

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Nitriding dengan metode *gas nitriding* adalah suatu proses pengerasan permukaan pada material metal, dengan cara mendifusikan Nitrogen pada material dengan temperatur rendah. Proses ini sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa orang yaitu Altinsyo (2014), Ginter (2005) dan Wardana dkk (2013). Ketiga orang tersebut melakukan penelitian yang hampir sama dengan perbedaan variasi material yang digunakan.

Altinsyo (2014) melakukan penelitian tentang sifat mekanik *gas nitriding* pada material baja 34CrAlNi7-10. Menggunakan variasi suhu pemanasan 500°C selama 10 jam, 520°C selama 20 jam dan 540°C selama 30 jam. Baja dengan pemanasan 540°C *holding time* 30 jam memiliki nilai kekerasan paling tinggi, yaitu 430 VHN dan baja dengan pemanasan 520°C *holding time* 30 jam memiliki kekasaran permukaan paling tinggi, yaitu 0,33 μm .

Ginter (2005) melakukan penelitian tentang variasi unsur Chromium pada kedalaman difusi Nitrogen, yaitu besi dengan variasi Chromium sebesar 1%, 3% dan 5%. Dari hasil penelitian, dapat kita ketahui bahwa besi dengan kandungan Chromium sebesar 1% memiliki kedalaman difusi yang paling baik, yaitu sedalam 600 μm dari permukaan. Sementara besi dengan kandungan Chromium sebesar 5% hanya bisa berdifusi sedalam 325 μm saja dari permukaan spesimen.

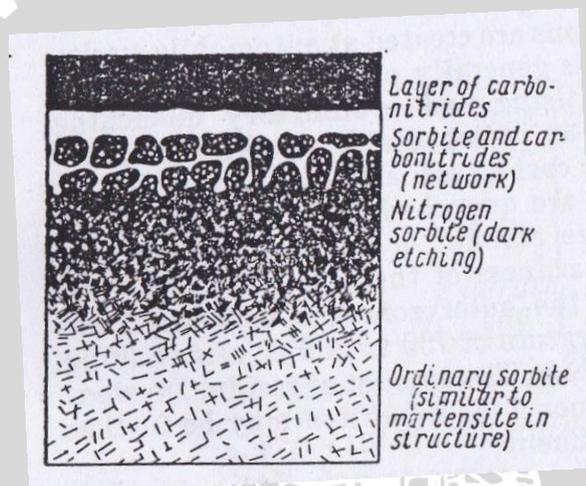
Wardana dkk (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh *nitriding* dengan densitas yang tinggi terhadap *stainless steel*. Wardana menggunakan material *stainless steel* dengan tipe AISI 316L diberikan perlakuan *nitriding* dengan parameter temperature 480°C, tekanan 70 Pa, durasi 2 jam, menggunakan 200 V voltase-RF dan -400 voltase-DC dengan campuran 70% Nitrogen, 30% Hidrogen. Dari penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa metode *nitriding* sangat efektif digunakan untuk meningkatkan nilai kekerasan permukaan, meskipun melalui proses ionisasi selama 2 jam saja.

Dari ketiga penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa jenis material, bentuk material dan material yang diberi perlakuan sebelum diuji akan menghasilkan kekerasan permukaan dan struktur mikro yang berbeda-beda.

2.2 Nitriding

2.2.1 Pengertian Nitriding

Nitriding adalah salah satu metode perlakuan panas yang umum digunakan pada dunia industri. Prosesnya yaitu mendifusikan Nitrogen pada permukaan material yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kekerasan permukaan material tersebut. Proses pemanasan *nitriding* menggunakan suhu antara 500°C sampai 600°C (Zakharov, 1962:198). Metode ini umumnya digunakan pada material karbon rendah, namun juga bisa pada material karbon menengah dan karbon tinggi. Idealnya, material yang akan *dinitriding* sebelumnya diberikan perlakuan *hardening* dan *tempering* terlebih dahulu, agar material tersebut pada saat *dinitriding* dapat menggunakan temperatur yang lebih rendah. Lama waktu pemanasan berpengaruh pada kedalaman difusi nitrida. Produk dari *nitriding* antara lain *gear*, *crankshaft*, *camshaft*, bagian-bagian katup, dll.



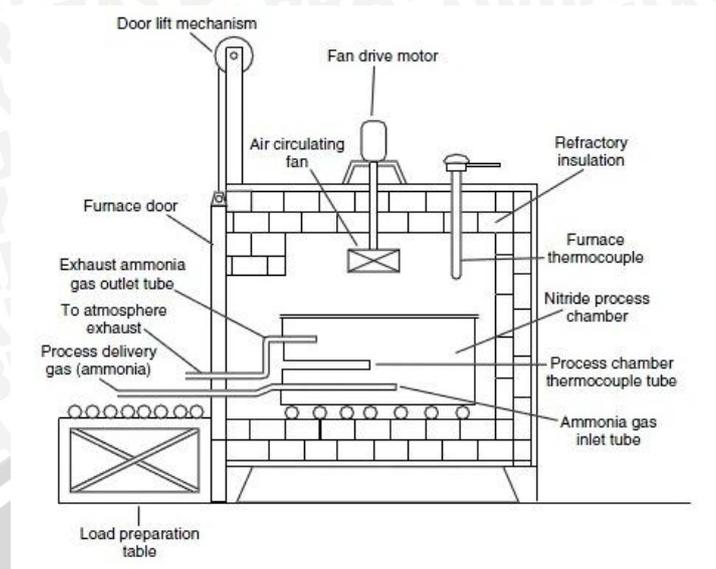
Gambar 2.1 Struktur mikro lapisan yang telah *dinitriding*

Sumber : Zakharov (1962:198)

2.2.2 Macam-macam Nitriding

2.2.2.1 Gas Nitriding

Gas nitriding dikenal juga dengan *ammonia nitriding*, dikarenakan menggunakan unsur Ammonia (NH_3) sebagai pendifusinya. Ketika ammonia mulai bereaksi dalam temperatur yang tinggi, Ammonia tersebut terbagi menjadi Nitrogen dan Hidrogen. Lalu, Nitrogenlah yang berdifusi ke permukaan material tersebut membentuk lapisan nitrida.



Gambar 2.2 Skema proses *Gas Nitriding*

Sumber : ASM International, *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing* (2003:8)

Keunggulan *Gas Nitriding*:

- Biaya lebih murah jika dibandingkan dengan metode yang lainnya.
- Dapat dengan mudah mengontrol atmosfer *nitriding* secara akurat, karena menggunakan sistem operasional *modern control computer*.

Kelemahan *Gas Nitriding*:

- Metode ini sangat bergantung pada kondisi permukaan material, karena apabila permukaan mengandung oli pada saat dipanaskan maka hasilnya akan buruk.
- Memerlukan material baja dengan kandungan Chromium yang tinggi jika dibandingkan dengan metode *Plasma Nitriding*.
- Menggunakan Ammonia sebagai medium penitrida, yang notabene mengandung racun apabila terhirup.

Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi *Gas Nitriding*:

- Tekanan gas Nitrogen.

Tekanan dapat diatur pada bukaan *valve* yang terdapat pada tabung Nitrogen dan pada kontroler tekanan di mesin *gas nitriding*.

- Temperatur pemanasan.

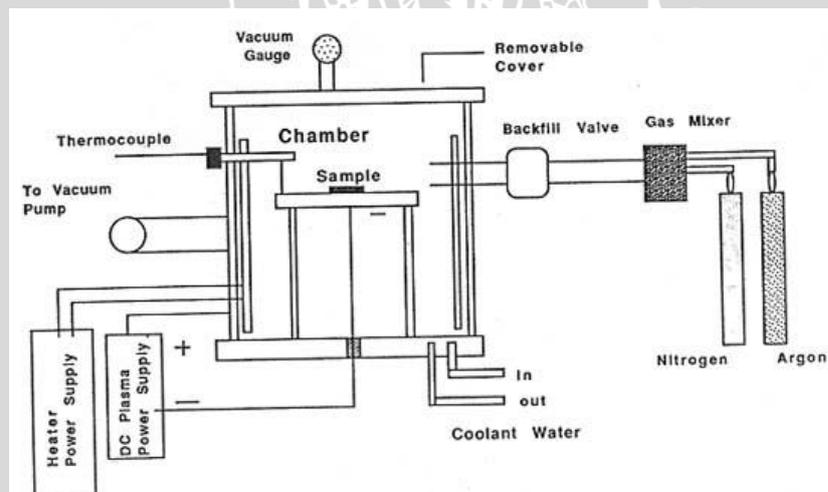
Temperatur pemanasan pada *chamber gas nitriding* disini memiliki temperature maksimal 1000°C. Tergantung dengan jenis material yang akan diberikan perlakuan pelapisan.

- Kualitas gas Nitrogen.

Untuk kualitas nitrogen di Indonesia sendiri memiliki 3 tingkatan, yaitu Nitrogen tingkat A, B dan C. Setiap tingkatan memiliki prosentase kemurnian Nitrogen yang berbeda-beda. Tingkat A memiliki kemurnian Nitrogen paling tinggi, yaitu 99,99% N.

2.2.2.2 Salt Bath Nitriding

Proses *Salt Bath Nitriding* ialah mendifusikan Nitrogen ke dalam permukaan material pada temperatur sub-kritikal pada fase ferrit untuk menghasilkan kekerasan permukaan. Pengaplikasian metode ini kebanyakan pada baja, tetapi dapat juga digunakan pada titanium, aluminium dan molybdenum. Medium pendifusi *Salt Bath Nitriding* ialah Nitrogen yang berpasir, pasir inilah yang mengandung unsur Karbon (C) yang akan didifusikan ke dalam material, maka metode ini disebut juga *Nitrocarburizing*. Temperatur yang digunakan dalam metode ini antara 550°C sampai 570°C.



Gambar 2.3 Skema proses *Nitrocarburizing*

Sumber : ASM International, *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing* (2003:10)

Keunggulan *Salt Bath Nitriding*:

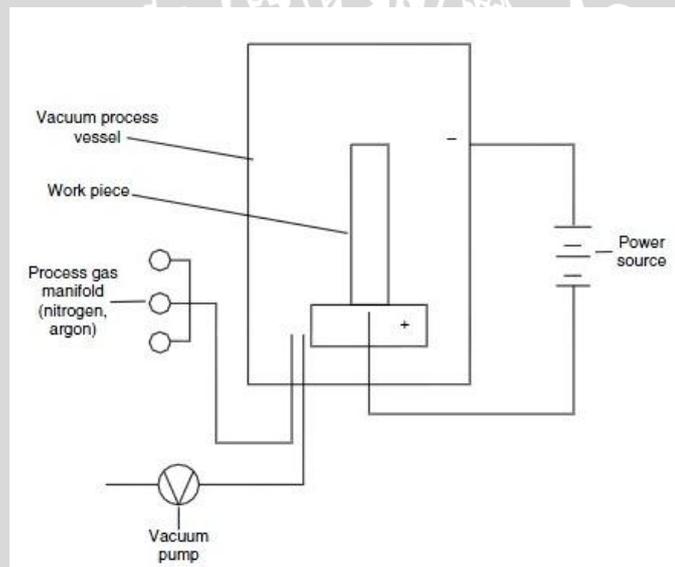
- Dapat mencapai tingkat difusi yang tinggi dalam periode yang sama.
- Prosesnya hanya memerlukan waktu 4 jam saja.
- Metode operasionalnya sangat sederhana.

Kelemahan *Salt Bath Nitriding*:

- Proses ini membutuhkan biaya yang sangat tinggi, sehingga metode ini mulai ditinggalkan pada saat ini.
- Pasir berkarbon yang digunakan untuk metode ini hanya sekali pakai saja.

2.2.2.3 Plasma Nitriding

Plasma Nitriding dikenal juga sebagai *ion nitriding*, *plasma ion nitriding* atau *glow-discharge nitriding*. Dalam metode ini proses *nitridingnya* tidak tergantung pada temperatur, melainkan pada kondisi gas ionik. Teknik ini menggunakan arus listrik untuk mengionisasi molekul udara sekitar menjadi Nitrogen untuk menitrida permukaan material. Gas yang teraktivasi dengan ion inilah yang disebut dengan plasma. Metode ini sangat baik digunakan untuk meningkatkan nilai karakteristik suatu material, yaitu meningkatkan kekerasan permukaan, meningkatkan ketahanan terhadap gesekan, meningkatkan *life-time* suatu komponen, meningkatkan kekuatan *fatig* dari suatu material dan tahan terhadap korosi.



Gambar 2.4 Skema proses *Plasma Nitriding*

Sumber : ASM International, *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing* (2003:9)

Material yang sudah diberi perlakuan panas dengan metode *Plasma Nitriding* tidak perlu difinishing lagi. Oleh karena itu, metode ini relatif mudah, hemat energi, cepat dan sedikit atau bahkan tidak menghasilkan distorsi pada material.

Berbeda dengan metode *Gas Nitriding* dan *Salt Bath Nitriding*, ion Nitrogen dapat di ionisasi dengan *Plasma Nitriding* menggunakan temperatur antara 430°C

sampai 580°C (Zagonel, 2006:452) dan tidak memerlukan material dengan kandungan Chromium yang tinggi.

Dalam metode *Plasma Nitriding* selain gas Nitrogen yang digunakan, digunakan pula gas Hidrogen dan Argon. Hidrogen dan Argon digunakan sebelum proses *nitriding* untuk membersihkan permukaan material yang akan *dinitriding*. Prosedur pembersihan ini bertujuan untuk membersihkan lapisan oksidasi dan lapisan *solvent* yang masih terkandung pada permukaan material. Pembersihan ini berguna untuk membantu kestabilan temperatur plasma pada saat mesin mulai dinyalakan dan mencegah perubahan minor-temperatur pada saat proses *nitriding*. Pada proses *nitriding*, gas Hidrogen berguna untuk menjaga permukaan material agar terhindar dari oksidasi (Zagonel 2005:2566).

2.3 Aluminium Alloy

2.3.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki banyak sekali keunggulan. Aluminium sangat ringan, beratnya hanya 1/3 baja, tembaga atau kuningan. Memiliki kekuatan yang baik, bahkan beberapa aluminium paduan kekuatannya melebihi baja. Aluminium memiliki ketahanan terhadap korosi dari elemen-elemen di atmosfer, air (termasuk air garam), oli dan bahan kimia lainnya. Memiliki konduktivitas termal yang tinggi, konduktivitas listrik dan panas yang baik. Aluminium tidak bersifat magnet, tidak beracun sehingga aman digunakan untuk peralatan makan dan industri.

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Aluminium adalah logam terpenting dalam logam non-fero. Penggunaan aluminium adalah yang paling banyak nomor dua setelah besi dan baja (Surdia dan Saito, 1999:129). Keuntungan dari aluminium dalam bidang teknik adalah sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutnya, beratnya yang ringan, konduktivitas listrik dan panas yang baik (De Garmo, 1990:157).

2.3.2 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium mempunyai beberapa sifat fisik yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (kg/m ³) (20°C)	2.698	2.710
Titik cair (°C)	660,2	653-657
Panas jenis (Cal/g. °C) (100°C)	0,222	0,229
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (aneal)
Tahanan listrik koefisien temperature (°C)	0,004	0,011
Koefisien pemuaian (M/°C) (20-100°C)	23,86 x 10	23,5 x 10
Jenis kristal	FCC	FCC

Sumber : Surdia dan Saito (1999:134)

Sifat-sifat aluminium yang lainnya yaitu modulus elastisitas aluminium yang rendah, jadi harus dipertimbangkan saat bahan tersebut dikerjakan dingin karena adanya *springback* pada saat beban pembentukan dihilangkan. Keburukan yang paling serius dari segi teknik adalah sifat elastisitas aluminium sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan paduan maupun dengan *heat treatment*.

2.3.3 Pengaruh Unsur-unsur Paduan

Unsur-unsur paduan aluminium diantaranya (Surdia dan Kenji 1996):

- Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambing Si dan nomor atom 14. Adalah unsur terbanyak kedua di bumi. Silikon mampu meningkatkan sifat mampu coran, mampu mengurangi penyusutan coran hingga 1,5 kali aluminium murni, mengurangi penyerapan gas dalam pengecoran dan meningkatkan mampu alirnya. Dapat juga meningkatkan ketahanan alirnya serta meningkatkan ketahanan korosi. Namun Silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat permesinannya.

- Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki symbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Paduan dari Magnesium dan aluminium dikenal dengan sebutan “magnalium” atau “magnelium”. Magnesium bersifat *paramagnetic* yaitu bahan yang tidak tertarik oleh medan

magnet. Penambahan unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan daya tahan aluminium dan meningkatkan sifat mampu bentuk serta mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

- Besi (Fe)

Ferrous adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki symbol Fe dan nomor atom 26. Fe merupakan logam transisi dan bersifat *ferromagnetic*. Mampu untuk mengurangi penyusutan, tetapi apabila kandungan Fe terlalu besar akan menyebabkan struktur butiran yang kasar. Hal ini bisa diperbaiki dengan menambahkan sejumlah Mn dan C dalam prosentase kecil.

- Mangan (Mn)

Mangan adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mn dan nomor atom 25. Penambahan Mn akan meningkatkan ketahanan karat aluminium dan apabila dipadu dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya.

- Seng (Zn)

Seng atau *zinc* adalah unsur kimia dengan symbol Zn, nomor atom 30 dan massa atom relatifnya 65,39. Umumnya ditambahkan dengan tembaga dalam prosentase yang kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.

- Tembaga (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambing Cu dan nomor atom 29. Merupakan konduktor panas dan listrik yang baik, memiliki korosi yang lambat. Tembaga juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan Cu akan memperbaiki sifat permesinan aluminium paduan. Selain itu, dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan.

2.3.4 Aluminium Paduan

Di bawah ini adalah beberapa paduan aluminium yang penting:

- Paduan Al-Si

Paduan Al-Si merupakan paduan yang baik kecairannya. Mempunyai permukaan coran yang baik tanpa kegetasan panas, tahan korosi, koefisien muai yang kecil, penghantar panas yang baik dan ringan.

- Paduan Al-Zn

Merupakan paduan yang banyak mengandung aluminium dan tahan terhadap korosi. Diaplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar.

- Paduan Al-Mn

Mn adalah unsur paduan yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan digunakan untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung adalah 25,3% (Surdia dan Kenji, 1996:136).

- Paduan Al-Cu

Merupakan paduan yang dapat diperlakukan panas. Dengan dikeraskan endapannya ataupun penyepuhan sifat mekanis, paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak akan tetapi daya tahan korosinya lebih rendah jika dibandingkan dengan jenis paduan lainnya.

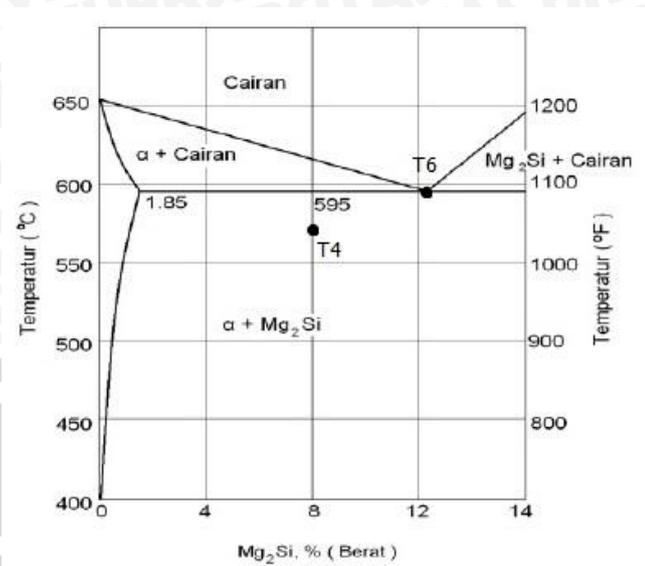
- Paduan Al-Mg

Merupakan paduan yang tahan korosi. Paduan ini disebut *hidronalum*. Cu dan Fe tidak dapat dicampur pada paduan ini karena paduan Al-Mg adalah unsur pengotor bagi Al-Mg.

- Paduan Al-Mg-Si

Merupakan jenis paduan aluminium seri 6xxx, sebagai paduan praktis diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Kekuatan tempa pada paduan ini masih kurang jika dibandingkan dengan paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstruksi dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.

2.3.5 Diagram Fasa Al-Mg-Si



Gambar 2.5 Perubahan fase paduan Al-Mg-Si

Sumber: Avner (1982:491)

- Kondisi O, digunakan untuk bahan-bahan yang ditempa. Diaplikasikan untuk kekuatan yang rendah dan produk coran yang dianil untuk meningkatkan nilai keuletan dan kestabilan dimensi. “O” dapat dimungkinkan diikuti dengan bilangan yang lain.
- Kondisi T4, digunakan untuk produk yang tidak diberi pengerjaan dingin setelah diberi perlakuan panas, dan untuk nilai mekanik yang sudah stabil dalam temperatur ruangan.
- Kondisi T6, digunakan untuk produk yang tidak diberi pengerjaan dingin setelah diberi perlakuan panas, dan untuk nilai mekanik yang sudah stabil dalam temperatur ruangan atau keduanya memiliki kestabilan akibat presipitasi.

Tabel 2.2 Sifat-sifat paduan Al-Mg-Si

Paduan	Keadaan	Kekuatan Tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan Mulur (kgf/mm ²)	Kekuatan Lelah (kgf/mm ²)	Kekuatan Geser (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell
6061	O	12,6	5,6	6,3	8,4	30	30
	T4	24,6	14,8	9,5	16,9	28	65
	T6	31,6	28	9,5	21	15	95

Sumber: Surdia dan Saito (1999:134)

Tabel 2.3 Prosentase unsur paduan Al-Mg-Si

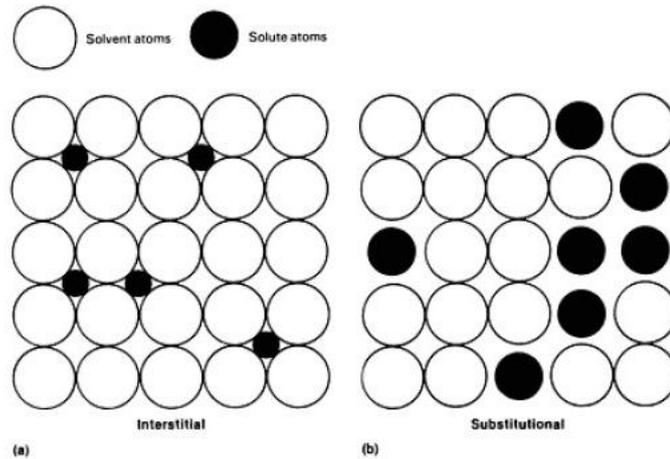
Unsur	Prosentase
Al	97,47 %
Mg	1,01 %
Si	0,88 %
Fe	0,22 %
Cu	0,21 %

2.4 Difusi

Dalam proses-proses teknik banyak diterapkan difusi. Karburasi dari baja adalah satu contoh. Pada proses ini, baja karbon rendah (yang tangguh tapi lunak) dipanaskan dalam lingkungan yang mengandung karbon, sehingga karbon berdifusi dalam baja, menghasilkan selubung luar yang kaya akan karbon dan keras. Contoh dari proses difusi, diterapkan secara komersil pada pembuatan semikonduktor. Boron berdifusi kedalam silicon menghasilkan daerah tipe-p pada *junction*.

Bila suhu naik, atom-atom bergetar dengan energi yang lebih besar, dan sejumlah kecil atom akan berpindah dalam kisi. Dengan sendirinya fraksi ini akan tidak hanya tergantung pada suhu, akan tetapi juga pada ikatan atom. Energi yang diperlukan sebuah atom untuk pindah tempat disebut energi aktivasi. Energi ini dapat dinyatakan dalam kalor/mol.

Ada 2 mekanisme atom untuk berdifusi pada suatu material. Jika *atom solute* cukup kecil, maka *atom solute* tersebut dapat masuk kedalam rongga antar Kristal *atom solvent*, mekanisme ini disebut dengan Difusi Intersisi. Sedangkan Difusi Substitusional ialah, *atom solute* menggantikan posisi atom solvent pada titik lattice. Penambahan unsur atom dari luar menghasilkan distorsi energy. Energi inilah yang menyebabkan kekerasan dan kekuatan material meningkat.



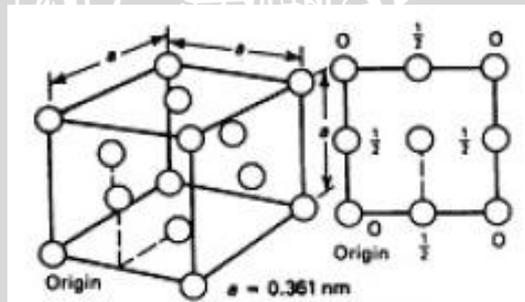
Gambar 2.6 Mekanisme difusi (a) dengan intersisi dan (b) dengan substitusi.
 Sumber: ASM International, *Alloy Phase Diagram* (1992:33)

2.5 Struktur Kristal Logam

Ada beberapa macam struktur logam, yaitu:

- FCC (*Face Center Cubic*)

Struktur FCC mempunyai sebuah atom pada pusat semua sisi kubus dan sebuah atom pada setiap sisi kubus. Beberapa logam yang memiliki struktur FCC yaitu tembaga, aluminium, perak dan emas.



Gambar 2.7 Struktur kristal FCC

Sumber: ASM International, *Alloy Phase Diagram* (1992:29)

➤ FCC APF (*Atomic Packing Factor*)

Semua atom FCC adalah identik dan memiliki arah permukaan atom diagonal. APF untuk struktur FCC ialah 0,74.

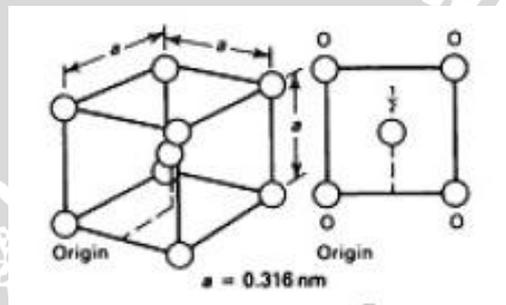
$$\begin{aligned} \text{Arah FCC} &= 4R \\ &= \sqrt{2}a \end{aligned} \quad (2-1)$$

$$\begin{aligned} \text{Kandungan setiap sel} &= 6 \times \frac{1}{2} + 8 \times \frac{1}{8} \\ &= 4 \text{ atom/unit sel} \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\begin{aligned} \text{APF} &= \frac{\text{Volume atom dalam unit sel}}{\text{Volume unit sel}} \\ &= \frac{4 \cdot \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{2}a}{4}\right)^3}{a^3} \end{aligned} \quad (2-3)$$

- BCC (*Body Center Cubic*)

Logam-logam dengan struktur BCC mempunyai sebuah atom pada setiap titik sudut kubus.

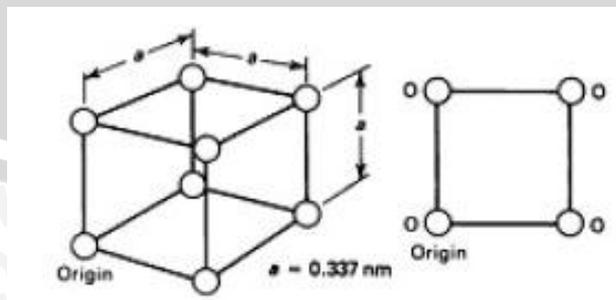


Gambar 2.8 Struktur kristal BCC

Sumber: ASM International, *Alloy Phase Diagram* (1992:29)

- SCC (*Structure Cubic Simple*)

Merupakan struktur kristal yang paling sederhana, yaitu berupa sebuah Kristal dengan satu atom dimana titik sudutnya. Sehingga dalam satu sisi kristal terdapat 8 atom.

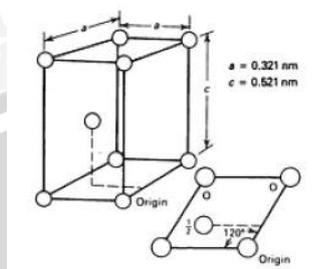


Gambar 2.9 Struktur kristal SCC

Sumber: ASM International, *Alloy Phase Diagram* (1992:30)

- HCP (*Hexagonal Close Pack*)

Ciri khas logam dengan struktur ini, yaitu setiap atom dalam lapisan tertentu terletak diantara sela 3 atom pada lapisan berikutnya.

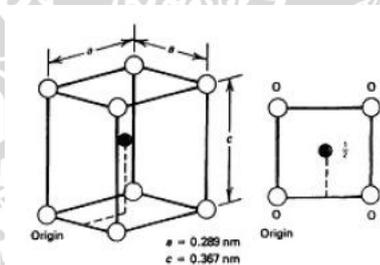


Gambar 2.10 Struktur Kristal HCP

Sumber: ASM International, *Alloy Phase Diagram* (1992:30)

- BCT (*Body Center Tetrahedron*)

Disebut juga martensit, memiliki struktur yang keras dan getas (struktur halus seperti jarum). BCT terjadi karena proses quenching yang menyebabkan struktur FCC tidak stabil dan berubah menjadi BCT secara serentak.

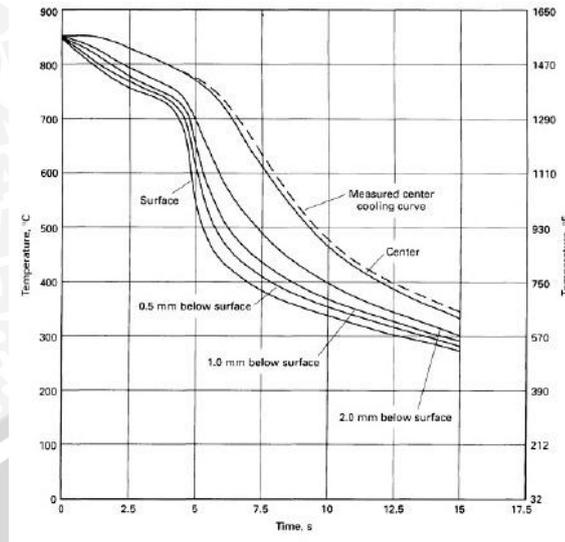


Gambar 2.11 Struktur kristal BCT

Sumber: ASM International, *Alloy Phase Diagram* (1992:32)

2.6 Diagram Kecepatan Pendinginan (TTT Diagram)

Pada *Time Temperatur Transformation Diagram* (TTT diagram) yang mempunyai waktu sebagai absis dan temperatur sebagai ordinat, maka pada diagram tersebut dapat diplot berbagai kurva pendinginan. Dari masing-masing kurva pendinginan ini dapat dipelajari transformasi yang terjadi, seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.12 Time Temperature Transformation Diagram.

Sumber: ASM International, *Heat Treating* (1991:37)

Kurva pendinginan 1 menggambarkan pendinginan yang sangat lambat, seperti pada *annealing*. Transformasi akan mulai terjadi pada titik x_1 yang akan menghasilkan perlit yang sangat kasar. Transformasi akan berlangsung sampai pada titik x'_1 . Karena ada perbedaan temperatur awal dan akhir transformasi maka akan ada perbedaan kekasaran perlit yang dihasilkan pada awal dan akhir transformasi. Setelah melewati x'_1 kecepatan pendinginan tidak lagi berpengaruh terhadap struktur dan sifat dari hasil transformasi, karenanya pendinginan dapat dilakukan dengan cepat.

Kurva pendinginan 2 menggambarkan transformasi berlangsung pada temperatur konstan, sehingga hasil transformasi lebih homogen.

Kurva pendinginan 3 menggambarkan pendinginan yang lebih cepat, seperti pada *normalizing*. Transformasi dimulai pada titik x_3 dengan hasil perlit kasar dan berakhir pada x'_3 dengan hasil perlit medium. Hasil akhir akan merupakan campuran perlit dari berbagai kekasaran antara kasar dan medium. Kurva pendinginan 4 juga serupa, kekasarannya antara medium dan halus.

Kurva pendinginan 5 transformasi mula-mula menghasilkan perlit halus, tetapi setelah 25% austenite bertransformasi, transformasi terhenti dan pada saat itu kurva 25% berbelok kekanan dan kurva pendinginan akan mengarah ke prosentase transformasi yang mengecil atau jumlah perlit yang sudah terjadi akan berkurang. Berkurangnya perlit tidak disebabkan menjadi austenite kembali, karena pada pendinginan perlit tidak dapat menjadi austenite. Karenanya pada titik itu transformasi

terhenti. Transformasi akan dimulai lagi bila temperatur mencapai M_s , yaitu pada titik x'_5 . Di sini austenite yang belum menjadi perlit akan bertransformasi menjadi martensit. Pada temperatur kamar akan terlihat 25% perlit dan 75% martensit.

Kurva pendinginan 6 menggambarkan pendinginan yang sangat cepat sehingga tidak terjadi transformasi di daerah hidung. Transformasi baru akan terjadi bila temperatur mencapai M_s dan berakhir pada M_f . Struktur yang terjadi seluruhnya martensit. Hal seperti ini juga terjadi pada kurva pendinginan 7.

Semua kurva pendinginan yang lebih lambat dari pada kurva pendinginan 7 tidak akan menghasilkan 100% martensit. Oleh karena itu kurva pendinginan 7 disebut kurva kecepatan pendinginan kritis atau disebut *critical cooling rate*, yang disingkat CCR. Kurva CCR dapat dibuat dengan menggambar kurva yang tepat menyinggung hidung diagram.

Dengan pendinginan kontinu seperti yang digambarkan di depan dapat dihasilkan struktur yang sepenuhnya perlitik atau sepenuhnya martensitik, tetapi tidak akan dapat menghasilkan struktur yang sepenuhnya bainitik. Struktur yang sepenuhnya bainitik dapat diperoleh kombinasi kurva pendinginan 6 atau 7. Kemudian setelah melewati hidung, temperatur dipertahankan konstan, misalnya dengan kurva 8. Bila melalui kurva 5 dan kurva 8 akan diperoleh sebagian (25%) perlit dan sebagian bainit.

Kecepatan pendinginanyang dialami suatu benda kerja banyak tergantung pada media pendinginan yang digunakan untuk pendinginan cepat tersebut. Beberapa media pendinginan cepat yang sering digunakan diurutkan menurut kemampuannya mendinginkan adalah: *brine* (air + 10% garam dapur), air, garam cair, larutan minyak dalam air, minyak dan udara.

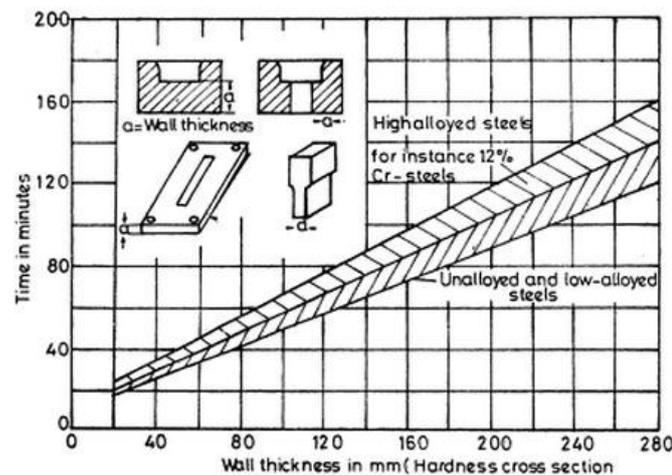
Disamping itu kemampuan pendinginan juga tergantung pada temperatur medium pendinginan.

2.7 Holding Time

Lama waktu *holding time* untuk mengeraskan spesimen bergantung pada tipe baja dan pemilihan temperature yang akan digunakan. Dalam banyak kasus, suhu batas atas dipilih. Meskipun di dalam penampang menunjukkan perbedaan yang besar, oleh karena itu suhu yang rendah lebih dianjurkan. Karena itu *holding time* disarankan digunakan pada awal proses *heat treatment* daripada diakhir proses *heat treatment*. Untuk menghindari resiko *overheating* yang menyebabkan butiran menjadi lebih buruk, material bukan alloy dan *low-alloy steel* harus dijaga untuk jangka waktu yang lebih

pendek. Sedangkan untuk material-material *high-alloy* dan *special hot working steel* yang banyak mengandung Karbida disarankan untuk memberikan waktu *holding time* yang lebih lama guna mencapai kekerasan yang optimal.

Pada gambar di bawah, menunjukkan berapa pemilihan waktu *holding time* yang tepat untuk digunakan.



Gambar 2.13 Lama waktu *holding time* terhadap kedalaman kekerasan penampang

Sumber: Prabhudev (1988:62)

2.8 Uji Kekerasan Permukaan

2.8.1 Pengertian Uji Kekerasan Permukaan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi, dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujian. Ketiga jenis tersebut adalah:

1. Kekerasan goresan (*scratch hardness*)
2. Kekerasan lekukan (*indentation hardness*)
3. Kekerasan dinamik (*dynamic hardness*)

2.8.2 Uji Kekerasan Permukaan *Micro Vickers*

Uji kekerasan *Vickers* termasuk uji kekerasan permukaan yang berjenis lekukan, karena menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid yang saling berhadapan adalah 136°. Sudut ini dipilih, karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai

perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell. Karena bentuk penumbuknya piramid, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan piramida intan (DPH), atau angka kekerasan Vickers (VHN atau VPH), didefinisikan sebagai beban dibagi luar permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. DPH dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$VHN = \frac{2 \cdot F}{d^2} \sin \frac{\theta}{2} = 1,854 \frac{F}{d^2} \quad (2-4)$$

keterangan :

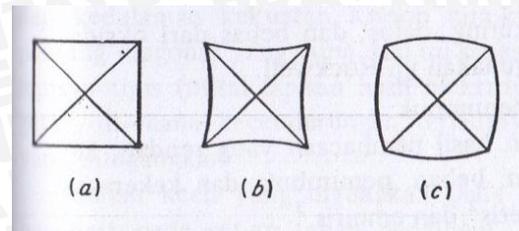
F = beban yang diterapkan, kg

d = panjang diagonal rata-rata, mm

θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°

Uji kekerasan *Vickers* banyak dilakukan pada pekerjaan penelitian, karena metode tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu, untuk suatu beban tertentu dan digunakan pada logam yang sangat lunak, yakni DPH-nya 5 hingga logam yang sangat keras, dengan DPH 1500. Beban yang biasanya digunakan pada uji kekerasan Vickers berkisar antara 1 hingga 120 kg, tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji.

Lekukan yang benar yang dibuat oleh penumbuk piramida intan harus berbentuk bujur sangkar. Lekukan bantalan jarum pada gambar (b) adalah akibat terjadinya penurunan logam disekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terdapat pada logam-logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Lekukan berbentuk tong pada gambar (c), terdapat pada logam-logam yang mengalami pengerjaan dingin. Bentuk demikian diakibatkan oleh penimbunan ke atas logam-logam disekitar permukaan penumbuk. Ukuran diagonal pada kondisi demikian akan menghasilkan luas permukaan kontak yang kecil, sehingga menimbulkan kesalahan angka kekerasan yang besar. Ada koreksi empiris untuk menaggulangi pengaruh hal di atas.



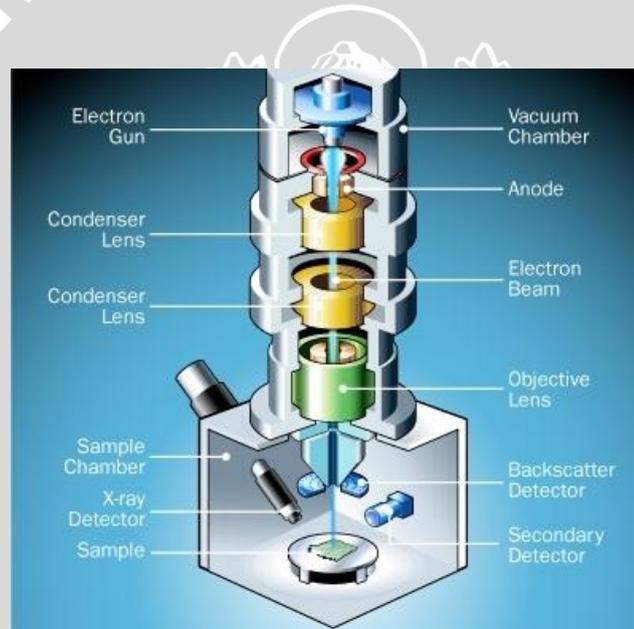
Gambar 2.14 Tipe-tipe lekukan piramida intan

Sumber : Dieter (1987:335)

2.9 Uji Morfologi SEM (*Scanning Electron Microscope*)

2.9.1 Pengertian Uji Morfologi SEM

Mesin uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah sebuah mesin yang digunakan untuk mengetahui struktur morfologi dan unsur logam yang terkandung di dalam suatu spesimen uji. Mesin ini memiliki 5 bagian utama, yaitu:



Gambar 2.15 Bagian-bagian mesin uji SEM

Sumber : Hafner (2007:1)

1. *Electron Gun*

Berguna untuk menembakkan electron pada spesimen.

2. *Lens (Condenser & Objective)*

Berguna untuk mengontrol fokus penscanan pada spesimen.

3. *Apertures*

Apertures (lubang mikro pada metal film) berguna untuk mengetahui struktur mikro pada spesimen.

4. Posisi Spesimen

Berguna untuk menempatkan spesimen yang akan diuji SEM.

5. Area Interaksi Spesimen

Berguna untuk mendeteksi dan memproses hasil interaksi penyekanan pada spesimen untuk menghasilkan foto atau garis spektral.

Cara kerja lensa objektif ialah dengan memfokuskan sinar elektron yang ditembakkan dari *electron gun* pada permukaan spesimen. Lalu, *detector* akan menghasilkan sinyal yang selanjutnya diproses menjadi foto atau garis spectral yang akan dimunculkan pada monitor.

Penscanan ini dimulai dari pojok kiri atas spesimen ke kanan, lalu kembali lagi ke kiri bawah, kemudian ke kanan. Begitu seterusnya hingga keseluruhan spesimen telah tersinari elektron. Resolusi gambar yang kita pilih pada hasil penscanan akan mempengaruhi hasil foto mikrostruktur.

2.9.2 Parameter Pengujian Morfologi SEM

Agar hasil penyinaran electron pada spesimen uji baik, maka kita perlu mengetahui parameter penggunaan dari mesin uji SEM. Ada 3 parameter yang harus dipahami, yaitu:

- *Power Input* (kV)

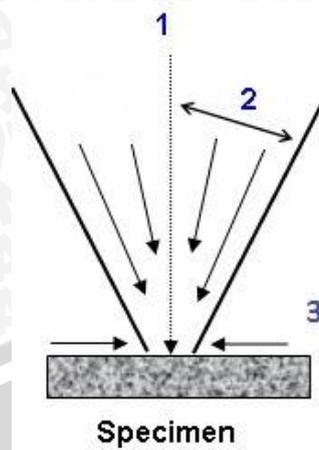
Power input elektron dari *electron gun* menuju permukaan spesimen.

- Sudut Konvergen (α)

Sinar electron yang menyinari berbentuk kerucut.

- Diameter Penyinaran (dp)

Besar atau kecilnya diameter ujung kerucut yang digunakan untuk menyinari permukaan spesimen.

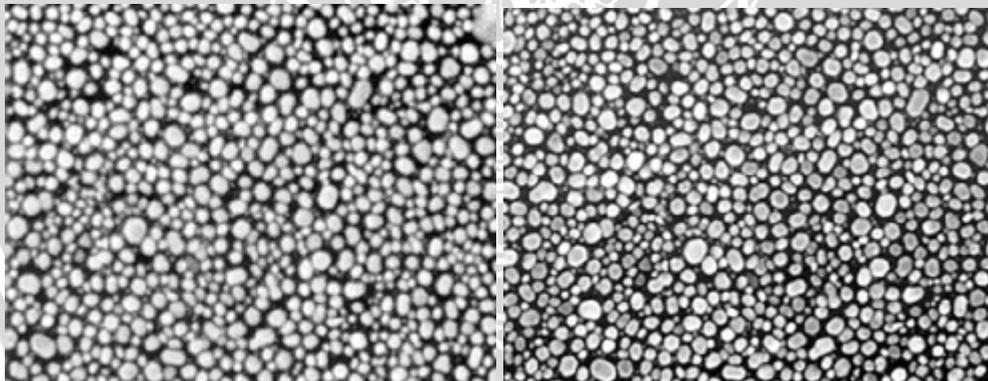


Gambar 2.16 Parameter yang perlu diperhatikan dalam penyinaran elektron

Sumber : Hafner (2007:3)

Parameter yang paling berpengaruh pada saat pengambilan gambar menggunakan mesin uji SEM ialah parameter kecepatan penyinaran (kV). Kecepatan penyinaran ini bervariasi dari 1 kV – 30 kV. Meningkatkan kecepatan penyinaran maka akan menyebabkan:

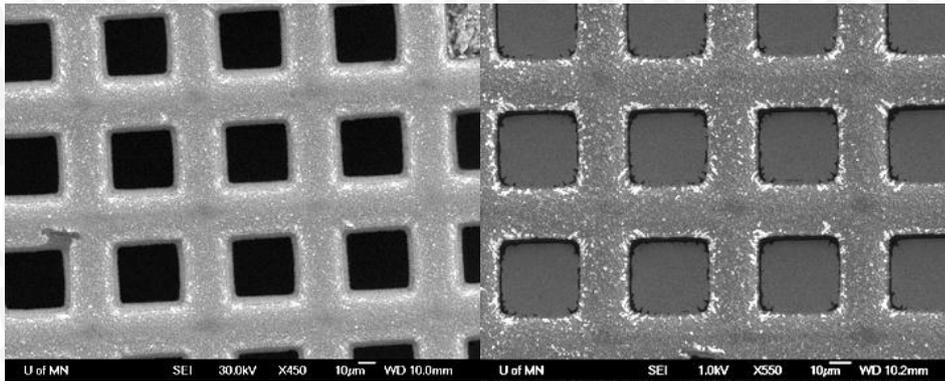
- Berkurangnya abrasi pada lensa dan menghasilkan foto yang memiliki resolusi tinggi.



Gambar 2.17 kiri: morfologi emas dengan kecepatan penyinaran 5 kV & kanan: morfologi emas dengan kecepatan penyinaran 25 kV.

Sumber: Hafner (2007:9)

- Akan menghasilkan kontras yang baik dan signal yang tinggi.
- Berpotensi merusak spesimen yang memiliki karakteristik non-konduktif.
- Karbon film tidak akan terlihat pada kecepatan penyinaran yang tinggi.

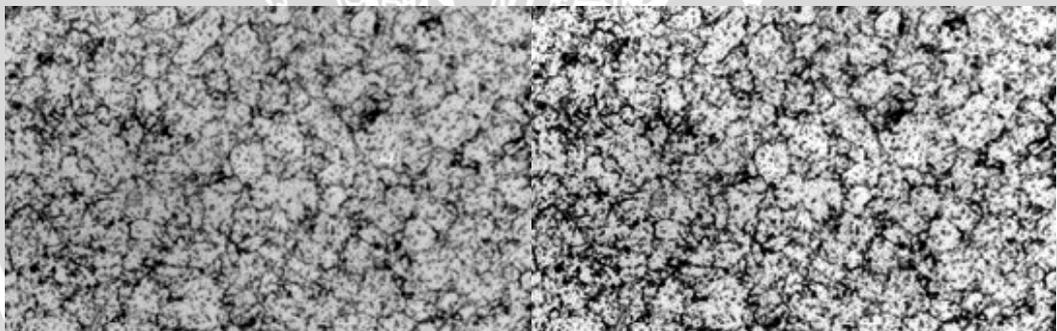


Gambar 2.18 kiri: morfologi batu bara dengan kecepatan penyinaran 20 kV & kanan: morfologi batu bara dengan kecepatan penyinaran 2 kV.

Sumber: Hafner (2007:9)

Lalu parameter berikutnya yang turut mempengaruhi hasil dari foto morfologi suatu spesimen ialah diameter penyinaran (dp). Pengaturan besar atau kecilnya suatu diameter penyinaran terletak pada lensa condenser. Dengan membesarkan diameter penyinaran, maka akan menghasilkan:

- Menghasilkan nilai resolusi yang rendah.
- Meningkatkan abrasi pada lensa.



Gambar 2.19 kiri: morfologi aluminium dengan diameter penyinaran kecil & kanan: morfologi aluminium dengan diameter penyinaran besar.

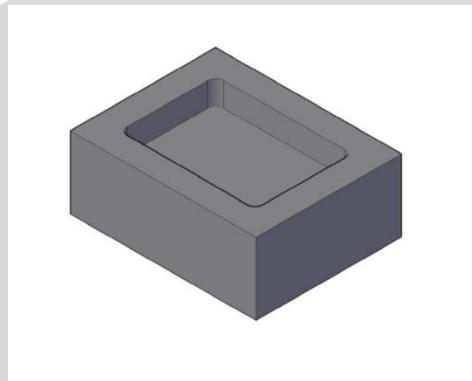
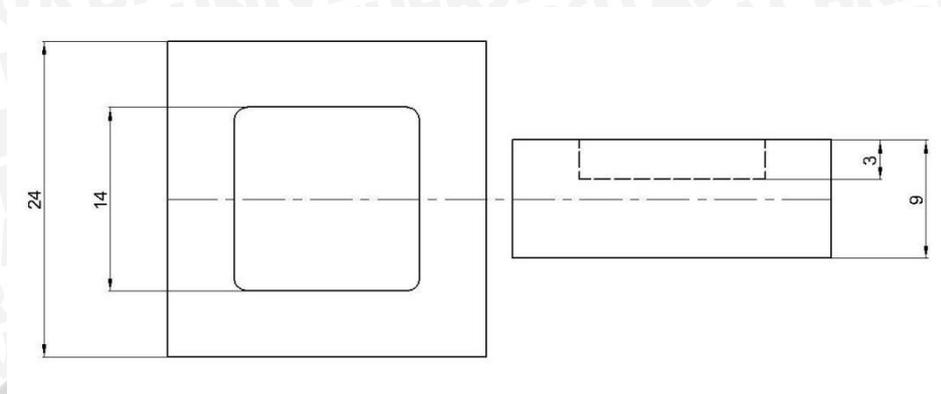
Sumber: Hafner (2007:10)

2.10 Bentuk dan Ukuran Benda Uji

Benda uji yang akan digunakan pada penelitian ini memiliki dimensi:

- Ukuran spesimen dalam mm.
- Spesimen dibentuk kubus dengan ukuran panjang 24 mm, lebar 24 mm dan tinggi 9 mm.

- Pola ceruk dibentuk kubus juga dengan ukuran panjang 15 mm, lebar 15 mm dan kedalamnya 3 mm.



Gambar 2.20 Spesimen uji aluminium alloy 6061

2.11 Hipotesa

Dengan penambahan proses *holding time* pada spesimen uji, maka akan menyebabkan struktur butirannya menjadi kecil dan rapat, sehingga meningkatkan nilai kekerasan permukaannya.

Dengan menginjeksikan gas Nitrogen kedalam *chamber Gas Nitriding* dengan tekanan yang lebih tinggi daripada tekanan di dalam *chamber Gas Nitriding* dan memanasi *chamber Gas Nitriding* dengan suhu sebesar 400°C, diharapkan unsur Nitrogen dapat berdifusi kedalam spesimen uji.