

**ANALISA SIFAT MEKANIS BAJA PADA BAHAN SPCC-HD DENGAN PROSES  
DEEP CURLING DALAM PEMBUATAN DRUM**

Achmad Husen <sup>(1)</sup>, Adri Fato <sup>(2)</sup>, Nursidik <sup>(3)</sup>  
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Jl. Moh Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640 - Indonesia

**ABSTRAK**

*Sheet Metal Forming* adalah suatu proses pembentukan dimana proses pembuatannya menggunakan *Sheet Metal* atau lembaran plat, sehingga membentuk suatu *part*. Studi mengenai bending pada aluminium, untuk mengetahui pengaruh dari hasil bending dengan sudut dan ketebalan tertentu, dalam *sheet metal forming* ada beberapa proses pengerjaan, dan salah satunya dalam hal ini adalah *stamping*, *stamping* yang di lakukan pada proses pembuatan drum dimana terdapat perubahan sifat mekanis bahan setelah proses pembebanan di lakukan. dalam pengerjaan *sheet metal forming* terdapat fenomena *strain hardening* atau pengerasan regangan dimana setelah pembentukan di lakukan, terjadi perubahan deformasi elastis yang kemudian meningkat sampai pada deformasi plastis akibat penekanan *die* dimana material mengalami perubahan bentuk secara permanen atau tidak dapat kembali seperti bentuk semula. Dimana tujuannya adalah apakah proses *sheet metal forming* tersebut benar-benar mempengaruhi terhadap peningkatan kekuatan bahan sampai akhirnya dikatakan bahwa penguatan itu memang terjadi pada material setelah proses pengerjaan *Deep Curling*.

**Kata Kunci** : *Sheet Metal Forming*, Analisa Sifat Mekanis, *Deep Curling Of Sheet Metal Forming*

**ABSTRACT**

*Sheet Metal Forming* is a forming process where the manufacturing process uses *Sheet Metal* or sheet plates, thus forming a part. Study of bending in aluminum, to determine the effect of bending with a certain angle and thickness, in sheet metal forming there are several working processes, and one of them is *stamping*, which is done in the process of making drums where there are changes in mechanical properties. after the loading process is carried out. In sheet metal forming, there is a phenomenon of strain hardening or strain hardening where after the formation is done, there is a change in elastic deformation which then increases to plastic deformation due to die pressing where the material changes shape permanently or cannot return to its original shape. Where the goal is whether the sheet metal forming process really affects the strength of the material until it is finally said that the reinforcement does occur in the material after the *Deep Curling* process.

**Keywords** : *Sheet Metal Forming*, *Mechanical Properties Analysis*, *Deep Curling Of Sheet Metal Forming*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam dunia *manufacturing* dikenal berbagai macam proses, salah satunya adalah *sheet metal forming*. *sheet metal forming* dalam *manufacturing* adalah proses pemberian tekanan pada plat datar menurut permukaan *design die* sampai pada titik deformasi plastis plat tersebut, sehingga terbentuklah komponen yang baru sesuai dengan *desain* permukaan *die*. Pembentukan logam menggunakan deformasi plastis untuk mengubah bentuk benda kerja, Deformasi atau perubahan bentuk dihasilkan dari penggunaan *tool* yang biasanya disebut *die*. *Die* tersebut memberikan tegangan yang melebihi kekuatan menghasilkan logam (plastis). Logam selanjutnya berubah bentuk menjadi bentuk yang sesuai dengan geometri *die*. [1]

Produk sheet metal pada umumnya sangat dikenal di kalangan industri otomotif yang disebut dengan *sheet metal parts* atau komponen sheet metal. Namun, komponen sheet metal tidak saja terdapat pada produk-produk industri otomotif, tetapi masih banyak tersebar di industri industri lain yang membutuhkannya. Pada umumnya proses pembuatan komponen sheet metal lebih kompleks dan cenderung memiliki waktu pengerjaan lebih panjang daripada komponen lain. *Sheet metal* tersedia dalam dua bentuk, yakni lembaran (sheet) dan gulungan (coil).

untuk mengetahui seberapa besar perubahan itu terjadi maka di lakukan 2 aspek pengujian :

- a. Kekuatan bahan
- b. Komposisi kimia

**Pada penelitian ini dilakukan “ANALISA SIFAT MEKANIS BAJA PADA BAHAN SPCC-HD DENGAN PROSES DEEP CURLING DALAM PEMBUATAN DRUM”.**

## 1. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi *Sheet metal forming*

*Sheet metal forming* adalah proses pembentukan lembaran logam dengan

menggunakan *dies* dan mesin *press* gaya tekan untuk mengubah bentuk dan ukuran dari logam yang dikerjakan agar sesuai dengan bentuk benda kerja yang diinginkan. Pembentukan logam masuk dalam sebuah kelompok besar dari proses-proses *manufactur*. Istilah *metal forming* adalah merujuk kepada sekelompok metode manufaktur yang di berlakukan pada suatu material biasanya material tak berbentuk sedehana yang dirubah menjadi sebuah produk yang bermanfaat tanpa adanya perubahan massa atau komposisi material. Produk yang baru terbentuk ini biasanya memiliki geometri yang lebih kompak yang didefinisikan dalam bentuknya ukurannya akurasi dan toleransinya penampilannya dan sifat-sifatnya.

*Sheet Metal Forming* merupakan proses pembentukan terhadap material dengan bahan dasar plat untuk dijadikan sebuah produk. Satu hal yang paling utama dari proses *Sheet Metal Forming* adalah proses deformasi elastis, kemudian deformasi plastis. Ketika beban yang diberikan dilepas, maka bagian material yang mengalami deformasi elastis akan kembali bentuk semula. Dengan memanfaatkan tahap plastis tersebut maka proses pembentukan dapat dicapai dimana bentuk plat dapat sesuai dengan bentuk yang diinginkan. [2]

Di dalam pengerjaan panas, material (logam) terlebih dahulu dipanaskan sampai diatas tempeteratur rekristalisasi, sehingga sifat-sifat material akan berubah, disini sifat material secara umum akan lebih ulet, lebih mudah dibentuk (tekanan lebih ringan), dan bentuk-bentuk yang lebih sulit akan lebih mudah dikerjakan. Sedangkan untuk pengerjaan dingin, hal ini dilaksanakan dibawah temperatur rekristalisasi. Pengerjaan dingin dilaksanakan untuk memperoleh bentuk yang lebih teliti (toleransi kecil), penampang permukaan (*surface finished*) yang lebih halus dan sifat-sifat fisik tertentu lainnya. Beberapa proses yang diklarifikasikan sebagai proses pembentukkan logam (*metal forming*) yang dalam hal ini bisa dilaksanakan secara

panas atau dingin dapat ditunjukkan seperti proses pengerolan, proses perlengkapan, proses penarikan, dan lain-lain. [3]

Daktilitas logam sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat matriks dan oleh adanya inklusi, Faktor-faktor yang meningkatkan kekuatan umumnya menurunkan keuletan. Penguatan solusi yang solid, presipitasi, kerja dingin, dan penurunan suhu semua *strain* fraktur yang lebih rendah. Alasannya adalah bahwa dengan kekuatan yang lebih tinggi, tekanan diperlukan untuk fraktur akan ditemui lebih cepat. [4]<sup>1</sup> Pembentukan logam adalah salah satu metode pembuatan di antara banyak metode Untuk memproduksi komponen mesin, seperti lengan suspense roda untuk mobil, dapat dipilih pembentukan logam, pengecoran, atau pemesinan sebagai metode pembentukan. Ketiganya membentuk metode dapat dianggap sebagai proses bersaing. Metode yang dipilih biasanya akan yang menyediakan produk, dengan fungsi dan properti yang tepat, paling rendah biaya. Dalam bab ini, karakteristik dari tiga metode pembentukan ini akan dijelaskan, dengan penekanan khusus pada pembentukan logam, bila digunakan untuk membuat bentuk yang diinginkan komponen melalui deformasi plastis dari benda kerja awal dengan bentuk sederhana. [5]<sup>2</sup>

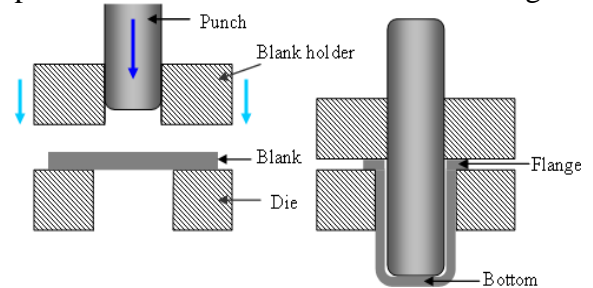
## 2.2 jenis-jenis Sheet metal forming

Sheet metal forming adalah proses perubahan bentuk lembaran logam menjadi bentuk yang sesuai dengan kita inginkan tanpa terjadinya patahan. Jenis-jenis dari sheet metal forming antara lain :

### 2.2.1 Deep Drawing

Deep drawing adalah proses pembentukan lembaran logam menjadi bentuk cangkir, kotak, atau komponen melengkung dan cekung yang rumit. Proses ini dilakukan dengan menempatkan selembar logam di atas lubang die dan kemudian mendorong logam tersebut ke dalam lubang dengan punch. Lembaran logam awal biasanya harus dipegang rata terhadap die

menggunakan bantuan blank holder. Benda-benda umum yang dibuat dengan deep drawing antara lain: kaleng minuman, amunisi, panci, dan panel bodi mobil.[5]<sup>3</sup> berikut adalah gambar bagaimana pembentukan material dengan

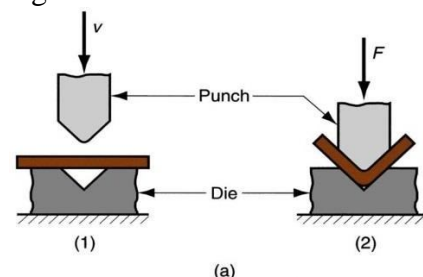


Gambar 2.1 Sheet Metal Forming By Deep Drawing.

(Sumber: <https://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/fetch.php>)

### 2.2.2 Bending Forming

Penekukan (*bending*) dalam pekerjaan lembaran logam didefinisikan sebagai peregangan logam di sekitar sumbu lurus. Selama proses penekukan, logam di bagian dalam bidang netral ditekan, sedangkan logam di bagian luar bidang netral diregangkan. Kondisi regangan ini dapat dilihat pada gambar 1(b). Logam ini dideformasi secara plastis sehingga tekukan bisa permanen meskipun tegangan yang menyebabkannya dihilangkan. Bending menghasilkan sedikit atau tidak ada perubahan pada ketebalan lembaran logam. [5]<sup>4</sup> berikut adalah gambar bagaimana pembentukan material dengan proses bending :

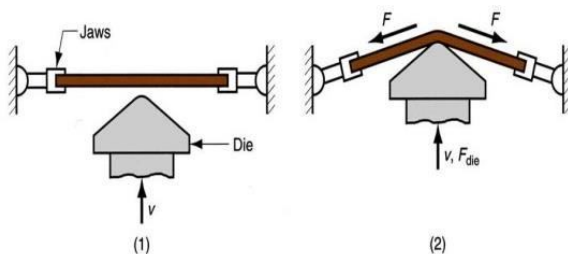


Gambar 2.2 Sheet-Metal Forming By Bending.

(Sumber : <https://www.quia.com/files/quia/users/brownfieldreview>)

### 2.2.3 Stretch Forming

*Stretch Forming* adalah proses pembentukan logam di mana sepotong lembaran logam diregangkan dan ditekuk secara bersamaan di atas dadu untuk membentuk bagian berkontur besar. Peregangannya dilakukan pada peregangannya tekan, di mana sepotong lembaran logam dengan aman digenggam di sepanjang tepi dengan mencengkeram rahang. Rahang yang saling mencengkeram masing-masing melekat pada media yang ditarik oleh gaya pneumatik atau hidrolik untuk meregangkan lembaran. Perangkat yang digunakan dalam proses ini adalah suatu blok bentuk peregangannya, yang disebut bentuk *die*, yang merupakan bagian berkontur padat yang dengannya logam lembaran akan ditekan. Peregangannya yang paling umum diorientasikan secara *vertikal*, di mana bentuk *die* bertumpu pada meja *pers* yang dapat dinaikkan ke lembaran oleh ram hidrolik. Sebagai bentuk mati didorong ke lembaran, yang dicengkeram erat pada ujungnya, kekuatan tarik meningkat dan lembaran plastis berubah bentuk menjadi bentuk baru. Penekan peregangannya *horizontal* memasang form *die* ke samping pada meja *pers* yang tidak bergerak, sementara rahang yang mencengkeram menarik lembaran secara horizontal di sekitar *form die*. [5]<sup>5</sup> berikut adalah gambar bagaimana pembentukan material dengan proses *stretch forming* :



Gambar 2.3 Sheet-Metal Forming By Stretch Forming

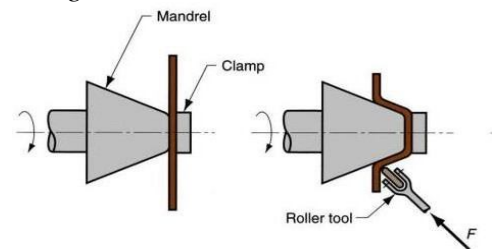
(Sumber :

<https://www.quia.com/files/quia/users>)

### 2.2.4 Spinning forming

*Spinning forming* adalah pembentukan

bagian sumbu- simetris di atas mandrel yang berputar. Paksaan dikirim oleh alat dengan ujung membulat atau *roller*. Sebuah benda kerja yang pipih, atau mungkin dibentuk sebelumnya, dipegang di antara mandrel dan stok ekor. Saat peralatan berputar, pahat menerapkan tekanan terlokalisasi pada pekerjaan sementara itu secara bertahap menggerakkan mandrel. Hal ini menyebabkan lembaran logam bekerja membungkus mandrel, sehingga mengambil bentuknya. Pemintalan logam umumnya dilakukan dalam keadaan dingin, tetapi dalam beberapa kasus bagian-bagiannya dapat mengalami pemintalan hangat atau panas. Spinning mampu menghasilkan bagian besar dengan diameter setinggi 20 kaki. [5]<sup>6</sup> berikut adalah gambar bagaimana pembentukan material dengan proses *deep spinning* :



Gambar 2.4 Sheet-Metal Forming By Spinning

(Sumber :

<https://image.slideserve.com/1375744/spinning-n.jpg>)

## 2.3 Tujuan dan Fungsi Sheet Metal Forming

Tujuan utama Proses *Manufacturing* adalah untuk membuat komponen dengan mempergunakan material tertentu yang memenuhi persyaratan bentuk dan ukuran, serta struktur yang mampu melayani kondisi lingkungan tertentu.

Melihat factor tersebut maka faktor membuat suatu bentuk tertentu merupakan faktor utama. Ada beberapa metoda atau membuat geometri (bentuk dan ukuran) dari suatu bahan yang dikelompokkan menjadi enam kelompok dasar proses pembuatan (*manufacturing process*) yaitu : proses

pegecoran (*casting*), proses pemesinan (*machining*), proses pembentukan logam (metal forming), proses pengelasan (*welding*), perlakuan panas (*heat treatment*), dan proses perlakuan untuk mengubah sifat karakteristik logam pada bagian permukaan logam (*surface treatment*). [6]

Dalam dunia *manufaktur*, teknologi *metal forming* mendapatkan tempat yang spesial karena proses ini dapat memproduksi komponen-komponen yang memiliki sifat-sifat mekanik yang *superior* dengan meminimalkan material yang terbuang. *Forming* adalah bagian dari sebuah proses pembentukan logam yang memiliki banyak keuntungan seperti meningkatkan kekuatan material, struktur lebih menyatu dan seragam, mengurangi proses permesinan lanjut, dan akan menghemat material karena mengurangi material sisa. [7] Pembentukan logam menggunakan deformasi plastis untuk mengubah bentuk benda kerja. *Deformasi* atau perubahan bentuk dihasilkan dari penggunaan *tool* yang biasanya disebut *die*. *Die* tersebut memberikan tegangan yang melebihi hasil kekuatan logam (plastis). Selanjutnya berubah bentuk menjadi bentuk yang sesuai dengan geometri *die*. [8]

## 2.4 baja

Baja adalah paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengeras dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian, misalnya sabit dan cangkul. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah titanium, krom (*chromium*), nikel, vanadium, cobalt, dan tungsten (*wolfram*). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan

kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, penempaan. Bentuk dan jenisnya pun beraneka ragam sehingga penggunaannya sangat luas, oleh karena itu berbagai pihak mengklasifikasikan baja menurut keperluannya. Adapun klasifikasi yang ada yakni sebagai berikut:

- a. Menurut cara pembuatannya; Baja Bessemer, Baja Siemen Martin (*Open Hearth*), Baja Tanur Listrik.
- b. Menurut penggunaannya; Baja Konstruksi, Baja Mesin, Baja Pegas, Baja Ketel, Baja Perkakas.
- c. Menurut kekuatannya; Baja Kekuatan Rendah Dan Baja Kekuatan Tinggi.
- d. Menurut struktur mikronya; Baja Eutektoid, Baja Hipoeutektoid, Baja Hipereutektoid, Baja Austenitik, Baja Feritik, Baja Martensitik.
- e. Menurut komposisi kimianya; Baja Karbon, Baja Paduan Rendah, Baja Paduan Tinggi.

Baja karbon adalah baja memiliki unsur besi dan karbon serta unsur lainnya tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan baja/besi, seperti mangan, silikon dan beberapa unsur pengotoran yakni Belerang, Phospor, Oksigen, Nitrogen dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadarnya sangat kecil. Secara garis besar baja karbon dapat dikelompokkan sebagai berikut :

### 1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,25% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Pada umumnya baja jenis ini

digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, bodi mobil, dan lain-lainya.

**2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)**

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,25% C – 0,55% C. Baja karbon ini memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (heat treatment) yang sesuai. Baja karbon sedang biasanya digunakan untuk pembuatan poros, rel kereta api, roda gigi, baut, pegas, dan komponen mesin lainnya.

**3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)**

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,55% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Sedangkan Untuk Baja Paduan Terdiri Dari:

1. Baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*), merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah yakni kurang dari 10%. Mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi dari pada baja karbon dengan

kadar yang sama, atau mempunyai keuletan yang lebih tinggi dari pada baja karbon dengan kekuatan yang sama. Kekerasannya dan sifat tahan korosi pada umumnya lebih baik sehingga banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin.

2. Baja paduan tinggi (*High Alloy Steel*), merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan yang tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu seperti baja tahan karat (*Stainless Steel*), baja perkakas (*Tools Steel*) misalnya high speed steel (HSS), baja tahan panas (*Heat Resisting Steel*) dan lain-l

**2.5 Klasifikasi Baja Berdasarkan Komposisi Kimia\**

Besi dan baja merupakan logam yang banyak digunakan didalam pemaduan antara elemen besi (Fe) dengan unsur-unsur lain yang selalu ada seperti : Karbon, Mangan, Silikon, Phospor, Belerang, dan Lain-lain. Besi dan baja dapat dibedakan menurut kadar karbonnya. Baja memiliki kadar karbon lebih kecil dari 1,7%, sedangkan besi memiliki kadar karbon lebih besar 1,7%. Baja mempunyai unsur-unsur lain sebagai pepadu yang dapat mempengaruhi sifat dari baja. Penambahan unsur-unsur dalam baja karbon dengan satu unsur atau lebih. Tergantung pada karakteristik baja karbon yang dibuat.

Unsur-unsur seperti Mangan, Silikon, Vanadium, Chrom, Molybdenum dan Cobalt serta unsur-unsur lainnya, adalah unsur pepadu yang sulit dihilangkan dari material baja. Secara umum dapat disebutkan beberapa sifat baja antara lain : kekerasan, kekuatan, ketangguhan, dan keuletan. Sifat-sifat baja yang digunakan dapat disesuaikan dengan komposisi kimianya.

**2.6 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja**

Maksud penambahan unsur paduan ke dalam baja adalah untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis seperti kekuatan, keuletan,

ketangguhan, tahan aus, dan lain-lain pada produk akhir seperti yang diinginkan. Unsur-unsur yang cukup berpengaruh pada baja S45C dalam hal ini yaitu :

**a. Karbon (C)**

Karbon merupakan unsur yang paling banyak selain besi (Fe) yang terdapat pada sebuah baja, unsur ini berfungsi meningkatkan sifat mekanis baja seperti kekuatan dan kekerasan yang tinggi meskipun demikian karbon dapat menurunkan keuletan, ketangguhan, dan mampu tempa, serta berpengaruh pula terhadap pengolahan baja selanjutnya seperti pada proses perlakuan panas, proses perubahan bentuk dan lain sebagainya.

**b. Mangan (Mn)**

Unsur ini mempunyai sifat tahan terhadap gesekan dan tahan tekanan. unsur ini mudah berubah kekerasannya pada kondisi temperatur yang tidak tetap dan juga di gunakan *alloy* mangan tembaga yang bersifat *ferromagnetic*.

**c. Chrom (Cr)**

Unsur ini berpengaruh pada ketahanan terhadap keausan, korosi dan nilai kekerasannya. Selain itu unsur ini dapat pula mempermudah baja untuk dikerjakan dengan mesin bila dilunakkan dan setelah itu dikerjakan dengan proses perlakuan panas.

**d. Silicon (Si)**

Mempunyai sifat elastis / keuletannya tinggi. Silicon juga menambah kekerasan dan ketajaman pada baja. Tapi penambahan silicon yang berlebihan akan menyebabkan baja tersebut mudah retak. Silicon berupa massa hitam mirip logam yang meleleh pada 1410°C. Unsur ini mempunyai kecenderungan yang kuat untuk berkaitan dengan oksigen dan sifat seratnya tahan api.

**e. Nikel (Ni)**

Unsur ini berpengaruh pada

peningkatan nilai kekerasan, keuletan, tahan korosi, unsur ini dapat pula mempermudah baja untuk dikerjakan dengan mesin karena keuletannya.

**f. Nolybdenum (Mo)**

Unsur ini berpengaruh pada peningkatan nilai kekerasan, keuletan dan ketangguhan dalam hal ketahanan terhadap gesekan yang ditimbulkan hingga mengakibatkan temperturnya naik. Biasanya molybdenum dipadukan dengan unsur chrom, dengan komposisinya sebesar 0.5% untuk menghindari salah satu cacat yakni “temper kerapuhan” (*Temper Brittleness*) yang diinduksikan sewaktu pendinginan setelah proses temper atau setelah perendaman lanjut untuk kenaikan suhu tertentu pada peralatan uap.

**g. Vanadium (V)**

Baja berwarna putih perak dan sangat keras. Vanadium adalah bahan tambahan untuk pekerjaan panas, karena sifat vanadium tahan terhadap gesekan pada temperatur yang tinggi.

**h. Wolfram (W)**

Diperlukan untuk ketajaman, tahan terhadap temperatur tinggi dan juga sangat tahan gesekan. Wolfram mempunyai temperatur sepuh yang sangat tinggi dan memerlukan tempering berulang-ulang kali sehingga sangat sulit dalam pengolahannya.

**i. Cobalt (Co)**

Sifatnya tahan gesek dan tahan panas pada temperatur tinggi, kekerasan tinggi tapi getas. Berfungsi untuk membentuk *carbide*, meningkatkan kekerasan dan tahan panas yang sangat baik untuk ketajaman pada mata pisau.

**2.7 Struktur Mikro Baja**

Struktur dari baja karbon akan mempengaruhi pada sifat-sifat mekanik dan juga sifat fisik dari besi tersebut. Beberapa struktur yang ada dalam baja karbon adalah sebagai berikut :

**a. Ferrit**

Ferrit adalah larutan padat karbon dan unsur paduan lainnya pada besi kubus pusat badan (Fe). Ferrit terbentuk akibat proses pendinginan yang lambat dari austenit baja hypotectoid pada saat mencapai A3. Ferrit bersifat sangat lunak, ulet dan memiliki kekerasan sekitar 70-100 BHN dan memiliki konduktivitas yang tinggi.

**b. Sementit**

Sementit adalah senyawa besi dengan karbon yang umum dikenal sebagai karbida besi dengan prosentase karbon 6,67% C yang bersifat keras sekitar 5-68 HRC.

**c. Perlit**

Perlit adalah campuran sementit dan ferrit yang memiliki kekerasan sekitar 10-30 HRC. Perlit yang terbentuk sedikit dibawah temperatur eutektoid memiliki kekerasan yang lebih rendah dan memerlukan waktu inkubasi yang lebih banyak.

**d. Bainit**

Bainit merupakan fasa yang kurang stabil yang diperoleh dari austenit pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur transformasi ke perlit dan lebih tinggi dari transformasi ke martensit.

**e. Martensit**

Martensit merupakan larutan padat dari karbon yang lewat jenuh pada besi alfa sehingga lapis-lapis sel satuannya terdistorsi.

**2.8 Efek Strain Hardening**

*Strain hardening* (pengerasan regangan) adalah penguatan logam untuk deformasi plastis (perubahan bentuk secara permanen atau tidak dapat kembali seperti semula). Penguatan ini terjadi karena dislokasi gerakan dalam struktur kristal dari material. Deformasi bahan disebabkan oleh *slip* (pergeseran) pada bidang kristal tertentu. Jika gaya yang menyebabkan *slip* ditentukan dengan pengandaian bahwa seluruh atom pada bidang *slip* kristal serempak bergeser, maka gaya tersebut

akan besar sekali. Dalam kristal akan terdapat cacat kisi yang dinamakan dislokasi. Dengan pergerakan dislokasi pada bidang *slip* yang menyebabkan deformasi dengan memerlukan tegangan yang sangat kecil. Jika kristal dipotong menjadi plat tipis dan dipoles secara elektrolisa, maka akan terlihat dibawah mikroskop elektron, sejumlah cacat yang disebut dislokasi. Dislokasi merupakan cacat kisi yang menentukan kekuatan bahan berkrystal. Karena adanya tegangan dari luar, dislokasi akan bergerak kepermukaan luar, sehingga terjadi deformasi. Selama bergerak dislokasi bereaksi satu sama lain. Hasil reaksi ada yang mudah bergerak dan ada yang sulit bergerak. Yang sulit bergerak berfungsi sebagai sumber dislokasi baru (multiplikasi dislokasi). Sehingga kerapatan dislokasi semakin tinggi. Semakin tinggi kerapatan dislokasi, maka semakin sulit dislokasi bergerak sehingga kekuatan logam akan naik. [9]

Untuk mengetahui seberapa besar persentase dislokasi itu terjadi maka di ketahui dengan perhitungan sebagai berikut :

$$A_o = t \times L \text{ Pers 1}$$

$$R = (o - A1) \div A_o \times 100\% \text{ Pers 2}$$

$A_o$  = Luas Penampang Awal ( $m^2$ )

$A1$  = Luas Penampang Di Titik 1 ( $m^2$ )

$T_o$  = Ketebalan Awal (mm)

$L$  = Panjang Bahan (mm)

$R$  = Reduksi (%)

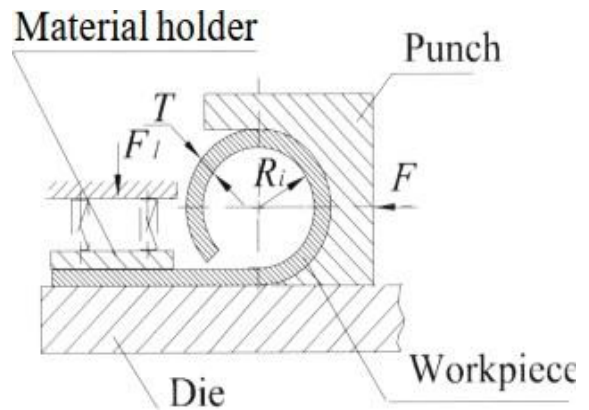
**2.9 Definisi proses Curling**

*Curling sheet metal* adalah proses menambahkan berongga, melingkar *roll* ke tepi lembaran. Tepi meringkuk memberikan kekuatan ke tepi dan membuatnya aman untuk penanganan. *Curling* berbeda dari penurunan air mata sehem karena dalam *curl* tepi selesai di dalam dirinya sendiri, di mana ujung daun tepi yang terbuka. *Sheet*



*Metal Hems* dibentuk menggunakan metode yang sangat berbeda, meskipun menghasilkan fitur dengan kegunaan dan fungsi yang sama. Ikal yang paling sering digunakan untuk menghilangkan tepi yang tidak diobati tajam dan membuatnya aman untuk penanganan. Bagaimana *curl* terbentuk tergantung sepenuhnya pada jenis mesin yang ingin anda gunakan. Ikal dapat dibuat melalui *roll* membentuk, stamping, daun membungkuk, dan pada rem tekan tradisional. Setiap mesin akan memiliki seperangkat *tooling* sendiri untuk mencapai *curl*. Di sini kita akan membahas fabrikasi dan *tooling* metode untuk membentuk pada penyok daun dan tekan rem. *Curling* pada panel atau daun penyok sering terbatas pada pusat ikal karena sebagian besar benders panel tidak memiliki profil *tooling* yang dapat menciptakan tikungan ke bawah yang diperlukan untuk menempatkan *curl* di tengah. *Off* pusat gulungan namun sangat mudah terbentuk pada jenis mesin. Radius yang diinginkan dibuat oleh langkah membungkuk radius semakin besar ke dalam lembaran, dimulai dengan radius *curl* yang diinginkan minus ketebalan bahan, dan berakhir dengan radius *curl* yang diinginkan. Radius yang lebih kecil dibentuk pertama untuk memungkinkan bahan untuk menyelesaikan di dalam dirinya sendiri. Proses langkah membungkuk melibatkan menghasilkan tikungan yang sangat kecil sangat dekat satu sama lain, dan sementara tikungan selesai secara teknis poligon, seringkali tidak mungkin untuk mendeteksi langkah jika mereka terbentuk dengan benar. Untuk alat pengukur ringan tangan panel bender dioperasikan dapat menjadi metode yang paling terjangkau untuk menciptakan *curl*. Untuk *curl* lembaran logam pada perkakas khusus *Brake Press* diperlukan. Kebanyakan ikal terbentuk dalam tiga tahap dan beberapa setup memerlukan dua setup *tooling* dengan perkakas khusus untuk setiap tahap. 2 tahap pertama membentuk kurva yang diperlukan untuk membentuk *curl*, dan tahap ketiga menutup *curl*. Sebuah lokasi yang khas untuk jenis

perkakas ini untuk memastikan bahwa tahap pertama dan kedua bingkai di tempat yang benar. Di bawah ini adalah contoh dari satu setup, tiga tahap *tooling*. Seperti terlihat pada dua contoh *Curling* ditunjukkan dalam gambar 2.5



Gambar 2.5 Proses Pembengkokan *Curling*

Sumber ([4g-handbook-vukotaboljanovicsheetmetalfformingprocess e s.pdf](#))

## 2.10 Material SPCC

SPCC adalah *Stell Plate Cold Coil* yang dikenal juga sebagai baja putih. SPCC memiliki kualitas permukaan yang lebih baik lebih tipis dengan ukuran yang lebih tepat. SPCC juga memiliki sifat mekanik yang baik dan sifat mampu bentuk yang sangat baik.

SPCC adalah singkatan dari *steel plate cold rolled coiled*, SPCC didefinisikan sebagai baja lembaran canai dengan kualitas komersial, merujuk pada standar Jepang JIS G3141. Baja jenis SPCC sangat cocok digunakan untuk mobil, alat listrik, dll. Karena jangkauan penerapannya yang lebih luas. Berikut adalah tabel dari komposisi kimia SPCC- HD menurut standar JIS G3141.

## 2.11 Sifat Mekanik

Sifat mekanik material, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai

respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi, atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya pembebanan pada material terbagi dua, yaitu beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu, sedangkan beban dinamik dipengaruhi waktu. Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (*destructive test*), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari material tersebut.

Sifat mekanik suatu material adalah sifat-sifat yang melibatkan reaksi terhadap beban yang diberikan. Sifat-sifat mekanis logam menentukan rentang kegunaan suatu bahan dan menetapkan umur layanan yang dapat diharapkan. Sifat mekanis juga digunakan untuk membantu mengklasifikasikan dan mengidentifikasi bahan. Sifat paling umum yang dipertimbangkan adalah kekuatan, daktilitas, kekerasan, ketahanan benturan, dan ketangguhan retak.

Sebagian besar material struktural bersifat anisotropik, yang berarti bahwa sifat materialnya bervariasi sesuai dengan orientasi. Variasi dalam sifat dapat disebabkan oleh arah dalam struktur mikro (tekstur) dari pembentukan atau operasi kerja dingin, penyelarasan terkontrol penguatan serat dan berbagai penyebab lainnya. Sifat mekanis umumnya khusus untuk bentuk produk seperti lembaran, pelat, ekstrusi, pengecoran, penempaan, dan lain-lain. Selain itu, adalah umum untuk melihat sifat mekanis yang terdaftar oleh struktur butiran arah material. Dalam produk seperti lembaran dan pelat, arah lilitan disebut arah longitudinal, lebar produk disebut arah melintang, dan ketebalannya disebut arah melintang pendek. [11]

### 2.11.1 Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia merupakan pengujian yang berfungsi untuk

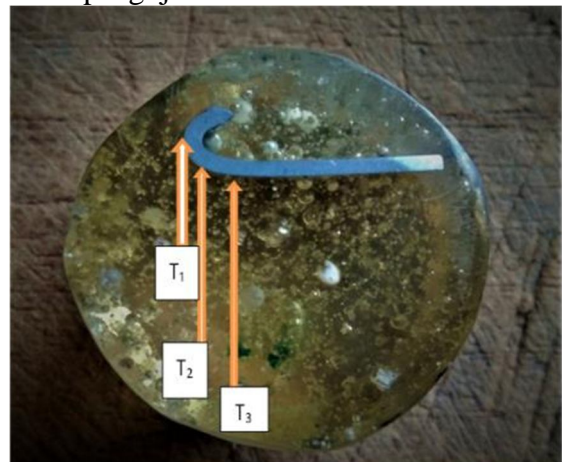
mengetahui seberapa besar atau seberapa banyak jumlah suatu kandungan yang terdapat pada suatu logam, baik logam ferro maupun logam non ferro.

### 2.11.2 Struktur Mikro

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dan mempelajari bentuk struktur mikro dari logam, termasuk didalamnya besar butiran dan arah struktur. Struktur mikro tersebut sangat menentukan sifat mekanis logam yang diuji.

### 2.11.3 Uji Kekerasan

Metode pengujian kekerasan *Vickers* dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan - permukaan yang berhadapan  $136^\circ$ . berikut adalah material yang akan di lakukan proses pengujian :

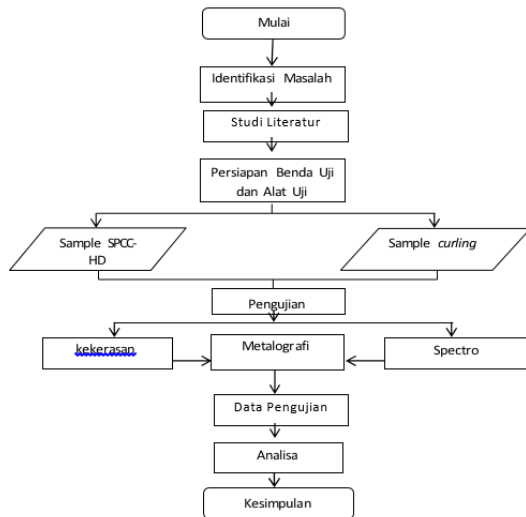


Gambar 2.6 Material Hasil Mounting (Sumber :Pusat Laboratorium Forensik)

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah Diagram alir penelitian yang akan melalui tahap demi tahap pengujian dan memasukan data pengujian, seperti yang di lihat gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.2 Prosedur Pengumpulan Data

Pada pengumpulan data yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana tahap-tahap menganalisa bahan material SPCC-HD pada proses *Sheet Metal Forming*.

1. pemilihan Judul  
Penentuan judul ini dilakukan untuk menentukan topic dan materi yang akan dibahas dalam penelitian ini.
2. Studi Literatur  
Studi Literatur dilakukan untuk mencari materi dan teori yang berhubungan dengan penelitian dan memudahkan dalam menentukan proses yang akan dilakukan selama penelitian. Materi yang dibutuhkan antara lain *Sheet Metal Forming*, pengertian bahan material, uji komposisi kimia, struktur mikro, dan uji kekerasan.
3. Persiapan bahan yang akan digunakan penelitian ini adalah plat SPCC-HD
4. Pada pengujian bahan dilakukan pengujian kekerasan *vickers* dan mengetahui komposisi kimia
5. Data pengujian

6. Analisa data setelah melakukan pengumpulan data dari bahan dasar sampai melakukan pengujian yang mendukung analisa yang dilakukan. Representasi data yang diolah berupa foto dan *table*. Setelah data selesai diolah, maka data tersebut dianalisa berdasarkan teori yang didapat dari referensi dan literatur.

7. Kesimpulan  
Menarik dari kesimpulan hasil pengolahan data dan menganalisa dan memberikan saran untuk penelitian ini.

### 3.3 Pengolahan Data Pengujian

#### 3.3.1 Pengerasan Regangan (*Strain Hardening*)

Penguatan Regangan (*Strain Hardening*) merupakan fenomena dimana logam ulet berubah sifatnya menjadi lebih keras dan lebih kuat. Penguatan regangan juga disebut dengan istilah ‘cold working’, dikarenakan proses hardening dilakukan pada temperature kamar yang relatif lebih rendah dibanding temperatur leburnya yang tinggi.

$$A_o = t_o \times L$$

$$A_o = 0,9 \times 10 = 9 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 0,85 \times 10 = 8,5 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,87 \times 10 = 8,7 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0,88 \times 10 = 8,8 \text{ m}^2$$

$$(A_1)r = (9 - 10,7) / 9 \times 100\% = 18,888 \%$$

$$(A_2)r = (9 - 9,5) / 9 \times 100\% = 5,55 \%$$

$$(A_3)r = (9 - 9,1) / 9 \times 100\% = 1,111 \%$$

#### 3.3.2 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur atau kandungan kimia paduan yang terkandung pada material. Sebelum proses pengujian komposisi kimia dilakukan, sampel uji diamplas dan dipoles terlebih dahulu sampai permukaannya rata agar proses pengujian dapat berjalan dengan baik. Proses pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan alat



spectrometer. Berikut adalah hasil dari pengujian spectro :

Tabel 3.1 Hasil Uji Komposisi Kimia Baja SPCC

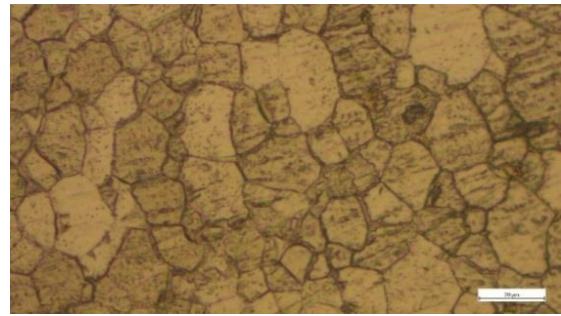
SPCC-HD		
Unsur	Nilai Kandungan Unsur (%)	Standar JIS SPCC-HD
Fe	99,3	-
C	0,124	-
Si	0,0215	-
Mn	0,187	-
Cr	0,0253	-
Ni	0,0207	-
Mo	0,0059	-
Cu	0,0286	-
Al	0,0387	-
V	0,0033	-
Ti	0,0030	-
Nb	0,0073	-
W	0,0052	-
Co	0,0016	-
S	0,0125	-
p	0,0175	-

$$R = (A_o - A_1) \div A_o \times 100\%$$

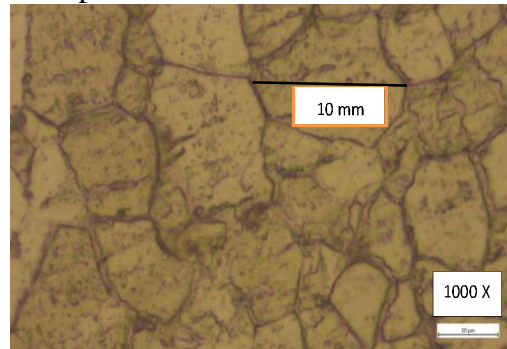
### 332 Pengujian Metalografi

Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat diamati dengan berbagai cara bergantung pada sifat informasi yang dibutuhkan. Salah satu cara dalam mengamati struktur suatu bahan yaitu dengan teknik metalografi (pengujian mikroskopik). Berikut adalah gambar bagaimana pengamatan dalam metalografi bisa dilakukan :

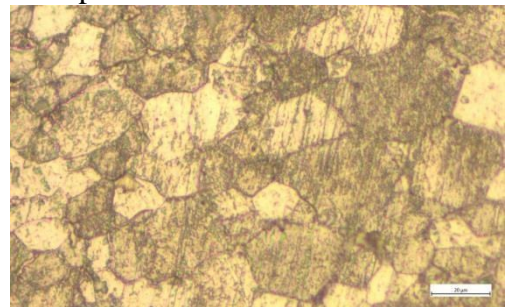
#### 1. Hasil Pengujian Struktur Mikro (metalografi)



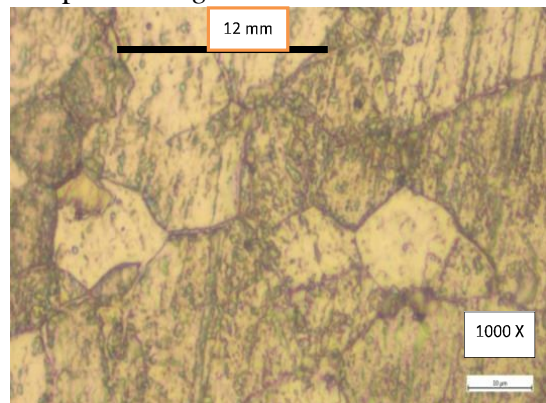
Gambar 3.2 hasil pengamatan mikro sampel awal pembesaran 500X



Gambar 3.2 hasil pengamatan mikro sampel awal pembesaran 1000X



Gambar 3.3 hasil pengamatan mikro sampel *Curling* 500X



Gambar 3.4 hasil pengamatan mikro sampel *Curling* pembesaran 1000X

### 333 Pengujian Kekerasan

Proses pengujian kekerasan untuk pengujian kualitas kekuatan kekerasan,

setelah pembuatan spesimen pada benda uji, yang nantinya akan dilakukan uji kekerasan.

Dan tabel berikut adalah tabel hasil pengujian kekerasan terhadap material SPCC-HD dengan metode vickers :

Tabel 3.2 Nilai Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Kode Sampel	Nilai Kekerasan HV			Rata - Rata
	Titik Pengujian			
	1	2	3	
HV Stamping	135,8	128,8	131,3	132.0
Mpa Stamping	452,00	431,00	438,00	440.42
HV Awal	132,2	123,5	122,4	126.03
Mpa Awal	440,67	416,25	412,00	422.97

#### 4. ANALISA

##### 4.1. Analisa Karakteristik Baja SPCC-HD

Hasil pengujian EDS komposisi kimia baja SPCC-HD ditunjukkan pada Tabel 4.1 :

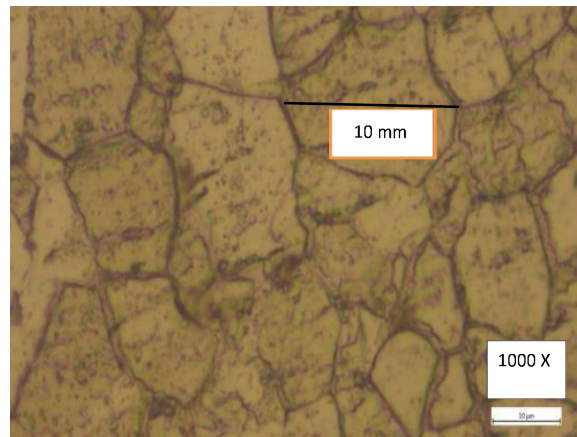
Tabel 4.1 Uji Komposisi Kimia Baja SPCC-HD

SPCC-HD		
Unsur	Nilai Kandungan Unsur (%)	Standar JIS SPCC-HD
Fe	99,3	98,69
C	0,124	0,15
Si	0,0215	0,6
Mn	0,187	0,251
Cr	0,0253	0,01
Ni	0,0207	0,021
Mo	0,0059	0,003
Cu	0,0286	0,02
Al	0,0387	0,037
V	0,0033	0,005
Ti	0,0030	0,001
Nb	0,0073	-
W	0,0052	-
Co	0,0016	-
S	0,0125	0,01
P	0,0175	0,07

Dari hasil pengujian terlihat bahwa komposisi kimia material SPCC-HD yang digunakan untuk penelitian ini sesuai dengan komposisi kimia yang terdapat dalam standar JIS. Material SPCC-HD yang dalam standar AISI adalah D2 Mempunyai Al yang tinggi, yaitu 0,0387%, kandungan ini sangat berkontribusi untuk terbentuknya Aluminium bahan ini sangat cocok pada penggunaan bahan dasar drum.

##### 4.2 Analisis Pengujian Struktur Mikro (Metallografi)

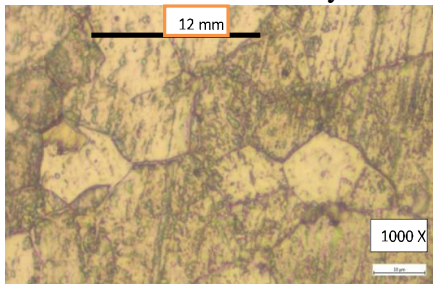
Pengujian metallografi telah dilakukan pada sampel plat SPCC-HD dari sebuah drum yang kemudian dipotong menjadi beberapa spesimen. Plat ini mewakili dari bagian plat yang telah diproduksi oleh pabrik, lalu di uji dan di analisa struktur yang terkandung setelah dilakukan proses forming hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.1 s/d 4.2 berikut ini :



Gambar 4.1 Hasil Pengamatan Pembesaran 1000 X pada sampel awal

Pada bagian ini diambil bagian tengah dalam pembesaran dan 1000X, terlihat matriks Ferit (Warna terang) dan Perlit (Warna Gelap). Secara umum

morfologi mikrostruktur terlihat kandungannya di dalam plat SPCC-HD pada pembesaran 1000X di mikroskop pada proses metalografi, terlihat ferlit dan feritnya



Gambar 4.1 Hasil Pengamatan Pembesaran 1000 X pada sampel *curling*

Pada hasil pengamatan di pembesaran 1000X mengalami perubahan besaran regangan yang terlihat pada besar butirnya, besar butir pada bahan awal mendapatkan nilai 10.0 sedangkan besar butir pada bahan setelah proses *forming* 12.0 yang peningkatan nilai besar butir tersebut sejalan juga dengan meningkatnya angka nilai kekerasan yang terlihat pada tabel 3.2.

### 4.3 Analisis Uji Kekerasan

Hasil uji kekerasan yang diperoleh, dari specimen plat baja yang disajikan pada table 3.2. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai kekerasan yang berubah (rata-rata *Vickers*). Hasil uji kekerasan ini diperoleh dan menunjukkan bahwa hubungan mikrostruktur dari bahan SPCC-HD tersebut sama. Data tersebut di sajikan dalam bentuk grafik dalam gambar 4.3 sebagai berikut



Gambar 4.3 Grafik hasil pengujian

Pada grafik diatas terlihat perubahan kekerasan antara bahan sebelum *metal forming* dan bahan sesudah *metal forming*. Dimana Hasil perhitungan persentase di peroleh dari nilai ketebalan bahan awal  $T_0$ .

Pada grafik diatas dapat terlihat perubahan kekerasan antara bahan sebelum *metal forming* dan bahan sesudah *metal forming*. Hasil perhitungan persentase tersebut di peroleh dari nilai ketebalan bahan awal  $T_0$ . Terlihat pada grafik bahwa semakin tinggi titik perubahan *forming* yang terlihat pada gambar (4.5) maka semakin besar juga persentase pengerasan regangan yang terjadi, dan semakin besar peningkatan persentase pengerasan regangan itu meningkat maka semakin meningkat juga kekerasan HV yang terjadi pada material tersebut, dimana kekerasan rata-rata awal yang membesar 128,3 HV meningkat setelah pengerjaan *forming* menjadi 151,9 HV dan meningkatnya nilai Mpa dari nilai rata-rata awal sebesar 450,36 Mpa menjadi 509,56 Mpa setelah proses pengerjaan dingin.

## 5. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pengaruh proses pembentukan terhadap peningkatan nilai kekerasan, dan perubahan dimensi sebagaimana yang telah telah diuraikan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengujian komposisi bahan SPCC-HD Mempunyai Al yang tinggi, yaitu 0,0387%, kandungan ini sangat berkontribusi untuk terbentuknya Alumunium, bahan ini sangat cocok pada penggunaan bahan dasar drum, dan dengan kandungan karbon (C) di bawah 0,15% yaitu 0,12% maka Baja tersebut termasuk dalam golongan baja karbon rendah.
2. Dari proses pembentukan *forming* dengan *curling* terlihat bahwa semakin tinggi titik perubahan *forming*nya maka semakin besar juga persentase

- pengerasan regangan yang terjadi yang kemudian mempengaruhi terhadap kekerasan bahan.
3. Pada pengamatan *metalografi* dengan pembesaran 1000x di dapat hasil bahwa struktur mikro pada bahan awal sebelum terkena proses pengerjaan dingin lebih mendominasi pada fasa ferlit-perit, sedangkan bahan setelah terkena proses dingin mikro strukturnya lebih mendominasi pada fasa ferlit.
  4. Hasil kekerasan diperoleh nilai rata-rata pada material awal sebelum diaplikasikan pada proses pembentukan sebesar 128,3 HV dan material pengeriting memiliki nilai kekerasan rata-rata 151,9 HV. Dapat disimpulkan bahwa nilai pengujian material awal dan material setelah proses pembentukan lebih tinggi dari nilai material aslinya, pada nilai ini kekerasan meningkat sehingga proses pengeritingan menjadi sangat penting dalam produksi pembuatan drum

#### DAFTAR PUSTAKA

1. [http://eprints.ums.ac.id/13684/2/BA\\_B\\_1.pdf](http://eprints.ums.ac.id/13684/2/BA_B_1.pdf)
2. [http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com/2015/03/pembentukan-logam-metal-forming\\_8.html](http://teknikmesinmanufaktur.blogspot.com/2015/03/pembentukan-logam-metal-forming_8.html)
3. [http://eprints.ums.ac.id/15211/2/BA\\_B\\_II.pdf](http://eprints.ums.ac.id/15211/2/BA_B_II.pdf)
4. <https://fdokumen.com/document/proses-pembentukan-logam55b08922e7899.html>
5. METAL FORMING MECHANICS AND METALLURGY Third Editon, William F, Hosford And Robert M. Caddell
6. APPLIED METAL FORMING Including Fem Analysis, Henry S. Valberg
7. APPLIED METAL FORMING Including Fem Analysis, Henry S. Valberg
8. [:https://image.slideserve.com/1375744/spinning-n.jpg](https://image.slideserve.com/1375744/spinning-n.jpg)
9. <https://bektiwkidz.wordpress.com/2013/10/25/proses-pembentukan-logam-metal-forming/>
10. [http://eprints.undip.ac.id/42284/2/Bab\\_2\\_Tinjauan\\_pustaka.pdf](http://eprints.undip.ac.id/42284/2/Bab_2_Tinjauan_pustaka.pdf)
11. <https://materialengineeringranggaagung.wordpress.com>
12. <http://ifankiwon.blogspot.com/2012/01/strain-hardening>.
13. MODLEN,G. (1990). *Manufacturing Engineering and Technology*. By Serope Kalpakjian. (*Manufacturling Enggineering and Technology, Seveth Edition in SIUnites*)
14. (4g-handbook-vukotaboljanovicsheetmetalforming processes.pdf)
15. [www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Mechanical/Mechanical.htm](http://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Mechanical/Mechanical.htm)