

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Berbagai penelitian tentang peningkatan kekerasan suatu produk atau benda dengan proses metalurgi serbuk sudah banyak oleh peneliti. Ada banyak tinjauan pustaka yang melandasi munculnya gagasan untuk meneliti judul yang ditulis karena adanya dorongan untuk mencari metode baru dan pembahasan baru sehingga dapat membantu dalam penyusunan laporan ini. Ada banyak jurnal penelitian yang mengangkat tentang materi yang disajikan.

Pembuatan komposit matriks logam dimulai pada proses pengayakan serbuk aluminium, serbuk SiC dan abu vulkanik dengan ukuran 200 mesh (0,074 mm). Kemudian pencampuran Al-SiC dengan perbandingan komposisi (90 : 10 %wt). Dan pencampuran Al/SiC dengan variasi komposisi Abu Vulkanik (100 : 0, 95 : 5, 90 : 10, 85 : 15 %wt). Kemudian hasil pencampuran di kompakasi dengan tekanan 14 ton-force dengan waktu penahanan 10 menit. Selanjutnya hasil spesimen yang terkompaksi, disintering dengan temperatur 570°C di dalam mesin furnace selama 2 jam. Setelah hasil dari sintering tersebut siap dilakukan pengujian sifat mekanik dan foto mikrostruktur. Hasil pengujian bending dan kekerasan di dapat dengan bertambahnya komposisi abu vulkanik menghasilkan nilai kekuatan bending dan kekerasan vickers juga bertambah secara berturut-turut. Pada pencampuran Al/SiC : Abu Vulkanik (85 : 15%) mendapat nilai tertinggi pada bending 27,287 mpa dan kekerasan vickers 77,009 VHN. (Firdaus Lie Jansen, 2018)

Ali Saifullah, dkk (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi waktu sintering terhadap karakter intermetallic bonding al-ti hasil metalurgi serbuk. Penelitian metalurgi serbuk ini menggunakan rekayasa material komposit metal antara Aluminium (Al) sebagai matrik dengan Titanium (Ti) sebagai penguat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu tahan sinter 30, 50, 70, 90 menit, dengan suhu konstan sinter 500°C . Dari hasil uji SEM, spesimen dengan waktu tahan sinter 90 menit mengalami interlocking atau

necking antar partikel serbuk. Kekerasan Ti-Al maksimum sebesar 45 HRB diperoleh pada holding time *sintering* 90 menit pada temperatur sinter optimum 500°C, dan waktu *sintering* optimum antara 70 hingga 90 menit. Sintering dilakukan pada temperatur 500°C dengan variasi waktu sinter 30 menit, 50 menit, 70 menit, dan 90 menit. Pada temperatur sinter 500°C dengan waktu sinter yang bervariasi, pada waktu sinter 30 menit didapatkan hasil kekerasan rockwell yaitu 34.2 HRB, waktu sinter 50 menit didapatkan hasil kekerasan 36.3 HRB, waktu sinter 70 menit didapatkan hasil kekerasan 40.2 HRB, dan waktu sinter 90 menit didapatkan hasil kekerasan 41.6 HRB. Dari penilitain yang dilakukan yaitu, Toor (2016) menyatakan bahwa pada uji microhardness hubungan antara waktu holding sintering dan nilai kekerasan adalah semakin tinggi waktu holding sintering akan meningkatkan nilai kekerasan.

Prasetyo (2004) melakukan penelitian tentang karakteristik aluminium hasil proses metalurgi serbuk. Bahan dasar serbuk yang digunakan dihasilkan dengan mengikir batang aluminium. Butiran hasil pengikiran berbentuk irreguler. Pematatan butiran dilakukan dengan tekanan 0,17 kN/mm². *Sintering* dilakukan pada temperatur 300°C, 400°C dan 500°C. Waktu sinter 60 menit dan 90 menit. Pada *sintering* dengan temperatur 300°C dan 400°C gagal karena benda uji terlalu rapuh. Pada temperatur *sintering* 500°C dan waktu sinter 60 menit dihasilkan kekerasan vickers benda 10,5 (VHN), sedangkan dengan waktu *sintering* 80 menit pada temperatur yang sama dihasilkan kekerasan benda adalah 12,3 (VHN). Pada penelitian tersebut benda uji yang berhasil dibuat hanya dua, sehingga kurang mencukupi untuk dapat menarik kesimpulan yang cukup valid.

Suwanda (2006) melakukan penelitian tentang optimasi tekanan kompaksi, temperatur sintering dan waktu sintering terhadap kekerasan. Pengaruh tekanan dan temperature. Kekerasan maksimum $H = 47$ BHN dapat diperoleh pada tekanan sekitar 170 Mpa dan waktu sinter antara 40 hingga 50 menit. Berdasarkan hasil dapat diperkirakan bahwa kekerasan maksimum aluminium pada penelitian ini dapat diperoleh pada tekanan kompaksi sekitar 170 Mpa, temperatur sintering sekitar 500 °C dan waktu sintering antara 40 menit hingga 50 menit dengan kekerasan Brinell 47.

Totok, dkk (2008) melakukan penelitian tentang perbandingan kekerasan dan kekuatan tekan paduan Cu – Sn 6% hasil proses metalurgi serbuk dan sand casting. Penelitian dengan proses metalurgi serbuk ini menggunakan Cu sebagai logam utamanya dengan 6% Sn sebagai logam paduannya. Tekanan kompaksi yang digunakan adalah 200 Mpa, temperatur sintering 800 oC dan waktu 45 menit. Kapasitas cetakan yang digunakan untuk menampung serbuk sebanyak 6 gram. Setelah mengetahui daya tampung cetakan, maka berat dari Cu dengan 6% Sn yang telah ditentukan persentasenya dapat ditentukan. Adapun berat dari unsur Cu = 5,64 gram dan berat untuk unsur Sn = 0,36 gram. Penelitian dengan proses sand casting dibuat dari logam Cu sebagai logam utama dan Sn sebanyak 6% sebagai penguatnya. Dari pengujian kekuatan tekan dapat diketahui perbedaan kemampuan menahan tekanan antara produk pengecoran dan metalurgi serbuk. Produk hasil pengecoran memiliki kekuatan tekan rata-rata 680,8 MPa lebih rendah dari pada produk hasil dari metalurgi serbuk 944,4 MPa.

2.2 Aluminium

Aluminium ditemukan pada tahun 1825 oleh Hans Christian Oersted. Baru diakui secara pasti oleh F. Wohler pada tahun 1827. Sumber unsur ini tidak terdapat bebas, bijih utamanya adalah bauksit. Penggunaan Aluminium antara lain untuk pembuatan kabel, kerangka kapal terbang, mobil dan berbagai produk peralatan rumah tangga. Senyawanya dapat digunakan sebagai obat, penjernih air, fotografi serta sebagai ramuan cat, bahan pewarna, ampelas dan permata sintesis. Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya. Kekuatan tarik Aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki kekuatan tarik berkisar hingga 600 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja, mudah ditekuk, diperlakukan dengan mesin, dicor, ditarik (drawing), dan diekstrusi. Resistansi terhadap korosi terjadi akibat fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan Aluminium Oksida ketika Aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan Aluminium Oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Dalam keadaan

murni aluminium terlalu lunak, terutama kekuatannya sangat rendah untuk dapat dipergunakan pada berbagai keperluan teknik. Dengan pepaduan ini dapat diperbaiki Jenis dan pengaruh unsur-unsur paduan terhadap perbaikan sifat aluminium antara lain:

1. Silikon (Si)

Dengan atau tanpa paduan lainnya silikon mempunyai ketahanan terhadap korosi. Bila bersama aluminium ia akan mempunyai kekuatan yang tinggi setelah perlakuan panas, tetapi silikon mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang jelek, selain itu juga mempunyai ketahanan koefisien panas yang rendah.

2. Tembaga (Cu)

Dengan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasannya dan kekuatannya karena tembaga bisa memperhalus struktur butir dan akan mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu tempa, keuletan yang baik dan mudah dibentuk.

3. Magnesium (Mg)

Dengan unsur magnesium pada aluminium akan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu las serta kekuatannya cukup.

4. Nikel (Ni)

Dengan unsur nikel aluminium dapat bekerja pada temperature tinggi, misalnya piston dan silinder head untuk motor.

5. Mangan (Mn)

Dengan unsur mangan aluminium sangat mudah dibentuk, tahan korosi baik, sifat dan mampu lasnya baik.

6. Seng (Zn)

Umumnya seng ditambahkan bersama-sama dengan unsur tembaga dalam prosentase kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas, juga kemampuan mesin.

7. Ferro (Fe)

Penambahan ferro dimaksud untuk mengurangi penyusutan, tapi

penambahan ferro (Fe) yang besar akan menyebabkan struktur perubahan butir yang kasar namun hal ini dapat diperbaiki dengan Mg atau Cr.

8. Titanium (Ti)

Penambahan titanium pada aluminium dimaksud untuk mendapat struktur butir yang halus. Biasanya penambahan bersama-sama dengan Cr dalam prosentase 0,1%, titanium juga dapat meningkatkan mampu mesin.

2.2.1 Klasifikasi penggolongan Aluminium

1. Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan tensil sebesar 90 MPa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga seringkali aluminium dipadukan dengan logam lain.

2. Aluminium Paduan

Elemen paduan yang umum digunakan pada aluminium adalah silikon, magnesium, tembaga, seng, mangan, dan juga lithium sebelum tahun 1970. Secara umum, penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu meningkatkan kekuatan tensil dan kekerasan, serta menurunkan titik lebur. Jika melebihi konsentrasi tersebut, umumnya titik lebur akan naik disertai meningkatnya kerapuhan akibat terbentuknya senyawa, kristal, atau granula dalam logam. Namun, kekuatan bahan paduan aluminium tidak hanya bergantung pada konsentrasi logam paduannya saja, tetapi juga bagaimana proses perlakuannya hingga aluminium siap digunakan, apakah dengan penempaan, perlakuan panas, penyimpanan, dan sebagainya. Kelemahan aluminium paduan adalah pada ketahanannya terhadap lelah (fatigue). Aluminium paduan tidak memiliki batas lelah yang dapat diperkirakan seperti baja, yang berarti failure akibat fatigue dapat muncul dengan tiba-tiba bahkan pada beban siklik yang kecil.

2.2.2 Sifat Kekerasan Aluminium

Kekerasan gabungan dari berbagai sifat yang terdapat dalam suatu bahan yang mencegah terjadinya suatu deformasi terhadap bahan tersebut ketika diaplikasikan suatu gaya. Kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh elastisitas,

plastisitas, viskoelastisitas, kekuatan tarik, ductility, dan sebagainya. Kekerasan dapat diuji dan diukur dengan berbagai metode. Yang paling umum adalah metode Brinell, Vickers, Mohs, dan Rockwell. Kekerasan bahan aluminium murni sangatlah kecil, yaitu sekitar 20 skala Brinell, sehingga dengan sedikit gaya saja dapat mengubah bentuk logam. Untuk kebutuhan aplikasi yang membutuhkan kekerasan, aluminium perlu dipadukan dengan logam lain dan/atau diberi perlakuan termal atau fisik.

2.3 Silikon Karbida

Silikon karbida adalah material keramik yang memiliki kekerasan tinggi. Jika dibandingkan dengan material keramik lain, material SiC memiliki kekerasan yang tinggi namun berat jenisnya lebih ringan dibandingkan keramik dari alumina.

Silikon karbida atau juga dikenal dengan carborundum adalah suatu turunan senyawa silikon dengan rumus molekul SiC, terbentuk melalui ikatan kovalen antara unsur Si dan C (Anonim, 2011a). Silikon karbida merupakan salah satu material keramik non-oksida paling penting, dihasilkan pada skala besar dalam bentuk bubuk (powder), bentuk cetakan, dan lapisan tipis.

Sifat mekaniknya yang sangat baik, konduktivitas listrik dan termal tinggi, ketahanan terhadap oksidasi kimia sangat baik. SiC juga memiliki sifat-sifat penting sebagai berikut: unggul tahan oksidasi, unggul tahan rayapan, kekerasan tinggi, kekuatan mekanik baik, Modulus Young sangat tinggi, korosi baik dan tahan erosi, dan berat relatif rendah. material mentah SiC relatif murah, dan dapat dibuat dalam bentuk-bentuk kompleks, dimana memungkinkan disiasati melalui proses fabrikasi konvensional.

Silikon karbida berkelanjutan digunakan serat untuk monofilamen berdiameter besar dan benang multifilamen halus. Silikon karbida serat secara inheren lebih ekonomis dari serat boron, dan sifat serat silikon karbida umumnya baik atau lebih baik dari pada boron. Komposit partikulat pada umumnya diberi penguat material keramik seperti SiC, dan material keramik yang lainnya. Keunggulan dari material MMC, mempunyai sifat kekakuan yang tinggi, densitas

yang rendah, kekerasan yang tinggi dan biaya produksi yang cukup rendah. Butiran silikon karbida (SiC) merupakan salah satu diantara keramik yang sangat keras. Silikon karbida (SiC) dengan struktur tetrahedra dari karbon dan atom silikon dengan ikatan yang kuat dalam kisi kristal. Hal ini menghasilkan bahan yang sangat keras dan kuat. Butiran silikon karbida tahan terhadap asam atau basa serta garam sampai 1800-1900 0C.

Di udara, silikon karbida membentuk oksida pelindung pada 1100° C dan dapat digunakan mencapai 1700 ° C dan sangat efektif sebagai bahan tahan peluru. Ukurannya yang kecil, dan memiliki derajat kekuatan yang tinggi kesempurnaan kristal dan yang hampir tidak ada cacat yang memberikan kekuatan yang sangat tinggi.

SiC yang termasuk dalam bahan keramik memiliki beberapa kelebihan yang dapat digunakan pada bidang industri dan otomotif. Pada kondisi tertentu dapat lebih memenuhi criteria yang diperlukan bila dibandingkan dengan logam, karena keunggulannya yang tahan korosi, gesekan, dan temperatur tinggi.

2.3.1 Proses Pembuatan SiC

a. Proses *Acheson*

Silikon Karbida pertama kali ditemukan oleh Edward G. Acheson tahun 1891 ketika sedang berusaha memproduksi Intan tiruan. Pada saat penemuannya, Acheson memanaskan campuran antara tanah liat dengan batubara dalam suatu mangkuk besi. Mangkuk besi tersebut dan Batang Karbon berfungsi sebagai elektroda. Pada akhirnya dihasilkan Kristal berwarna hijau pada bagian elektroda karbon. Pada saat itu dia mengira butiran kristal tersebut adalah hasil campuran antara Aluminium dan Karbon sehingga dinamakan Carborndum (nama mineral alumina adalah Corundum). Mineral baru tersebut memiliki kekerasan yang hampir sama dengan intan, sehingga mineral tersebut digunakan dalam industri abrasif.

Pada saat yang sama, Henri Moissan dari Perancis berhasil memproduksi campuran antara Kuarsa dan Karbon, namun pada publikasi tahun 1903 Mossian menjelaskan penemuannya kepada Acheson. Silikon

Karbida juga ditemukan pada suatu lembah dari meteorit di Arizona diberi nama Moissanite.

b. Proses pembuatan modern.

Proses Pembuatan Silikon Karbida merupakan reaksi karbotermal yakni proses yang melibatkan reaksi antara kuarsa dengan tingkat kemurnian tinggi atau pecahan-pecahan kuarsit dengan karbon (grafit, karbon black atau batu bara pada temperatur antara 1600°C – 2500°C). Disebut reaksi Acheson karena pertama kali ditemukan Edward Acheson dengan menggunakan tanur listrik yang pada saat itu juga baru diperkenalkan (Austin, 1996).

2.4 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan salah satu teknik produksi dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan. Prinsip ini adalah memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian memanaskannya di bawah temperatur leleh. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Sebagai ukuran ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*). Proses metalurgi serbuk adalah merupakan proses pembuatan produk dengan menggunakan bahan dasar dengan bentuk serbuk yang kemudian di *sinter* yaitu proses konsolidasi serbuk pada temperatur tinggi yang di dalamnya termasuk juga proses penekanan atau kompaksi.

Proses metalurgi serbuk memiliki banyak keuntungan antara lain:

1. Efisiensi pemakaian bahan yang sangat tinggi dan hampir mencapai 100%
2. Tingkat terjadinya cacat seperti segregasi dan kontaminasi sangat rendah
3. Stabilitas dimensi sangat tinggi
4. Kemudahan dalam proses standarisasi dan otomatisasi
5. Tidak menimbulkan tekstur pada produk

6. Besar butir mudah dikendalikan
7. Mudah dalam pembuatan produk beberapa paduan khusus yang susah didapatkan dengan proses pengecoran (casting)
8. Porositas produk mudah dikontrol
9. Cocok untuk digunakan pada material dengan kemurnian tinggi
10. Cocok untuk pembuatan material komposit dengan matriks logam.

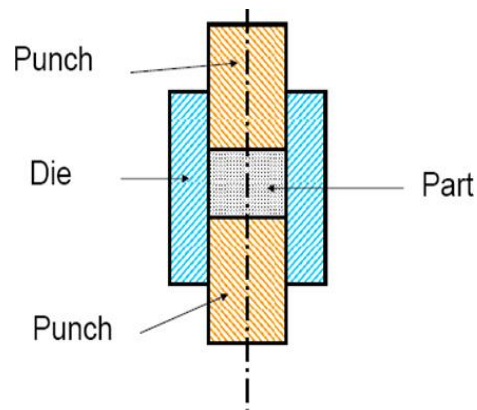
Keterbatasan metalurgi serbuk, antara lain:

1. Biaya pembuatan yang mahal dan terkadang serbuk sulit penyimpanannya
2. Dimensi yang sulit tidak memungkinkan, karena selama penekanan serbuk logam tidak mampu mengalir ke ruang cetakan
3. Sulit untuk mendapatkan kepadatan yang merata.

Proses metalurgi serbuk untuk aplikasi magnetik yang dalam hal ini adalah untuk memproduksi material magnetic lunak (soft magnetic materials) untuk aplikasi arus DC pada peralatan elektronik juga untuk magnet permanent. Dalam beberapa tetapi tidak berarti semua bagian dari aplikasi yang ada diproduksi dengan proses metalurgi serbuk karena metode ini dapat menghasilkan bentuk akhir dengan proses tambahan seperti machining dan grinding minimal pada satu waktu untuk mendapatkan sifat magnet yang diinginkan.

2.5 Pematatan

Proses pematatan atau kompaksi adalah suatu proses pembentukan logam dari serbuk logam dengan mekanisme penekanan setelah serbuk logam dimasukkan ke dalam cetakan. Proses kompaksi pada umumnya dilakukan dengan penekanan satu arah dan dua arah. Pada penekan satu arah penekan atas bergerak kebawah. Sedangkan pada dua arah, penekan atas dan penekan bawah saling menekan secara bersamaan dalam arah yang berlawanan. Jenis dan macam produk yang dihasilkan oleh proses metalurgi serbuk sangat ditentukan proses kompaksi dalam membentuk serbuk dengan kekuatan yang baik.



Gambar 2. 1 Penekanan dengan *dual action press* [12]

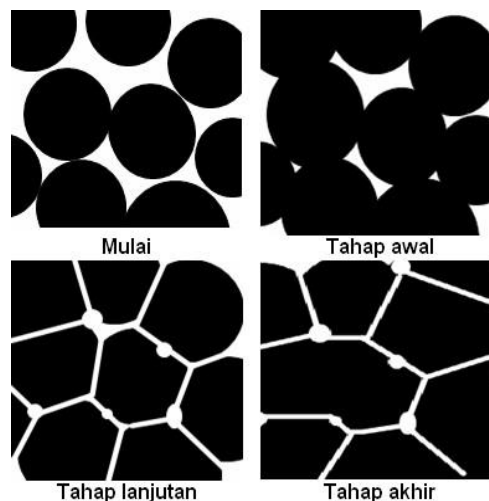
Bahan-bahan dengan kekerasan rendah, seperti aluminium, kuningan, dan perunggu memerlukan tekanan pemadatan yang rendah. Bahan-bahan dengan kekerasan tinggi seperti besi, baja, dan nikel paduan memerlukan tekanan pemadatan yang tinggi. Semakin tinggi tekanan pemadatan akan menaikkan berat jenis hingga kondisi optimum. Di atas tekanan optimum tersebut, peningkatan tekanan tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan massa jenis.

Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses sintering. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode metalurgi serbuk, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya interlocking antar permukaan, interaksi adhesi-kohesi, dan difusi antar permukaan. Untuk yang terakhir ini (difusi) dapat terjadi pada saat dilakukan proses sintering. Bentuk benda yang dikeluarkan dari pressing disebut bahan kompak mentah, telah menyerupai produk akhir, akan tetapi kekuatannya masih rendah. Kekuatan akhir bahan diperoleh setelah proses sintering.

2.6 Sintering

Proses *sintering* merupakan metode pembuatan produk dari bahan serbuk yang sebelumnya dilakukan proses kompaksi kemudian dengan memanaskan material dibawah titik leburnya sehingga partikel-partikelnya berikatan satu sama lain.

Pada proses *sintering*, benda padat terjadi karena terbentuk ikatan-ikatan antar partikel. Panas menyebabkan bersatunya partikel dan efektivitas reaksi tegangan permukaan meningkat dengan perkataan lain, proses sinter menyebabkan bersatunya partikel sedemikian rupa sehingga kepadatan bertambah. Selama proses ini terbentuklah batas-batas butir, yang merupakan tahap permulaan rekristalisasi. Di samping itu, gas yang ada menguap dan temperatur sinter umumnya berada di bawah titik cair unsur serbuk utama selama proses sinter terjadi perubahan dimensi, baik berupa pengembangan maupun penyusutan tergantung pada bentuk dan distribusi ukuran partikel serbuk, komposisi serbuk, prosedur sinter dan tekanan pemampatan (German, 1994).



Gambar 2. 2 Pertumbuhan ikatan mikrostruktur antar partikel logam [12].

2.7 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ada bermacam-macam tergantung konsep yang dianut. Dalam engineering yang menyangkut logam kekerasan dinyatakan sebagai kemampuan untuk menahan indentasi / penetrasi / abrasi atau dengan definisi lain adalah ketahanan logam terhadap deformasi plastis. Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang standar untuk menguji kekerasan logam yaitu; pengujian Brinell, Rockwell, Vickers, dan lain lain.

Pada dasarnya pengujian kekerasan dilakukan dengan menekan sebuah indenter yang lebih keras sifatnya dari bahan uji dengan beban dan jangka waktu

tertentu (10-15 detik), bekas tapak tekan pada permukaan benda uji diukur untuk menentukan nilai kekerasan dengan cara gaya tekan dibagi luas tapak tekan. Ada pengujian yang nilai kekerasan langsung dapat dilihat pada dial indicator.

2.7.1 Metode pengujian kekerasan *brinell*

Pengujian *Brinell* merupakan pengujian kekerasan dengan cara menusuk atau menekan spesimen menggunakan indenter berbentuk bola yang terbuat dari baja yang sudah dikeraskan atau karbida tungsten. Indenter bola baja digunakan untuk material yang memiliki kekerasan Brinell hingga 450 BHN. Indenter bola karbida tungsten harus digunakan apabila material yang di uji memiliki kekerasan Brinell antara 451-650 BHN.

Pengujian yang standar dilakukan dengan menggunakan diameter 10 mm bola baja atau karbida tungsten dengan beban 3000 kgf untuk logam keras, beban 1500 kgf untuk logam pertengahan, dan beban 500 kgf serta lebih rendah untuk material lunak. Indenter selain diameter 10 mm bisa digunakan, misal 5 mm, 2,5 mm dan 1 mm. Jika menggunakan diameter indenter selain 10 mm maka beban harus disesuaikan mengikuti formula $P D^2 = \text{konstan}$. Nilai konstanta tergantung dengan material yang di uji, 30 digunakan untuk baja dan paduannya, 10 digunakan untuk tembaga dan paduannya dan 5 digunakan untuk aluminium dan paduannya.

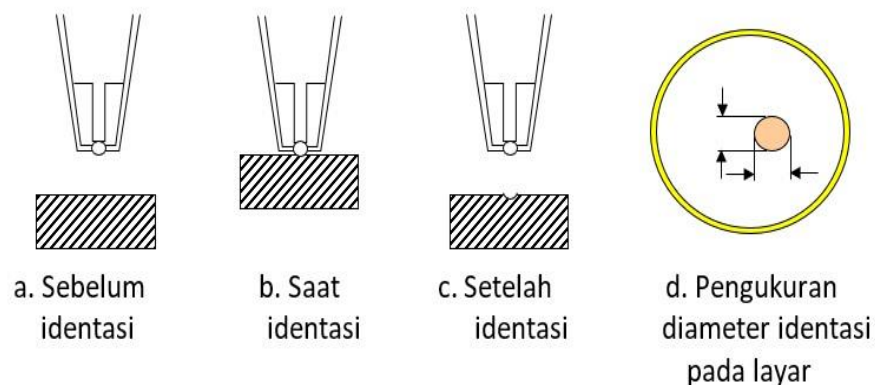
Keterbatasan uji *Brinell*:

- Mengukur material yang sangat keras. Indenter bola dapat mengalami deformasi yang berlebihan.
- Mengukur kekerasan spesimen tipis. Indentasi dapat lebih besar dari pada tebal spesimen.
- Mengukur material yang dikeraskan permukaan. Indentasi dapat menusuk lebih dalam dari pada tebal permukaan yang dikeraskan sehingga pengukuran menjadi tidak valid sebab mengakibatkan pengukuran bagian dalam yang lunak juga.

2.7.2 Prosedur pengujian kekerasan *brinell*

Hal yang perlu diperhatikan pada saat pengujian kekerasan Brinell adalah sebagai berikut:

- a. Spesimen harus memenuhi persyaratan:
 - Rata dan halus.
 - Ketebalan minimal 6 mm.
 - Bisa ditumpu dengan baik dan permukaan uji harus horizontal.
- b. Indentor yang digunakan adalah bola baja yang sudah dikeraskan, tapi untuk material/bahan yang sangat keras (sampai 650 BHN) digunakan bola dari carbida tungsten. Jarak dengan titik pengujian minimal dua kali diameter tapak indentasi.
- c. Syarat perbandingan $P/D^2 = 30$ digunakan untuk baja, 10 digunakan untuk tembaga dan paduannya, serta 5 digunakan untuk aluminium dan paduannya. Penggunaan beban (P) dan diameter indentor (D) diharuskan memenuhi syarat tersebut
- d. Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menekan indentor pada permukaan spesimen selama 10-15 detik, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 3 Metode Pengujian Kekerasan *Brinell* [4]

Pada gambar 2.4 terlihat bahwa terjadinya penekanan benda kerja menggunakan bola indentor yang memiliki diameter (D), kemudian diberi beban (p) setelah selesai pembebanan kemudian bekas dari tekanan indentor diukur diameter lubangnya (d). Penggunaan bola indentor (D) disesuaikan dengan tingkat pembebanan. berikut tabel garis tengah bola baja (D) dan penekan yang sesuai.

Tabel 2. 1 Standar Pengujian *Brinell* ASTM E10-12 Material Aluminium Dan Paduan Aluminium [8]

Diameter Bola Baja	Beban (Kgf)				
	30 D ²	10 D ²	5 D ²	12,5 D ²	D ²
D (mm)	3000	1000	500	-125	-100
10	3000	1000	500	-125	-100
5	750	-250	-125	-	-
Daerah kekerasan yang cocok untuk pengukuran	160-450	53-200	26-100	7-25	5-26
Bahan yang diukur	Logam keras (baja, besi cor)	Paduan tembaga, aluminium keras	Tembaga, paduan aluminium	Logam lunak, timah dan lainnya	

Pemakaian bola baja harus disesuaikan dengan tekanan uji (F) diameter bekas penekanan (d) hanya mendapat nilai 0,2 – 0,5. D pengujian kekerasan brinell pada logam lunak (Al) menggunakan bola baja dengan diameter 2,5 mm dan beban penekanan 31,3 daN

Brinell Hardness Number yang dihitung berdasarkan diameter indentasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right) (D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Keterangan:

BHN : Angka Kekerasan *Brinell* (kg/mm²)

P : Beban yang digunakan (Kg)

D : Diameter bola baja (mm)

d : Diameter bekas penekanan (mm)

e. Penulisan nilai kekerasan seperti contoh berikut : 320 HBS-2,5/187,5/20

Dimana:

320 : Nilai kekerasan.

HBS : Metode Pengujian Brinell

2,5 : Diameter Indentor

187,5 : Gaya pembebanan (N)

20 : Waktu pembebanan (detik)

f. Karena pengukuran dilakukan secara manual, maka terdapat peluang untuk terjadinya kesalahan ukur. Kesalahan tersebut mungkin terjadi ketika pemfokusan objek pada layar, peletakan alat ukur pada objek dan pembacaan pengukurannya.

2.8 Uji Anova

Analisis varians (analysis of variance, ANOVA) adalah suatu metode analisis statistika yang termasuk ke dalam cabang statistika inferensi. Dalam literatur Indonesia metode ini dikenal dengan berbagai nama lain, seperti analisis ragam, sidik ragam, dan analisis variansi. Ia merupakan pengembangan dari masalah Behrens-Fisher, sehingga uji-F juga dipakai dalam pengambilan keputusan. Analisis varians pertama kali diperkenalkan oleh Sir Ronald Fisher, bapak statistika modern. Dalam praktik, analisis varians dapat merupakan uji hipotesis (lebih sering dipakai) maupun pendugaan (estimation, khususnya di bidang genetika terapan). Analisis of variance atau ANOVA merupakan salah satu teknik analisis multivariate yang berfungsi untuk membedakan rerata lebih dari dua kelompok data dengan cara membandingkan variansinya. Analisis varian termasuk dalam kategori statistik parametrik (Ghozali, 2009).

2.8.1 Uji Anova Satu Jalur (One Way Anova)

Analisis varians satu jalur merupakan teknik statistika parametrik yang digunakan untuk pengujian perbedaan beberapa kelompok rata-rata, di mana hanya terdapat satu variabel bebas atau independen yang dibagi dalam beberapa kelompok dan satu variabel terikat atau dependen (Widiyanto, 2013).

Hipotesis dalam ANOVA akan membandingkan rata-rata dari beberapa populasi yang diwakili oleh beberapa kelompok sampel secara bersama, sehingga hipotesis matematikanya adalah:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_k$$

- Seluruh mean populasi adalah sama
- Tak ada efek treatment (tak ada keragaman mean dalam grup)

H_1 : tidak seluruh mean populasi adalah sama

- Minimal ada 1 mean populasi yang berbeda
- Terdapat sebuah efek treatment
- Tidak seluruh mean populasi berbeda (beberapa pasang mungkin sama).

Tabel 2. 2 Anova 1 Arah

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	derajat bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	f hitung	f tabel
Rata-rata Kolom	JKK	db numerator = k-1	$s^2K = KTK = \frac{JKK}{k-1}$	$f \text{ hitung} = \frac{JTK}{KTG}$	$\alpha =$ db numer = db denum = f tabel =
Galat	JKG	db denominator = N-k	$s^2G = KTG = \frac{JKG}{N-k}$		
Total JKT	JKT	N-1			

$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T_{**}^2}{N}$$

$$JKK = \sum_{i=1}^k \frac{T_{*i}^2}{n_i} - \frac{T_{**}^2}{N}$$

$$JKG = JKT - JKK$$

Dimana :

- k : banyaknya kolom
- N : banyaknya pengamatan/keseluruhan data
- n_i : banyaknya ulangan di kolom ke- i
- X_{ij} : data pada kolom ke- i ulangan ke- j
- T_{*i} : total (jumlah) ulangan pada kolom ke- i
- T^{**} : total (jumlah) seluruh pengamatan