

# EFEK VARIASI JENIS PEMBEBANAN DEFORMASI PLASTIS TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PLAT BAJA KARBON

Adri Fato<sup>1</sup>, Margono Sugeng<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Mesin Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Mesin Universitas Dian Nusantara, Jakarta<sup>2</sup>

adrifato@istn.ac.id

---

## Abstrak

Deformasi plastis merupakan deformasi permanen yang terjadi pada baja, meskipun beban yang menyebabkan deformasi tersebut dihilangkan. Ini banyak digunakan untuk mengubah bentuk baja secara permanen tanpa menambah atau mengurangi komposisi kimia baja. Perubahan bentuk permanen ini diikuti dengan perubahan bentuk atau fase struktur mikro baja. Beberapa jenis pembebanan pada deformasi plastis adalah *Pull (drawing)*, *Stamping* dan *Curling*, yang banyak digunakan untuk mengubah bentuk pelat menjadi kurva atau lingkaran.

Kata Kunci : Deformasi Plastis, Sifat Mekanik, *Drawing*, *Stamping*, *Curling*

## Abstract

*Plastic deformation is a permanent deformation that occurs in steel, even though the load causing the deformation is removed. It is widely used to change the shape of steel permanently without adding or reducing the chemical composition of the steel. This permanent change in shape is followed by a change in the shape or phase of the microstructure of the steel. Several types of loading on plastic deformation are Pull (drawing), Stamping and Curling, which are widely used to change the shape of a plate to a curve or a circle.*

*Keywords: Plastic deformation, Mechanical Properties, Drawing, Stamping, Curling*

---

## PENDAHULUAN

Deformasi plastis pada baja adalah perubahan bentuk yang terjadi pada baja secara permanen, walaupun beban yang berkerja pada baja ditiadakan. Dalam deformasi plastis terjadi perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari baja, deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada baja secara absolut maupun relatif.

Dalam pemilihan bahan untuk produk, perancang harus memperhatikan sifat mekanik baja seperti kekuatan, keuletan, kekerasan atau kekuatan yield. Sifat mekanik baja didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bahan untuk membawa atau menahan gaya atau tegangan.

Pada saat menahan beban, atom-atom atau struktur molekul berada dalam kesetimbangan. Gaya ikatan pada struktur menahan setiap usaha untuk mengganggu kesetimbangan ini, misalnya gaya luar atau beban. Proses deformasi plastis pada baja adalah proses pembentukan baja, salah satunya dalam bentuk lembaran dengan menggunakan dies dan mesin press untuk mengubah dimensi lembaran baja agar sesuai dengan bentuk benda kerja yang direncanakan.

Proses deformasi plastis sebagai salah satu cara dalam pembentukan baja yang banyak digunakan dalam bidang manufaktur. Proses pembentukan terhadap baja, salah satunya dengan bahan dasar plat untuk dijadikan sebuah produk dalam kondisi deformasi plastis.

Pada saat beban penyebab perubahan bentuknya dilepas, maka bagian baja yang mengalami deformasi plastis tidak akan kembali ke bentuk semula. Dengan memanfaatkan tahap deformasi plastis, maka proses pembentukan dapat dicapai sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Salah satu bentuk proses pembentukan baja pada kondisi deformasi plastis adalah proses *Curling*, yaitu proses pembentukan tepi lembaran baja menjadi gulungan.

Proses ini tergolong pekerjaan penekukan, di mana pinggiran benda kerja ditebuk ke dalam rongga *die*. Efek dari *curling* adalah memberikan kekakuan pada bagian tepi dengan meningkatkan momen inersianya. Selain dari pada itu, *curling* juga berfungsi sebagai pengaman karena menghilangkan tepi yang tajam. Dan yang terakhir, proses ini dapat meningkatkan kualitas penampilan benda kerja itu sendiri.

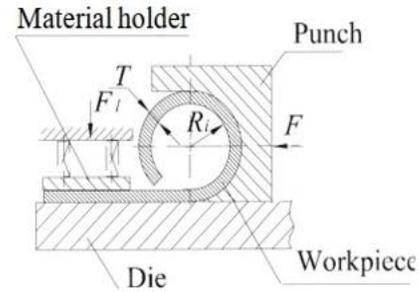
Produk yang pembuatannya menggunakan proses *curling* yang salah satunya adalah engsel, pada pintu, jendela dan lemari. Engsel terdiri dari dua keping yang dihubungkan menggunakan bantalan, yang memungkinkan keduanya bergerak, keduanya dapat bergerak relatif satu sama lain tetapi masih dalam satu sumbu rotasi. Tulisan ini bermaksud membahas efek perubahan sifat mekanik dan struktur mikro baja karbon rendah yang mengalami deformasi plastis dengan metode *curling*.

## TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Proses Curling

Proses *Curling* pada pelat baja adalah proses pembentukan ujung pelat baja secara melingkar pada tepi lembaran baja. Proses pada tepi baja ini memberikan kekuatan ke arah tepi dan membuatnya aman untuk pemanfaatannya. Bentuk *curl* tergantung sepenuhnya pada jenis mesin yang digunakan. *Curl* dapat dibentuk melalui roll membentuk, stamping, daun membungkuk, dan pada rem tekan tradisional.

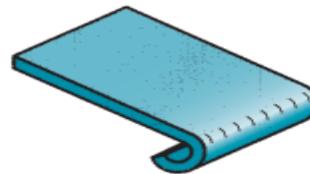
Setiap mesin akan memiliki seperangkat model sendiri untuk mencapai *curl*. Sebuah lokasi yang khas untuk jenis perkakas ini untuk memastikan bahwa tahap pertama dan kedua bengkok di tempat yang benar, sebagaimana ditunjukkan dalam gambar-1.



**Gambar-1:** Proses Pembengkokan *Curling*

*Curling* pada panel atau lembaran baja sering terbatas pada pusat *curl* karena sebagian besar benders panel tidak memiliki profil *tooling* yang dapat membuat tikungan ke bawah yang diperlukan untuk menempatkan *curl* di tengah. 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 direncanakan. Jari-jari yang lebih kecil dibentuk pertama untuk memungkinkan bahan untuk menyelesaikan pelat baja sebagai benda uji. Proses melipat menghasilkan tikungan yang kecil dan dekat satu sama lain, seringkali tidak mudah untuk mendeteksi langkah jika mereka terbentuk dengan benar. Kebanyakan *curl* 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*.

*Curling* adalah proses pembentukan *Flange* lembaran logam menjadi bentuk tergulung. *Curling* memperkuat tepi dan memberikan penguatan permukaan. Hal ini biasanya digunakan sebagai sarana untuk menggabung dengan dua komponen. Ikal sering ditambahkan untuk menghindari tepi yang tajam dan membuat lebih aman untuk penanganan dan penggunaan, seperti ditunjukkan pada gambar-2.



**Gambar-2:** bentuk *Curling*.

## 2.2. Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian baja yang paling banyak dilakukan di dunia industri, karena paling mudah dan banyak data yang bisa diambil dari pengujian ini. Dari hasil pengujian tarik dapat diperoleh data Kekuatan tarik, Kekuatan Yield, Elongasi, Elastisitas, keuletan dan reduksi penampang. Seiring dengan berkembangnya teknologi, pada saat ini mesin uji tarik dilengkapi dengan aplikasi elektronik untuk memudahkan untuk menganalisis data yang diperoleh. *Load Cell* merupakan salah satu perangkat elektronik yang digunakan sebagai perangkat tambahan pada mesin ujitarik. *Load Cell* menggunakan system perangkat pengolahan data. Karena bagaimanapun juga faktor manusia sangat dominan untuk memperoleh hasil dari pengujian ini.

Disisi lain beban Tarik (*drawing*) pada baja adalah proses pembentukan (*forming*) pada baja yang proses pembentukannya memerlukan atau *blank holder* untuk mengontrol aliran dari material.

## 2.3. Kekerasan

Pengujian kekerasan pada baja dilakukan untuk menentukan kekerasan permukaan baja. Uji kekerasan dilakukan untuk kendali mutu dalam proses deformasi plastis yang mengalami penyusutan penampang. Kekerasan suatu baja merupakan sifat mekanik yang sangat penting, karena dapat digunakan untuk mengetahui sifat mekanik lain yaitu kekuatan. Nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu baja dapat dikonversi dari kekerasannya. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menekan sebuah indentor yang lebih keras sifatnya dari baja dengan beban dan jangka waktu tertentu (10-15 detik), bekas tapak tekan pada permukaan benda uji diukur untuk menentukan nilai kekerasan dengan gaya tekan dibagi luas tapak tekan. Ada pengujian yang nilai kekerasan langsung dapat dilihat pada dial indikator

## 2.4. Stamping

Pelat baja sangat banyak dipakai dalam industri manufacturing, terutama baja pelat tipis yang di roll panas, dilakukan, di roll dingin dan dilunakkan adalah untuk benda yang dibentuk dengan proses stamping. Dalam pembentukan dengan proses stamping pada dasarnya terdiri dari proses pemotongan dan proses pembentukan.

Disamping kekuatan mulur, sifat-sifat lain pun penting yaitu regangan pada titik mulur, kekuatan tarik, regangan uniform dan regangan plastis merupakan indikator terhadap sifat mampu bentuk material. Semakin besar nilai-nilai eksponen pengerasan regangan berarti semakin baik sifat mampu bentuk dari material tersebut.

## 2.2. Baja Karbon

Baja merupakan paduan besi dengan karbon, dengan kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,025 % hingga 2 % berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengeras dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal atom besi. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah Titanium, *Chromium*, Nickel, Vanadium, Cobalt, dan Tungsten (*wolfram*). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa dihasilkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya, namun di sisi lain menyebabkan baja menjadi getas serta menurunkan keuletannya.

Salah satu jenis baja paduan adalah baja yang digunakan dalam bentuk pelat yang dikenal Steel Plate Coil Coiled (SPCC), yang mempunyai kualitas permukaan yang baik, mempunyai sifat mekanik dan mampu bentuk yang baik. Baja jenis ini banyak digunakan sebagai body mobil, peralatan listrik, drum, dan lain-lain. Drum adalah tempat berbentuk silinder yang digunakan untuk penempatan zat cair dan/atau gas.

## 2.3. Sifat Mekanik

Sifat mekanik baja sebagai material dasar untuk pembuatan pelat merupakan salah satu faktor penting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik ini merupakan respon baja terhadap beban yang diterima dalam bentuk gaya, momen atau gabungan keduanya, yang implementasinya dalam bentuk beban Tarik, tekan, puntir, atau kombinasi. Untuk mengetahui sifat mekanik dilakukan pengujian mekanik, dalam pengujian Tarik, tekan atau puntir. Selain itu, untuk mengetahui lebih lengkap tentang sifat mekanik baja, maka dilakukan pengujian struktur mikro baja dengan menggunakan metode metallografi. Dengan hasil pengujian sifat mekanik dan metallografi, maka dapat digunakan untuk memprediksi umur

kerja baja apabila dipakai sebagai benda kerja. Dalam penggunaan baja sebagai pelat karena baja mempunyai kekuatan, keuletan, kekerasan, mampu bentuk, tahan benturan dan tangguh yang baik.

Pengujian metallografi untuk mengetahui struktur mikro, sekaligus untuk mengetahui susunan fasa di dalamnya. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat diamati dengan berbagai cara bergantung pada sifat informasi yang diperlukan.

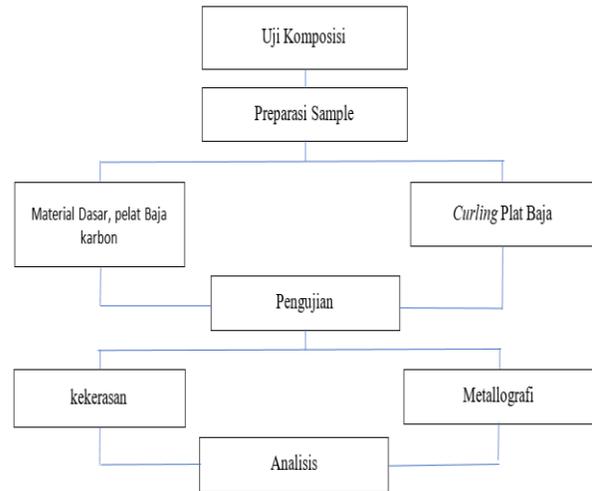
Untuk memperoleh struktur yang jelas, maka digunakan mikroskop optik, dengan terlebih dulu memotong baja sesuai dengan standar alat uji metallografi. Setelah dipotong benda uji kemudian di mounting, yang bertujuan untuk memudahkan pengoperasian selama proses preparasi, yaitu *grinding dan polishing*. Dalam proses grinding dan polishing menggunakan media kertas ampelas silikon karbid (SiC) dengan berbagai tingkat kekasaran yaitu kombinasi dari 220, 330, 500, 600, 800, dan 1000. Hasil akhir dari proses *grinding* diperoleh permukaan dengan goresan yang searah, halus dan homogen akibat kekasaran kertas ampelas gradasi 800 hingga 1000.

Media *polishing* yang sering dimanfaatkan adalah kain poles beludru dan mesin poles. Kain beludru ditempelkan pada piringan yang berputar pada mesin poles, kemudian kain diberi pasta alumina berupa partikel *abrasive* yang sangat halus. Tujuan proses *polishing* adalah untuk mendapatkan permukaan contoh yang memenuhi syarat untuk diperiksa dibawah mikroskop optik, antara lain adalah (1) Bebas dari goresan akibat proses *grinding* sehingga bisa mengkilap seperti cermin, (2) Bebas dari flek atau cacat lain yang ditimbulkan selama proses *grinding*, dan (3) Tidak ada perubahan logam, khususnya pada permukaan baja yang akan diselidiki. Setelah proses *polishing* dilanjutkan dengan proses etsa dengan medium nital 2% dan dilakukan paling sedikit 3 lokasi pada permukaan baja, dengan variasi waktu yang berbeda-beda pada setiap lokasi.

Pengamatan struktur mikro terhadap baja yang telah di etsa menggunakan mikroskop optik pada perbesaran antara 200 X hingga 1000 X, setelah dipilih bentuk struktur paling baik dan jelas, maka selanjutnya dilakukan pemotretan.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian dilakukan melalui tahapan pengujian seperti ditunjukkan pada gambar-1 yaitu diagram alir.



**Gambar-3:** Prosedur Penelitian

Uji komposisi dimaksudkan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung dalam baja, menggunakan *Spectrometer*. Pengujian metallografi dilakukan untuk mengetahui dan mempelajari bentuk struktur mikro dari logam, termasuk didalamnya besar butiran dan arah struktur. Struktur mikro tersebut sangat menentukan sifat mekanis dari baja.

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Vickers*, yang menggunakan sebuah pyramid intan sebagai *indentor* yang ditekan dengan daya tertentu ke permukaan baja yang akan diukur kekerasannya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap penetrasi suatu material yang lebih keras dengan bentuk dan dibawah pengaruh gaya tertentu sehingga didapatkan nilai kekerasan baja. Nilai kekerasan *Vickers* dinyatakan sebagai perbandingan antara beban dibagi dengan diagonal rata-rata dari bekas indentasinya.

*Curling* adalah proses pembentukan *Flange* lembaran baja menjadi bentuk yang digulung. *Curling* memperkuat tepi dan memberikan kelancaran ke permukaan. Hal ini umumnya digunakan sebagai sarana untuk menggabung dengan dua Komponen. *Curling* sering ditambahkan untuk menghindari tepi yang tajam

dan membuat bagian lebih aman untuk penanganan dan pemakaian.

### ANALISIS HASIL PENGAMATAN

Hasil pengamatan komposisi kimia baja yang digunakan sebagai bahan pelat adalah sebagaimana ditunjukkan pada tabel-1.

**Tabel-1:** Komposisi Kimia pelat Baja Karbon

Unsur	C	Si	Mn	P	S	Al	N
Komposisi (% berat)	0,15	0,6	0,251	0,07	0,01	0,037	0,059
Unsur	Ni	Cu	V	Mo	Ti	Cr	Fe
Komposisi (% berat)	0,021	0,02	0,005	0,003	0,001	0,01	98,69

Dari hasil pengujian komposisi kimia diperoleh bahwa kadar karbon sebesar 0,15 %, yang berarti bahwa pelat baja tersebut merupakan baja karbon rendah. Keberadaan unsur Silikon sebanyak 0,6 %, mengindikasikan bahwa pelat baja tersebut mempunyai Kekuatan, Kekerasan, hardenability, tahan aus, tahan panas, dan keuletan yang baik.

Keberadaan unsur Mangan (Mn) meningkatkan Kekuatan, Kekerasan, tahan aus, mampu keras yang baik. Keberadaan Aluminium sebanyak 0,0387 %, memberikan berkontribusi pada pelat baja sehingga sangat cocok untuk pelat baja, yang banyak dipakai untuk diberikan perlakuan deformasi plastis, yang salah satunya dengan proses curling pada ujung pelat baja.

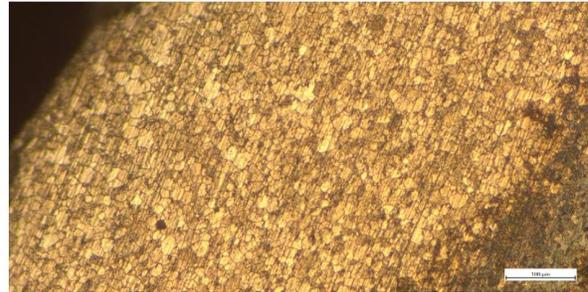
Dari hasil pengujian kekerasan terhadap pelat baja yang terdeformasi plastis akibat beban tarik diperoleh hasil kekerasan rata-rata adalah 132 HVN dengan nilai kekuatan Tarik rata-rata 440,42 MPa, sebagaimana ditunjukkan pada tabel-2.

**Tabel-2:** Hasil uji kekerasan terhadap pelat yang terdeformasi plastis akibat beban tarik

Jenis Sample	Beban	Titik pengujian	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Nilai kekerasan (HVN)	Nilai kekuatan (MPa)
Lurus	0,5 kg	1	81,57	86,48	131,3	438,25
		2	74,63	95,08	128,8	431,00
		3	82,12	83,14	135,8	452,00
Rata-Rata			79,44	88,23	132,0	440,42

Dari tabel-2 terlihat bahwa nilai kekerasan dari ketiga titik yang diuji menunjukkan nilai kekerasan yang fluktuasinya relatif kecil. Hal ini

relevan dengan pengamatan metalografi yang ditunjukkan pada foto metalografi gambar-4, yang merupakan foto hasil uji metalografi terhadap pelat baja yang mengalami deformasi plastis akibat beban Tarik, dengan perbesaran 100x. Dalam foto tersebut bahwa distribusi butiran yang relatif homogen dan cenderung halus yang merupakan kombinasi ferrite dan perlit, dengan ferrite cenderung lebih dominan.



**Gambar-4:** Foto metalografi pelat baja yang menerima beban Tarik, perbesaran 100x

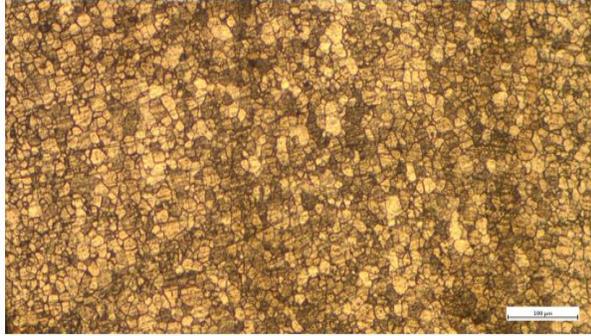
Sedangkan hasil pengujian kekerasan terhadap pelat baja yang terdeformasi plastis akibat beban stamping diperoleh hasil kekerasan rata-rata adalah 134 HVN dengan nilai kekuatan Tarik rata-rata 447,42 MPa, sebagaimana ditunjukkan pada tabel-3.

**Tabel-3:** Hasil uji kekerasan terhadap pelat yang terdeformasi plastis akibat beban Tarik

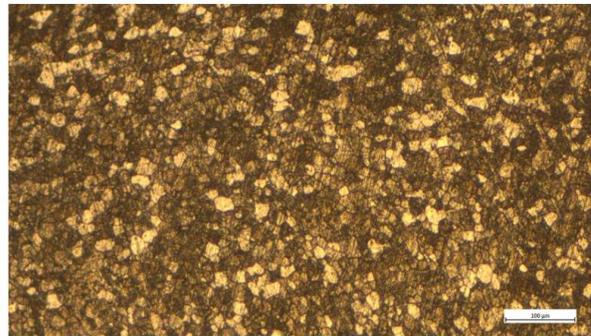
Jenis Sample	Beban	Titik pengujian	Diagonal 1 (µm)	Diagonal 2 (µm)	Nilai kekerasan (HVN)	Nilai kekuatan (MPa)
Stamp	0,5 kg	1	76,61	82,64	146,2	482,33
		2	90,56	79,25	128,6	430,33
		3	85,93	84,21	128,1	428,67
Rata-Rata			84,37	82,03	134,3	447,11

Dari tabel-3 terlihat bahwa nilai kekerasan dari ketiga titik yang diuji menunjukkan adanya gradasi nilai kekerasan yang fluktuasinya besar.

Bila dikaitkan dengan hasil pengamatan foto metalografi gambar-5, yang merupakan hasil uji metalografi terhadap pelat baja yang terdeformasi plastis akibat stamping, maka terlihat bahwa butirannya lebih besar, dengan komposisi ferrite-pearlite, dan pearlite cenderung lebih dominan. Hal menyebabkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik dari baja yang terdeformasi plastis beban stamping cenderung lebih besar dibandingkan yang mengalami beban Tarik.



**Gambar-5:** Foto metalografi pelat baja yang menerima beban stamping, perbesaran 100x



**Gambar-6:** Foto metalografi pelat baja yang menerima beban Curling, perbesaran 100x

Selanjutnya hasil pengujian kekerasan terhadap pelat baja yang terdeformasi plastis akibat beban Curling diperoleh kekerasan rata-rata adalah 151,9 HVN dengan nilai Kekuatan Tarik rata-rata 509,56MPa, sebagaimana ditunjukkan pada tabel-4. Dan apabila diperhatikan pada ketiga titik yang dipilih untuk diuji kekerasan menunjukkan adanya fluktuasi yang cukup besar. Namun secara keseluruhan nilai hasil uji kekerasan pada pelat yang terdeformasi plastis secara Curling menunjukan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai kekerasan pada pelat yang terdeformasi plastis secara Tarik maupun stamping.

**Tabel-4:** Hasil uji kekerasan terhadap pelat yang terdeformasi plastis akibat beban Curling

Jenis Sample	Beban	Titik pengujian	Diagonal 1 (μm)	Diagonal 2 (μm)	Nilai kekerasan (HVN)	Nilai kekuatan (MPa)
Curl	0,5 kg	1	91,14	63,75	154,6	518,33
		2	82,22	71,78	156,4	532,67
		3	83,47	76,57	144,8	477,67
	Rata-Rata		85,61	70,70	151,9	509,56

Kondisi ini juga relevan dengan hasil pengamatan metalografi terhadap pelat baja yang terdeformasi secara plastis dengan beban Curling seperti ditunjukkan pada gambar-6. Pada gambar-6 tersebut nampak bahwa kombinasi ferrite dan pearlit dengan pearlite lebih dominan, sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang lebih besar.

Dari ketiga kondisi ini terlihat bahwa jenis pembebanan pada pelat baja karbon cukup berpengaruh terhadap perubahan sifat mekanik dan struktur mikro. Pada deformasi plastis akibat beban Tarik arah memanjang, sedangkan pada beban stamping menggunakan teknik tumbukan yaitu dengan menekan atau menumbuk pelat menjadi bentuk yang diinginkan.

Pada deformasi secara Curling, selain beban Tarik juga dilanjutkan dengan adanya beban puntir, sehingga menghasilkan efek strain hardening (pengerasan regang) yang cenderung lebih besar dan lebih homogen, yang terlihat dari adanya peningkatan nilai kekerasan dan kekuatan Tarik, serta perubahan struktur mikro.

## KESIMPULAN

Berdasarkan pada data-data tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa jenis pembebanan deformasi plastis berpengaruh terhadap perubahan sifat mekanik dan struktur mikro pelat baja karbon, dengan efek beban Curling menghasilkan nilai kekerasan yang cenderung lebih besar

## DAFTAR FUSTAKA

- William F, Hosford And Robert M. Caddell, METAL FORMING MECHANICS AND METALLURGY Third Editon, Henry S. Valberg, APPLIED METAL FORMING Including Fem Analysis, Nursidik: Analisis Sifat mekanik Baja pada bahan SPCC-HD dengan proses DEEP CURLING Dalam pembuatan Drum MODLEN, G. (1990). *Manufacturing Engineering and Technology*. By Serope Kalpakjian.

*(Manufacturing Engineering and  
Technology, Seventh Edition in SI Units)*

<https://bektikidz.wordpress.com/2013/10/25/proses-pembentukan-logam-metal-forming/>

[www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Mechanical/Mechanical.htm](http://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Mechanical/Mechanical.htm)

<https://fdokumen.com/document/proses-pembentukan-logam55b08922e7899.html>