

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Jorge et al (1990) meneliti tentang pengaruh pretension terhadap kekuatan tarik komposit. Serat gelas dan epoxy digunakan sebagai bahan penyusun komposit. Beban pretension diberikan dengan menggunakan bobot dan katrol di ujung serat anyaman. Dari hasil eksperimennya didapatkan peningkatan yang cukup baik pada nilai kekuatan tarik. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa ketika nilai pre-tension pada fiber ditingkatkan maka sifat mekanik pada komposit juga akan meningkat sampai pada titik maksimum lalu cenderung stabil. Peneliti ingin meneliti tentang pengaruh tarikan satu arah (*one direction tension*) pada reinforcement fiber panel komposit datar dengan beberapa variasi tension, yang diharapkan dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik. Dalam hal ini, peneliti menggunakan metode instalasi yang lebih sederhana, yaitu menggunakan bantuan neraca pegas sebagai alat untuk memberi nilai tension, serat E-glass bentuk woven roving dan resin polyester sebagai matriksnya untuk menyusun komposit dalam bentuk pelat datar sesuai standar ASTM D 3039.

Mallick (2007) melakukan penelitian tentang terdapat beberapa alasan menggunakan serat alam sebagai penguat komposit, diantaranya sebagai berikut: lebih ramah lingkungan dan biodegradable dibandingkan serat sintetik, massa jenis alam lebih kecil. Pada beberapa jenis serat alam mempunyai rasio berat modulus lebih baik dari serat E-glass. Komposit serat alam mempunyai daya redam akustik lebih tinggi dibanding komposit serat glass dan serat karbon dan serat alam lebih ekonomis dibanding serat glass dan serat karbon.

Harry (2008) meneliti tentang pengaruh tekanan terhadap porositas dan kekerasan aluminium paduan (Al-Cu) pada proses *direct squeeze casting*. Tekanan yang diberikan sebesar 15, 25, 35, dan 45 MPa diperoleh hasil bahwa semakin besar tekanan yang diberikan, maka prosentase porositas yang terjadi semakin berkurang. Namun akan mengalami peningkatan pada saat *punch* sudah tidak menekan logam cair lagi. Hal ini terjadi karena *punch* telah menekan *dies* meskipun belum mencapai tekanan yang diberikan.

Bondan dan Purwanto (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh tekanan dan temperatur cetakan terhadap struktur mikro dan kekerasan hasil pengecoran pada material aluminium daur ulang. Penelitian ini menggunakan metode pengecoran

direct squeeze casting. Cetakan dipanaskan dengan suhu 300⁰C dan 400⁰C. Tekanan yang diberikan sebesar 0, 10, 20, 30 Mpa. Dari penelitian tersebut didapat bahwa semakin bertambahnya tekanan maka kekerasannya semakin meningkat. Begitu pula dengan temperatur cetakan pada temperatur 300⁰C kekerasannya lebih tinggi daripada cetakan yang dipanaskan dengan temperatur 400⁰C. Hal ini disebabkan karena struktur silikon pada cetakan yang dipanaskan 300⁰C lebih halus daripada cetakan yang dipanaskan dengan suhu 400⁰C sehingga menambahkan kekerasannya.

Dimas tahun 2013 meneliti tentang pengaruh tekanan *plunger* terhadap porositas dan kelelahan produk silinder pada hasil coran *squeeze casting* dengan material paduan Al-Mg-Si. Peneliti melakukan peleburan pada material Al-Mg-Si sampai $\pm 900^{\circ}\text{C}$ yang kemudian akan dilakukan proses *squeeze casting* dengan tekanan *plunger* sebesar 0,1, 10, 30, dan 50 MPa. Dari penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan dengan semakin besarnya tekanan *plunger*, maka prosentase porositas menurun karena udara terdesak keluar. Dan kekuatan leleh semakin naik seiring dengan bertambahnya tekanan *plunger* karena mengakibatkan struktur butiran semakin kecil sehingga hasil coran mampu menahan beban secara berulang.

2.2. Alumunium

Alumunium berasal dari biji alumunium yang di sebut bauksit. Untuk mendapatkan murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida alumunium atau alumunia. Kemudian alumunia ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan alumunium.

Alumunium adalah logam terpenting dari logam nonferro. Penggunaan alumunium adalah yang kedua setelah besi baja (Surdia, 1999 : 129). Keutamaan alumunium dalam bidang teknik adalah beberapa sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktifitas listrik dan panas yang baik.(De Garmo.1998 : 157).

Tabel 2.1 Sifat fisik alumunium

Sifat – sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (20°C)	26,989	2,71
Titik cair	660,2	653 - 657
Panas jenis (cal/g.°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20 – 100°C)	23,86 x 10	23,5 x 10
Jenis kristal, konstanta kisi	fcc, a = 4,013 kX	fcc, a = 4,04 kX

Sumber : Surdia tata,1999 : 134

Tabel 2.2. Sifat mekanik alumunium

Sifat - sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		> 99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan brinell	17	27	23	44

Sumber : Surdia tata, 1999 : 134

Pada tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik dari Al murni dan pada tabel 2.2 menunjukkan sifat mekanik dari Al murni. Ketahanan korosi berubah menurut kemurniannya, kemurnian 99,0 % atau di atasnya banyak dipergunakan di udara dan tahan dalam waktu bertahun – tahun, hantaran listrik Al, kira – kira 65% dari hantaran listrik tembaga, tetapi masa jenisnya sepertiga dari tembaga.

2.2.1 Aluminium Paduan

Logam alumunium dapat dengan mudah dipadukan dengan logam lain. Paduan alumunium yang penting antara lain :

1. Paduan Al-Cu

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlakukan panas. Dengan melalui pengerasan endapan/penyepuhan sifat mekanis paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan jenis paduan

lainya (R.W.Heine, 1976:294). *Copper* adalah salah satu unsur paduan penting yang digunakan pada Al karena dengan paduan ini akan membentuk *solid-solution strengthening* dan dengan *heat treatment* yang sesuai dapat meningkatkan kekuatannya dengan membentuk *precipitate*. kelarutan maksimal Cu didalam Al adalah pada kandungan 5,65 % Cu dengan temperatur berkisar 550°C Kelarutan Cu akan turun sesuai dengan penurunan temperatur. pada temperatur ruang batas kelarutan Cu didalam Al adalah kurang dari 0,1%

2 Paduan Al-Zn

Paduan ini lebih banyak mengandung aluminium dan merupakan paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Dalam penggunaannya biasa di aplikasi untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar.

Titik lebur dari aluminium paduan **Al-Zn 476-657°C**

3 Paduan Al-Mn

Mn merupakan unsur yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung dalam paduan ini adalah 25,3% (Surdia Tata, 1986 :136)

4 Paduan Al-Si

Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya yang memiliki permukaan yang sangat baik tanpa kegelasan panas. Sebagai tambahan, Si memiliki ketahanan korosi yang baik, koefisien muai yang kecil, penghantar panas yang baik, dan ringan.

5 Paduan Al- Mg

Paduan Al-Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik. Biasanya disebut *hidronalium* dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Cu dan Fe sangat berbahaya bagi ketahanan korosi, sehingga diperlukan perhatian khusus terhadap unsur pengotor tersebut

6 paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si merupakan jenis paduan aluminium seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Paduan aluminium magnesium silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan anodisasi dan mempunyai sifat potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup. Jika Magnesium dan silikon dipadukan bersama, Aluminium mengandung Si, sehingga penambahan Magnesium Silikat (Mg_2Si) kebanyakan paduan Aluminium Si, sehingga penambahan Magnesium

diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03%-0,1%

2.2.2 Sifat Umum dari Beberapa Paduan

1. Alumunium murni (seri 2000)

Alumunium jenis ini merupakan alumunium dengan kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Alumunium seri ini memiliki sifat yang baik dalam ketahanan korosi, konduksi panas dan konduksi listrik, dan mempunyai sifat mampu las dan mampu potong jika dibandingkan dengan alumunium lainnya. Kekurangan dari alumunium seri ini adalah kekuatannya yang rendah.

2. Jenis paduan Al – Cu (seri 2000)

Jenis Al – Cu merupakan jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan sifat mekanik paduan ini dapat menyamai baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah dibanding dengan jenis paduan lainnya serta sifat mampu lasnya kurang baik. Karena sifatnya paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keeling dan banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang seperti duralumin (2017) dan super duralumin (2024).

3. Jenis paduan Al – Mn (seri 3000)

Jenis paduan ini merupakan jenis yang tidak dapat diperlaku – panaskan sehingga kenaikan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Jika dibandingkan dengan Al – murni paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya. Dalam hal kekuatan jenis paduan ini lebih unggul dari pada jenis Al – murni.

4. Paduan jenis Al-Si (seri 4000)

Paduan jenis Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hamper tidak terjadi retak. Paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan alumunium paduan cor maupun paduan tempa.

5. Paduan jenis Al-Mg (seri 5000)

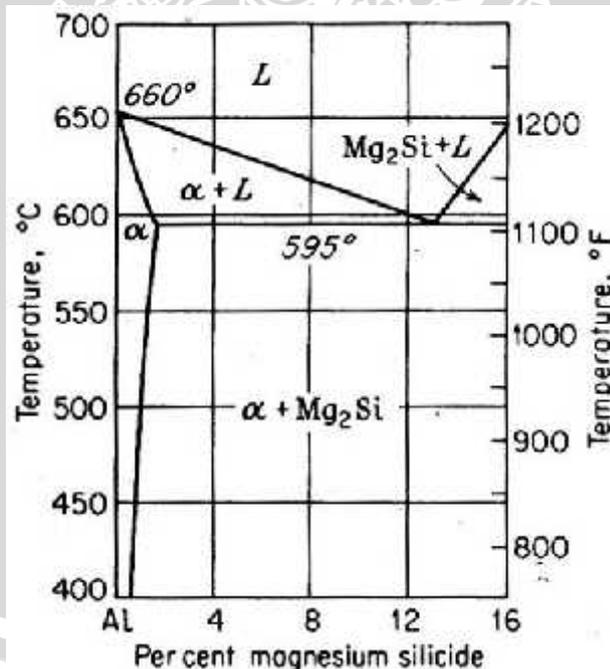
Paduan jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air

laut, dan dalam sifat mampu-lasnya. Paduan jenis ini banyak digunakan dalam konstruksi, tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Paduan jenis Al-Mg-Si

Paduan aluminium-magnesium-silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan panas dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup (Wirjosumarto, 2000). Jika magnesium dan silikon dipadukan bersama aluminium, maka akan terbentuk magnesium silikat (Mg_2Si), kebanyakan aluminium paduan mengandung Si, sehingga penambahan magnesium diperlukan untuk memperoleh efek penguatan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1% (Heine, 1995:320).

Logam paduan murni dan coran yang diperlakukan panas mengandung beberapa fase terlarut, yang muncul dalam jumlah dan lokasi yang bervariasi dalam mikrostruktur bergantung pada temperatur spesimen. Pada seri paduan 6xxx, fase intermetalik yang umum adalah Mg_2Si . Kelebihan partikel silikon mungkin juga terjadi. Diagram fase magnesium-silikon pada aluminium paduan ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.1 Diagram fase magnesium-silikon pada aluminium paduan.
Sumber: Hiene (1995).

Pada diagram diatas tampak bahwa kelarutan Mg_2Si semakin menurun terhadap kelarutan aluminium yakni dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Kelarutan Mg_2Si dalam aluminium/fasa terjadi sampai 16% pada 595°C. Selain itu, titik cair

terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur 595⁰C dengan komposisi 13% Mg₂Si dan 87% Al. Beberapa sifat yang dimiliki paduan Al-Mg-Si ditunjukkan dalam.

Tabel 2.4 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
<i>Density</i>	2.71 g/cm ³
<i>Melting Point</i>	600 ⁰ C
<i>Modulus of Elasticity</i>	67 Gpa
<i>Electrical Resistivity</i>	0.035 × 10 ⁻⁶ .m
<i>Thermal Conductivity</i>	180 W/m.K
<i>Coefficient of Friction</i>	0.42

Sumber: aalco (2007)

7. Paduan jenis Al-Zn (seri 7000)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm², sehingga paduan ini dinamakan juga ultraduralumin. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu-las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. Dalam waktu akhir – akhir ini paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena jenis ini mempunyai sifat mampu las dan daya tahan korosi yang lebih baik dari pada paduan dasar Al-Zn.

2.2.3 Alumunium 6061.

Dari sekian logam potensial, komposit matrik logam paduan AL6061 tersusun atas Al, Mg ,Si, ,Cr, ,Cu) telah menjadi obyek dari banyak riset, terutama oleh keringannya, murah dan kemudahan untuk di fabrikasi (**Schwartz,Mel M,1992**), Al 6061 memiliki ketahanan korosi yang tinggi karena logam ini sangat reaktif,karena terbentuk lapisan oksida tipis pada permukaanya sehingga jika bersentuhan dengan udara dan lapisan ini terkelupas maka akan segera terbentuk lapisa baru.

Al 6061 mempunyai titik cair 660⁰C. Kekuatan tarik 12,6 kgf/mm berat jenis 2.70 g/cm³ ekspansi thermal 13,1.10⁻⁶ dan pada 25⁰C. sebesar 23⁰C (**Schwartz,Mel M,1992**)

Alumunium memiliki jumlah yang sangat banyak, lebih dari 300 komposisi unsur paduan pada paduan alumunium semua paduan alumunium mengandung dua atau lebih unsur kimia yang mampu mempengaruhi sifat mekanik dari paduan tersebut (**ASM Metal Handbook Volume 9,2004**) Umumnya material alumunium jenis 6061 diaplikasikan untuk otomotif dan alat-alat konstruksi karena memiliki mudah di bentuk

atau di lakukan proses pemesinan konduktifitas termal dan elektrik yang cukup baik. Sedangkan komposisi dan properties dari aluminium seri 6061 adalah sebagai berikut.

Tabel 2,5 Material properties Al 6061

Material properties Al 6061	
base metal price	16% rel
Density	2,7 g/cm ² (170)
Elastic(young's.tensile)Modulus	69 Gpa(10x10 psi)
Electrical Conductivity	43% IACS
Electrical Resistivity Order of Magnitude	-470
Elongation at break	7,5 to 19 %
melting Onset (Solidus)	580° c(1080°f)
Modulus of Resilience (unit Resilience)	43 to 990 kj/m
Poisson 's Ratio	0.33
Shear Modulus	26 GPa(3.8x10 psi)
Sepecific Heat Capacity	900j/k
Strength to Weight Ratio	48 to 160 kN-m/kg
Tensile Strenght Ultimate (UTS)	130/430 Mpa(19to62x10 psi)
Tensile Strenght Yeild (Proof)	77 to 370 MPa (11to 54x10 psi)
Thermal Conductifity	170 w/m-k
Thermal Diffusivity	70 m/s
Thermal Expansion	23 m/m-k
Unit Rupture Work (Ultimate Resilience)	8,4 to16 mj/m

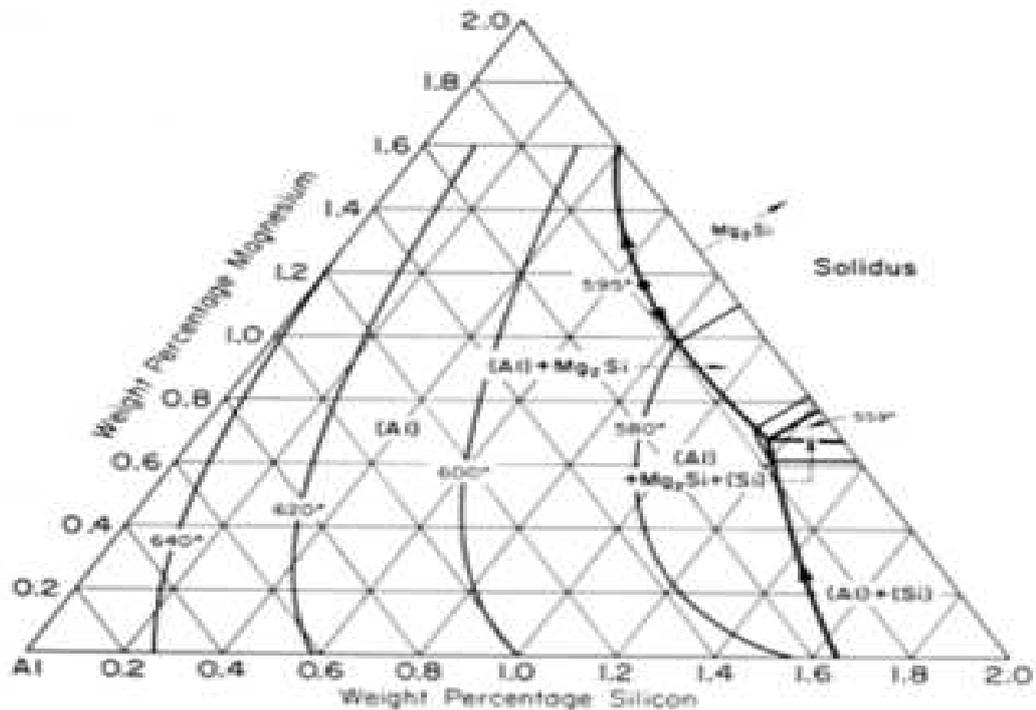
Sumber: makelt from

Tabel 2.6 Komposisi Al 6061

Alloy group	Nominal chemical composition ⁽¹⁾ , wt%										
	Mg	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Zr	Other
Wrought alloys											
1xxx (Al > 99,00%)	0.006–0.25	0.006–0.7	0.002–0.06	0.01–0.03	0.002–0.05	0.006–0.6	...	0.006–0.35	0.006–0.05
2xxx (Cu)	0.02–0.8	0.10–1.3	0.02–0.3	0.05–0.2	0.05–1.3	0.12–1.3	0.05–2.3	0.8–6.8	0.10–0.80	0.05–0.5	...
3xxx (Mn)	0.05–1.3	0.3–1.8	0.05–0.10	0.05–0.40	0.05–1.8	0.1–1.0	0.05	0.05–0.50	0.05–1.0	0.1–0.5	...
4xxx (Si)	0.05–2.0	0.8–13.5	0.04–0.30	0.05–0.25	0.03–1.5	0.20–1.0	0.15–1.3	0.05–1.5	0.05–0.25
5xxx (Mg)	0.2–5.6	0.08–0.7	0.05–0.20	0.05–0.35	0.03–1.4	0.10–0.7	0.03–0.05	0.03–0.35	0.05–2.8
6xxx (Mg + Si)	0.05–1.5	0.20–1.8	0.08–0.20	0.03–0.035	0.03–1.0	0.08–1.0	0.2	0.10–1.2	0.05–2.4	0.05–0.20	...

(ASM Metal Handbook Volume 9, 2004)

Paduan aluminium seri 6061 berdasarkan tabel di atas maka unsur yang memiliki komposisi paling besar serta sangat mempengaruhi sifat mekanik dari paduan aluminium seri 6061 adalah magnesium (Mg) dan silica (Si) sehingga paduan aluminium seri 6061 memiliki diagram fasa sebagai berikut.



Gambar 2.2 Diagram fase aluminium 6061

Sumber: Hiene (1995).

Paduan aluminium seri 6061 akan menghasilkan 2 fasa dan satu karbida yang bisa dianalisis berdasarkan diagram fasa yang ada fasa-fasa dari karbida yang terbentuk dari paduan aluminium seri 6061 adalah α -Al(FeSi) dan Mg_2Si .

2.4 Serat E- Gelas

Serat gelas mempunyai karakteristik yang berbeda antara satu dengan yang lain. Pada penggunaannya, serat gelas disesuaikan dengan sifat atau karakteristik yang dimilikinya. Serat gelas terbuat dari silica, alumina, lime, magnesia dan lain lain. Keunggulan serat gelas terletak pada rasio (perbandingan) harga dan performance yaitu biaya produksi rendah, proses produksi sangat sederhana, serat gelas banyak digunakan di industri-industri otomotif seperti pada panel-panel bodi kendaraan. Bahkan sepeda motor sekarang seluruh bodi terbuat dari komposit yang berpenguat serat gelas.

Ada beberapa macam jenis serat gelas, diantaranya *AR-glass*, *C-glass*, *E-glass*, *S-glass* dan lain-lain. Pada penelitian ini penguat yang dipakai adalah serat gelas jenis *E-glass*. Sifat-sifat serat gelas jenis *E-glass* dan komposisinya dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 2.7 Properties E-GLASS

Properties E-GLASS	Minimum Value (S.I.)	Maximum Value (S.I.)	Units (S.I.)	Minimum Value (Imp.)	Maximum Value (Imp.)	Units (Imp.)
Atomic Volume (average)	0.0088	0.009	m ³ /kmol	537.009	549.213	in ³ /kmol
Density	2.55	2.6	Mg/m ³	159.191	162.313	lb/ft ³
Energy Content	100	120	MJ/kg	10833.9	13000.6	kcal/lb
Bulk Modulus	43	50	GPa	623.662	725.188	106 psi
Compressive Strength	4000	5000	MPa	580.151	725.189	ksi
Ductility	0.026	0.028		0.026	0.028	NULL
Elastic Limit	2750	2875	MPa	398.854	416.984	ksi
Endurance Limit	2970	3110	MPa	430.762	451.067	ksi
Fracture Toughness	0.5	1	MPa.m ^{1/2}	0.455023	0.910047	ksi.in ^{1/2}
Hardness	3000	6000	MPa	435.113	870.227	ksi
Loss Coefficient	1,00E-05	0.0001		1,00E-05	0.0001	NULL
Modulus of Rupture	3300	3450	MPa	478.625	500.38	ksi
Poisson's Ratio	0.21	0.23		0.21	0.23	NULL
Shear Modulus	30	36	GPa	435.113	522.136	106 psi
Tensile Strength	1950	2050	MPa	282.824	297.327	ksi
Young's Modulus	72	85	GPa	104.427	123.282	106 psi
Glass Temperature	820	850	K	1016.33	1070.33	°F
Latent Heat of Fusion			kJ/kg			BTU/lb
Maximum Service Temperature	620	630	K	656.33	674.33	°F
Melting Point			K			°F
Minimum Service Temperature	0	0	K	-459.67	-459.67	°F
Specific Heat	800	805	J/kg.K	0.619087	0.622956	BTU/lb.F
Thermal Conductivity	1.2	1.35	W/m.K	224.644	252.725	BTU.ft/h.ft ² .F
Thermal Expansion	4.9	5.1	10 ⁻⁶ /K	8.82	9.18	10 ⁻⁶ /°F
Breakdown Potential	15	20	MV/m	381	508	V/ml
Dielectric Constant	6.13	6.33		6.13	6.33	NULL
Resistivity	1,00E+22	1,00E+23	10 ⁻⁸ ohm.m	1,00E+22	1,00E+23	10 ⁻⁸ ohm.m

Sumber : Azo materials

Tabel 2.8 Temperatur dan Variasi

Variasi Temperatur	Panjang Serat		
	5 mm	10 mm	15 mm
-5°C	0,0134	0,014	0,013
	0,012067	0,011	0,001
	0,014467	0,0125	0,013
10°C	0,013670	0,01	0,009
	0,0168	0,008	0,008
	0,0164	0,012	0,01
25°C	0,018267	0,014	0,01
	0,0212	0,011	0,009
	0,025467	0,0125	0,011

Sumber : aalco (2007)

Tabel 2.9 Sifat serat sintetis, termasuk asbestos untuk perbandingan

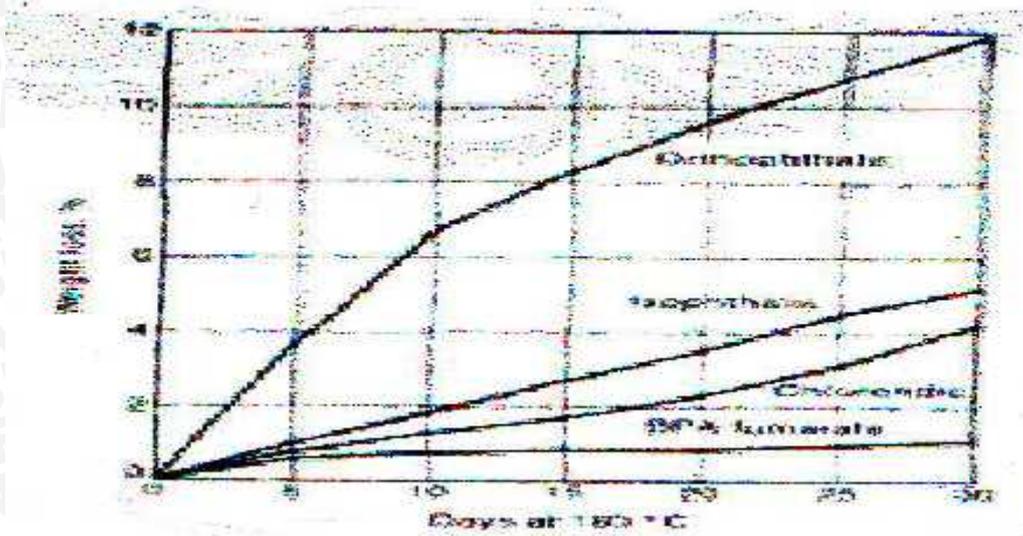
	<i>Density</i> (Mg/m ³)	<i>Young's modulus, E_f</i> (GPa)	<i>Tensile Strength, (MPa)</i> <i>t_f</i>	<i>Failure strain</i> (%)	<i>E_f</i> /	<i>E_f</i> /	<i>T_f</i> /
					2 /	2 /	
Asbestos	2.56	160	3100	1.9	63	4.94	1213
E-glass	2.54	70	2200	3.1	27.6	3.29	866
Aramid (Kevlar 49)	1.45	130	2900	2.5	89.7	7.86	2000
SiC (Nicalon)	2.60	250	2200	0.9	96.2	6.08	846
Alumina	3.90	380	1400	0.4	97.4	4.99	359
Boron	2.65	420	3500	0.8	158.5	7.73	1321
Polyethylene (S1000)	0.97	172	2964	1.7	177.3	13.5	3056
Carbon (HM)	1.86	380	2700	0.7	204.3	10.5	1452

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994: 31

Tabel 2.10 Komposisi dari beberapa jenis serat gelas

	E-glass (%)	S-glass (%)	AR-glass (%)
SiO ₂	54	65	64
TiO ₂			3
ZrO ₂			13
Al ₂ O ₃	14	25	1
B ₂ O ₃	9		
MgO	5	10	
CaO	18		5
Na ₂ O			14
<i>Modulus (GPa)</i>	70	80	75
<i>Strength (Mpa)</i>	2200	2600	1700
<i>Density (Mg/m³)</i>	2.54	2.49	2.70

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994: 40



Gambar: 2.3 stabilitas temperature glass- polyster composite pada 180⁰C

Sumber : Matthews and Rawlings, 1994: 31

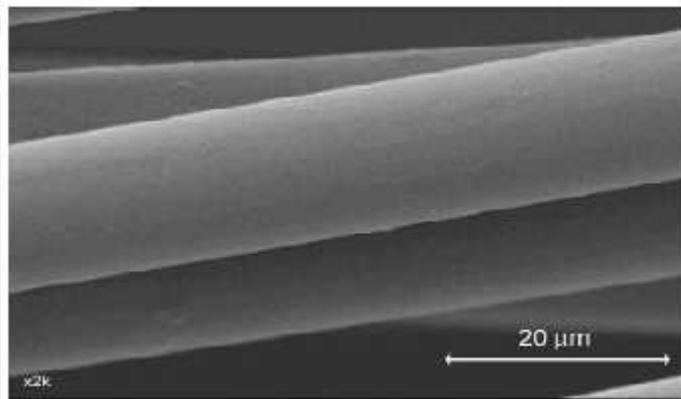
Dasar material *glass* terbentuk dari campuran beberapa produk seperti pasir, kaolin, limestone, colemanite di suhu 1600⁰ sehingga membentuk suatu cairan *glass* (liquid glass) akan di proses kembali menjadi fiber filament dengan diameter sekitar 5-24 um filament- filament tersebut akan ditarik bersamaan (digabung) dan di coating untuk melindungi *glass* dan abrasi. Dari beberapa variasi hasil modifikasi atau improvement dalam prosesnya maka e-glass dapat terbentuk menjadi beberapa type yang biasa digunakan untuk penguat (reinforcement) seperti type *e-glass*.

ACCC Composite core memakai type E-glass (free boron) dengan keunggulan yaitu mempunyai tingkat tensile strength yang baik. Tahan terhadap gaya tekan dan kelakuan yang cukup baik pula serta harga yang tidak terlalu tinggi tergantung dari bebrapa type e-glass itu sendiri material e-glass yang banyak digunakan untuk penguat ini biasa di gunakan pada system **polimer matrix composite** e-glass tersedia dengan beberapa bentuk seperti bentuk strand yam (gabungan dari beberapa strand rovings. Berikut adalah salah satu contoh bentuk fiber e-glass.



Gambar 2.4 Serat E-glass
Sumber: Hiene (1995).

Dan berikut gambaran micro/SEM's view dan fiber Glass



(a)

Figure 4. SEM's of boron-free E-glass

Gambar 2.5 micro/SEM's of boron-free E-glass
Sumber: Hiene (1995).

Penelitian mengenai komposit yang menggabungkan antara matrik dan penguat yang berupa serat harus memperhatikan beberapa faktor. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi performa fiber-matrik composites antara lain:

a. Faktor Serat

Serat adalah bahan pengisi matrik yang digunakan untuk dapat memperbaiki sifat dan struktur matrik yang tidak dimilikinya, juga diharapkan mampu menjadi bahan penguat matrik pada komposit untuk menahan gaya yang terjadi.

b. Letak Serat

Dalam pembuatan komposit tata letak dan arah serat dalam matrik yang akan menentukan kekuatan mekanik komposit, dimana letak dan arah dapat mempengaruhi kinerja komposit tersebut. Menurut tata letak dan arah serat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu: yang pertama one dimensional reinforcement, mempunyai kekuatan dan modulus maksimum pada arah axis serat. Yang kedua adalah two dimensional reinforcement (planar), mempunyai kekuatan pada dua arah atau masing-masing arah orientasi serat. Yang ketiga three dimensional reinforcement, mempunyai sifat isotropic kekuatannya lebih tinggi dibanding dengan dua tipe sebelumnya. Bila arah tiap serat menyebar maka kekuatannya juga akan menyebar ke segala arah maka kekuatan akan meningkat.

c. Panjang Serat

Serat panjang (continous fiber) lebih efisien dalam peletakannya dari pada serat pendek. Akan tetapi, serat pendek lebih mudah peletakannya dibanding serat panjang. Panjang serat mempengaruhi kemampuan proses dari komposit serat. Pada umumnya, serat panjang lebih mudah penanganannya jika dibandingkan dengan serat pendek.

d. Bentuk Serat

Bentuk Serat yang digunakan untuk pembuatan komposit tidak begitu mempengaruhi, yang mempengaruhi adalah diameter seratnya. Pada umumnya, semakin kecil diameter serat akan menghasilkan kekuatan komposit yang lebih tinggi. Selain bentuknya kandungan seratnya juga mempengaruhi (Schwartz, 1984).

e. Faktor Matrik

Pembuatan komposit serat membutuhkan ikatan permukaan yang kuat antara serat dan matrik. Selain itu matrik juga harus mempunyai kecocokan secara kimia agar reaksi yang tidak diinginkan tidak terjadi pada permukaan kontak antara keduanya. Untuk memilih matrik harus diperhatikan sifat-sifatnya, antara lain seperti tahan terhadap panas, tahan cuaca yang buruk dan tahan terhadap guncangan yang biasanya menjadi pertimbangan dalam pemilihan material matrik. Juga kemampuan bertambahnya elongasi saat patah yang lebih besar dibandingkan dengan penguat. Selain itu juga perlu diperhatikan berat jenis, viskositas, kemampuan membasahi penguat, tekanan dan suhu curing, penyusutan.

2.4 Pengecoran *Squeeze* (*Squeeze Casting*)

Pengecoran *Squeeze casting* adalah salah satu proses penekanan yang dilakukan pada logam cair dengan tujuan menambah kekuatan atau kepadatan dari spesimen.

Pengecoran *squeeze* sering digambarkan sebagai suatu proses dimana logam cair dibekukan di bawah tekanan eksternal yang relatif tinggi. Proses ini mengkombinasikan proses *forging* dan *casting*.

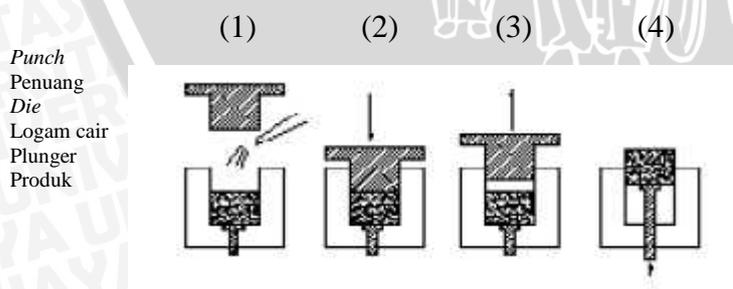
Pengecoran *squeeze* disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pemadatan logam cair dilakukan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolis. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan perpindahan panas dan menghasilkan penurunan porositas seperti sering terjadi pada produk cor besi tempa (*wrought iron*). Penekanan juga berfungsi untuk membuat produk yang rumit.

Hasil proses penempaan logam cair adalah produk yang mendekati ukuran standarnya (*near-net shape*) dengan kualitas yang baik. Sedangkan struktur mikro hasil pengecoran *squeeze* terlihat lebih padat dibandingkan dengan hasil pengecoran dengan gravitasi. Hal ini dikarenakan kontak logam cair dengan permukaan *die* memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat sehingga menghasilkan struktur mikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik.

Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair ke dalam *die*, pengecoran *squeeze* dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu: *direct squeeze casting* dan *indirect squeeze casting*.

Ñ DSC (*Direct Squeeze Casting*)

DSC merupakan proses pengecoran dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan. Dari gambar 2.4 dapat kita lihat prosesnya.

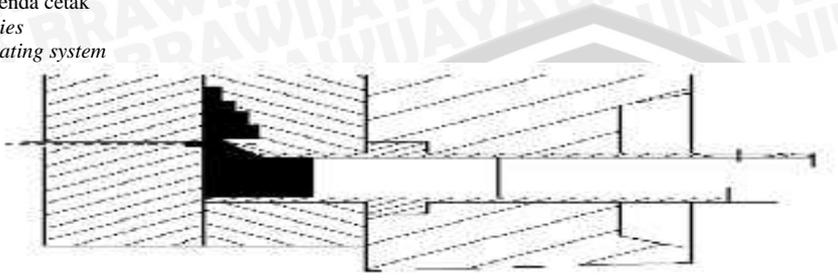


Gambar 2.6 Mekanisme *Direct Squeeze Casting*.
Sumber : Tjitro dan Firdaus. 2000: 110.

Ñ ISC (*Indirect Squeeze Casting*)

Istilah *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.

Plunyer penekan
Pouring hole
Benda cetak
Dies
Gating system



Gambar 2.7 Mekanisme *Indirect Squeeze Casting*.
Sumber : Tjitro dan Firdaus. 2000: 110.

2.4.1 Parameter Proses *Squeeze Casting*

Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound-cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)

Diperlukan kontrol yang akurat ketika logam cair dituangkan ke dalam rongga cetak (*die cavity*).

2. Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)

Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran. Biasanya temperatur tuang diambil 6-55⁰C di atas temperatur cair.

3. Waktu Tunggu (*Time Delay*)

Waktu tunggu adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam.

4. Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)

Durasi penekanan dihitung dari saat *punch* di titik terendah sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepaskan). Produk cor dengan berat 9 kg, durasi penekannya bervariasi antara 30-120 detik. Akan tetapi biasanya durasi ini juga tergantung pada bentuk geometri coran yang diinginkan.

5. Kecepatan Pengisian (*Filling Rate*)

Makin rendah kecepatan pengisian akan menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran kecepatan laminer.

2.4.2 Bahan Coran

Pada industri pengecoran logam dikenal berbagai macam bahan yang digunakan sebagai bahan pengecoran logam. Diantara bahan-bahan tersebut antara lain besi cor, baja cor, paduan tembaga, paduan aluminium, dan lain-lain (Surdia, 1986: 4)

2.5 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan termasuk pengujian destruktif atau bersifat merusak karena akan mengikis permukaan spesimen untuk kemudian diberikan pembebanan tertentu. Kekerasan suatu logam yang didefinisikan sebagai ketahanan terhadap penetrasi, memberikan indikasi sifat-sifat deformasinya. Alat penguji kekerasan menggunakan indentor berbentuk bola kecil, piramid atau tirus untuk membuat jejak pada logam dengan pembebanan tertentu, nilai kekerasan diperoleh setelah diameter jejak diukur (jika menggunakan piramid intan Brinell atau Vickers). **(Smallman, 1991)**

Kekerasan suatu bahan sampai saat ini masih merupakan peristilahan yang kabur, yang mempunyai banyak arti tergantung pada pengalaman pihak-pihak yang terlibat. Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Untuk orang-orang yang berkecimpung dalam mekanika pengujian bahan, banyak yang mengartikan kekerasan sebagai ukuran ketahanan terhadap lekukan. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam. Adapun definisi kekerasan sangat tergantung pada cara pengujian tersebut dilakukan. Beberapa dari definisi tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Ketahanan terhadap indentasi permanen akibat beban dinamis atau statis kekerasan indentasi.
- b. Energi yang diserap pada beban impact (kekerasan pantul).
- c. Kekerasan terhadap goresan (kekerasan goresan).
- d. Ketahanan terhadap abrasi (kekerasan abrasi).
- e. Ketahanan terhadap pemotongan atau pengeboran (mampu mesin).
- f. Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya di bidang rekayasa.

Kekerasan goresan merupakan perhatian utama para ahli mineral. Dengan mengukur kekerasan, berbagai mineral dan bahan-bahan yang lain,

disusun berdasarkan kemampuan goresan yang satu terhadap yang lain. Kekerasan goresan diukur sesuai dengan skala Mohs. Skala ini terdiri atas 10 standar mineral disusun berdasarkan kemampuannya untuk digores. Mineral paling lunak pada skala ini adalah (kekerasan goresan 1), sedangkan intan mempunyai kekerasan 10. Kuku-jari mempunyai kekerasan sekitar 2, tembaga yang di lunak kekerasannya sekitar 3, dan martensit 7. Namun Skala Mohs tidak cocok untuk logam karena interval skala pada nilai kekerasan yang tinggi. Logam yang paling keras mempunyai harga kekerasan pada skala Mohs antara 4 sampai 8. Suatu jenis lain Pada pengukuran kekerasan dinamik, biasanya penumbuk di jatuhkan ke permukaan logam dan kekerasan dinyatakan sebagai energi tumbuknya. SkeleroskopShore yaitu merupakan contoh paling umum dari suatu alat pengujian kekerasandinamik, mengukur kekerasan yang dinyatakan dengan tinggi lekukan atau tinggi pantulan. Hasil pengujian kekerasan tidak dapat langsung digunakan dalam desain seerti halnya hasil pengujian tarik. Namun demikian pengujian kekerasan banyak dilakukan, sebab hasilnya dapat digunakan sebagai berikut:

- a. Pada bahan yang sama dapat diklasifikasikan berdasarkan kekerasannya. Dengan kekerasan tersebut dapat di tentukan penggunaan dari bahan tersebut.
- b. Sebagai kontrol kualitas suatu produk. Seperti mengetahui homogenitas akibat suatu proses pembentukan dingin, pemaduan, perlakuan panas, pengerasan permukaan dan sebagainya

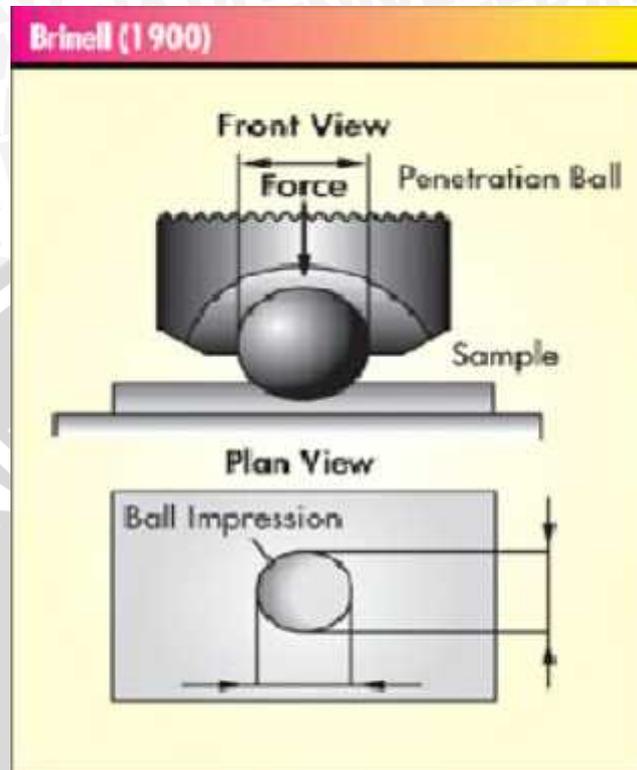
Macam-Macam Pengujian Kekerasan

2.5.1 Pengujian Kekerasan *Brinell*

Uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak di gunakan serta disusun pembakuannya adalah metode yang di ajukan oleh J.A Brinell pada tahun1900. Uji kekerasan Brinell berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam dengan memakai bola baja berdiameter 10 mm dan di beri beban 3000 kg. Pada logam lunak di pakai beban 500 kg untuk menghindarkan jejak yang dalam, sedangkan pada bahan yang sangat keras digunakan paduan keramik untuk memperkecil terjadinya distorsi identor. Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop gaya rendah. Kemudian dan diambil rataratanya dilakukan beberapa

pengukuran diameter pada jejak yang berarah tegak lurus. Permukaan dimana lekukan akan dibuat harus relatif halus, bebas dari debu atau kerak

(Surdia dan Kenji, 1996 : 204). Pada gambar 2.5 dapat kita lihat penampang dari indenter *brinell hardness test*.



Gambar 2.8 Pengujian Kekerasan *Brinell*.

Sumber : Voort. 2000: 467

Pengujian kekerasan Brinell merupakan pengujian standard secara industri tetapi karena penekannya terbuat dari bola baja yang berukuran besar dan beban besar, maka bahan lunak atau keras sekali tidak dapat diukur kekerasannya. Rumus kekerasan Brinell dinyatakan sebagai beban P dibagi luas permukaan tekukan sebagai berikut.

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

Dimana

BHN : Angka kekerasan Brinell (kg/mm^2)

P : Beban (kg)

D : Diameter bola (mm)

D : Diameter rata-rata indentasi (mm)

2.5.2 Pengujian Kekerasan *Vickers*

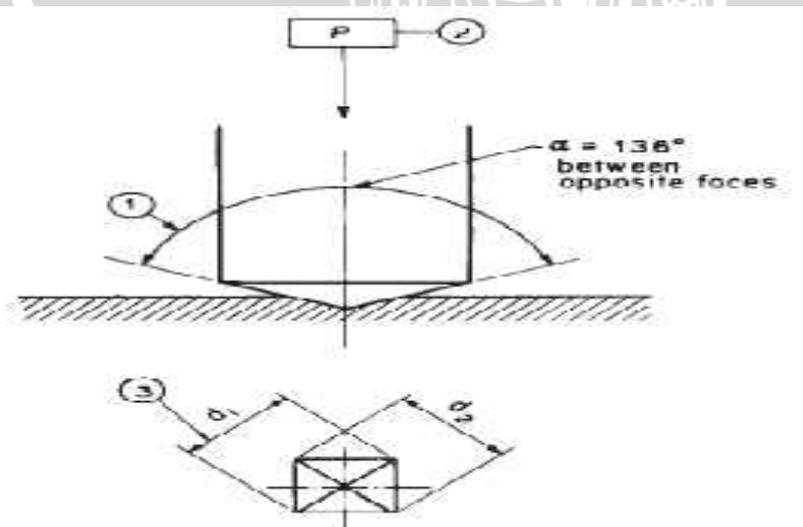
Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid yang saling berhadapan adalah 136° . Sudut ini dipilih, karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan. Beban yang di gunakan pada uji *Vickers* berkisar antara 1 hingga 120 kg, tergantung kepada kekerasan material yang akan diuji berebentuk. Karena penumbuknya piramid, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan, angka kekerasan dinyatakan sebagai angka kekerasan piramida intan (DPH) atau angka kekerasan *Vickers* (VHN atau VPH), yang diperoleh dari beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya luas permukaan dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. Nilai dari kekerasan *vickers* dapat di tentukan dari persamaan berikut :

$$\text{VHN} = \frac{1,8544 P}{d^2} \quad (2-1)$$

dengan : P = beban yang ditetapkan (kgf)

d = panjang diagonal jarak berlian (mm)

Pada metode pengujian *Vickers* digunakan indenter berbentuk piramida dengan sudut sebesar 136° seperti diperlihatkan pada gambar 2.6. Memiliki beban tekan mulai dari 1 – 100 kgf. Untuk beban maksimal, dibutuhkan waktu 10 – 15 detik



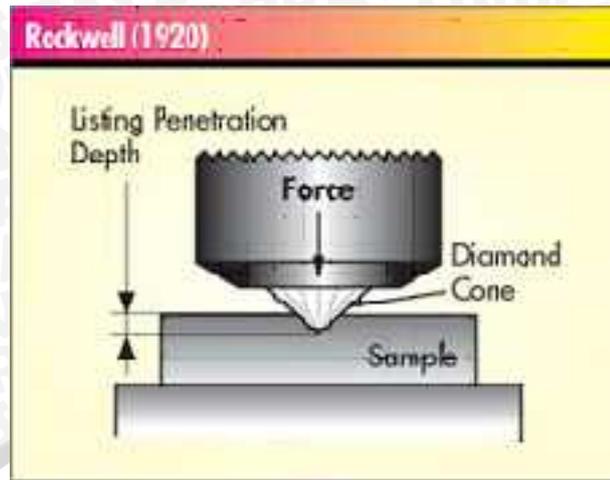
Gambar 2.9 Pengujian Kekerasan *Vickers*.

Sumber : Voort. 2000: 470

Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya di gunakan pada uji Vickers berkisar antara 1 hingga 120 kg, tergantung kepada kekerasan yang akan diuji. Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode Vickers adalah uji kekerasan Vickers tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian tersebut lamban, memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati dan terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal. Lekukan yang benar yang dibuat oleh penumbuk piramida intan harus berbentuk bujur sangkar. Akan tetapi, penyimpangan yang telah dijelaskan secara berkala karena keadaan demikian terdapat pada logam-logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Bentuk demikian diakibatkan oleh penimbunan di atas logam-logam di sekitar permukaan penumbuk.

2.5.3 Pengujian Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan Rockwell merupakan Uji kekerasan yang paling banyak di gunakan di sebabkan karena prosesnya cepat dan bebas dari kesalahan manusia selain itu pngujian ini mampu membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang di perkeras, dan ukuran lekukannya kecil sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasannya. Identor berbentuk Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang di butuhkan dan juga memperkecil kecenderungan untuk terjadi penumbukan ke atas atau penurunan yang di sebabkan oleh penumbuk. Kemudian diterapkan beban yang besar, dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam pada gauge penunjuk yang menyatakan angka kekerasan. Penunjuk tersebut terdiri atas 100 bagian, masing-masing bagian menyatakan penembusan sedalam 0,00008 inci. Petunjuk kebalikan sedemikian hingga kekerasan yang tinggi yang berkaitan dengan penembusan yang kecil, menghasilkan penunjukkan angka kekerasan yang tinggi. Hal ini sesuai dengan angka kekerasan lain yang telah dijelaskan sebelumnya. Tetapi tidak seperti penentuan kekerasan cara Vickers dan Brinell, yang mempunyai satuan kg per milimeter kuadrat (kg/mm^2), angka kekerasan Rockwell semata-mata tergantung pada kita.



Gambar 2.10 pengujian kekerasan **Rockwell**

Sumber: Voort. 2000: 470

Skala yang umum dipakai dalam pengujian Rockwell adalah :

- HRA : (Untuk material yang sangat keras)
- HRB : (Untuk material yang lunak) Indentor berupa bola baja dengan diameter Inchi dan beban uji 100 Kgf
- HRC : (Untuk material dengan kekerasan sedang) Indentor berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

2.4.7 Hipotesa

Semakin meningkatnya tekanan *plunger* maka, porositas yang terjadi semakin kecil, karena udara yang terjebak dalam coran semakin kecil sehingga kekerasan akan meningkat.