

# PENGARUH DIAMETER Pengerolan DINGIN TERHADAP KEKUATAN BENDING BAJA KARBON RENDAH

Djoko Suprijanto<sup>\*)</sup>

## ABSTRAK

Baja St 41 merupakan baja karbon rendah yang mengandung karbon dibawah 0,30 % banyak diaplikasikan untuk konstruksi umum. Pembentukan benda dengan pengerolan banyak dilakukan untuk pembuatan bejana maupun konstruksi penguatan dengan plat baja. Pada penelitian ini dilakukan proses pengerolan dingin, baja AISI 1015 setebal 7,65 mm dengan radius: 500, 1000, 2000 dan 3000 mm. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia, uji kekerasan, uji struktur mikro dan uji kekuatan bending dengan arah berlawanan dari arah pengerolan. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa pengerolan akan meningkatkan kekuatan bending sampai pada ukuran tertentu. Setelah lewat batas tertentu maka bahan akan luluh sehingga menurunkan kekerasan serta kekuatan bendingnya.

**Kata kunci:** Baja St 41, *Rolling*, Ferit, Kekuatan Bending

## PENDAHULUAN

Salah satu cara pabrikasi bahan pelat baja untuk konstruksi mesin adalah dengan pengerolan dingin. Pembuatan benda dengan pengerolan plat banyak dilakukan pada instalasi bejana tekan maupun konstruksi penguatan terhadap struktur. Dengan pengerolan akan terjadi daerah tarik dan tekan pada bahan. Variasi radius atau diameter pengerolan menghasilkan struktur dan sifat mekanis yang berbeda pada bahan. Kenaikan sifat kekuatan pada bahan menjadi pertimbangan pengerjaan dengan cara ini. Pada ketebalan yang sama, perbedaan variable yang diambil memberikan kenaikan kekuatan yang berbeda. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh radius/diameter pengerolan terhadap kekuatan bending/lentur baja karbon rendah yang dirol dingin

## LANDASAN TEORI

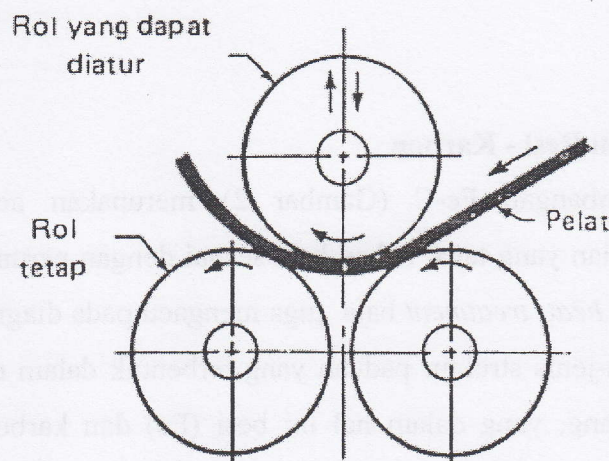
Pengerolan adalah proses pelenturan bahan dengan menggunakan sifat plastis bahan (BM Amstead, 1989). Tujuan utama proses pelenturan adalah membentuk suatu pelat atau

---

<sup>\*)</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta

pembentukan benda kerja dengan diameter/radius kelengkungan tertentu yang diinginkan. Untuk menghasilkan suatu konstruksi berbentuk silinder atau kerucut (misalkan ketel, tangki, pipa), atau struktur, dibutuhkan mesin pelentur bundar pelat. Mesin ini terdiri dari tiga rol yang berdiameter sama. Dua diantaranya tetap dan yang satu lagi dapat diatur letaknya. Pelat logam masuk diantara ketiga rol tersebut, dan terjadilah pelenturan.

Diameter akhir dapat diatur dengan mengatur rol ketiga: makin dekat dengan rol tetap, makin kecil diameter akhir, pelenturan pelat bisa berbentuk silinder bundar kerucut bundar didalam celah diantaranya. Penggerakan pada mesin pelenturan yang kecil dilakukan dengan tangan, pada yang besar dengan sebuah motor.



Gambar 1. Proses Pelenturan Pelat (B.H Amstead .1989)

## Baja

Logam *ferrous*, dengan unsur utamanya berupa besi (Fe). secara umum dibagi menjadi dua, yaitu : besi tuang (*cast iron*) dengan kadar karbon 2,0–4,5 % dan baja (*steel*) dengan kadar karbon 0,05–2,0 %. Berdasarkan komposisi kimia (Tata Surdia, 2000), baja dapat dikelompokkan menjadi baja karbon dan baja paduan.

Baja karbon merupakan paduan dari besi (Fe) dan karbon (C) serta sejumlah unsur-unsur lain yang sangat kecil yang tidak mungkin dihilangkan dalam proses pembuatannya, seperti : Mn, Si, S, P, N dan sebagainya . Baja karbon dikelompokkan menjadi :

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

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung 0,08 % – 0,30 % karbon. Baja ini mempunyai sifat yang mudah dikerjakan dengan mesin dan mudah ditempa.

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

Baja karbon ini mengandung karbon antara 0,30 %–0,70 % karbon. Baja ini mempunyai keuletan yang tinggi, sehingga baik sebagai bahan penerus daya

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

Baja karbon ini mengandung karbon antara 0,70 %–1,30 % karbon. Jika kadar karbon naik, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tinggi tetapi perpanjangannya menurun.

Pada umumnya baja karbon rendah dapat ditempa atau dirol dingin, sedangkan Baja karbon medium dapat ditempa ataupun dirol dengan dipanasi sampai suhu tertentu/ austenite, sedangkan untuk baja karbon tinggi tidak dapat ditempa maupun dirol karena karena kekerasannya tinggi

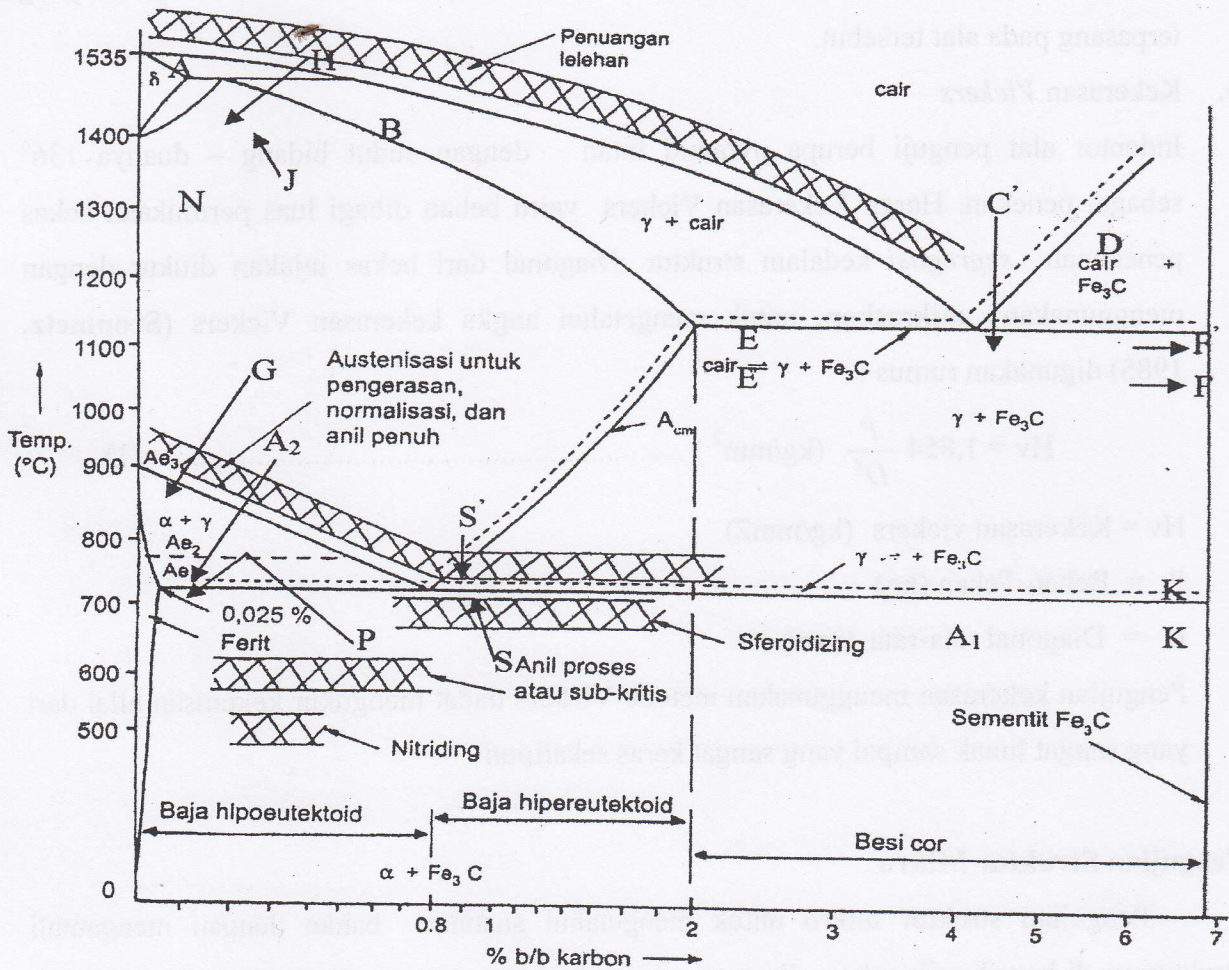
### **Diagram Keseimbangan Besi - Karbon**

Diagram kesetimbangan Fe-C (Gambar 2) merupakan acuan untuk memilih pengerjaan serta pemakaian yang tepat bahan baja sesuai dengan peruntukannya. Disamping itu pemilihan suhu pada *heat treatment* baja juga mengacu pada diagram ini. Pada diagram ini memperlihatkan jenis-jenis struktur paduan yang terbentuk dalam dua sistem komponen dibawah kondisi setimbang, yang dalam hal ini besi (Fe) dan karbon (C). Untuk sistem paduan biner, pengeplotan yang sama dalam perubahan fase dari cairan (*liquid*) atau cairan plus padatan (*liquid + solid*) menjadi padatan (*solid*), dapat disusun data pembekuan yang diukur secara teliti. Perubahan kadar karbon akan mengakibatkan paduan-paduan *ferro* mempunyai perbedaan sifat dan mikrostruktur yang sangat besar. Hal ini dapat dihubungkan satu dengan yang lainnya dalam kaitan dengan diagram Fe<sub>3</sub>C.

### **Pengujian Komposisi Kimia**

Pengujian ini untuk mengetahui susunan unsur kimia yang terkandung pada bahan. Prinsip pengujian adalah penembakan energy benda kerja melalui elektroda *wolfram Spart*. Pancaran sinar keluar dari permukaan benda uji tersebut diterima oleh lensa cembung kemudian diteruskan kedalam ruang vakum intensitas menjadi sinar *monochromic*. Sinar ini akan dideteksi intensitasnya oleh sensor cahaya dan dikonversikan menjadi prosentase kadungan unsur. yang bersangkutan melalui kurva kalibrasi yang diproses oleh computer.

Hasil konsentrasi unsur dapat ditampilkan dimonitor atau dapat disimpan di hardware computer kemudian baru di printer.



Gambar 2. Diagram Keseimbangan Fe-C (Smallman, 1991)

### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menunjukkan ketahanan bahan terhadap goresan atau tekanan injakan bahan standar/*indenter*

Beberapa cara pengujian kekerasan adalah sebagai berikut :

#### 1. Kekerasan *Brinell*

Kekerasan ini diukur dengan mempergunakan alat pengukur kekerasan Brinell. Indentor berupa bola baja keras dengan diameter  $D$  mm, ditekankan ke permukaan bagian yang diukur dengan beban  $P$  kg. Kekerasan Brinell adalah beban  $P$  dibagi luas bidang ( $\text{mm}^2$ ) penekanan yang merupakan deformasi tetap sebagai akibat penekanan.

2. Kekerasan *Rockwell*  
Bola baja keras atau kerucut diamod ditekankan ke permukaan yang diukur, kemudian dalamnya penekanan diukur. Kekerasan Rockwell ditunjukkan oleh indikator jarum yang terpasang pada alat tersebut.

3. Kekerasan *Vickers*  
Indentor alat penguji berupa pyramid intan dengan sudut bidang – duanya  $136^\circ$  sebagai penekan. Harga Kekerasan Vickers yaitu beban dibagi luas permukaan bekas penekanan *segregasi* kedalam struktur. Diagonal dari bekas injakan diukur dengan menggunakan mikroskop, untuk mengetahui angka kekerasan Vickers (Sconmetz, 1985) digunakan rumus :

$$Hv = 1,854 \frac{P}{D^2} \text{ (kg/mm}^2\text{) } \dots\dots\dots (1)$$

Hv = Kekerasan vickers (kg/mm<sup>2</sup>)

P = Beban Tekan (kg)

D = Diagonal rata-rata (mm)

Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers dapat mengukur kekerasan nilai dari yang sangat lunak sampai yang sangat keras sekalipun.

### **Pengujian Struktur Mikro**

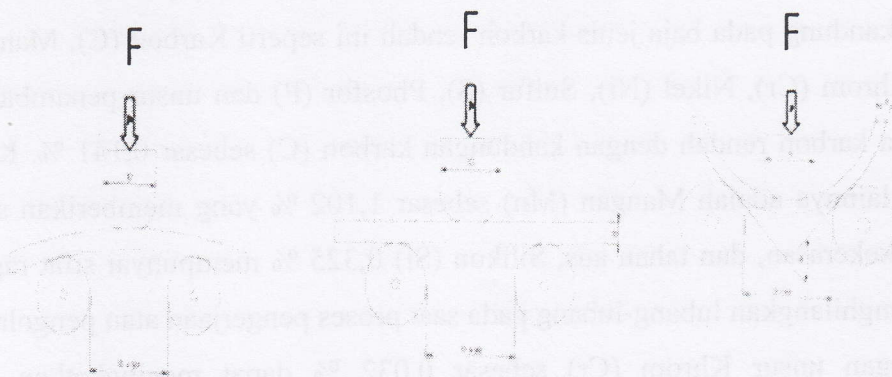
Pengujian struktur mikro untuk mengetahui susunan bahan dengan mengamati strukturnya di bawah mikroskop, disamping itu pula dapat mengamati cacat dan bagian yang tidak teratur. Mikroskop yang digunakan adalah mikroskop cahaya.

Logam yang telah dipolis, permukaan yang halus itu tertutup oleh selaput yang terdeformasi, untuk mengikis selaput tersebut maka dilakukan etsa sehingga permukaan menjadi buram, sebagian batas butir terkikis dan komponen-komponen tertentu akan nampak akibat kikisan selektif dari larutan etsa tadi. Etsa ini adalah campuran dari Etanol/alkohol 99% (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) dan HNO<sub>3</sub> (asam nitrat ) dengan penetral alkohol (alkohol 70%) pada perbandingan tertentu, contoh untuk baja adalah campuran dari 5 % asam nitrit dan 95 % etanol.

## Pengujian Kekuatan Bending

Pada umumnya kekuatan bending/lentur mendekati kekuatan tarik sehingga pada perencanaan cukup mempergunakan kekuatan tarik. Tetapi kalau suatu komponen hanya menerima beban lentur saja dan dirancang berdasar kekuatan tarik saja. Kadang-kadang perhitungan menghasilkan dimensi yang berlebihan, dalam hal tersebut pengujian lentur masih diperlukan.

Pada pengujian lentur, apabila ada *eksentrisitas*, ia akan bertambah besar ketika deformasi berlangsung, maka perlu suatu cara agar tidak terjadi *eksentrisitas*, jadi hanya bekerja gaya aksial saja. Pengujian tekan sebaiknya mengikuti setandar yang disarankan oleh ASTM. Baru-baru ini ditemukan bahan yang baik terbuat dari keramik sebagai landasan dari silika, yang memberikan pengaruh yang baik. Dalam hal pengujian, kalau pengujian dilakukan pada kecepatan tetap dari kepala silang, setidaknya laju regangan teknis dapat dipertahankan tetap. Dalam pengujian tekan agak sukar mendapatkan laju regangan yang seragam batang uji yang panjang tidak dapat dipergunakan disebabkan mudahnya terjadi tekukan. Maka tersedia kam plastometer mempergunakan kam logaritma (Tata surdia, 2000). Gambar 2.5. Menunjukkan pengujian *bending* bentuk U.



Gambar 3. Proses Bending

Rumus Kekuatan Lentur:

$$\sigma_{db} = \frac{Mb}{Wb} \dots\dots\dots (2)$$

$$Mb = F \cdot s \dots\dots\dots (3)$$

$$W_b = \frac{I}{Y_{\max}} \dots\dots\dots (4)$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- odb = Kekuatan lentur ( kN/mm<sup>2</sup>)
- Mb = Momen lentur (kN.mm)
- F = Gaya penekan (kN)
- S = Jarak (mm)
- Wb = Momen tahan untuk lenturan (mm<sup>3</sup>)
- I = Momen lembam terhadap sumbu normal (mm<sup>4</sup>)
- Ymax = Jarak penekanan maksimal (mm)

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

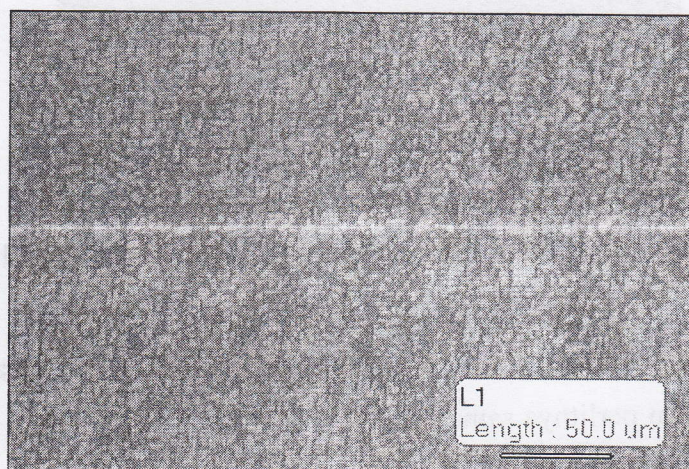
Dari hasil pengujian komposisi kimia, data menunjukkan prosentase unsur-unsur kimia yang terkandung pada baja jenis karbon rendah ini seperti Karbon (C), Mangan (Mn), Silikon (Si), Khrom (Cr), Nikel (Ni), Sulfur (S), Fosfor (P) dan unsur penambah lainnya. merupakan baja karbon rendah dengan kandungan karbon (C) sebesar 0,141 %. Kandungan unsur terbesar lainnya adalah Mangan (Mn) sebesar 1,102 % yang memberikan sifat dapat meningkatkan kekerasan, dan tahan aus, Silikon (Si) 0,325 % mempunyai sifat rapuh panas dan mampu menghilangkan lubang-lubang pada saat proses pengerjaan atau pengolahan baja.

Kandungan unsur Khrom (Cr) sebesar 0,032 % dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan diperkeras, tahan aus, ketahanan terhadap panas, kerak dan korosi, akan tetapi dapat menurunkan regangan. Unsur lain berupa Nikel (Ni) mempunyai kandungan unsur sebesar 0,035 % yang mempunyai sifat dapat meningkatkan keuletan, kekuatan dan ketahanan karat tetapi dapat menurunkan kecepatan pendinginan dan regangan panas. Sedangkan kandungan unsur Wolfram (W) sebesar 0,036 % berpengaruh pada peningkatan kekerasan pada suhu tinggi. Fosfor (P) sebesar 0,086 % berpengaruh terhadap kekuatan baja tersebut karena fosfor dapat menyebabkan baja rapuh dalam keadaan dingin. Tembaga (Cu) sebesar 0,080 % dapat menyebabkan baja tahan korosi. Unsur lain yang terdapat pada baja

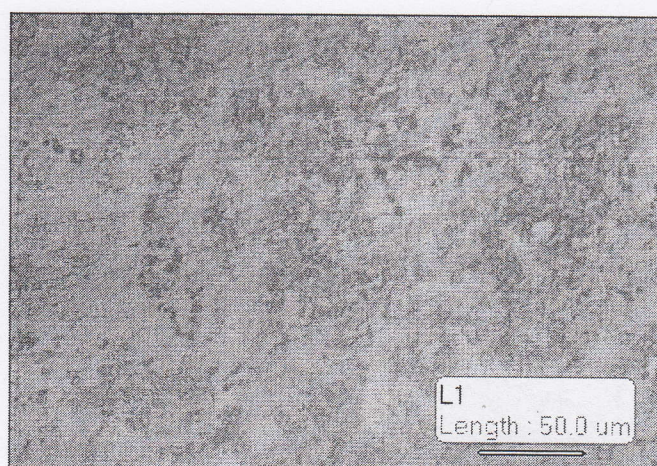
karbon rendah ini tidak terlalu berpengaruh pada *mechanical properties*-nya. Baja karbon rendah ini termasuk jenis baja AISI C1015

### Analisa Struktur Mikro Daerah Tarik

Pada *raw material* yang mengalami uji bending pada daerah tarik butiran *ferit* dan perlitnya kasar (Gambar 4). Sedangkan pada struktur mikro radius 500 mm strukturnya lebih halus dibandingkan dengan stuktur mikro daerah tarik *raw material* (Gambar 5) *ferit* lebih banyak dari pada perlitnya karena pada radius 500 mm mengalami pengerolan sehingga pada daerah tariknya masih terbentuk struktur mikro yang padat dari pada *raw material*.



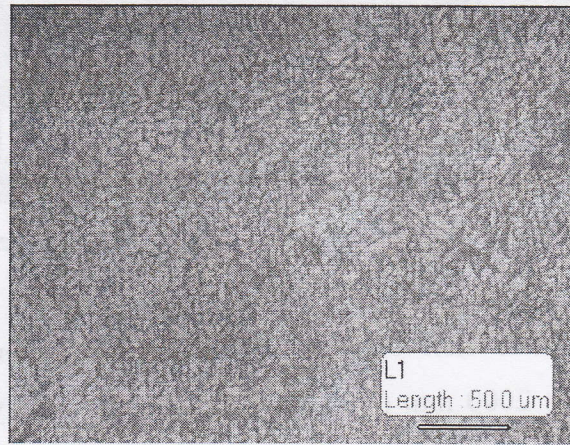
Gambar 4. Hasil Uji Stuktur Mikro *Raw material* Bagian Tarik



Gambar 5. Stuktur Mikro Bahan, Radius Rol 3000 Mm Daerah Tarik



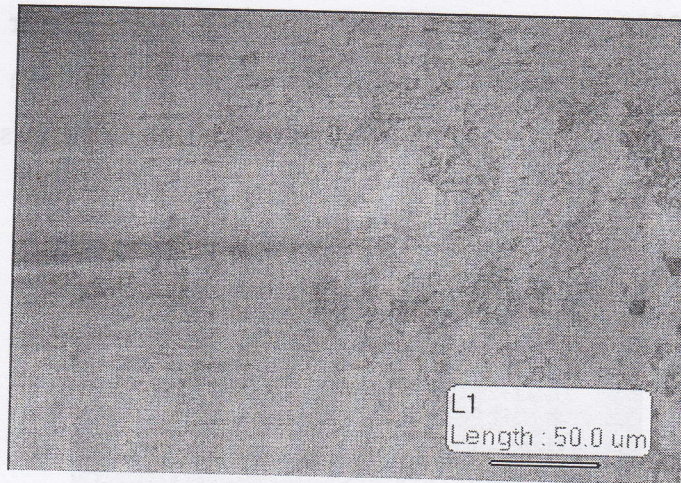
Pada radius 3000 mm struktur yang terbentuk lebih kasar (Gambar 8) bila dibandingkan dengan struktur mikro radius 2000 mm jadi kekerasannya lebih tinggi radius 2000 mm karena pada daerah tarik radius 2000 mm masih mempunyai struktur mikro yang padat akibat pengerolan:



Gambar 8. Struktur Mikro Bahan Asdius Rol 500 Mm Bagain Tarik

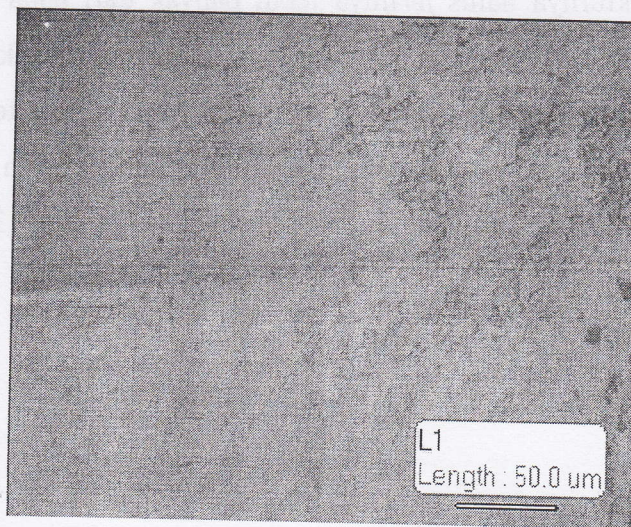
#### **Analisa Struktur Mikro Daerah Tekan**

Pada daerah tekan strukturnya lebih padat dan halus bila dibandingkan daerah tarik, hal ini disebabkan pada daerah tekan mengalami pemadatan struktur mikro. Pada daerah tekan, *raw material* strukturnya halus *feritnya* lebih banyak dari pada perlit (Gambar 9). Secara umum dibandingkan dengan radius > 500 mm, maka struktur akan lebih halus dan padat pada radius 500 mm, karena adanya bahan yang luluh akibat tekanan yang sangat besar pada diameter rol yang kecil, sementara terlihat batas daerah luluh yang menunjukkan strukturnya terdiri dari *ferit* dan *perlit* yang merata seperti pada Gambar 13.



Gamabr 9. Struktur Mikro *Raw material* Bagian Tekan

Pada radius 3000 mm ferit dan perlitnya kembali terbentuk kasar dan besar dibandingkan dengan radius 2000 mm (Gambar 10) sehingga sifatnya lebih keras Radius 2000 mm disebabkan pada radius 3000 pada saat uji bending tidak terbentuk butiran yang padat pada saat beban maksimum dibandingkan radius 2000 mm. Semakin besar radius (diameter) pengerolan maka struktur mikronya cenderung membentuk *ferit*. Terlihat semakin kecil diameter pengerolan maka bagian yang padat semakin banyak sehingga terjadi pertumbuhan butir dan kekerasannya menurun.



Gambar 10. Struktur Mikro Bahan Radius Rol 3000 Mm Daerah Tekan

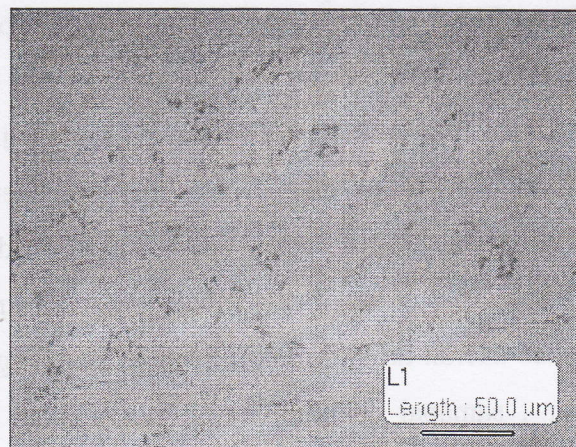
Daerah tekan radius 2000 mm struktur mikronya sama dengan radius 1000 mm ferit masih mendominasi dan perlitnya sama dengan daerah tekan radius 1000 mm jadi

kemungkinan sifatnya juga sama (Gambar 11), karena terjadi pembentukan struktur yang sama akibat pengaruh pengerolan.

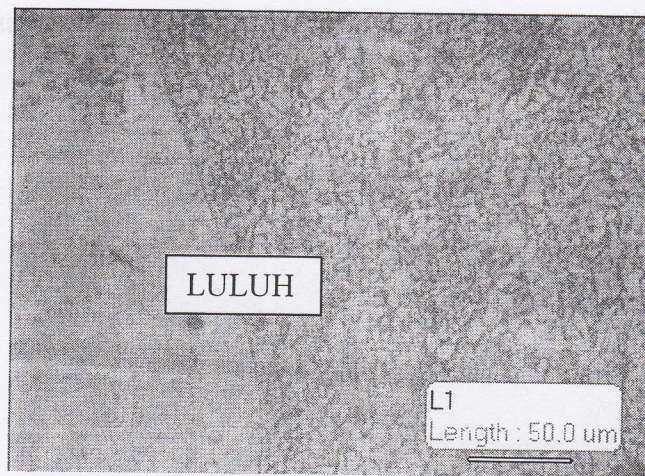


Gambar 11. Struktur Mikro Bahan, Radius Rol 2000 Mm Daerah Tekan

Pada radius pengerolan 1000 mm butiran ferit halus dan mendominasi dibandingkan perlitanya (Gambar 12) tapi dibandingkan dengan radius 500 mm perlitanya lebih banyak radius 1000 mm sehingga kekerasannya lebih tinggi daerah tekan radius 1000 mm. Hal ini disebabkan pada radius 500 mm terjadi peluluhan struktur mikro sedangkan pada radius 1000 tidak terjadi peluluhan yang sangat besar seperti pada radius 500 mm (Gambar 13).



Gambar 12. Struktur Mikro Bahan Radius Rol 1000 Mm Bagian Tekan

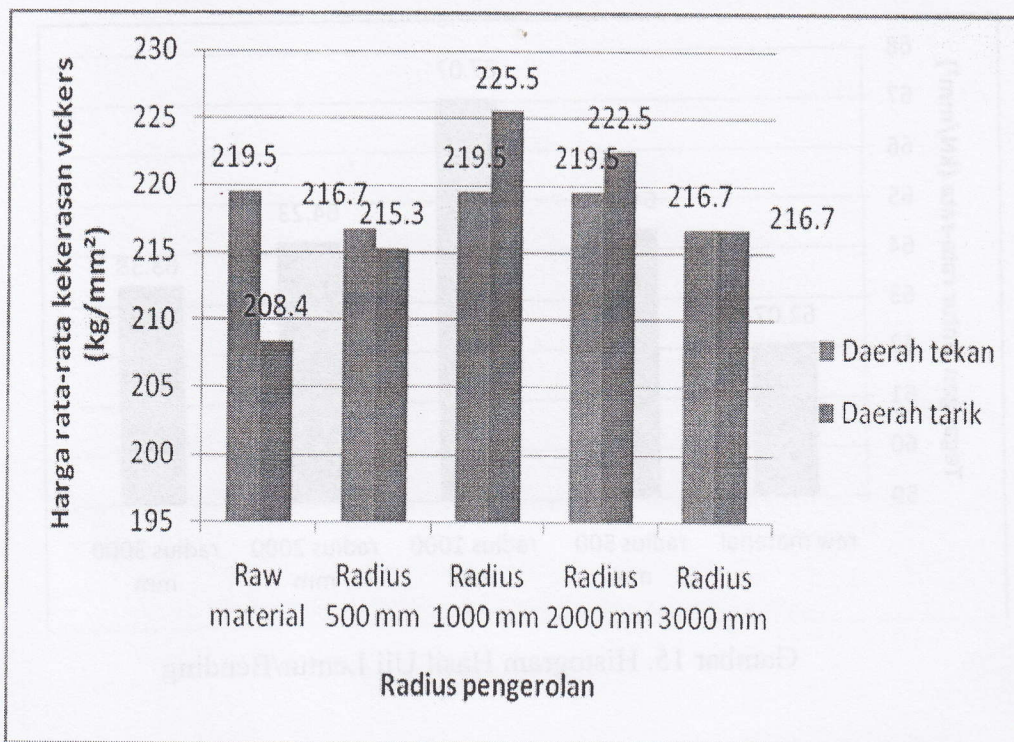


Gambar 13. Struktur Mikro Bahan Radius Rol 500 Mm Bagian Tekan

### Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan Vikers disajikan dalam bentuk histogram seperti pada Gambar 14 yang menunjukkan harga kekerasan rata-rata tertinggi daerah tarik didapat pada radius 1000 mm yaitu sebesar  $225,5 \text{ kg/mm}^2$ , dapat dilihat bahwa radius pengerolan mempengaruhi harga kekerasan rata-rata, semakin kecil radius pengerolan semakin besar kekerasa rata-ratanya, tapi pada radius pengerolan 500 mm terjadi penurunan kekerasan rata-rata lebih kecil dibandingkan radius 1000 mm, itu disebabkan pada saat pengerolan terjadi peluluhan sruktur mikro yang sangat tinggi.

Harga kekerasan rata-rata daerah tekan tertinggi didapat pada radius pengerolan 1000 mm dan 2000 mm yaitu sebesar  $219,5 \text{ kg/mm}^2$ , disebabkan pada saat pengerolan radius 1000 mm dan daerah tekannya mengalami pemadatan struktur mikro yang cukup besar dan pada daerah tarik terjadi peregangan struktur mikro, sehingga pada saat diuji bending pada daerah tarik pengerolan yang akan mengalami penekanan dan menjadi daerah tekan strukturnya kembali padat dan sama strukturnya dengan daerah tekan 2000 mm dan pada daerah tekan pengerolan yang menjadi daerah tarik uji bending kembali renggang struktur mikronya. Pada Gambar 14 terlihat bahwa pada daerah tarik, semakin kecil radius pengerolan harga rata-rata kekerasannya semakin besar, samapai daerah tertentu justru akan turun karena adanya peluluhan bahan yang mengakibatkan tumbuhnya kristal. Sementara pada daerah tekan semakin kecil radius pengerolan harga rata-rata kekerasannya semakin besar mendekati kekerasan *raw material*. Pada pengerolan dengan radius rol terbesar, seperti tidak berpengaruh secara signifikan.

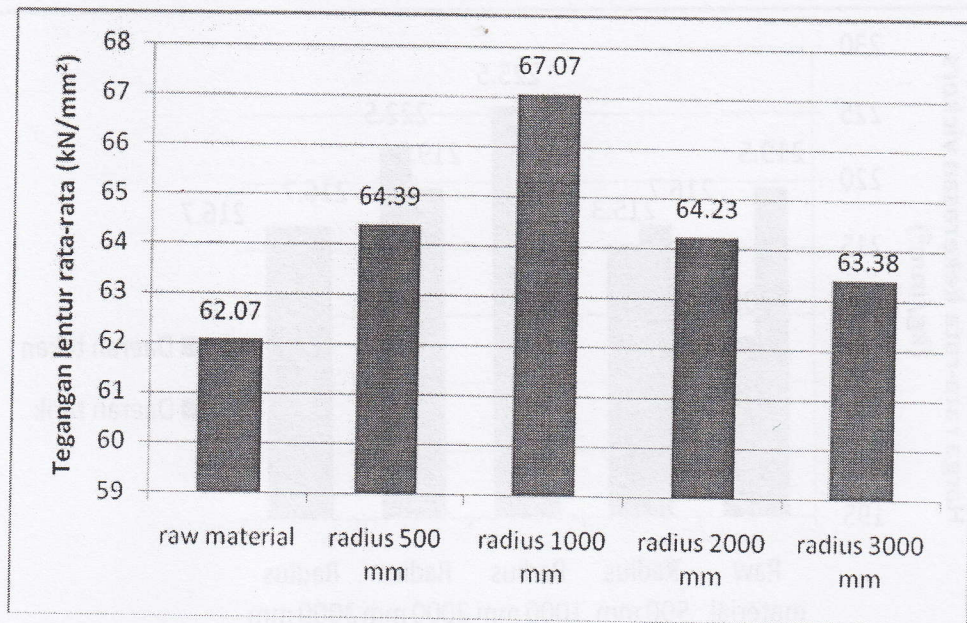


Gambar 14. Histogram Kekerasan Bahan

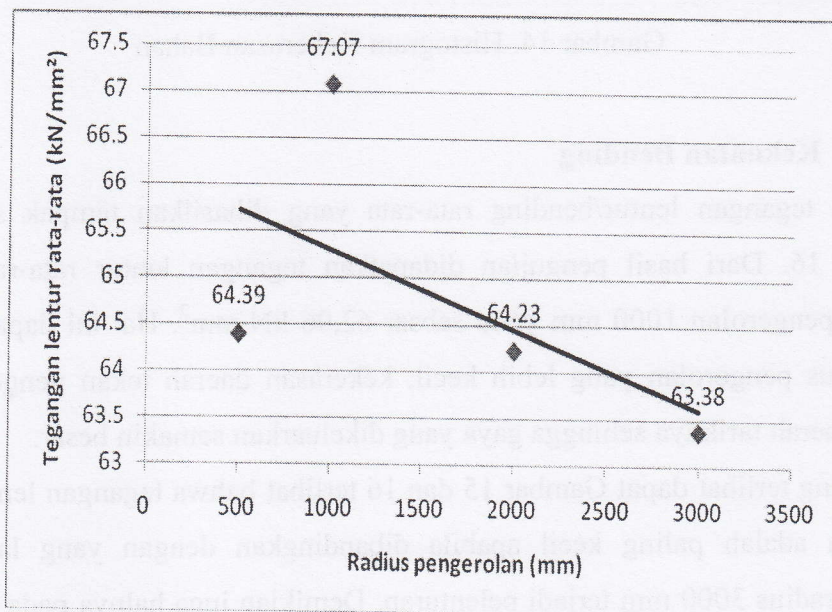
### Hasil Pengujian Kekuatan Bending

Pengujian tegangan lentur/bending rata-rata yang dihasilkan tampak seperti pada Gambar 15 dan 16. Dari hasil pengujian didapatkan tegangan lentur rata-rata tertinggi diperoleh radius pengerolan 1000 mm yaitu sebesar  $62,06 \text{ kN/mm}^2$ . Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada radius pengerolan yang lebih kecil, kekerasan daerah tekan pengerolan lebih keras dari pada daerah tariknya sehingga gaya yang dikeluarkan semakin besar.

Seperti yang terlihat dapat Gambar 15 dan 16 terlihat bahwa tegangan lentur rata-rata radius 3000 mm adalah paling kecil apabila dibandingkan dengan yang lain. Hal ini disebabkan pada radius 3000 mm terjadi pelenturan. Demikian juga halnya pada radius 2000 mm, akan tetapi pada radius 2000 mm terjadi tegangan lentur yang lebih besar apabila dibandingkan dengan radius 3000 mm karena pada radius 2000 mm lebih melentur dibandingkan radius 3000 mm. Sedangkan pada radius 1000 mm tegangan lenturnya lebih besar dari radius 2000 mm disebabkan karena mengalami pelenturan yang lebih kecil dari radius 2000 mm.



Gambar 15. Histogram Hasil Uji Lentur/Bending



Gambar 16. Hubungan Radius Pengerolan Dengan Tegangan Bending Bahan

Pada radius 500 mm memiliki pelenturanya lebih kecil sedangkan jarak penekan lebih besar. Akan tapi apabila diamati saat pengerolan menyebabkan struktur mikronya mengalami luluh dan menyebabkan kekerasan berkurang sehingga gaya penekannya lebih kecil dibandingkan dengan radius 1000 mm. Hal inilah yang mengakibatkan pada radius 500 mm tegangan lenturnya lebih kecil dari pada radius 1000 mm. Pada radius pengerolan yang kecil, terjadi kejenuhan tegangan serta kerusakan struktur mikro bahan. Selain itu kemungkinan

adanya tegangan sisa juga sangat dimungkinkan. Oleh karena itu untuk tujuan penguatan bahan maka pengerolan dilakukan diatas 1000 mm agar mendapatkan hasil yang terbaik.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Dari hasil uji komposisi pelat baja karbon rendah ini termasuk jenis baja AISI C 1015 dengan kadar karbon sebesar 0,141 %.
2. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa daerah tekan strukturnya lebih padat dibandingkan dengan daerah tarik, sruktur yang terbentuk yaitu *ferit* dan *perlit*.
3. Hasil pengujian kekerasan pada pelat baja tebal 8 mm menunjukkan semakin kecil diameter pengerolan semakin tinggi harga kekerasannya, harga kekerasan tertinggi terdapat pada daerah tarik radius 1000 mm yaitu sebesar 225,5 kg/mm<sup>2</sup>, dan harga kekerasan terendah terdapat pada daerah tarik *raw material* sebesar 208,4 kg/mm<sup>2</sup>.
4. Hasil pengujian bending pada pelat baja tebal 8 mm dengan arah berlawanan arah pengerolan menunjukan bahwa semakin kecil diameter pengerolan semakin besar tegangan lenturnya, nilai tegangan lentur tertinggi sebesar 69,2 kN/mm<sup>2</sup> terjadi pada radius 1000 mm dan terendah didapat pada *raw material* sebesar 62,02 kN/mm<sup>2</sup>.

## DAFTAR PUSTAKA.

- Avner,H, 1982, *Indtroduction to Physical Metallurgi*, Mc Graw-Hill Book Company, Singapore.
- Amstead, 1989, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Erlangga , Jakarta.
- Alois Schonmetz, 1985, *Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam*, Penerbit Angkasa, Bandung.
- Amstead, B. H., terj. Sriati Djaprie, 1989 *Teknologi Mekanik*, Jilid I, Edisi Ketujuh, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- JIS HANDBOOK, 1981 *Ferrous Materials*, Japanese Standards Association.
- JIS-ASME-DIN, 1978, *Handbook Of Comparative* , Toyo Engineering Corporatin.
- Smalman RE,2000, *Metallurgi Phisik Modern*, edisi keempat , Gramedia Pustaka Utama Jakarta.
- Sutrisna, 2002, *Pengaruh Arah Pelenturan Terhadap Laju Perambatan Retak Fatik Bahan Ketel SA285 Gr.C*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

**Tata Surdia, Saito, S., 2000, *Pengetahuan Bahan Teknik-Cetakan Kelima*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.**

**Van Vlack, L.H., 1983, *Ilmu dan teknologi Bahan*, Edisi kelima, Erlangga, Jakarta.**

**Wachid Suherman, 1987, *Pengetahuan Bahan*, Institut Teknologi sepuluh November, Surabaya.**

**PENULIS:**

**DJOKO SUPRIJANTO**

Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta, Jl. Babarsari, Catue Tunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55821, telp. (0274)485390, 486986, Faks.(0274)487429

E-mail : djoko.suprijanto@yahoo.com