

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perkembangan teknologi dalam bidang rekayasa material menuntut terobosan baru dalam menciptakan material-material yang berkualitas tinggi dan ramah lingkungan. Suatu material yang mempunyai sifat istimewa, dimana kelebihan material tersebut harus memiliki kekuatan dalam menahan beban, kekakuan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta mampu didaur ulang. Komposit merupakan material alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut (Antonia, 2005).

Penemuan dan pemanfaatan teknologi tepat guna sangat membantu masyarakat salah satunya, Sugeng Wisandoko, Wawan Trisnadi Putra,S.T.,M.T., Ir Muh. Malyadi, M.M (2014). Perancangan alat pengepres sampah plastic dan uji kekuatan hasil pengepresan, Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Ponorogo. Mesin press sampah plastic ini menggunakan media kompor GAS dengan tabung 3KG sebagai bahan bakarnya, serta dibuat dengan bahan plat stainles stell karena kuat serta tahan terhadap panas dan tidak lengket pada plastic, plat stainless stell juga tidak mudah berkarat. Pada saat proses pengepresan membutukan waktu 60 menit untuk sekali proses pengepresan sampah plastic sebanyak 10 kg dengan suhu 180 - 250°C plastic akan meleleh, dengan hasil pengepresan $P \times l \times t = 35 \times 35 \times 4 \text{ cm}.$

Menurut Zulkifli (2014: 102), sampah plastik mempunyai masa lapuk atau waktu yang dibutuhkan suatu benda untuk hancur yaitu selama 50-80 tahun. Penguraian sampah plastik yang memerlukan waktu lama akan berdampak pada kerusakan lingkungan. Lebih lanjut Zulkifli (2014: 104) menjelaskan bahwa keberadaan sampah, termasuk sampah plastik dalam jumlah yang banyak jika tidak dapat dikelola secara baik dan benar, maka akan menimbulkan gangguan dan dampak terhadap lingkungan, baik

dampak terhadap komponen fisik kimia (kualitas air dan udara), biologi, sosial ekonomi, budaya, maupun kesehatan lingkungan.

Plastik salah satu bahan yang paling umum kita lihat dan gunakan. Bahan plastik secara bertahap mulai menggantikan gelas, kayu, logam dan agregat. Hal ini disebabkan bahan plastik mempunyai beberapa keunggulan, yaitu : ringan, kuat dan mudah dibentuk, anti karat dan tahan terhadap bahan kimia dan korosi, mempunyai sifat isolasi listrik yang tinggi, dapat dibuat berwarna maupun transparan dan biaya proses yang lebih murah. Namun begitu daya guna plastik juga terbatas karena kekuatannya yang rendah, tidak tahan panas mudah rusak pada suhu yang rendah. Keanekaragaman jenis plastik memberikan banyak pilihan dalam penggunaannya dan cara pembuatannya.

Meskipun istilah plastik dan polimer seringkali dipakai secara sinonim, namun tidak berarti semua polimer adalah plastik. Plastik merupakan polimer yang dapat dicetak menjadi berbagai bentuk yang berbeda. Umumnya setelah suatu polimer plastik terbentuk, polimer tersebut dipanaskan secukupnya hingga menjadi cair dan dapat dituangkan ke dalam cetakan. Setelah penuangan, plastik akan mengeras jika plastik dibiarkan mendingin.

Plastik adalah suatu polimer yang mempunyai sifat-sifat unik dan luar biasa. Polimer adalah suatu bahan yang terdiri dari unit molekul yang disebut monomer. Jika monomernya sejenis disebut homopolimer, dan jika monomernya berbeda akan menghasilkan kopolimer.

Polimer alam yang telah kita kenal antara lain : selulosa, protein, karet alam dan sejenisnya. Pada mulanya manusia menggunakan polimer alam hanya untuk membuat perkakas dan senjata, tetapi keadaan ini hanya bertahan hingga akhir abad 19 dan selanjutnya manusia mulai memodifikasi polimer menjadi plastik. Plastik yang pertama kali dibuat secara komersial adalah nitroselulosa. Material plastik telah berkembang pesat dan sekarang mempunyai peranan yang sangat penting di bidang elektronika, pertanian,

tekstil, transportasi, furniture, konstruksi, kemasan kosmetik, mainan anak – anak dan produk – produk industri lainnya.

Tiwan dalam penelitiannya menjelaskan bahwa plastik daur ulang merupakan plastik yang pernah diproduksi dan diolah lagi menjadi bahan baku pembuatan produk plastik. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan Tiwan, terlihat bila ada perubahan sifat plastik yang diberi tambahan plastik daur ulang. Perubahan sifat dapat dilihat dari kekuatan, modulus elastisitas dan kekerasan. Kekerasan menunjukkan ketahanan material terhadap perubahan tetap. Pengujian dapat dilakukan dengan cara penekanan, pantulan, dan goresan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Tiwan, konsep pengujian dilakukan dengan penekanan. Cara yang digunakan adalah sistem Shore Scleroscope dengan standar ASTM 2240.

Data hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Kekerasan Produk ABS

No.	Persentase ABS Daur Ulang (%)	Kekerasan Shore	Keterangan
1	10	63	Masing-masing dilakukan tiga kali pengujian
2	20	65	
3	30	61	
4	40	61	
5	50	65	

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa penambahan ABS mempengaruhi kekerasan dari material ABS. kenaikan persentase ABS bekas akan mempengaruhi kekerasan material namun tidak selalu meningkat. Kekerasan maksimal terjadi pada penambahan 20% dan 50% ABS bekas.

Untuk membuat barang-barang plastik agar mempunyai sifat-sifat seperti yang dikehendaki, maka dalam proses pembuatannya selain bahan baku utama diperlukan juga bahan tambahan atau aditif. Penggunaan bahan tambahan ini beraneka ragam tergantung pada bahan baku yang digunakan dan mutu produk yang akan dihasilkan. Berdasarkan fungsinya, maka bahan

tambahan atau bahan pembantu proses dapat dikelompokkan menjadi : bahan pelunak (*plasticizer*), bahan penstabil (*stabilizer*), bahan pelumas (*lubricant*), bahan pengisi (*filler*), pewarna (*colorant*), *antistatic agent*, *blowing agent*, *flame retardant* dsb.

Bahan plastik sering digunakan sebagai bahan daur ulang untuk menciptakan bahan baru. Dewasa ini, proses daur ulang menjadi populer karena merupakan prospek yang menjanjikan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Wawan Trisnadi Putra, Munaji, dan Muh Malyadi (2015) yang menyatakan bahwa ada banyak alternatif proses daur ulang, yaitu salah satunya mengkonversi sampah plastik menjadi bahan padat, itu bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik mudah dibentuk pada temperatur rendah, sehingga tinggal dikembalikan ke bentuk semula.

2.2 Jenis – Jenis Plastik

Beberapa jenis plastik yang banyak digunakan antara lain polietilen, poli(vinil klorida), polipropilen, polistiren, poli(metil pentena), poli(tetrafluoroetilen) atau teflon.

2.2.1 Polietilen

Polietilen adalah bahan termoplastik yang kuat dan dapat dibuat dari yang lunak sampai yang kaku. Ada dua jenis polietilen yaitu polietilen densitas rendah (*low-density polyethylene* / LDPE) dan polietilen densitas tinggi (*high-density polyethylene* / HDPE). Polietilen densitas rendah relatif lemas dan kuat, digunakan antara lain untuk pembuatan kantong kemas, tas, botol, industri bangunan, dan lain-lain.

Polietilen densitas tinggi sifatnya lebih keras, kurang transparan dan tahan panas sampai suhu 100°C. Campuran polietilen densitas rendah dan polietilen densitas tinggi dapat digunakan sebagai bahan pengganti karet, mainan anak-anak, dan lain-lain.

2.2.2 Polipropilen

Polipropilen mempunyai sifat sangat kaku, berat jenis rendah, tahan terhadap bahan kimia, asam, basa, tahan terhadap panas, dan

tidak mudah retak. Plastik polipropilen digunakan untuk membuat alat-alat rumah sakit, komponen mesin cuci, komponen mobil, pembungkus tekstil, botol, permadani, tali plastik, serta bahan pembuat karung.

2.2.3 Polistirena

Polistirena adalah jenis plastik termoplast yang termurah dan paling berguna serta bersifat jernih, keras, halus, mengkilap, dapat diperoleh dalam berbagai warna, dan secara kimia tidak reaktif. Busa polistirena digunakan untuk membuat gelas dan kotak tempat makanan, polistirena juga digunakan untuk peralatan medis, mainan, alat olah raga, sikat gigi, dan lainnya.

2.2.4 Polivinil Klorida (PVC)

Plastik jenis ini mempunyai sifat keras, kuat, tahan terhadap bahan kimia, dan dapat diperoleh dalam berbagai warna. Jenis plastik ini dapat dibuat dari yang keras sampai yang kaku keras. Banyak barang yang dahulu dapat dibuat dari karet sekarang dibuat dari PVC. Penggunaan PVC terutama untuk membuat jas hujan, kantong kemas, isolator kabel listrik, ubin lantai, piringan hitam, fiber, kulit imitasi untuk dompet, dan pembalut kabel.

2.2.5 Potetrafluoroetilena (Teflon)

Teflon memiliki daya tahan kimia dan daya tahan panas yang tinggi (sampai 260°C). Keistimewaan teflon adalah sifatnya yang licin dan bahan lain tidak melekat padanya. Penggorengan yang dilapisi teflon dapat dipakai untuk menggoreng telur tanpa minyak.

2.2.6 Polimetil Pentena (PMP)

Plastik poli metil pentena adalah plastik yang ringan dan melebur pada suhu 240°C . Barang yang dibuat dari PMP bentuknya tidak berubah bila dipanaskan sampai 200°C dan daya tahannya terhadap benturan lebih tinggi dari barang yang dibuat dari polistiren.

Bahan ini tahan terhadap zat-zat kimia yang korosif dan tahan terhadap pelarut organik, kecuali pelarut organik yang mengandung klor, misalnya kloroform dan karbon tetraklorida. PMP cocok untuk membuat alat-alat laboratorium dan kedokteran yang tahan panas dan

tekanan, tanpa mengalami perubahan. Barang-barang dari bahan ini tahan lama.

2.3 Karakteristik Plastik

2.3.1 Plastik Berdasarkan Sifat Thermalnya

Menurut Aizah (2009), bahan-bahan yang bersifat termoplastik mudah untuk diolah kembali karena setiap kali dipanaskan, bahan-bahan tersebut dapat dituangkan ke dalam cetakan yang berbeda untuk membuat produk plastik yang baru. Polietilen (PE) dan polivinilklorida (PVC) merupakan contoh jenis polimer ini.

Sedangkan beberapa plastik lainnya mempunyai sifat-sifat tidak dapat larut dalam pelarut apapun, tidak meleleh jika dipanaskan, lebih tahan terhadap asam dan basa, jika dipanaskan akan rusak dan tidak dapat kembali seperti semula dan struktur molekulnya mempunyai ikatan silang antar rantai. Polimer seperti ini disusun secara permanen dalam bentuk pertama kali mereka dicetak, disebut polimer termosetting.

Plastik-plastik termosetting biasanya bersifat keras karena mereka mempunyai ikatan-ikatan silang. Plastik termoset menjadi lebih keras ketika dipanaskan karena panas itu menyebabkan ikatan-ikatan silang lebih mudah terbentuk. Bakelit, poli(melanin formaldehida) dan poli(urea formaldehida) adalah contoh polimer ini. Sekalipun polimer-polimer termoseting lebih sulit untuk dipakai ulang daripada termoplastik, namun polimer tersebut lebih tahan lama. Polimer ini banyak digunakan untuk membuat alat-alat rumah tangga yang tahan panas seperti cangkir. Perbedaan sifat-sifat plastik termoplas dan termoset disimpulkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Perbedaan Sifat Plastik Termoplas Dan Plastik Termoset

Plastik Termoplas	Plastik Termoset
Mudah diregangkan	Keras dan rigid
Fleksibel	Tidak fleksibel

Melunak jika dipanaskan	Mengeras jika dipanaskan
Titik leleh rendah	Tidak meleleh jika dipanaskan
Dapat dibentuk ulang	Tidak dapat dibentuk ulang

2.3.2 Plastik Berdasarkan Jumlah Rantai Karbonnya

1. 1 ~ 4 Gas (LPG, LNG)
2. 5 ~ 11 Cair (bensin)
3. 9 ~ 16 Cairan dengan viskositas rendah
4. 16 ~ 25 Cairan dengan viskositas tinggi (oli, gemuk)
5. 25 ~ 30 Padat (parafin, lilin)
6. 1000 ~ 3000 Plastik (polistiren, polietilen, dll)

2.3.3 Plastik Berdasarkan Sumbernya

1. Polimer alami : kayu, kulit binatang, kapas, karet alam, rambut
2. Polimer sintetis:
 - a) Tidak terdapat secara alami: nylon, poliester, polipropilen, polistiren
 - b) Terdapat di alam tetapi dibuat oleh proses buatan: karet sintetis
 - c) Polimer alami yang dimodifikasi: seluloid, cellophane (bahan dasarnya dari selulosa tetapi telah mengalami modifikasi secara radikal sehingga kehilangan sifat-sifat kimia dan fisika asalnya)

2.4 Kinerja dan Penggunaan Plastik

2.4.1 Plastik Komoditas

1. Sifat mekanik tidak terlalu bagus
2. Tidak tahan panas
3. Contohnya: PE (*polyethylene*), PS (*polystyrene*), ABS (*acrylicbutadien styrene*), PMMA (*polymethacrylic*), SAN (*styreneacrylonitrile*)
4. Aplikasi: barang-barang elektronik, pembungkus makanan, botol minuman

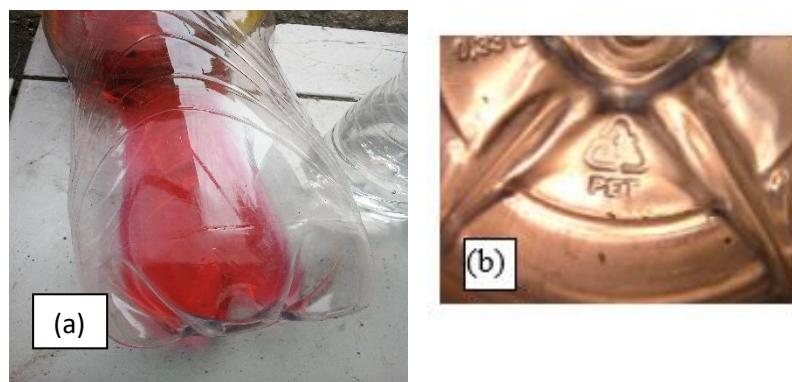
2.4.2 Plastik Teknik

1. Tahan panas, temperatur operasi di atas 100 °C
2. Sifat mekanik bagus
3. Contohnya: PA (*polyamidenylon*), POM (*polyoxymethylene*), PC (*polycarbonate*), PBT (*polybutyleneterephthalate*)
4. Aplikasi: komponen otomotif dan elektronik

2.4.3 Plastik Teknik Khusus

1. Temperatur operasi di atas 150 °C
2. Sifat mekanik sangat bagus (kekuatan tarik di atas 500 Kgf/cm²)
3. Contohnya: PSF, PES (*polyester*), PAI, PAR
4. Aplikasi: komponen pesawat

2.5 PET – *Polyethylene Terephthalate*



Gambar 2.1 PET – *Polyethylene Terephthalate*

Seperti yang dijelaskan pada <https://eltoha.wordpress.com> biasanya pada bagian bawah kemasan botol plastik tertera logo daur ulang dengan angka 1 di tengahnya dan tulisan PETE atau PET (*polyethylene terephthalate*). Biasa dipakai untuk botol plastik yang jernih/transparan/tembus pandang seperti botol air mineral, botol jus, dan hampir semua botol minuman lainnya. Botol Jenis PET/PETE ini direkomendasikan hanya sekali pakai. Karena bila terlalu sering dipakai, apalagi digunakan untuk menyimpan air hangat apalagi panas, akan mengakibatkan lapisan polimer pada botol tersebut akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik (dapat menyebabkan kanker). Di dalam

membuat PET, menggunakan bahan yang disebut dengan antimoni trioksida, yang berbahaya bagi para pekerja yang berhubungan dengan pengolahan ataupun daur ulangnya, karena antimoni trioksida masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernafasan, yaitu akibat menghirup debu yang mengandung senyawa tersebut. Bagi pekerja wanita, senyawa ini meningkatkan masalah menstruasi dan keguguran, apabila melahirkan anak mereka kemungkinan besar akan mengalami pertumbuhan yang lambat hingga usia 12 bulan.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Wawan Trisnadi Putra, Munaji, dan Muh Malyadi (2015) menyatakan bahwa temperatur titik leleh pada proses pengepresan sampah plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) adalah 276°C. Lebih lanjut dijelaskan bahwa kekuatan material hasil pengepresan sampah plastik jenis PET adalah 0, 35 kg/cm² dengan hasil pengujian 35 cm x 2 cm x 4,7 cm (Luas Pengujian) tingkat kelenturan sampai patah sebesar 24,5 Kg sehingga material untuk satu buah bata keraik dibutuhkan beban sebesar 980 Kg.

2.6 HDPE – *High Density Polyethylene*



Gambar 2.2. HDPE – *High Density Polyethylene*

Berdasarkan penjelasan <https://eltoha.wordpress.com> umumnya, pada bagian bawah kemasan botol plastik, tertera logo daur ulang dengan angka 2 di tengahnya, serta tulisan HDPE (*high density polyethylene*) di bawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol susu yang berwarna putih susu, tupperware, galon air minum, kursi lipat, dan lain-lain. HDPE merupakan salah satu bahan plastik yang aman untuk digunakan karena kemampuan

untuk mencegah reaksi kimia antara kemasan plastic berbahan HDPE dengan makanan/minuman yang dikemasnya. HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap suhu tinggi. Sama seperti PET, HDPE juga direkomendasikan hanya untuk sekali pemakaian, karena pelepasan senyawa antimoni trioksida terus meningkat seiring waktu.

2.7 PP – *Polypropylene*



Gambar 2.3 PP – *Polypropylene*

Pada <https://eltoha.wordpress.com> dijelaskan bahwa pada plastik jenis ini tertera logo daur ulang dengan angka 5 di tengahnya, serta tulisan PP (polypropylene) adalah pilihan terbaik untuk bahan plastik, terutama untuk yang berhubungan dengan makanan dan minuman seperti tempat menyimpan makanan, botol minum dan terpenting botol minum untuk bayi. Karakteristik adalah biasa botol transparan yang tidak jernih atau berawan. Polipropilen lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap. Carilah dengan kode angka 5 bila membeli barang berbahan plastik untuk menyimpan kemasan berbagai makanan dan minuman.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Putra, Munaji, dan Malyadi (2015), berikut dijelaskan temperature tiap jenis plastik setelah dilakukan pengepresan.

Tabel 2.3 Temperatur awal, leleh, peningkatan ($^{\circ}\text{C}$)

No	Jenis sampah plastik	Temperatur awal ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatur leleh ($^{\circ}\text{C}$)	Peningkatan temperatur($^{\circ}\text{C}$)
1	PP	32,1	269	236,6

2	PET	30	279	246
3	HDPE	290	225	196

Tabel 2.4 Temperatur untuk jenis plastik

No	Jenis sampah	Kalor jenis leleh (kkal / kg($^{\circ}\text{C}$)
1	PP	10,80
2	PET	0,83
3	HDPE	1,31

2.8 Komponen – Komponen Peralatan Tambahan

2.8.1 Kompor Gas



Gambar 2.4.Kompor Gas 1 Tungku

Alat ini menggunakan kompor gas dengan pembakaran 1 tungku, hal ini dilakukan untuk menghemat penggunaan gas pada saat pembakaran. Suhu maksimal yang dihasilkan kompor ini adalah 1200°C .

2.8.2 Tabung Gas LPG 3 Kg



Gambar 2.5.Tabung gas LPG 3 Kg

Tabung gas ini berisi 3 Kg gas LPG, berat keseluruhan ialah 5 Kg, kalor jenis dari gas LPG ialah = $11920 \text{ Kkal/Kg}^{\circ}\text{C}$, atau = $49897,12 \text{ Kj/Kg}^{\circ}\text{C}$ ($1\text{Kkal/Kg}^{\circ}\text{C} = 4,186 \text{ Kj/Kg}^{\circ}\text{C}$)

2.8.3 Alat Tulis



Gambar 2.6Alat tulis

Alat tulis berfungsi untuk mencatat semua data yang di hasilkan saat pengujian sempel untuk di imput ke computer

2.8.4 Peralatan Keselamatan Kerja



Gambar 2.7.Peralatan Keselamatan Kerja

Semua jenis APD harus digunakan sebagaimana mestinya, gunakan pedoman yang benar-benar sesuai dengan standar keselamatan kerja (K3L :Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan).

2.8.5 Alat Pres pecetak Plastik



Gambar 2.8.Desain mesin pres sampah plastik

Mesin press limbah sampah plastik dengan kapasitas max 2 kg sampah plastik kering.

2.9 Prinsip Kerja Mesin Press

Mesin press sampah plastik adalah mesin yang memiliki kemampuan untuk mengepress sampah plastik dengan efektif dan efisien. Mesin ini menggunakan media pemanas kompor gas LPG. Mesin ini berkapasitas maksimal 2 kg sampah plastik kering. Proses pengepressan dimulai dengan memasukkan sampah plastik kering yang sudah di potong kecil-kecil. Kemudian dimasukkan kedalam tabung yang berbentuk kubus yang terbuat dari plat stainless steel. Plat stainless steel dipilih karena titik leburnya tinggi. Setelah itu kompor yang berfungsi untuk memanaskan dinyalakan dengan nyala maximal. Kemudian suhu didalam tabung mesin secara otomatis akan menjadi meningkat dan melelehkan plastik yang ada didalam tabung tersebut. Kemudian plat pengepress yang berada diatas tabung diturunkan untuk mengepress plastik yang sudah meleleh sehingga menjadi padat. Kemudian setelah plastik menjadi padat plat pengepress diangkat, kemudian mesin dibiarkan beberapa jam supaya plastik yang sudah menjadi

padat menjadi dingin. Setelah dingin tabung dibuka pada bagian samping dan plastik padat sudah bisa dikeluarkan.

2.10 Proses Pengepressan

Proses pengepressan dimulai dengan :

1. Menyiapkan sampah plastik kering yang sudah di potong-potong.
2. Menyiapkan kompor dan gas LPG, pastikan selang terpasang dengan benar supaya tidak terjadi kebocoran gas.
3. Meletakkan kompor dibawah mesin press.
4. Plastik yang sudah siap kemudian dimasukkan kedalam mesin press.
5. Kompor dinyalakan.
6. Turunkan pengepress hingga plastik padat.
7. Setelah plastik menjadi padat tunggu beberapa jam hingga dingin lalu keluarkan lewat samping dengan membuka pintunya.
- 8.

2.11 Teori Uji Kekerasan

Kekerasan adalah tahanan yang dilakukan oleh bahan terhadap tekanan ke dalam yang tetap, disebabkan oleh sebuah alat penekan dengan bentuk tertentu dibawah pengaruh gaya tertentu. Kekerasan merupakan sebuah istilah yang sulit didefinisikan secara tetap karena setiap bidang ilmu dapat memberikan definisinya tersendiri yang sesuai dengan persepsi dan keperluanya.

Ada beberapa cara pengujian kekerasan dengan standart yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu:

1. Pengujian Brinell
2. Pengujian Rockwell
3. Pengujian Vickers
4. Dan lain-lain

Kekerasan sering dinyatakan sebagai:

- Kemampuan untuk menahan tendensi dan penetrasi
- Ketahanan bahan terhadap goresan

- Ketahanan suatu bahan untuk menahan deformasi plastis

a. **Pengujian Kekerasan Brinell**

Pengujian Brinell dilakukan pertama kali pada tahun 1900 oleh J.A. Brinell, menyatakan bahwa uji kekerasan dengan sistem penekanan menghasilkan lekukan. Pengujian Brinell adalah salah satu cara pengujian kekerasan yang paling banyak digunakan. Pada pengujian Brinell menggunakan pola baja yang dikersakan sebagai indentor. Indentor ini ditusukkan kepermukaan logam yang di uji dengan gaya tekan dan waktu tertentu (antara 10 sampai 30 detik). Karena penekanan (indentasi) itu maka pada logam tersebut akan mengakibatkan tampak tekan membentuk tembereng bola, dan kekerasan Brinell dapat dihitung dengan rumus:

$$BHN = \frac{2P}{[\pi D][D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

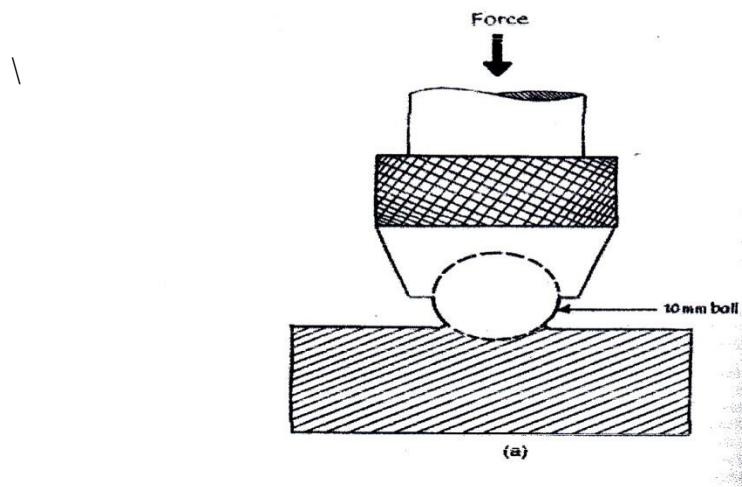
Dimana:

BHN : nilai kekerasan menurut Brinell (kg/mm)

P : gaya tekan (kg)

D : diameter bola indentor (mm)

d : diameter tapak tekan (mm)



Gambar 2.9. Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell

Diameter bola baja yang dipakai tergantung dari tebal bahan yang akan di uji supaya tidak terjadi indentasi yang terlalu dangkal

atau terlalu dalam maka digunakan gaya tekan dan indentor dengan diameter yang berbeda, perbandingan $P/D^2 = \text{konstan}$.

b. Pengujian Kekerasan Rockwell

Pada pengujian Brinell pengukuran diameter tapak tekan secara manual, sehingga member peluang terjadinya kesalahan pengukuran sangat besar dan memakan waktu. Pada cara Rockwell pengukuran langsung dilakukan oleh mesin dan mesin langsung menunjuk angka kekerasan dari bahan uji. Dengan kata lain pengujian Rockwell mempunyai ketelitian yang lebih tinggi daripada proses yang lain sehingga kemungkinan kesalahan sangat kecil, disamping itu waktu yang dibutuhkan sangat singkat.

Menurut Wahyuni, dkk. pengujian Rockwell memerlukan beberapa tahap yaitu:

1. Permukaan logam yang uji tekan oleh indentor dengan gaya tekan 10 kg.
2. Beban awal (major load P) sehingga ujung indentor menembus permukaan sedalam h .
3. Penekanan diteruskan dengan member beban utama (major load P) selama beberapa saat.
4. Beban utama dilepas menghasilkan kedalaman penetrasi ujung indentor adalah h_1 .

Kekerasan diperhitungkan berdasarkan perbedaan kedalaman penetrasi. Penetrasi adalah langkah gerakan indentor yang tembus kepermukaan specimen, maka pengukuran dilakukan dengan menggunakan dial indentor dengan sedikit modifikasi yaitu piringan penunjukkan skala kekerasan Rockwell.

Tabel 2.5 The Rockwell Hardness scales

Scale	Indentor	F0 (kgf)	F1 (kgf)	F (kgf)	E	Jenis Material Uji
A	Diamond cone	10	50	60	100	Extremely hard materials, tungsten carbides, dll
B	1/16" steel ball	10	90	100	130	Medium hard materials, low and medium carbon steels, brass, copper, aluminum, etc.
C	Diamond cone	10	140	150	100	Hardened steels, hardened and tempered alloys
D	Diamond cone	10	90	100	100	Annealed brass and copper
E	1/8" steel ball	10	90	100	130	Beryllium copper, phosphor bronze, etc.
F	1/16" steel ball	10	50	60	130	Aluminum sheet
G	1/16" steel ball	10	140	150	130	Cast iron, aluminum alloys
H	1/8" steel ball	10	50	60	130	Plastic and soft metals such as tin
K	1/8" steel ball	10	140	150	130	Same as H scale
L	1/4" steel ball	10	50	60	130	Same as H scale
M	1/4" steel ball	10	90	100	130	Same as H scale
P	1/4" steel ball	10	140	150	130	Same as H scale
R	1/2" steel ball	10	50	60	130	Same as H scale
S	1/2" steel ball	10	90	100	130	Same as H scale
V	1/2" steel ball	10	140	150	130	Same as H scale

c. Pengujian Kekerasan Vickers

Prinsip dasar pengujian ini sama dengan pengujian Brinell, hanya saja disini digunakan indentor intan yang berbentuk pyramid berbasis bujur sangkar dengan sudut puncak 136° . Sudut ini diambil karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan antara diameter tekan dari diameter bola penumbuk pada uji kekerasan Brinell karena bentuk penumbuknya pyramid. Tapak tekannya berbentuk bujur sangkar dan yang diukur adalah panjang kedua diagonalnya kemudian diambil rata-ratanya.

Angka kekerasan Vickers dapat dihitung sebagai berikut:

$$HV = \frac{[2 \cdot P \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)]}{d^2} = 1,854 \cdot \frac{P}{d^2}$$

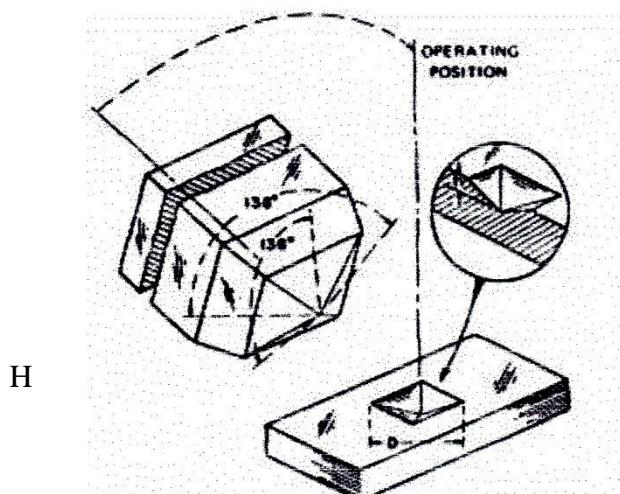
Dimana:

HVN : nilai kekerasan menurut metode Vickers

P : gaya tekan (kg)

A : sudut puncak indentor 136°

D : diagonal tapak tekan rata-rata (mm)



Gambar 2.10. Skematis prinsip indentasi dengan metode Vickers

Hasil uji kekerasan ini tidak tergantung pada besarnya gaya tekan, dengan gaya tekan yang berbeda akan menghasilkan bentuk yang sama. Dengan demikian Vickers juga dapat mengukur kekerasan bahan mulai dari bahan yang lunak (5HVN) sampai yang amat keras (1500HVN) tanpa perlu mengganti gaya tekan. Besar gaya tekan dipilih antara 1 sampai 120 kg tergantung pada kekerasan bahan uji agar tapak tekan yang mudah diukur dan tidak ada anvil effect (pada benda yang tipis).

2.12 Prinsip Pengujian Kekerasan

Menurut Nugraheni, kekerasan suatu material dapat didefinisikan sebagai ketahanan material tersebut terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Penekanan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan (*scratching*), pantulan maupun indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji. Berdasarkan mekanisme penekanan tersebut, dikenal 3 metode uji kekerasan yaitu sebagai berikut:

a. Metode Gores

Metode ini dikenalkan oleh Friedrich Mohs yang membagi kekerasan material di dunia ini berdasarkan skala (yang kemudian dikenal dengan skala Mohs). Skala ini bervariasi dari nilai 1 untuk kekerasan yang paling rendah, sebagaimana dimiliki oleh material talk, hingga skala 10 sebagai nilai kekerasan tertinggi, sebagaimana dimiliki oleh intan. Dalam skala Mohs urutan nilai kekerasan material di dunia diwakili oleh:

- | | |
|-------------|--------------------|
| 1. Talc | 6. Orthoclase |
| 2. Gipsum | 7. Quartz |
| 3. Calcite | 8. Topaz |
| 4. Fluorite | 9. Corundum |
| 5. Apatite | 10. Diamond(intan) |

Prinsip pengujian pada metode ini yaitu, bila suatu mineral mampu digores oleh Orthoclase tetapi tidak mampu digores untuk Apatite, maka kekerasan mineral tersebut berada antara 5 dan 6. Berdasarkan hal ini, jelas terlihat bahwa metode ini memiliki kekurangan utama berupa ketidak akuratan nilai kekerasan suatu material. Bila kekerasan mineral-mineral diuji dengan metode lain, ditemukan bahwa nilai-nilainya berkisar antara 1-9 saja, sedangkan nilai 9-10 memiliki rentang yang besar.

b. Metode Elastik/pantul (rebound)

Dengan metode ini, kekerasan suatu material ditentukan oleh alat Scleroscope yang mengukur tinggi pantulan suatu pemukul (hammer) dengan berat tertentu yang dijatuhkan dari suatu ketinggian terhadap permukaan benda uji. Tinggi pantulan (rebound) yang dihasilkan mewakili kekerasan benda uji. Semakin tinggi pantulan tersebut, yang ditunjukkan oleh dial alat pengukur, maka kekerasan benda uji dinilai semakin tinggi.

c. Metode Indentasi

Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan penekanan benda uji dengan indentor dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan suatu material ditentukan oleh dalam ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indentor dan jenis pengujian).