

PENGARUH PRESTRAIN BERTINGKAT TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK BAJA KARBON SEDANG

Zulhanif

Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Gedung H Fakultas Teknik , Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1
Bandar Lampung, 35145 Telp: (0721) 3555519 Fax: (0721) 704947

Abstrak

Prestrain adalah suatu gejala deformasi plastis yang terjadi pada material logam, dimana material yang mengalami beban tarik dengan besar tegangan yang terjadi di atas tegangan luluh (σ_{yield}) dari material logam tersebut. Efek *prestrain* akan meningkatkan tegangan luluh dan tegangan tarik material. Tegangan tarik dapat meningkat karena tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan deformasi plastis ditingkatkan dengan *prestrain*. Regangan awal yang diberikan terhadap material akan mengakibatkan gerakan dislokasi sehingga menyebabkan pengerasan-regang. Pengerasan-regang banyak digunakan untuk mengeraskan logam atau paduan yang tidak bereaksi terhadap perlakuan panas.

Material yang digunakan yaitu baja karbon sedang. Setelah material dibentuk, material tersebut di uji tarik sehingga didapat grafik *stress – strain* dan *load – displacement*. Dari grafik tersebut dapat dicari nilai *prestrain* 3 %, 5 %, 7%, dan 6 %, 10 %, 14 %. Spesimen dipasang pada alat uji dan dijepit sehingga spesimen tidak bergeser pada saat pemberian beban tarik. Pada pengujian *prestrain* sekali diukur pada *prestrain* 3%, 5 %, 7 % dan 6 %, 10 %, 14 %. Setelah itu dibiarkan selama 1 hari, kemudian dilakukan pengujian tarik. Dari pengujian tarik ini akan didapatkan tegangan-regangan sehingga diperoleh data-data σ_y (MPa), σ_{ult} (MPa), dan ϵ (%). Nilai uji tarik material σ_{ult} akan dapat diketahui dengan melihat kertas grafik dari hasil pengujian spesimen. Sedangkan untuk *prestrain* dua kali diukur pada *prestrain* 3%, 5 %, 7 %. Setelah itu dibiarkan sampai setengah hari, kemudian di *prestrain* 3%, 5 %, 7 %. Selanjutnya dibiarkan sampai hari besoknya, kemudian dilakukan pengujian tarik. Dari pengujian tarik ini akan didapatkan tegangan-regangan sehingga diperoleh data-data σ_y (MPa), σ_{ult} (MPa), dan ϵ (%).

Hasil pengujian yang didapatkan untuk spesimen yang diberi perlakuan *prestrain*, mengalami peningkatan nilai kekerasan dan kekuatan tariknya. Peningkatan nilai kekuatan tarik tertinggi terjadi pada *prestrain* 14 % sekali, sebesar 669,57 MPa (8,20%).sedangkan yang terendah terjadi pada *prestrain* 3 % sekali, sebesar 626,89 MPa(1,30%).

Kata kunci : *Prestrain*, Dislokasi, Pengerasan Regangan, Deformasi Plastis,.

PENDAHULUAN

Baja karbon adalah baja yang mengandung unsur besi, karbon dan juga unsur lainnya (mangan, silikon, belerang, dan lain-lain), dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya.

Baja karbon sedang mengandung kadar karbon sampai 0,3 - 0,6 %, lebih kuat dan keras dibandingkan dengan baja karbon rendah. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah. Baja ini digunakan terutama untuk yang memerlukan kekuatan

dan ketangguhan yang lebih tinggi. Banyak juga digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, rantai dan lain-lain. Untuk meningkatkan sifat mekanik baja ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya yaitu, dengan pelapisan, *heat treatment*, *prestrain* dan lain lain.

Prestrain dapat meningkatkan sifat mekanik material, karena *prestrain* dapat menimbulkan tegangan sisa dan dislokasi. Adanya tegangan sisa dan dislokasi dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik pada logam tersebut. *Prestrain* dapat memberikan

keuntungan dan kerugian, apabila *presrain* yang terjadi melebihi batas akan mengakibatkan sifat mekaniknya menjadi tidak baik.

Penelitian *prestrain* pada aluminium terjadi peningkatan kekuatan tarik sampai *prestrain* 20 %, setelah itu mengalami penurunan nilai kekuatan tariknya. Sedangkan untuk nilai kekerasannya sama seperti nilai kekuatan tariknya mengalami peningkatan sampai *prestrain* 20 %, setelah itu mengalami penurunan nilai kekerasannya (Vieter.2006).

Penelitian ini dilakukan atas dasar penelitian sebelumnya pada baja karbon rendah, di mana setelah mengalami *prestrain*, baja karbon rendah mengalami peningkatan sifat mekaniknya yaitu pada *prestrain* 10 % untuk kekuatan tarik dan pada *prestrain* 10 % untuk kekerasan (Angraini, Wage. 2005). Pada penelitian ini menggunakan material baja karbon sedang, yang mana akan diberikan perlakuan *prestrain* dua kali dan juga diberikan perlakuan *prestrain* sekali. Setelah itu diuji sifat mekaniknya sehingga didapat nilai kekuatan tarik dan kekerasan baja karbon sedang tersebut.

LANDASAN TEORI

Baja karbon sedang mengandung kadar karbon sampai 0,3 - 0,6 %, lebih kuat dan keras dibandingkan dengan baja karbon rendah. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah. Baja ini digunakan terutama untuk yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. Banyak juga digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, rantai dan lain-lain.

Tegangan dan Regangan

Bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu logam tergantung pada komposisi, perlakuan panas, deformasi plastik yang pernah dialami, laju regangan, suhu dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian. (James M, 1987). Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan

regangan logam adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh atau titik luluh, persen perpanjangan dan pengurangan luas.

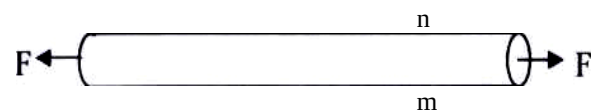
Tegangan dan Regangan Normal

Tegangan dan regangan adalah konsep paling dasar dalam meninjau sebuah batang prismatis yang mengalami gaya aksial. (James M, 1987) Batang prismatis adalah sebuah elemen struktural lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya, dan gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah sama dengan sumbu elemen, sehingga mengakibatkan terjadinya tarik atau tekan pada batang.

Tegangan internal dibatang akan terlihat apabila membuat sebuah potongan imajiner melalui batang bagian mn (Gambar1) Karena potongan ini diambil tegak lurus sumbu longitudinal batang, maka disebut potongan melintang (penampang).

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata pada batang mn (Gambar 1), dapat dilihat resultannya harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang A dari batang tersebut. (James M. 1987) Dengan demikian, tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$



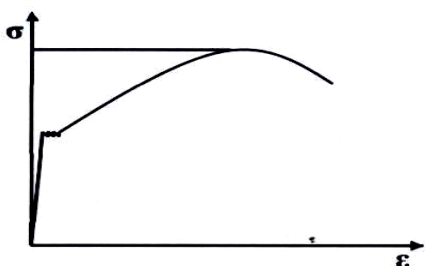
Gambar 1. Batang prismatis yang mengalami gaya tarik

Apabila batang ditarik dengan gaya P , maka tegangannya adalah tegangan tarik, apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan. Karena tegangan ini mempunyai arah tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini disebut tegangan normal. Regangan adalah perpanjangan per satuan panjang. Regangan disebut regangan normal

karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal.

Tegangan Teknik - Regangan Teknik

Diagram yang menggambarkan hubungan tegangan teknik terhadap regangan teknik (Gambar 2) akan sebangun dengan diagram gaya tarik terhadap perubahan panjang. Kesebangunan ini disebabkan oleh karena tegangan teknik didapat dari gaya tarik dibagi dengan luas penampang mula-mula, dan regangan teknik diperoleh dari perubahan panjang dibagi dengan panjang uji mula-mula (Siswosuwarno. 1985) Kedua pembagi atau penyebut adalah konstan untuk spesimen.



Gambar 2. Diagram tegangan teknik dan regangan teknik

Mekanisme Penguatan

Kekuatan berbanding terbalik dengan mobilitas dislokasi dan bahwa dalam kristal tunggal dengan kemurnian tinggi terdapat sejumlah faktor yang mungkin, dapat mempengaruhi kekuatan dan perilaku mekanis. (Dieter. 1986). Jadi, struktur kristal menentukan jumlah dan jenis sistem luncur, mengatur tingkat kekuatan dasar dan ketergantungan kekuatan dari temperatur. Dalam struktur padat, energi salah susun menentukan luasnya disosiasi dislokasi, yang mempengaruhi mudahnya luncur silang dan besarnya laju penguatan-regang selanjutnya. Kemurnian dan metode persiapan menentukan kerapatan dan dislokasi awal dan substruktural. Variabel yang terbatas ini mengetengahkan bahwa perilaku mekanis pada umumnya tidak dapat dikaitkan sebagai fungsi regangan, laju regangan, temperatur, dan laju tegangan dengan presisi tinggi (Dieter, 1986). Tetapi, diperlukan kepelikan yang semakin besar untuk menghasilkan

bahan dengan kekuatan tinggi. Jadi butir halus sering dikehendaki untuk kekuatan tinggi, penambahan atom larut dalam jumlah besar untuk meningkatkan kekuatan dan menimbulkan hubungan fase baru, partikel halus dapat ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan transformasi fase dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kekuatan. (Dieter, 1986)

Penguatan- Regang

Penguatan-regang (*strain aging*) ialah jenis perilaku, yang biasanya berkaitan dengan gejala titik luluh, dimana kekuatan logam meningkat dan keuletannya berkurang kalau dipanaskan pada temperatur relatif rendah sesudah pengerjaan dingin. (Dieter. 1986).

Kejadian penguatan-regang merupakan gejala umum dalam logam. Disamping kembalinya titik luluh dan meningkatnya tegangan-luluh setelah penguatan, penguatan-regang juga menghasilkan berkurangnya keuletan dan harga kepekaan terhadap laju regang yang rendah (Suratman. 1994). Penguatan-regang juga ada kaitannya dengan adanya pembentukan gigi-gigi dalam garis lengkung tegangan-regangan (Smallman. 1991). Atom yang larut dapat berdifusi ke dalam benda uji dengan kecepatan melebihi kecepatan dislokasi sehingga terperangkap atau terkunci. Oleh karena itu, beban harus ditingkatkan sehingga pada saat dislokasi terlepas dari atom yang larut terjadi penurunan beban.

Prestrain

Prestrain adalah suatu gejala deformasi plastis yang terjadi pada material logam, dimana material yang mengalami beban tarik dengan besar tegangan yang terjadi di atas tegangan luluh (σ_{yield}) dari material logam tersebut (Heryanto, 2005). Efek *prestrain* akan meningkatkan tegangan luluh dan tegangan tarik material. (Sakata, 2003). Tegangan tarik dapat meningkat karena tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan deformasi plastis ditingkatkan dengan *prestrain*. (Sakata, 2003). Regangan awal yang diberikan terhadap material akan mengakibatkan gerakan dislokasi sehingga menyebabkan pengerasan-regang (Smallman.

1994).

Pada proses *prestrain* suatu material akan menunjukkan peningkatan nilai sifat-sifat mekaniknya seperti meningkatnya kekuatan tarik dan kekerasannya, hal ini disebabkan regangan awal yang diberikan terhadap material akan mengakibatkan gerakan dislokasi sehingga menyebabkan pengerasan (*strain hardening*) (Suratman. 1994). Pengerasan regang banyak digunakan untuk mengeraskan logam atau paduan yang tidak bereaksi terhadap perlakuan panas. Untuk paduan yang diperkuat dengan penambahan larutan padat, laju pengerasan regang dapat meningkat atau berkurang dibandingkan dengan logam murni. Tetapi, kekuatan akhir paduan larutan padat pengerjaan dingin hampir selalu besar daripada kekuatan akhir logam murni yang mengalami pengerjaan dingin sampai tingkat yang sama (Dieter. 1986).

Gejala *prestrain* yang terjadi pada bidang keteknikan adalah pada konstruksi bangunan atau jembatan yang mengalami deformasi plastis karena pengaruh gempa bumi dengan skala kecil (Heryanto. 2005).

METODOLOGI PENELITIAN

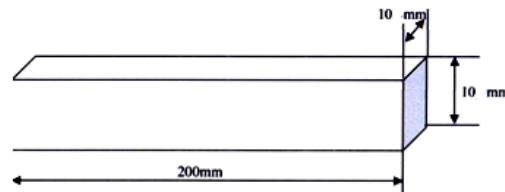
Alat dan Bahan Pengujian

Alat-alat yang digunakan selama penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mesin Gergaji
Mesin gergaji digunakan untuk memotong material menjadi bentuk dan ukuran yang diperlukan.
2. Alat Uji Tarik
Digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik pada material sebelum dan sesudah *diprestrain*.
3. Alat Uji Kekerasan
Digunakan untuk mengetahui kekerasan pada material sebelum dan sesudah *diprestrain*.
4. Mikroskop Optik
Mikroskop optik digunakan untuk melihat struktur mikro dan makro material sebelum dan sesudah di *prestrain*.

Bahan yang Digunakan

Material yang digunakan adalah baja karbon sedang, berbentuk plat dengan ketebalan 10 mm dengan panjang dan lebar dimensi awal adalah 200 mm x 10 mm. Gambar spesimen awal dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Dimensi spesimen awal Uji Tarik(Standar JIS Z 2201 No. 2)

Persiapan Spesimen

Material yang digunakan yaitu baja karbon sedang, dengan kadar karbon dari 0,3 % - 0,6 %. Material yang akan diuji dipotong dengan menggunakan mesin gergaji, dengan ukuran 200 x 10 mm dengan ketebalan 10 mm. Setelah material dibentuk, material tersebut di uji tarik sehingga didapat grafik *stress – strain* dan *load – displacement*. Dari grafik tersebut dapat dicari nilai *prestrain* 3 %, 5 %, 7%, dan 6 %, 10 %, 14 %. Spesimen dipasang pada alat uji dan dijepit sehingga spesimen tidak bergeser pada saat pemberian beban tarik. Pada pengujian *prestrain* sekali diukur pada *prestrain* 3%, 5 %, 7 % dan 6 %, 10 %, 14 %. Setelah itu dibiarkan selama 1 hari, kemudian dilakukan pengujian tarik. Dari pengujian tarik ini akan didapatkan tegangan-regangan sehingga diperoleh data-data σ_y (MPa), σ_{ult} (MPa), dan ϵ (%). Nilai uji tarik material σ_{ult} akan dapat diketahui dengan melihat kertas grafik dari hasil pengujian spesimen.

Sedangkan untuk *prestrain* dua kali diukur pada *prestrain* 3%, 5 %, 7 %. Setelah itu dibiarkan sampai setengah hari, kemudian di *prestrain* 3%, 5 %, 7 %. Selanjutnya dibiarkan sampai hari besoknya, kemudian dilakukan pengujian tarik. Dari pengujian tarik ini akan didapatkan tegangan-regangan sehingga diperoleh data-data σ_y (MPa), σ_{ult} (MPa), dan ϵ (%). Nilai uji tarik material σ_{ult} akan dapat diketahui dengan melihat kertas grafik dari hasil pengujian spesimen.

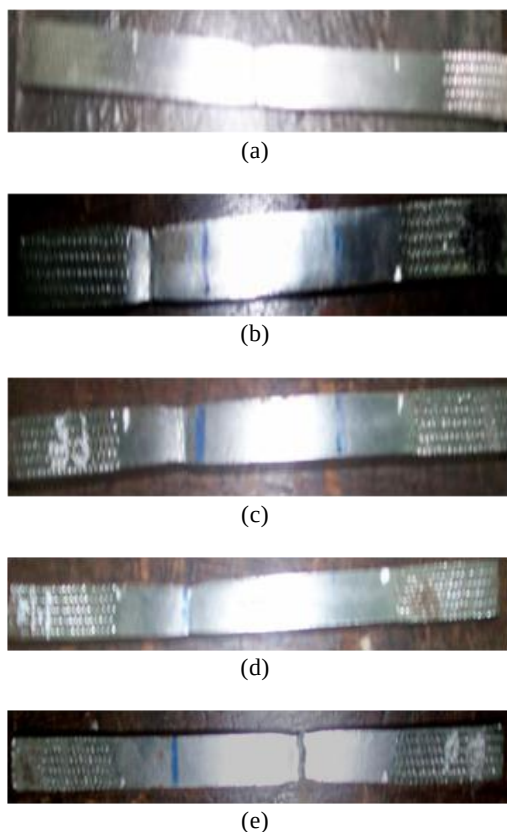
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon sedang

Bohler grade	Chemical composition (average, %)			standards
	C	Si	Mn	
K945 EMS 45	0.48	0.30	0.70	DIN : C45W AISI : 1045 JIS : S45C

Gambar Spesimen Baja Karbon Sedang setelah di Uji Tarik

Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Sriwijaya, setelah pengambilan data dilakukan maka didapat data dan bentuk perubahan spesimen setelah diuji tarik.



Gambar 4. Spesimen uji

- (a) Awal Setelah di uji tarik
(b) Spesimen *prestrain* sekali 3 % Setelah di uji tarik
(c) Spesimen *prestrain* sekali 7 % Setelah di uji tarik

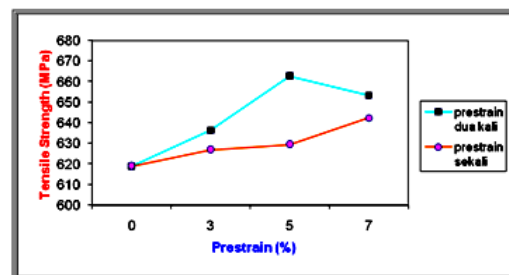
(d) Spesimen *prestrain* dua kali 5 % Setelah di uji tarik

(e) Spesimen *prestrain* sekali 14 % Setelah di uji tarik

Dari gambar spesimen setelah diuji tarik, maka terlihat bahwa patahan yang terjadi masih disekitar daerah batas uji. Akan tetapi patahan yang terjadi pada spesimen yang diberi perlakuan *prestrain* tidak ditengah seperti spesimen awal yang tidak diberi perlakuan *prestrain* patahannya terjadi didaerah bagian tengah.

Hasil Pengujian dan Pembahasan

Dari hasil pengujian tarik yang telah dilakukan didapat hasilnya sebagai berikut:

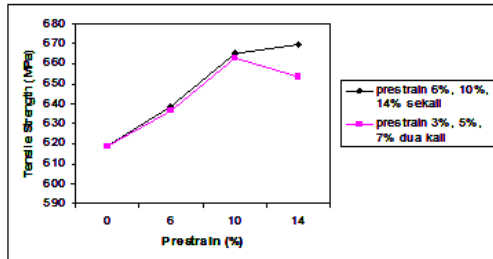


Gambar 5. Grafik perbandingan *prestrain* 3 %, 5 %, 7 % sekali dengan *prestrain* 3 %, 5 %, 7 % dua kali.

Grafik perbandingan *prestrain* 3 %, 5 %, 7 % sekali dengan *prestrain* 3 %, 5 %, 7 % dua kali pada gambar 5 menunjukkan bahwa *prestrain* yang dilakukan dua kali mengalami peningkatan nilai kekuatan tarikannya. Akan tetapi untuk *prestrain* dua kali nilai kekuatan tarikannya menurun pada *prestrain* 7 %. Hal ini berarti *prestrain* yang dilakukan dua kali mempunyai kekuatan tarik yang lebih besar dari *prestrain* yang dilakukan hanya sekali, Hal ini sesuai dengan proses penuan- regangan pada baja karbon rendah, yang mana spesimen diberi beban tertentu kemudian diuji ulang, maka kekuatan tarikannya meningkat. Akan tetapi pada *prestrain* 7 % terjadi dislokasi yang besar, dimana hal tersebut menyebabkan kerapatan atom tidak optimal.

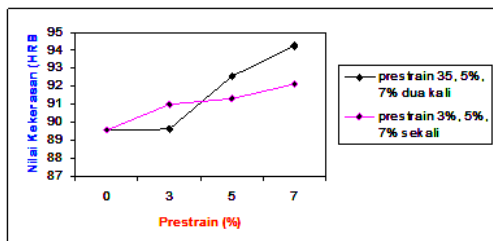
Dari grafik 6 memperlihatkan bahwa *prestrain* 6 %, 10 %, 14% sekali nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan *prestrain* 3 %, 5 %, 7 dua kali. Hal ini disebabkan adanya deformasi

plastis yang berlebihan yang terjadi pada spesimen *prestrain* 3 %, 5 %, 7 dua kali. Dan nilai pada 7 % mengalami penurunan nilai kekuatan tariknya.



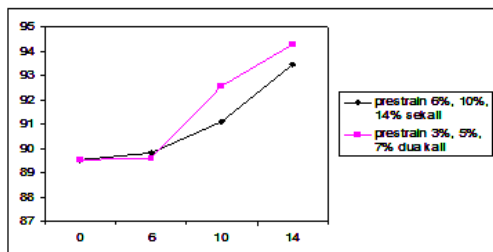
Gambar 6. Grafik perbandingan *prestrain* 6 %, 10%, 14% sekali dengan *prestrain* 3 %, 5 %, 7 dua kali

Data Hasil Pengujian Kekerasan



Gambar 7. Grafik perbandingan Nilai Kekerasan (HRB) *prestrain* 3, 5, 7 sekali (%) dengan *prestrain* 3, 5, 7 dua kali (%).

Pada gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan nilai kekerasan *prestrain* 3%, 5%, 7% sekali dengan *prestrain* 3%, 5%, 7% dua kali. Nilai kekerasan pada *prestrain* 3%, 5%, 7% dua kali lebih besar dari nilai *prestrain* 3%, 5%, 7% sekali. Akan tetapi pada *prestrain* 3% justru nilai kekerasan untuk *prestrain* sekali lebih besar nilainya dari *prestrain* dua kali.



Gambar 8. Grafik perbandingan Nilai Kekerasan (HRB) *prestrain* 6%, 10%, 14% sekali

dengan *prestrain* 3%, 5%, 7% dua kali.

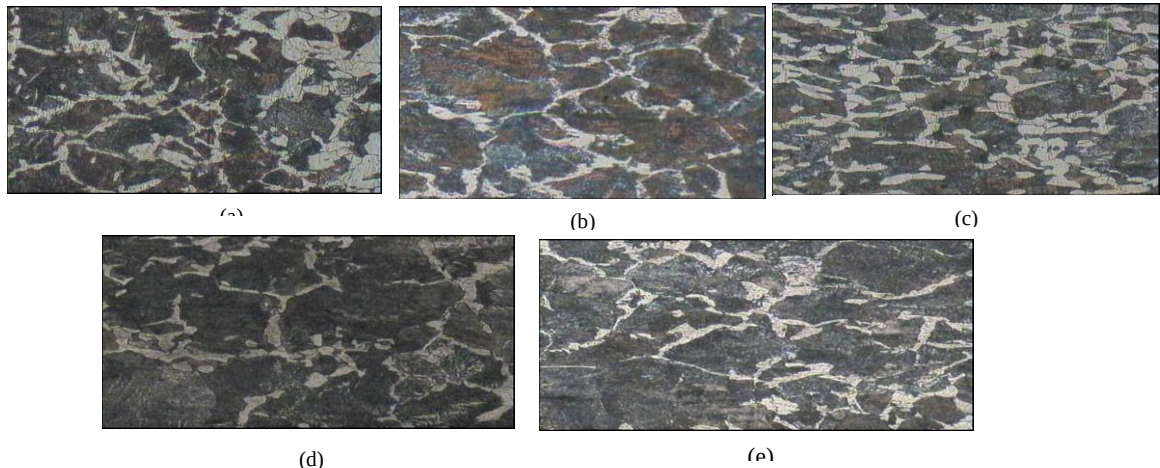
Dari gambar 8 memperlihatkan bahwa nilai kekerasan untuk *prestrain* 6%, 10%, 14% sekali masih lebih besar dibandingkan dengan *prestrain* 3%, 5%, 7% dua kali. Akan tetapi pada *prestrain* 3% dua kali nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan *prestrain* 6% sekali. Dengan asumsi pendekatan nilai *displacement*, yang mana nilai *displacement prestrain* 6%, 10%, 14% sekali adalah dua kali nilai *displacement prestrain* 3%, 5%, 7% dua kali.

Data Hasil Pengujian Struktur Mikro

Foto struktur mikro diambil dari hasil patahan uji tarik yang dilakukan. Foto mikro diambil dengan perbesaran 200x. Dimana foto yang diambil yaitu spesimen awal, kekuatan tarik maksimum dan kekuatan tarik minimum untuk perlakuan *prestrain* 3 %, 5 %, 7 % dua kali dan *prestrain* 6 %, 10 %, 14 %.

Dari gambar struktur mikro gambar 9, memperlihatkan bahwa terjadinya perubahan bentuk struktur mikro dari spesimen yang diperoleh berdasarkan gambar struktur mikronya. Spesimen yang diambil struktur mikronya yaitu spesimen awal, spesimen *prestrain* 3 % dua kali (nilai minimum kekuatan tarik), spesimen *prestrain* 5 % dua kali (nilai maksimum kekuatan tarik), spesimen *prestrain* 6 % sekali (nilai minimum kekuatan tarik), spesimen *prestrain* 14 % sekali (nilai maksimum kekuatan tarik), dimana gambar tersebut menunjukkan nilai minimum kekuatan tarik dan maksimum kekuatan tarik dari setiap perlakuan yaitu *prestrain* 3%, 5%, 7% dua kali dan 6%, 10%, 14% sekali. Gambar struktur mikro pada *prestrain* 5% dua kali menunjukkan bahwa batas butir yang yang diperoleh lebih kecil dari *prestrain* 3 %. Demikian halnya juga untuk *prestrain* 14 % yang memiliki batas butir lebih kecil dari *prestrain* 6 %, dan juga dislokasi yang terjadi masih dalam batas normal. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan bentuk struktur mikro sehingga diperoleh nilai kekuatan yang maksimal yaitu ditinjau dari ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran butir untuk nilai kekuatannya

rendah.



Gambar 9. Struktur Mikro dengan Etsa 3 Nital, Pembesaran 200 X.

- (a) Gambar mikrostruktur spesimen awal
(b) Gambar mikrostruktur *prestrain* 3 % dua kali
(c) Gambar mikrostruktur *prestrain* 5 % dua kali
(d) Gambar mikrostruktur *prestrain* 6 % sekali
(e) Gambar mikrostruktur *prestrain* 14% sekali

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk melihat pengaruh *prestrain* bertingkat terhadap kekuatan tarik dan kekerasan baja karbon sedang, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Proses *prestrain* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan baja karbon sedang.
2. Kekuatan tarik minimum untuk semua pengujian terjadi pada spesimen awal sebesar 618,84 MPa. Pada *prestrain* 3 % sekali terjadi peningkatan kekuatan tarik sebesar 626,89 MPa, sedangkan pada *prestrain* 5 % sekali terjadi peningkatan kekuatan tarik sebesar 629,34 MPa, dan pada *prestrain* 7 % sekali masih terjadi peningkatan kekuatan tarik sebesar 629,34 MPa. Kekuatan tarik minimum yang didapat terjadi pada *prestrain* 3 % dan kekuatan tarik maksimum terjadi pada *prestrain* 7 %. Hal ini berarti untuk *prestrain* sekali dari 3 % sampai 7 % masih mengalami peningkatan kekuatan tarik. Dislokasi yang terjadi masih dalam batas normal.
3. Kekuatan tarik untuk *prestrain* 3 % dua kali sebesar 636,31 MPa, sedangkan pada *prestrain* 5 % dua kali kekuatan tariknya sebesar 662,7 MPa, dan pada *prestrain* 7 % dua kali kekuatan tariknya sebesar 653,28 MPa. Ini menunjukkan bahwa *prestrain* dua kali dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik, akan tetapi pada *prestrain* 7 % dua kali mengalami penurunan kekuatan tarik.
4. Kekuatan tarik untuk *prestrain* 6 % sekali sebesar 638,47 MPa, sedangkan pada *prestrain* 10 % sekali kekuatan tariknya sebesar 665,35 MPa, dan pada *prestrain* 14 % sekali kekuatan tariknya sebesar 653,28 MPa. Pada perlakuan *prestrain* ini nilai kekuatan tariknya meningkat sampai batas *prestrain* 14 %. Hal ini berarti dislokasi yang besar belum terjadi sampai *prestrain* 14 %.
5. Kekerasan minimum untuk semua pengujian terjadi pada spesimen awal sebesar 89,54 HRB. Pada *prestrain* 3%, 5%, 7% sekali mengalami peningkatan nilai kekerasannya. Begitu juga pada *prestrain* 3%, 5%, 7% dua kali nilai kekerasannya meningkat. Selanjutnya untuk *prestrain* 6%, 10%, 14% sekali mengalami peningkatan juga nilai

kekerasannya.

6. Nilai kekuatan tarik dan nilai kekerasan yang diberi perlakuan *prestrain* mengalami peningkatan karena adanya deformasi plastik yang terjadi. Sehingga terjadi pengerasan regangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amanto, Hari, Drs.1999. *Ilmu Bahan*. PT Bumi Aksara Jakarta.
 - [2] Angraini, Wage, ST. 2006. Pengaruh Prestrain terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah. Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
 - [3] Badaruddin, M. 2003. *Modul Penuntun Praktikum pengujian Mekanik dan Metalurgi Fisik Bahan-bahan teknik*. Jurusan Teknik Mesin – Universitas Lampung. Bandar Lampung.
 - [4] Dieter, George E. 1986. *Metalurgi Mekanik*. edisi ke-3, alih bahasa Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta..
 - [5] James M. Gere. 1994. *Mekanika Bahan*. Erlangga. Jakarta..
 - [6] Karen M.B Taminger. 2000. *Creep Strain and Strain Rate Response of 2219 Al Alloy at High Stress Levels*. NASA Langley Research Center. USA..
 - [7] Salmon, Charles G. 1990. *Struktur Baja Desain dan Perilaku*. Erlangga. Jakarta..
 - [8] Sakata, Key. 2003. *Higly Formable Sheet Steels for Automobile Through Advanced Microstuructur Control Technology*. Kawasaki Steel Technical Report No. 48..
 - [9] Siswosuwarno, Mardjono, Dr, Ir. 1985. *Teknik Pembentukan Logam*. Jurusan Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung.
 - [10] Smallman, R.E. 1991. *Metalurgi Fisik Modern*. PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta.
 - [11] Suratman, Roctum. 1994. *Paduan Proses Perlakuan Panas*. Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung.
 - [12] Suherman, Wahid, Ir, 1994. *Ilmu Logam I*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
-