

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai eksperimental pada sifat mekanik dengan pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) dilakukan (Bagheri, dkk. 2012), dengan meneliti pengaruh penambahan *hot shoe*, kecepatan putar *tool*, dan kecepatan pemakanan terhadap sifat mekanik pada material non logam jenis ABS. Hasil kekuatan tarik diperoleh dari setiap variasi putaran *tool*, suhu *hot shoe* pada kecepatan pemakanan 20 mm/min. Pada 800 rpm dengan suhu *hot shoe* 50 °C hasil kuat tarik sebesar 9,79 Mpa, pada 1250 rpm dengan suhu *hot shoe* 80 °C hasil kuat tarik sebesar 16,96 Mpa, pada 1600 rpm dengan *hot shoe* 100 °C hasil kuat tarik sebesar 32,62 Mpa menggunakan pengelolaan data ANOVA.

Pannerselvan dan Lenin (2014), melakukan penelitian tentang penyambungan material *Nylon 6* dengan metode pengelasan FSW menggunakan variasi bentuk *pin profile* berulir. Material *Nylon 6* yang digunakan memiliki tebal 10 mm, parameter yang digunakan yaitu arah putaran *tool* searah jarum jam (CWD), dan berlawanan jarum jam (CCWD) dengan kecepatan putar *tool* 1000 rpm. Hasil kekuatan tarik pada saat arah putaran *tool* CWD diperoleh sebesar 14,4 kN/m² dan CCWD di peroleh kekuatan tarik sebesar 34,8 kN/m². Hasil *impact testing* dengan standart ASTM: D6110-10 pada saat CWD diperoleh sebesar 148,148 kN/m² dan saat CCWD sebesar 160,494 kN/m².

Nasser dan Mohammad, (2014), meneliti tentang optimasi eksperimental dari sifat mekanik dengan pengelasan FSW pada lembar *polymer* jenis ABS (*Akrlonitril Butadiena Stirena*), dengan menggunakan parameter variasi *pin profile*, rasio diameter *tool*, kecepatan putar *tool*, kecepatan *linear*, dan sudut kemiringan. Hasil efisiensi kekuatan tarik tertinggi dari bagian yang di las secara eksperimental didapat pada parameter *pin profile* berbentuk *conical* dengan rasio diameter *tool* 20/6, kecepatan putar *tool* 900 rpm, *linear speed* 25 mm/min, sudut kemiringan

2°, nilai efisiensi kekuatan tarik eksperimental sebesar 100,6 % dan pada parameter *pin profile* berbentuk Silinder dengan rasio diameter *tool* 20/6, kecepatan putar *tool* 1400 rpm, *linear speed* 16 mm/min, sudut kemiringan 1°, nilai efisiensi kekuatan tarik eksperimental sebesar 99,1 %.

Prabowo, dkk. (2013) melakukan penelitian pada material *Polypropilene* menggunakan parameter pengaruh kecepatan putaran *tool* dan pemanasan tambahan terhadap kekuatan mekanik dengan metode FSW. Bahan dasar *Polypropilene* memiliki kekuatan tarik sebesar 32,19 Mpa, pada variasi pengelasan optimal FSW dengan kecepatan putar *tool* 602 rpm dan penambahan panas, hasil kualitas visual bagus, kekuatan tarik tertinggi mencapai 6,022 Mpa, dan kekuatan bending tertinggi yaitu sebesar 14,55 Mpa.

Jaiganesh, dkk (2014) melakukan penelitian mengenai optimasi parameter pada pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) pada material *Nylon 6* dengan tebal 7 mm. Proses pengelasan dilakukan menggunakan parameter kecepatan putar *tool* dan *feed rate* pada setiap kecepatan putar *tool* berbeda yaitu 1000 rpm dengan *feed rate* 1 mm/min, 1200 rpm dengan *feed rate* 0,5 mm/min, 1800 rpm dengan *feed rate* 0,1 mm/min. Kedalaman pemakanan dianggap konstan 6,8 mm, dan rasio diameter *tool* adalah 6/3 dengan bentuk *profile pin tool cylinder*. Pada kecepatan putar *tool* 1000 rpm dengan *feed rate* 1 mm/min dan kecepatan putar *tool* 1200 rpm dengan *feed rate* 0,5 mm hasilnya belum optimal atau masih berupa cacat. Pada kecepatan putar *tool* 1800 rpm dengan *feed rate* 0,1 mm/min hasilnya sudah optimal dan hasil kekuatan tariknya dapat diperoleh sebesar 0,891 kN/mm².

Ethiraj, dkk. (2017) melakukan penelitian terhadap pengelasan FSW pada *Nylon 6* dengan mempelajari efek proses parameter pada sifat mekanik dan mikrostruktur. *Nylon 6* yang digunakan memiliki ketebalan 6 mm, proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin CNC milling. *Profile pin tool* yang digunakan berbentuk *Cylindrical* berulir dengan rasio diameter *tool* 16/8. Paduan parameter yang digunakan pada penelitian ini meliputi pengaruh parameter kecepatan putar *tool* 600, 800, 1000, dan 1200 rpm

terhadap *feed rate* 30 mm/min dan pengaruh parameter *feed rate* 18, 21, 24, 27, dan 30 mm/min terhadap kecepatan putar *tool* 1000 rpm. Hasil kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada paduan kecepatan putar *tool* 1200 rpm terhadap *feed rate* 30 mm/min sebesar 10 Mpa. Hasil kekuatan tarik terendah diperoleh pada paduan antara *feed rate* 27 mm/min terhadap kecepatan putar *tool* 1000 rpm sebesar 2,5 Mpa.

Dari beberapa penelitian diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pada kecepatan putar *tool* tertinggi diperoleh hasil pengelasan yang baik dan memiliki nilai kekuatan tarik yang tinggi, ini disebabkan karena kecepatan putar *tool* berpengaruh terhadap panas yang dihasilkan untuk mencapai titik leleh material yang dilas, maka semakin tinggi kecepatan putar *tool* nilai kekuatan tarik yang dihasilkan semakin besar. Pengoptimalan *feed rate* juga diperlukan pada pengelasan FSW, karena dapat berpengaruh terhadap pengendalian lelehan material sebelum lelehan mengalami pemadatan kembali. Besar kecilnya rasio diameter *tool* juga berpengaruh terhadap hasil pengelasan FSW terhadap pola pengelasan maupun panas yang dihasilkan untuk mencapai titik leleh material yang dilas. Paduan antara parameter kecepatan putar *tool*, rasio diameter *tool* dan *feed rate* sangatlah penting maka pengoptimalan ketiganya harus sesuai untuk menghasilkan hasil lasan yang baik dan sifat mekanik yang tinggi.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Polymer Nylon 6

Nylon merupakan jenis *polymer* sintetik yang diciptakan Wallace Carothers pada tahun 1938 di Dupont. *Nylon* dibuat dari serangkaian unit monomer yang sering diistilahkan dengan *poliamida* (PA). *Nylon* merupakan *polymer* pertama yang berhasil secara komersial, dan *Nylon* merupakan serat sintetik yang dibuat seluruhnya dari bahan anorganik yaitu meliputi batu bara, air, dan udara. Elemen ini akan terbentuk menjadi monomer dengan memiliki berat molekular yang rendah dan setelah itu direaksikan untuk mendapatkan bentuk rantai *polymer* yang panjang.

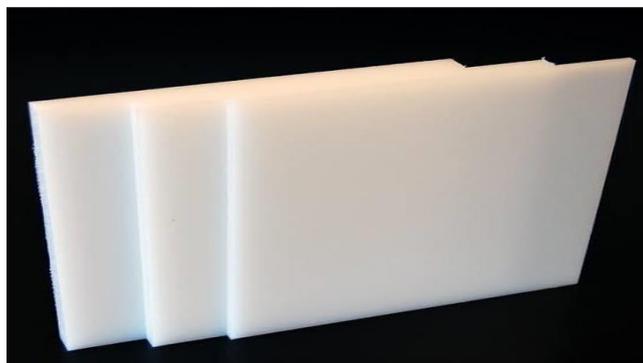
Elemen-elemen kimia yang termasuk dalam pembuatan *Nylon* antara lain hidrogen, nitogen, karbon, dan oksigen.

Jenis *Nylon* yang sering digunakan pada bidang manufaktur adalah *Nylon 6*. *Nylon 6* memiliki ketahanan panas yang tinggi, mempunyai sifat isolator, dan koefisien gesek rendah, sehingga sangat cocok digunakan untuk pembuatan komponen komponen yang bergerak seperti pembuatan roda gigi, as rool, bantalan luncur, bodykit,

Sifat-sifat fisik atau mekanik yang dimiliki *polymer* jenis plastik *Nylon 6* ini antara lain (Károly, 2018) :

1. Sifat mekanik dari bahan *Nylon 6*

Titik leleh	: 190-350 °C
<i>Shore D hardness</i>	: 75
<i>Yeald stress</i>	: 70 MPa
Density	: 1,15 g/cm ³
Koefisiensi gesekan	: 0,10-0,30



Gambar 2.1 *Nylon 6 Sheet Materials* (trentplastics.co.uk)

2.2.2 Definisi Pengelasan

Pengelasan merupakan sebuah teknik penyambungan logam dengan memanfaatkan energi panas dimana panas tersebut dimanfaatkan untuk mencairkan sebagian logam induk maupun logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. DIN (*Deutsche Industrie Norman*) berpendapat bahwa pengelasan ialah sebuah ikatan metalurgi pada sambungan logam yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan arti lain, las merupakan sambungan

setempat dari beberapa logam dengan memanfaatkan energi panas. Pada beberapa tahun terakhir perkembangan pengelasan sangat pesat, lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk pengelasan yang diproses dengan metode penekanan dua logam yang disambung sehingga terjadi ikatan antara molekul-molekul atom yaitu adalah jenis pengelasan *friction welding*. (Prasetyo 2015).

Pengelasan pada umumnya dibagi menjadi dua yaitu *liquid-state* (cair), dan *solid-state* (padat). Pengelasan *liquid-state* merupakan sebuah metode pengelasan dengan mencairkan daerah yang akan disambung dengan cara memanaskan dengan sumber panas yang dihasilkan dari nyala api yang dihasilkan dari pembakaran gas atau energi listrik. Pengelasan *solid-state* (padat) merupakan metode pengelasan dimana pada saat proses pengelasan logam dalam keadaan padat dan hanya dengan tekanan. Pada pengelasan *solid-state* ini tidak memerlukan logam pengisi seperti pada pengelasan *liquid-state*, maka pengelasan *solid-state* ini lebih aman dibandingkan pengelasan yang lainnya dalam segi *safety*. Beberapa jenis pengelasan *solid-state* (padat):

1. *Forge welding* (las tempa)
2. *Roll welding*
3. *Explosion welding* (las ledak)
4. *Cold welding* (las dingin)
5. *Ultrasonic welding*
6. *Friction welding* (las gesek)

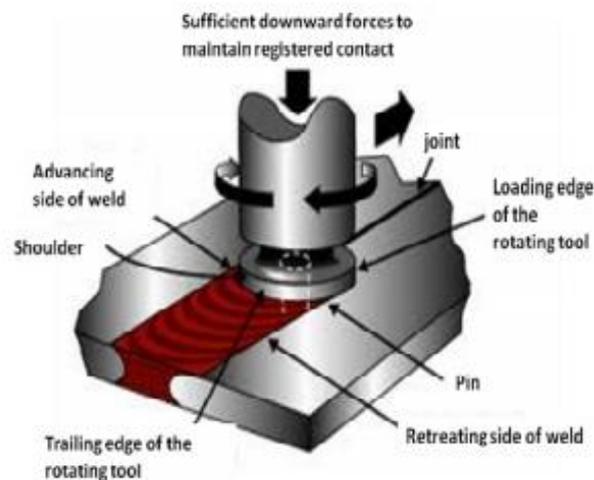
Teknik pengelasan *friction welding* merupakan metode pengelasan *solid-state* dimana proses penyambungan didapatkan dari panas yang dihasilkan akibat gesekan dan tekanan. *Friction welding* umumnya tidak memerlukan bahan tambahan atau *filler*, dan tidak memiliki gas pelindung. Pengelasan dengan *solid-state* pada *friction welding* dibagi menjadi tiga antara lain FSW (*Friction Stir Welding*), FLW (*Friction Linier Welding*), dan FCDW (*Friction Continuous Drive Welding*).

2.2.3 Pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW)

Jenis pengelasan dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW) merupakan Metode penyambungan dengan cara memanfaatkan panas yang ditimbulkan oleh gesekan antara benda kerja dan *pin tool* tanpa memerlukan material pengisi.

Konsep dasar metode ini adalah *Tool* yang berputar ditekan perlahan pada permukaan antara dua material yang akan disambungkan. Gesekan *Tool* dan material akan menghasilkan panas untuk mencapai temperatur leleh material tersebut sehingga terjadi ikatan antara molekul-molekul dari dua material tersebut (Triyono, dkk. 2015).

Proses FSW terdiri dari tiga fase yang meliputi *advancing*, *stir zone*, dan *retracting*.



Gambar 2.2 Prinsip FSW (Panneerselvam dan Lenin, 2013)

Pada pengelasan FSW, ada dua parameter yang harus di perhatikan yaitu seberapa cepat *tool* berputar dan seberapa cepat *tool* melintas pada jalur atau area pengelasan. Parameter ini harus ditentukan secara cermat untuk mendapatkan hasil pengelasan yang efisien.

2.2.4 Pengelasan FSW Pada Material *Polymer Nylon 6*

Pengelasan FSW pada material plastik *polymer* jenis *Nylon 6* atau non logam kini menjadi salah satu metode terobosan terbaru untuk

perkembangan teknologi di bidang pengelasan (Sercher dan Raos, 2007). Prosedur pengelasan FSW pada material non logam pun sama seperti prosedur pengelasan FSW pada logam umumnya. Pengaplikasian hasil pengelasan FSW pada non logam kini sangat luas , seperti misalnya pada industri otomotif tepatnya pembuatan bumper, bodykit, ataupun yang lainnya.

Pengelasan FSW pada material plastik jenis *Nylon 6* atau non logam memiliki banyak keunggulan antara lain (Zafar , dkk. 2016) :

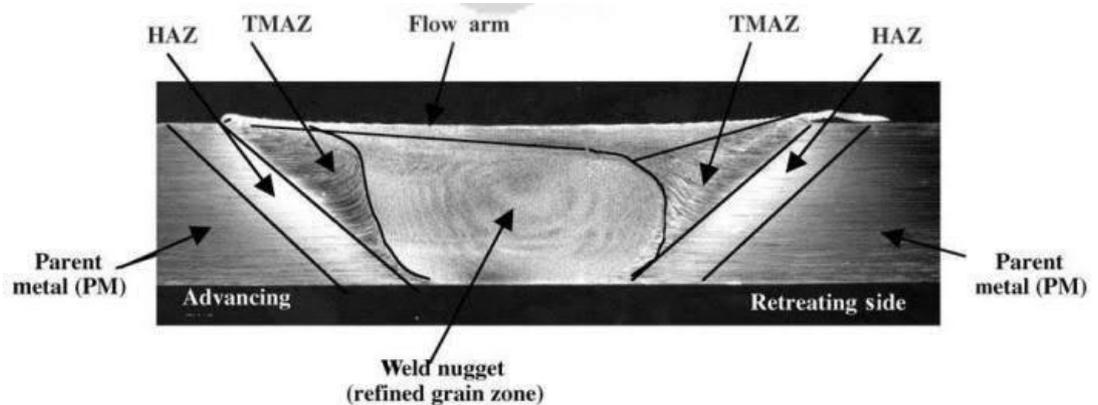
1. Ringan.
2. Modulus spesifik yang tinggi.
3. Kekuatan spesifik tinggi.
4. Mudah dibentuk.
5. Biaya produksi sangat rendah di banding material logam.
6. Proses pengerjaan ramah lingkungan.
7. Tidak korosi.
8. Bersifat isolator terhadap panas dan listrik.

2.2.5 Daerah pengelasan pada FSW

Area hasil pengelasan adalah area yang terpengaruh oleh panas hingga memicu perubahan dari sifat mekanik ataupun struktur mikro. **Gambar 2.3** menunjukkan area dari hasil pengelasan pada FSW. Akan tetapi pada persoalan tertentu sifat mekanik ataupun struktur mikro tidak terjadi perubahan apapun. Area pengelasan mempunyai 4 bagian, antara lain:

1. *Base material* atau logam induk merupakan area yang tidak terpengaruh oleh sifat mekanik atau tidak terpengaruhi oleh panas. Struktur mikro merupakan butiran-butiran halus yang mempunyai panjang satu arah terhadap arah rol.
2. HAZ merupakan daerah yang mengalami dampak dari siklus termal atau panas akan tetapi belum mencapai deformasi plastis. Pada area ini biasanya cenderung mengalami perubahan struktur mikro.

3. TMAZ merupakan daerah perlintasan antara *base material* dan daerah pengelasan hingga mencapai deformasi akan tetapi tidak terjadi rekrystalisasi.
4. Daerah *stir zone* merupakan area yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan sewaktu proses pengelasan FSW berjalan, sehingga menimbulkan rekrystalisasi yang menciptakan butiran-butiran halus di area pengadukan.



Gambar 2.3 Daerah Hasil Pengelasan FSW (Tarmizi dan prayoga, 2016)

2.2.6 Keuntungan menggunakan metode FSW

Adapun keuntungan dari metode FSW menurut Mishra dan Ma, (2005) adalah :

1. Tidak memerlukan filer metal atau material pengisi.
2. Biaya lebih murah.
3. Hasil pengelasan memiliki sifat mekanik yang baik.
4. Proses pengelasan lebih efisien dan cepat.
5. Aman karena tidak memiliki gas pelindung, radiasi sinar ultraviolet.

2.2.7 Parameter Pengelasan FSW

Adapun parameter dan batasan-batasan dalam metode pengelasan FSW (Jaiganesh, dkk. 2014), yaitu :

1. Kecepatan putar *Tool* , berpengaruh pada panas yang di hasilkan untuk mencapai titik leleh material yang dilas hingga terjadinya pencampuran molekul molekul material.
2. Laju pengelasan, berpengaruh pada pengendalian panas dan tampilan.
3. Bentuk *pin profile* , berpengaruh pada pola pengelasan dan panas tambahan saat bergesekan dengan benda kerja.
4. Gaya tekan turun, berpengaruh terhadap kedalaman gesekan pada permukaan dan hasil pengelasan.

2.2.8 Sambungan Adhesive (lem)

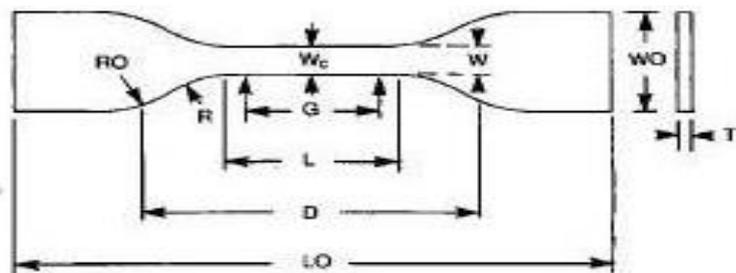
Sambungan adhesive atau yang disebut sambungan lem merupakan metode penyambungan dengan memanfaatkan area permukaan yang diberikan bahan adhesive sebagai media penyambungan. Penyambungan adhesive ini biasanya digunakan untuk penyambungan bahan yang sama atau pada penyambungan bahan yang berbeda, baik logam maupun non logam. Penyambungan adhesive juga memiliki kelebihan dan kekurangan antaralain:

1. Kelebihan sambungan adhesive
 - distribusi beban merata.
 - Dapat digunakan untuk bahan yang sama maupun bahan yang berbeda.
 - Mempunyai sifat isolator.
 - Tidak korosi.
 - Mudah di dapat.
 - Harga relatif murah.
 - Tidak berpengaruh terhadap berat dan volume.

2. Kekurangan sambungan adhesive
 - Sifat mekanisme rendah seperti menahan beban kejut.
 - Tidak mampu menahan beban yang berulang.
 - Kemampuan terhadap panas terbatas.
 - Waktu pengerasan membutuhkan waktu yang relatif lama.
 - Membutuhkan ketrampilan khusus agar sambungan yang dihasilkan rapi.

2.2.9 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimum dan regangan maksimum yang mampu ditahan dari sebuah material ketika ditarik sebelum mengalami patah. Adapun spesimen uji tarik pada material *polymer* harus sesuai dengan standar dari ASTM D638. Spesimen uji tarik dituntut agar sesuai dengan standar yang ada agar patahan ataupun retakan yang terjadi tepat di daerah *gage length*. Spesimen uji tarik memungkinkan slip maupun pecah dalam daerah grip apabila pada pemilihan setting yang kurang tepat dan dapat mengakibatkan hasil uji tarik yang diperoleh tidak valid. Pada standar ASTM D638 memiliki beberapa *type* yaitu *type* 1, 2, 3, 4. Untuk pemilihan *type* dilakukan dengan pertimbangan spesimen yaitu dari segi ketebalan dan panjang yang dimiliki suatu spesimen. Dari ketebalan dan panjang spesimen maka dapat diketahui *type* yang digunakan untuk mendapatkan bentuk dan dimensi pada tabel ASTM D638. Bentuk dan dimensi spesimen uji tarik dari ASTM D638 dapat dilihat pada **Gambar 2.4 dan 2.5**.



Gambar 2.4 Bentuk Spesimen Uji ASTM D638 (admet.com)

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.) ^A					Tolerances
	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	± 0.5 (± 0.02) ^{B,C}
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	± 0.5 (± 0.02) ^C
W_O —Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
W_C —Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
L_O —Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	± 0.25 (± 0.010) ^C
G —Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	± 0.13 (± 0.005)
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	± 5 (± 0.2)
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	± 1 (± 0.04) ^C
R_O —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	± 1 (± 0.04)

Gambar 2.5 Tabel Dimensi Spesimen ASTM D638 (researchgate.net)

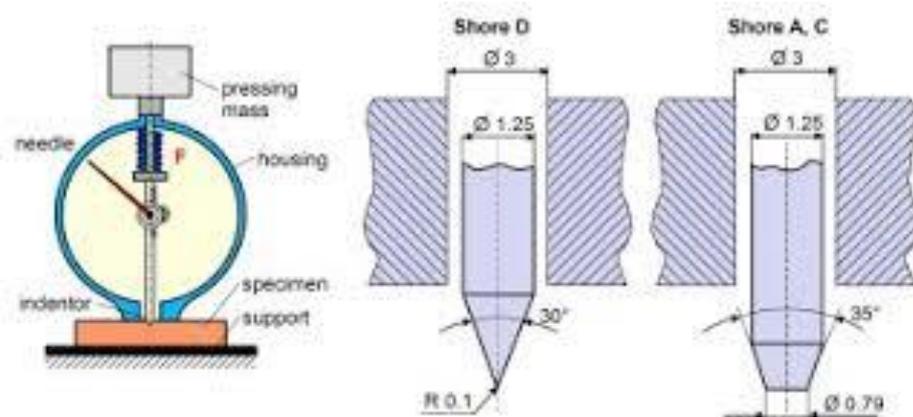
2.2.10 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian untuk mengetahui tingkat kekerasan suatu material. Pengujian kekerasan hanya mengukur pada suatu daerah yang ditentukan atau suatu titik, tetapi nilai kekerasan yang didapatkan cukup valid untuk melaporkan tingkat kekerasan suatu material.

Hardness (kekerasan) merupakan sebuah sifat mekanik yang dimiliki suatu material. Pada material yang digunakan dengan lingkup operasi yang mengalami gesekan (*frictional force*) kekerasan suatu material harus diketahui. Lebih singkatnya kekerasan diartikan sebagai kemampuan suatu material terhadap beban yang diberikan seperti penekanan (penetrasi) atau indentasi. Pengujian kekerasan ini sangat diperlukan dalam bidang manufaktur, pengujian dilakukan terhadap material dengan dua estimasi yaitu digunakan untuk mengetahui karakteristik suatu material baru dan digunakan untuk mengecek mutu atau kualitas tertentu terhadap material baru.

Pada pengujian kekerasan dengan type *shore* alat yang digunakan adalah *hardness tester shore* alat ini memiliki 2 jenis yaitu *shore A* dan *Shore D*. Pengujian kekerasan menggunakan *hardness tester shore* ini harus mengacu pada standart ASTM D2240 : 2005-reapproved 2010. *Hardness tester shore D* digunakan khusus untuk material seperti *acrylic, glass, fiber,*

polymer, dan material sejenis yang memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. Adapun bentuk indikator dari alat *hardness tester shore* dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Indikator *Hardness Tester Shore A dan D* (www.polymerservice-merseburg.ed)