

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. *Squeeze Casting*

Pengecoran *Squeeze* atau yang sering juga disebut penempaan logam cair adalah proses dimana logam cair didinginkan dalam cetakan tertutup yang diberi tekanan dari luar yang berasal dari tenaga hidrolik (**Sri Mulyo Bondan Respati, 2016**). Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound – cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu :

a. Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)

Durasi penekanan dihitung dari saat punch di titik terendah sampai saat punch diangkat (penekanan dilepaskan). Untuk benda cor dengan berat hingga 9 kg, durasi penekanan yang sering dipakai bervariasi antara 30 – 120 detik. Akan tetapi biasanya durasi ini juga tergantung pada bentuk geometri coran yang diinginkan. Untuk material komposit pemberian tekanan setelah pembekuan (solidification) tidak memperbaiki sifat, tetapi hanya menambah waktu siklus saja.

b. Volume Cairan (*Melt Volume*)

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

c. Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)

Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran / komponen. Biasanya temperatur tuang diambil 6 – 55⁰C di atas temperatur liquidus.

d. Temperatur Perkakas (*Casting Temperatur*)

Temperatur normal adalah 190 – 315⁰C. Untuk produk cor yang mempunyai penampang relatif tebal, rentang temperatur ini dapat diturunkan. Biasanya temperatur punch diatur 15 – 30⁰C dibawah temperatur die terendah untuk memungkinkan adanya kelonggaran atau ventilasi yang memadai diantara keduanya. Kelonggaran yang berlebihan antara punch dan die mengakibatkan erosi pada permukaan keduanya.

e. Waktu Tunggu (*Time Delay*)

Waktu tunggu / Waktu tuang 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 cair. Bentuk

penampang yang kompleks memerlukan waktu yang cukup bagi logam cair mengisi keseluruhan rongga cetakan; untuk itu perlu adanya tenggang waktu yang cukup sebelum punch menyentuh dan menekan logam cair. Hal ini untuk menghindari terjadinya porositas akibat penyusutan (*shrinkage porosity*).

f. Batas Tekanan (*Pressure Level*)

Rentang tekanan normal adalah 50 – 140 MPa, tergantung pada bentuk geometri komponen serta sifat mekanis yang dibutuhkan. Tetapi dimungkinkan tekanan minimum adalah 40 MPa. Tekanan yang sering digunakan 70 MPa.

g. Pelumasan (*Lubrication*).

Proses *squeeze casting* membutuhkan pelumas pada permukaan dies untuk memudahkan proses pengambilan produk cor dari cetakannya. Akan tetapi sistem pelumasan ini diusahakan jangan sampai menutupi lubang ventilasi yang ada pada dies. Untuk paduan aluminium, magnesium, dan tembaga, permukaan dies biasanya disemprot dengan pelumas *colloidal graphite*. Sedangkan *ferrous casting*, permukaan dies biasanya dilapisi dengan sejenis bahan keramik untuk mencegah efek pengelasan antara produk cor dengan permukaan dies.

h. Kecepatan Pengisian (*Filling rate*)

Makin rendah kecepatan pengisian akan menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar. Akan tetapi kecepatan pengisian yang terlalu rendah dapat menyebabkan kehilangan panas (*heat loss*) yang besar dan berakibat pada terjadinya *premature solidification* serta *cold shuts*

2.2. Pengaruh durasi penekanan (*pressure duration*) terhadap sifat mekanik

Menurut (Taufikurrahman dkk, 2013) proses pengecoran *squeeze casting* kan menghasilkan produk akhir yang lebih akurat dengan kualitas yang baik dibandingkan dengan pengecoran dengan metode lainnya. Hasil pengecoran terlihat lebih padat dan lebih homogen serta memiliki sifat mekanik yang baik. dengan menggunakan bahan daur ulang 25 kg piston dan 25 kg roda dalam bentuk campuran (rem, penutup mesin dan perabot rumah tangga) yang telah di lebur di unit pengolahan. Proses pengecoran dilakukan dengan ditungkannya cairan ke dalam sebuah cetakan pada suhu 750° C kemudian diberi tekanan selama 60 hingga 70 detik. Proses tekanan diulang pada beban 50, 70, 90, 110 , 130 dan 150 MPa. Meningkatnya tingkat tekanan pada paduan aluminium di permukaan telah memberikan tekanan yang signifikan pada proses, ini dikarenakan karena kepadatan paduan elemen selama proses pembekuan. Semakin besar tekanan, kekerasan akan semakin meningkat. Namun, jumlah tekanan memiliki batas-batasnya untuk proses solidifikasi logam dan sifat dari logam cair. Dalam proses ini kekerasan meningkatkan hingga 22% yang dipengaruhi waktu penekanan, suhu dan beban

penekan. Teknik squeeze casting berpengaruh besar pada sifat mekanik bahan, terutama kekerasan permukaan.

Menurut **(P. Senthilkumar, 2016)** Kualitas hasil coran tergantung pada parameter yang digunakan, diantaranya durasi penekanan, beban penekanan dan suhu cetakan yang digunakan. Durasi penekanan dan beban penekan yang diterapkan akan membuat gas di dalam coran terperangkap dalam larutan ketika cairan dimasukkan cetakan suhu tinggi maka akan mendorong perpindahan panas yang cepat. Dengan menggunakan bahan komposit aluminium A356 + 5% SiC beban penekanan 120 MPa dengan durasi penekanan selama 40 detik dan suhu penuangan 850 C sifat mekanik hasil coran lebih baik dibandingkan dengan coran lainnya karena adanya penyempurnaan butir dan distribusi SiC dalam matriks aluminium. Dengan pengaruh tekanan yang diterapkan, tidak ada formasi celah udara antara logam pemadatan dan antarmuka die-wall. Ini membantu untuk meningkatkan laju transfer panas lokal di permukaan sehingga menghasilkan pembekuan yang cepat dari logam cair.

Menurut **(Deepak Sigh)** parameter *squeeze casting* yang sangat berpengaruh diantaranya beban penekanan, durasi penekanan dan suhu yang memiliki dampak paling signifikan terhadap sifat mekanik. Untuk material logam paduan kuningan dengan memvariasikan beban penekanan sebesar 80 MPa, 120 MPa dan 160 MPa dengan variasi durasi penekanan 15 detik, 30 detik, 45 detik dan suhu *die* 50⁰ C, 100⁰ C, 150⁰ C. Uji yang dilakukan menggunakan pengujian ketangguhan impak sebanyak 9 kali. Hasil optimum dalam pengujian terjadi pada kondisi beban tekanan 120 MPa, suhu 100⁰ C, temperatur tuang 1000⁰ C dengan durasi penekanan 45 detik memiliki nilai ketangguhan yang maksimum ketika beban terkena tumbukan.

Menurut **(M. Thirumal Azhagan, 2016)** squeeze casting juga dikenal dengan penempaan logam cair, dimana logam cair memadat di bawah tekanan tertutup diposisikan antara pelat pers hidrolik. Dengan memvariasikan tekanan dan kontak instan dari logam cair dengan permukaan cetakan menghasilkan kondisi cepat transfer panas yang menghasilkan produk cor dengan sifat mekanik yang baik. Dengan menggunakan bahan aluminium 6061 dengan memvariasikan beban penekanan 35 MPa, 70 MPa dan 150 MPa, suhu awal 200⁰ C dengan durasi penekanan selama 15 detik. Hasil yang didapatkan dalam pengujian impak 60 J, 62 J, 65 J terbukti bahwa ketika tekanan yang diberikan semakin tinggi maka penekanan hidrolik menyebabkan transfer panas yang cepat sehingga adanya penyempurnaan butir dan meningkatkan sifat mekanik material tersebut.

Menurut (M. Kamaraj, 2015) komposit hibrida alumunium LM6 memiliki sifat yang bagus seperti koefisien ekspansi panas yang rendah, ketahanan aus yang lebih baik dan sifat mekanik yang tinggi. Penerapan tekanan dapat meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tarik dan ketangguhan seiring dengan bertambahnya tekanan yang diberikan. Proses pengecoran dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan melalui jalan yang menghubungkan tungku peleburan dengan cetakan. Jalan setapaknya dipanaskan untuk mempertahankan fluiditas logam cair kemudian ditekan dengan pers hidrolis. Dengan divariasikannya beban penekanan dan durasi penekanan didapatkan kesimpulan sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan luluh dan kekuatan tarik akhir komposit meningkat dengan meningkatnya tekanan maksimum dengan beban sebesar 120 MPa dengan durasi penekanan selama 60 detik. Sehingga kepadatan dan kekerasan produk coran dapat meningkat dengan meningkatnya tekanan yang diberikan sehingga menghasilkan produk coran yang baik.

2.3. Pengaruh volume cairan (*Melt Volume*) terhadap sifat mekanik

Penelitian (LA. Dobrzanski, 2007) meneliti bagaimana pengaruh perbedaan laju pembekuan pada saat melakukan proses pengecoran. Hal ini dibuktikan bahwa volume cairan sangat berpengaruh pada sifat mekanik hasil coran. Hal ini berkaitan selama proses waktu pembekuan akan terjadi proses pembentukan struktur mikro, semakin cepat laju pembekuan akan meningkatkan sifat mekanik suatu bahan salah satunya kekerasannya. Pada alumunium paduan Al-Si-Cu laju pembekuan yang cepat dapat meningkatkan kekerasan, yaitu 68,48 HRF untuk laju 0,14°C/s., 70,63 HRF untuk laju 0,46°C/s serta 74,58°C/s yang berarti semakin cepat laju pembekuan nilai kekerasan semakin meningkat.

Menurut (Jeyakumar dkk, 2017) melakukan penelitian pengaruh laju pembekuan pada alumunium silikon. Pada hasil produk coran waktu laju pembekuan yang lama terjadi cacat porositas serta tidak terbentuk partikel Si, pada laju pembekuan sedang tidak terbentuknya porositas serta partikel Si, sedangkan pada pembekuan yang cepat tidak ditemukan porositas tetapi terbentuknya partikel Si disertai Al dendrit yang lembut.

Penelitian menurut (S. Seifeddine, 2009) pengaruh laju pembekuan pada alumunium A380, berpengaruh pada hasil produk coran. Waktu laju pembekuan yang cepat kekuatan material semakin tinggi akan tetapi keuletannya berkurang.

Menurut (Duskiardi, 2002) laju pembekuan material akibat pengaruh tekanan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik benda uji, hal ini mampu menurunkan porositas sampai 85,12% dan meningkatkan kekerasan 5,29% setelah dilakukn proses perlakuan panas T6. Terjadinya kontak antara logam cair dengan

penekan/*punch* memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cepat yang dapat menyebabkan hasil struktur mikro lebih homogen dan dapat memperbaiki sifat mekaniknya. Pada aluminium paduan, menurut (Adri, 2016) laju pembekuan sangat dipengaruhi oleh volume cairan, karena dengan waktu pembekuan yang panjang, kristal-kristal dendrit sempat tumbuh di sekeliling inti, dan pembekuan berakhir pada keadaan dendrit-dendrit tersebut saling bertemu dan menghasilkan butir-butir kristal yang besar

2.4. Perlakuan panas T6 (*Heat Treatment*)

Menurut (Guoping Liu, 2017) aluminium 6101/A356 yang dilakukan proses perlakuan panas T6 (540 °C selama 5 jam, didinginkan di dalam air dingin dan penuaan pada 175 °C selama 4 jam) dapat memperbaiki sifat mekanis dan mikrostruktur yang terdiri dari struktur butir yang halus

Heat treatment (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan cara memanaskan specimen pada *electric trance* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu, kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda beda. Dengan adanya pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu, maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. Perlakuan panas memiliki pengaruh yang besar pada karakteristik komposit seperti kekerasan dan ketahanan aus yang lebih baik (Keshavamurthy dkk, 2016).

Perlakuan panas pada aluminium paduan dilakukan dengan memanaskan sampai terjadi fase tunggal kemudian ditahan beberapa saat dan diteruskan dengan pendinginan cepat hingga tidak sempat berubah ke fase lain. Jika bahan tadi dibiarkan untuk jangka waktu tertentu maka terjadilah proses penuaan (*aging*). Perubahan akan terjadi berupa presipitasi (*pengendapan*) fase kedua yang dimulai dengan proses nukleasi dan timbulnya kluster atom yang menjadi awal dari presipitat. Presipitat ini dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Proses ini merupakan proses *age hardening* yang disebut *natural aging*. Jika setelah dilakukan pendinginan cepat kemudian dipanaskan lagi hingga di bawah temperatur solvus (*solvus line*) kemudian ditahan dalam jangka waktu yang lama dan dilanjutkan dengan pendinginan lambat di udara disebut proses penuaan buatan (*artificial aging*).

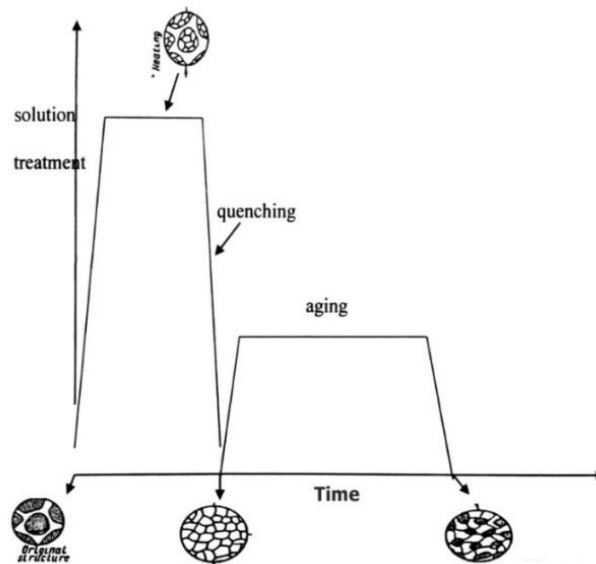
Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan penuaan keras (*age hardening*). Melalui penuaan keras, logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Dahulu orang menyebut penuaan keras dengan sebutan pemuliaan atau penemperan

keras. Penamaan tersebut kemudian dibakukan menjadi penuaan keras karena penemperan keras pada logam paduan aluminium berbeda dengan penemperan keras yang berlangsung pada penemperan keras baja.

Paduan aluminium yang dapat ditua keraskan atau di age hardening dibedakan atas paduan aluminium yang dapat ditua keraskan dalam keadaan dingin dan paduan aluminium yang dapat ditua keraskan dalam keadaan panas. Penuaan keras berlangsung dalam tiga tahap.

Tahapan perlakuan panas T6 (*Age Hardening*) adalah :

1. *Solution treatment*
2. *Quenching*
3. *Aging*

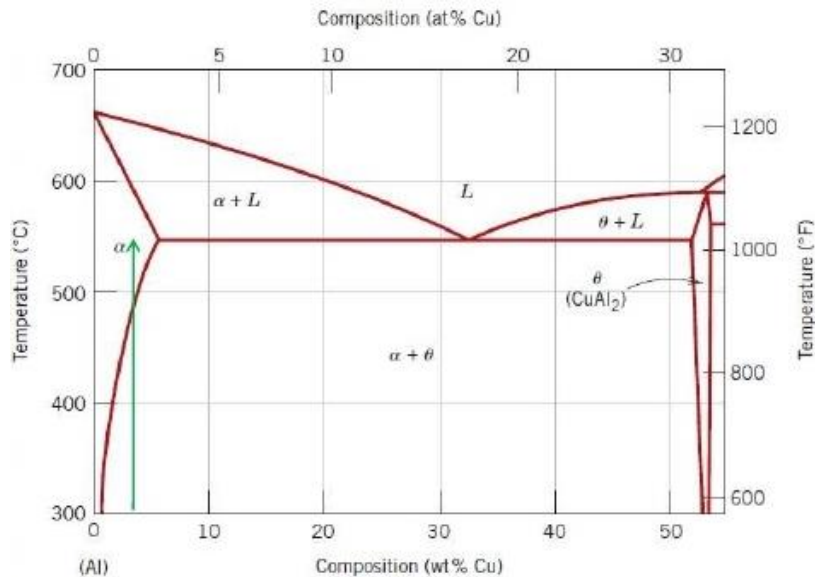


Gambar 2. 1. Siklus Perlakuan Panas T6

2.4.1. *Solution Heat Treatment (Perlakuan Panas Pelarutan).*

Tahap pertama dalam proses age hardening yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 550°C - 560°C dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja (Schonmetz, 1990). pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada,

menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen.



Gambar 2. 2. Diagram fasa perlakuan panas Al-Cu

2.4.2. *Quenching* (Pendinginan Cepat)

Quenching atau pendinginan cepat, bertujuan mempertahankan larutan padat yang telah terbentuk, dapat pula dikatakan bahwa proses ini berguna untuk menahan atom-atom yang larut dalam atom pelarut. Jadi ketika paduan didinginkan dari temperatur pelarut dalam keadaan cepat. Proses pembentukan presipitat dalam aluminium terjadi dengan cepat pada temperatur 260-400°C. Walaupun pendinginan cepat akan menciptakan tegangan sisa dan distorsi tetapi ini juga menjadi suatu pertimbangan tersendiri pada setiap proses desain paduan.

2.4.3. *Aging* (Tahapan Penuaan)

Aging dapat dilakukan dengan membiarkan larutan lewat jenuh itu pada temperatur kamar selama beberapa waktu. Dinamakan *natural aging* atau dengan memanaskan kembali larutan lewat jenuh itu ke temperatur di bawah garis solvus dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama beberapa saat. Dinamakan *artificial aging*. Bila *aging* temperatur terlalu tinggi dan atau *aging time* terlalu panjang maka partikel yang terjadi akan terlalu besar (sudah mikroskopik) sehingga efek penguatannya akan menurun bahkan menghilang sama sekali, dan ini dinamakan *over aged*.

Setelah dilakukan pendinginan cepat kemudian dipanaskan lagi hingga dibawah temperatur solvus (*solvus line*) kemudian ditahan dalam jangka waktu yang lama dan dilanjutkan dengan pendinginan lambat di udara. Perubahan sifat-sifat dengan berjalannya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. Aging atau penuaan pada logam paduan dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*).

Aging (perlakuan penuaan) yaitu perlakuan panas dengan menahannya pada suatu temperatur tertentu (temperatur kamar atau temperatur dibawah *solvus line*/batas pelarut) untuk jangka waktu tertentu. Penuaan dapat dibagi menjadi dua yaitu :

- 1) Penuaan yang dilakukan dengan membiarkan larutan padat jenuh itu pada temperatur kamar selama beberapa waktu, dinamakan *natural aging* yaitu penuaan yang terjadi secara alamiah.
- 2) Penuaan dengan memanaskan kembali larutan padat jenuh itu kesuatu temperatur di bawah garis *solvus* dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama beberapa saat, dinamakan *artificial aging* (*aging* buatan/*aging treatment*).

2.5. Kekerasan (*Rockwell F*)

Uji kekerasan yang paling banyak dipergunakan di Amerika Serikat adalah uji kekerasan *Rockwell*. Hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu: cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang diperkakas dan ukuran kelekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap, dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan. Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* ini menggunakan standart *ASTM E 18*. Adapun skala kekerasan metode pengujian *Rockwell* ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2. 1. Skala pengujian rockwell

Skala Simbol	Indentor	Total Beban (kgf)	Warna Dial	Aplikasi Skala
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	Merah	Paduan tembaga, baja lunak, paduan aluminium, besi tempa, dll.
C	Diamond	150	Hitam	Baja, besi tuang keras, besi tempa peritik, titanium, baja lapisan keras yang dalam, dan bahan lain yang lebih keras dari skala B-100.
A	Diamond	60	Hitam	Carbide cementite, baja tipis, dan baja lapisan keras yang tipis.
D	Diamond	100	Hitam	Baja tipis, baja lapisan keras yang sedang, dan besi tempa peritik.

E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	Merah	Besi tuang, paduan aluminium, magnesium, dan logam bantalan.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	Merah	Paduan tembaga yang dilunakkan dan plat lunak yang tipis.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	Merah	Besi tempa, paduan tembaga, nikel-seng, dan tembaga-nikel.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	Merah	Aluminium, seng, timah.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis

Sumber : ASTM Internasional E 18-03^{E1} An American National Standard 2004

Berikut adalah skala yang paling umum digunakan dalam pengujian *Rockwell* adalah:

1. HRA digunakan untuk material yang sangat keras beban uji 60 kgf.
2. HRB digunakan untuk material yang sangat lunak dan indentor berupa bola baja dengan diameter 1/16 inchi dan beban uji 100 kgf.

3. HRC digunakan untuk material dengan kekerasan sedang dan indenter berupa intan kerucut dengan sudut 120 dan beban uji sebesar 150kgf

Dalam pengujian *Rockwell* terdapat dua macam indenter yaitu:

1. Kerucut intan dengan dengan besar sudut 120 dan disebut sebagai *Rockwell cone*.

2. Bola baja dengan berbagai ukuran disebut sebagai *Rockwell Ball*
Berdasarkan besar beban minor dan major, dalam proses pengujian kekerasan metode *Rockwell* dibedakan dalam dua kelompok, yaitu :

1. Rockwell

Beban minor :10kg

Beban major :60,100,150kg

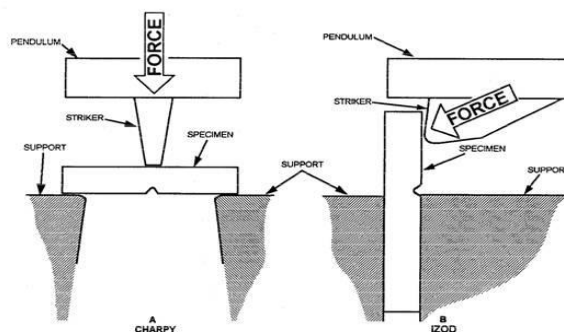
2. Rockwell superficial

Beban minor :3kg

Beban major 15,30,45kg

2.6. Pengujian ketangguhan impact

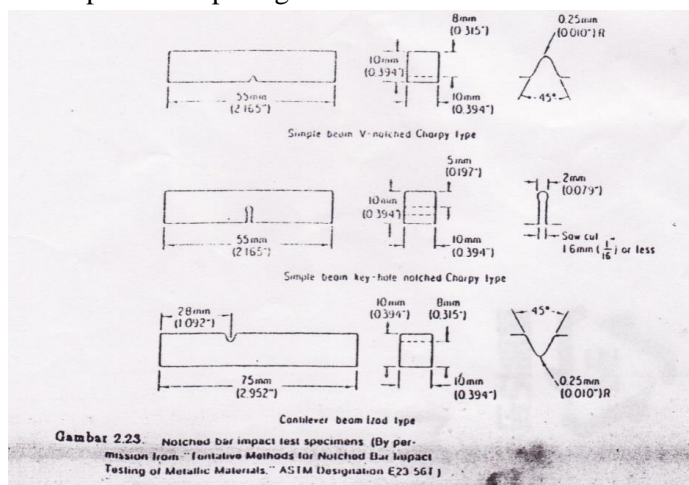
Uji impact adalah pengujian dengan menggunakan beban kejut atau pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Uji impact merupakan pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pada pengujian ini digunakan batang uji yang bertakik (*nocth*) yang dipukul dengan sebuah bandul. Ada dua cara pengujian yang dapat digunakan yaitu *metode charpy* (yang banyak dipakai di Amerika dan negara-negara lain) dan *metode Izod* yang digunakan di Inggris. Pada metode *Izod*, batang uji dijepit pada satu ujung sehingga takikkan berada didekat penjepitnya. Bandul/pemukul yang diayunkan dari ketinggian tertentu akan memukul ujung yang lain dari arah takikkan. Pada metode *charpy*, batang uji diletakkan mendatar. Bandul berayun akan memukul batang uji tepat dibelakang takikkan.



Gambar 2. 3. Skema pembebanan uji impact

Pada pengujian ini bandul pemukul dinaikkan sampai ketinggian tertentu H . pada posisi ini pemukul memiliki energi potensial sebesar WH (W = berat pemukul). Dan posisi ini pemukul dilepaskan dan berayun bebas, memukul batang uji hingga patah, dan pemukul masih terus berayun sampai ketinggian H_1 . Pada posisi ini sisa energi potensial adalah WH_1 . Selisih antara energi awal dengan energi akhir adalah energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji.

Kekuatan impact, ketahanan batang uji terhadap pukulan impact dinyatakan dengan banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan batang uji, dengan notasi IS atau C, satuannya kg, m atau ft, lb atau joule. Bentuk dan ukuran batang uji yang standart dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 4. Bentuk spesimen uji impact ASTM E-23