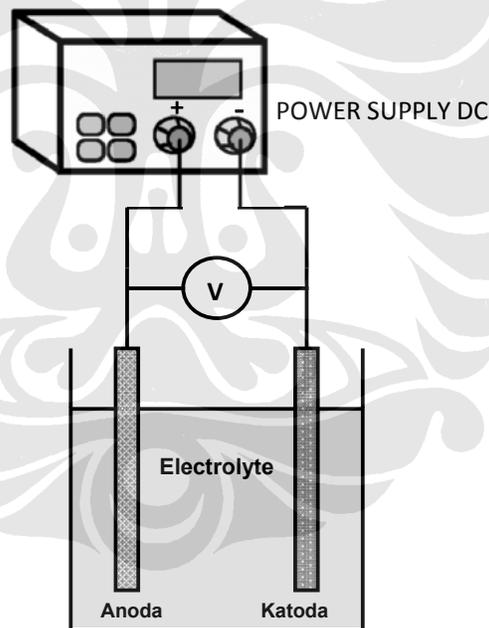
Tipe ini menggunakan asam kromat sebagai larutan elektrolitnya. Proses ini menghasilkan lapisan oksida yang relatif tipis sekitar $0,5 - 2,5\text{ }\mu\text{m}$. Proses ini sangat direkomendasikan untuk membuat lapisan pada part dengan design yang rumit karena sifat elektrolitnya yang relatif tidak korosif. Konsentrasi asam kromat yang digunakan adalah sekitar 3 – 10% berat.

2. Tipe II

Tipe ini adalah tipe yang paling sering digunakan dengan asam sulfat sebagai larutan elektrolitnya. Proses ini dapat menghasilkan lapisan oksida hingga 25 μm . Konsentrasi asam sulfat yang digunakan adalah sebesar 12 – 20% berat.

3. Tipe III

Tipe ini juga menggunakan asam sulfat sebagai larutan elektrolitnya dengan temperatur rendah yaitu antara 0 – 10 $^{\circ}\text{C}$. Lapisan yang dihasilkan umumnya lebih keras (kekerasan Rockwell-C mencapai 70) dan lebih berat daripada proses yang lain. Proses ini menghasilkan ketahanan korosi dan ketahanan abrasi yang baik. Lapisan oksida yang dihasilkan mencapai 100 μm .



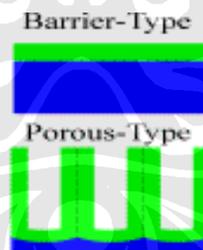
Gambar 2.19. Rangkaian sel anodisasi [22]

Proses anodisasi dilakukan dengan sel elektrokimia dimana logam aluminium dijadikan anoda dan logam lain yang inert dijadikan sebagai katoda. Anoda logam aluminium selanjutnya dihubungkan ke kutub positif dari *power supply* sedangkan katoda logam inert dihubungkan ke kutub negatif. Rangkaian

tersebut sama dengan rangkaian proses *electroplating*. Perbedaannya adalah pada proses anodisasi anoda logam akan teroksidasi dan terbentuk lapisan pasif sedangkan pada proses *electroplating* anoda logam akan teroksidasi dan mengendap pada katoda.

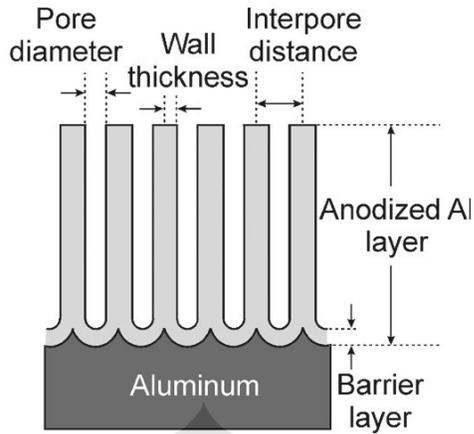
2.5. PEMBENTUKAN LAPISAN OKSIDA ALUMINIUM

Secara umum terdapat dua tipe lapisan oksida aluminum yaitu: (a) tipe lapisan *barrier* dan (b) tipe lapisan *porous*. Lapisan *barrier* adalah lapisan yang kompak, non-porous, dan bersifat isolator. Sedangkan lapisan *porous* adalah lapisan yang berpori baik teratur maupun tidak dengan lubang-lubang yang terbentuk di dalam sel-sel oksida. Perbedaan tipe lapisan tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis larutan. Tipe lapisan *barrier* terbentuk pada larutan elektrolit yang tidak melarutkan dengan pH mendekati netral yaitu antara 5-7. Larutan yang dapat digunakan untuk membentuk tipe *barrier* ini adalah asam borat, ammonium borat, dan ammonium tartrate. Sedangkan lapisan *porous* terbentuk pada larutan elektrolit yang cenderung melarutkan seperti larutan asam sulfat, asam oksalat, asam kromat, dan asam fosfat.



Gambar 2.20. Perbedaan tipe lapisan *barrier* dan lapisan *porous* [23]

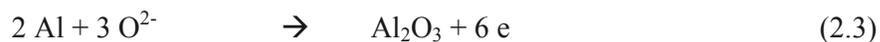
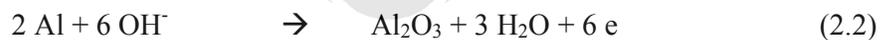
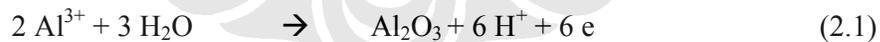
Struktur tipe lapisan *porous* sangat menarik untuk diteliti secara ilmiah terutama karena potensi kegunaannya untuk aplikasi dalam nanoteknologi. Struktur lapisan *porous* dengan keteraturan tinggi sering dikarakterisasi menjadi beberapa parameter diantaranya ketebalan pori, ketebalan dinding, ketebalan lapisan *barrier*, dan jarak antar pori.

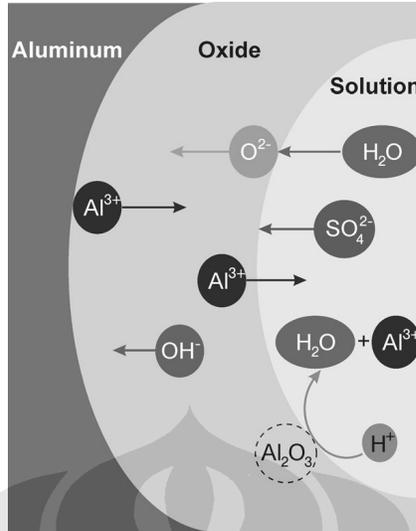


Gambar 2.21. Penampang melintang AAO dengan beberapa parameter untuk karakterisasi [24]

Dalam kinetika pembentukan tipe lapisan *porous*, lapisan *barrier* akan terbentuk terlebih dahulu sebelum terbentuknya lapisan *porous*. Pertumbuhan oksida terjadi pada persinggungan logam/oksida dan oksida/elektrolit. Pertumbuhan ini terjadi karena gerakan ion-ion karena pengaruh medan listrik. Pada persinggungan logam/oksida, pertumbuhan terjadi karena adanya gerakan kedalam dari anion yang mengandung oksigen (OH^- , O^{2-}). Sedangkan pertumbuhan pada persinggungan oksida/elektrolit terjadi karena adanya gerakan keluar dari kation Al^{3+} .

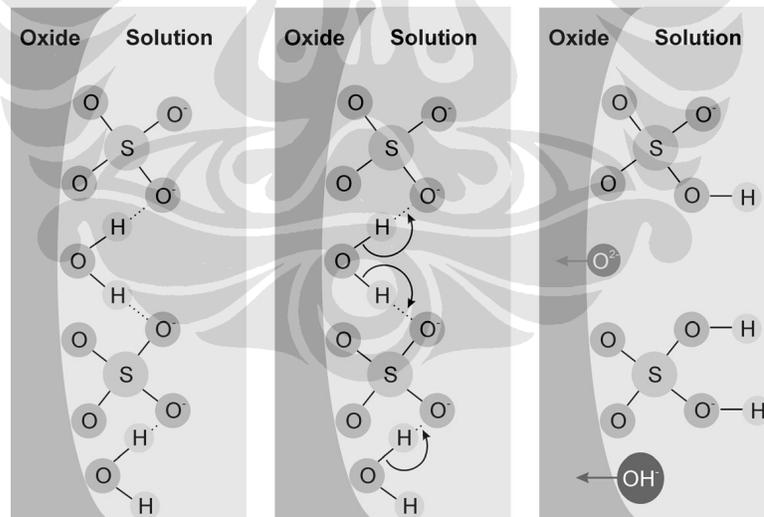
Dalam pembentukan lapisan oksida melalui proses anodisasi tersebut terdapat beberapa reaksi kimia yang terjadi. Pada anoda (aluminum) akan teroksidasi melalui reaksi:





Gambar 2.22. Ilustrasi transport ion-ion pada anoda [24]

Pada persinggungan oksida/elektrolit akan terjadi elektrolisis air dengan reaksi:

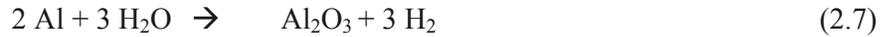


Gambar 2.23. Ilustrasi elektrolisis air pada persinggungan oksida/elektrolit [24]

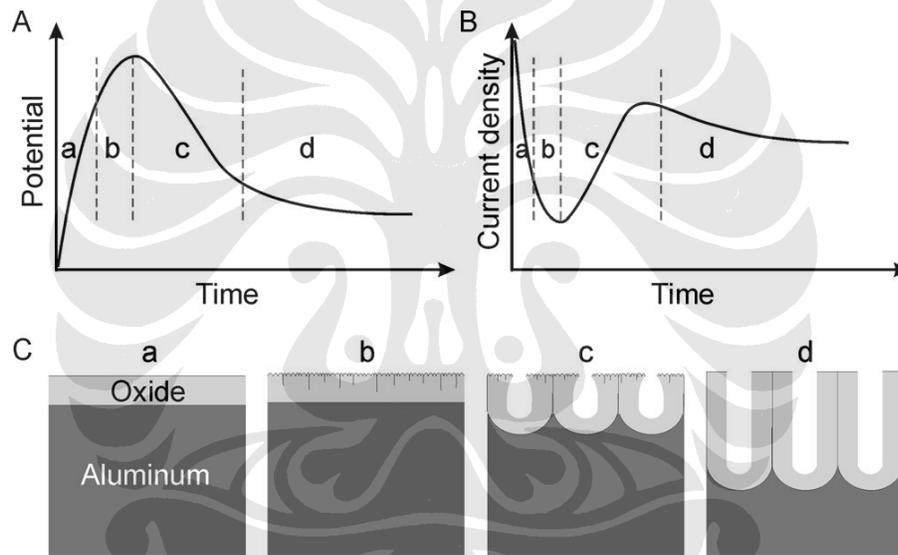
Sementara pada katoda akan terjadi reduksi hidrogen dengan reaksi:



Reaksi elektrokimia secara keseluruhan adalah:



Pembentukan lapisan *porous* pada oksida dimulai dengan pembentukan lapisan *barrier*. Oksida akan tumbuh melalui konduksi ion-ion dan reaksi antara Al dan anion yang mengandung oksigen di bawah pengaruh medan listrik. Tahapan pembentukan lapisan *porous* tersebut adalah: (1) pembentukan lapisan *barrier* (*oxide growth*), (2) inisiasi pori pada posisi acak pada persinggungan oksida/elektrolit (*pore initiation*), (3) pertumbuhan pori (*pore development*), dan (4) tercapainya kondisi stabil (*steady state*). Pembentukan lapisan tersebut dapat terjadi dengan tagangan tetap ataupun rapat arus tetap.

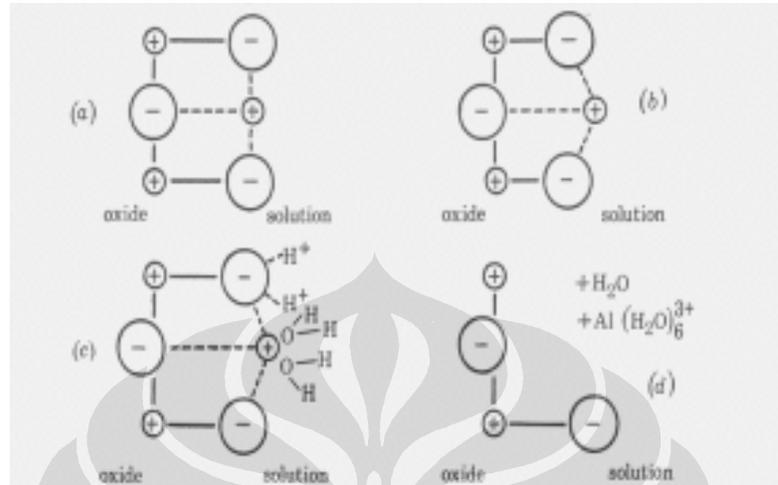


Gambar 2.24. Tahapan pembentukan lapisan *porous* [24]

Proses pembentukan lapisan *porous* oksida tersebut selalu melibatkan proses pelarutan. Proses pelarutan inilah yang menyebabkan pertumbuhan pori. Tercapainya kondisi *steady-state* menyebabkan terjadinya kesetimbangan dinamis antara pembentukan dan pelarutan lapisan oksida.

Pelarutan lapisan oksida yang menyebabkan terbentuknya tipe lapisan *porous* dijelaskan dengan mekanisme pelarutan dengan pengaruh medan listrik (*field-assisted dissolution mechanism*). Teori ini menjelaskan bahwa penggunaan medan listrik akan menyebabkan polarisasi oksida. Adanya polarisasi akan

menurunkan energi aktivasi pelepasan ion O^{2-} oleh ion H^+ . Proses ini sangat dipengaruhi oleh kekuatan medan listrik.



Gambar 2.25. Ilustrasi mekanisme pelarutan dengan pengaruh medan listrik. (a) sebelum polarisasi, (b) sesudah polarisasi, (c) pelepasan ion Al^{3+} dan O^{2-} , dan (d) oksida yang tersisa [23]

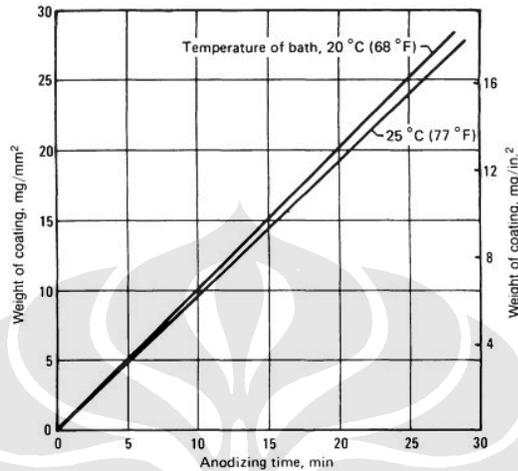
2.6. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PEMBENTUKAN LAPISAN OKSIDA ALUMINUM

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan lapisan oksida aluminum. Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan lapisan oksida tersebut diantaranya adalah waktu anodisasi, jenis dan konsentrasi larutan elektrolit, tegangan dan rapat arus, dan temperatur. Faktor-faktor tersebut akan mempengaruhi sifat dan struktur lapisan oksida seperti kekerasan, ketebalan lapisan oksida, ketebalan lapisan barrier, ketebalan dinding pori, diameter pori, dan jarak antar pori.

2.6.1. Waktu Anodisasi

Adanya penambahan waktu anodisasi menyebabkan peningkatan berat lapisan oksida. Secara sederhana penambahan waktu anodisasi maka pembentukan lapisan oksida semakin meningkat. Selain itu penambahan waktu anodisasi juga berpengaruh terhadap keteraturan pori. Tahun 1995, Masuda dan Fukuda [10] melaporkan bahwa salah satu faktor yang cukup penting dalam

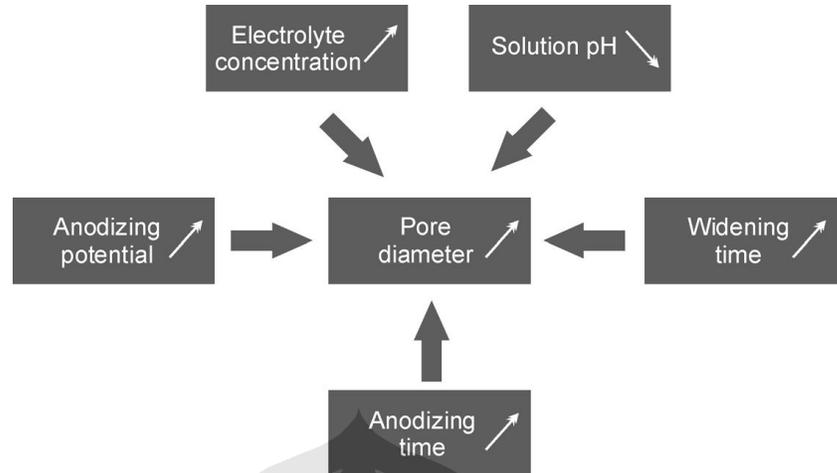
pembentukan pori yang teratur adalah waktu anodisasi yang lama. Dalam penelitian tersebut Masuda dan Fukuda melakukan anodisasi selama 160 jam dalam larutan asam oksalat.



Gambar 2.26. Grafik pengaruh waktu anodisasi terhadap berat lapisan [21]

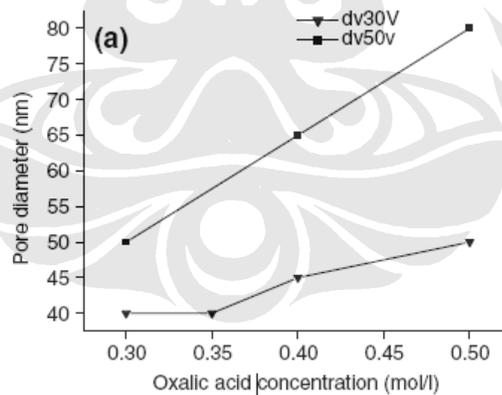
2.6.2. Jenis dan Konsentrasi Larutan Elektrolit

Pengaruh larutan elektrolit terhadap pembentukan lapisan *porous* oksida aluminium telah dikaji sejak tahun 1953. Jenis larutan elektrolit yang digunakan dalam proses anodisasi sangat berpengaruh terhadap sifat lapisan oksida yang terbentuk. Larutan yang cenderung tidak melarutkan dengan pH mendekati netral (5-7) akan menghasilkan lapisan oksida tanpa pori. Beberapa diantaranya adalah asam borat, ammonium borat, dan ammonium tartrate. Sedangkan larutan yang cenderung melarutkan dengan pH rendah akan menghasilkan lapisan berpori seperti asam sulfat, asam oksalat, asam kromat, dan asam phosphate. Asam sulfat dan asam oksalat biasanya digunakan untuk pembentukan lapisan dengan keteraturan pori yang tinggi.

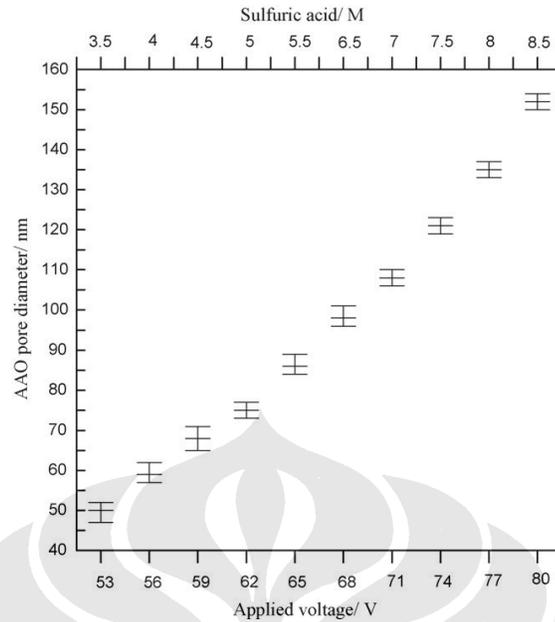


Gambar 2.27. Beberapa parameter yang mempengaruhi diameter pori [24]

Konsentrasi larutan elektrolit akan berpengaruh terhadap diameter pori. Peningkatan konsentrasi larutan elektrolit akan memperbesar diameter pori. Peningkatan konsentrasi larutan juga akan mempercepat proses pembentukan lapisan oksida. Namun penggunaan konsentrasi larutan yang tinggi akan mempermudah proses pelarutan lapisan oksida.



Gambar 2.28. Pengaruh konsentrasi asam oksalat terhadap diameter pori [25]

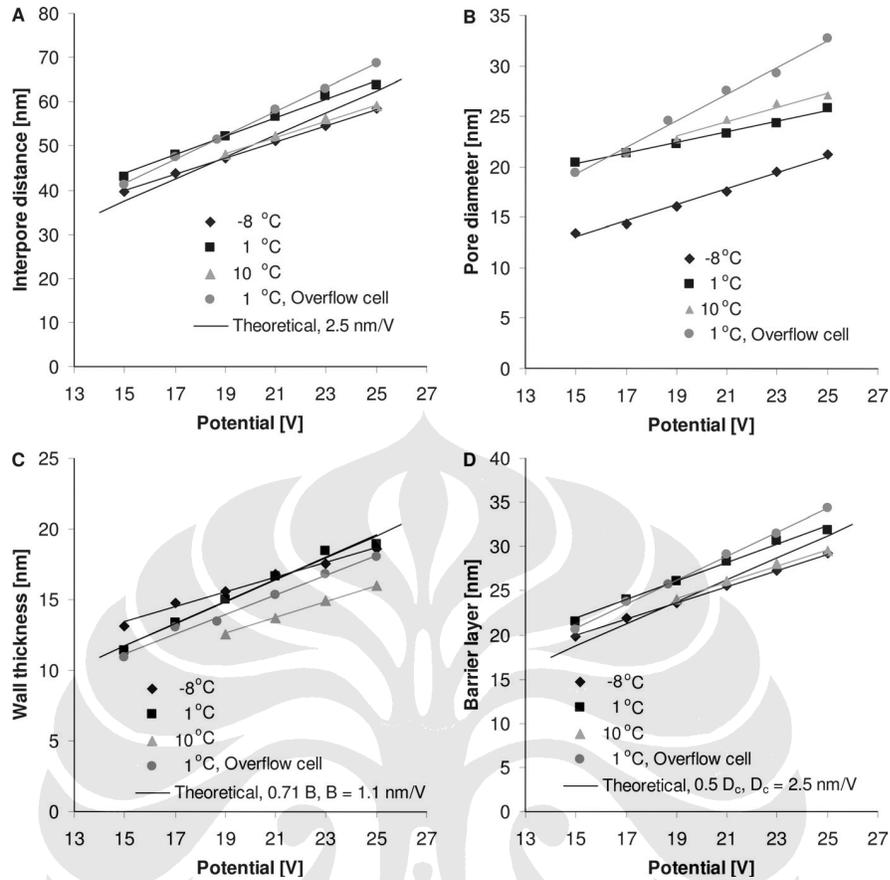


Gambar 2.29. Pengaruh konsentrasi asam sulfat dan tegangan terhadap diameter pori [26]

2.6.3. Tegangan dan Rapat Arus

Tegangan adalah salah satu parameter yang mempunyai pengaruh paling dominan terhadap sifat lapisan oksida [26]. Tegangan akan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan *barrier*, ketebalan dinding pori, jarak antar pori dan diameter pori. Peningkatan tegangan akan menyebabkan peningkatan ketebalan lapisan *barrier*, peningkatan ketebalan dinding pori, peningkatan jarak antar pori dan peningkatan diameter pori.

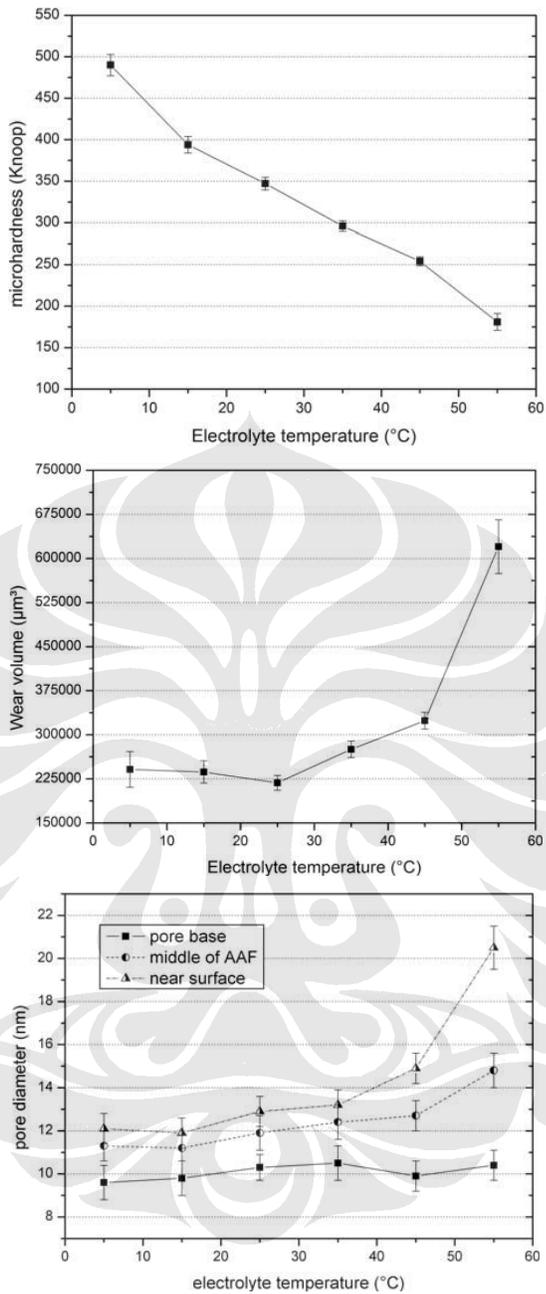
Sedangkan rapat arus akan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan oksida. Berdasarkan hukum Faraday, peningkatan rapat arus akan menyebabkan peningkatan ketebalan lapisan oksida [27].



Gambar 2.30. Pengaruh peningkatan tegangan terhadap: (a) jarak antar pori, (b) diameter pori, (c) ketebalan dinding pori, dan (d) ketebalan lapisan barrier [24]

2.6.4. Temperatur

Temperatur anodisasi akan berpengaruh terhadap kekerasan lapisan oksida. Penurunan temperatur akan menyebabkan peningkatan kekerasan. Dalam spesifikasi MIL-A-8625 disebutkan bahwa *hard process* (menghasilkan lapisan oksida yang keras) dilakukan dalam temperatur rendah. Dengan demikian penurunan temperatur juga akan menyebabkan peningkatan ketahanan aus. Selain itu, temperatur akan berpengaruh pula terhadap diameter pori. Peningkatan temperatur akan memperbesar diameter pori, terutama di daerah dekat permukaan.



Gambar 2.31. Pengaruh temperatur terhadap: (atas) kekerasan, (tengah) ketahanan aus, (bawah) diameter pori [28]