

# PERUBAHAN NILAI KEKERASAN PELAT BAJA KAPAL DENGAN PERLAKUAN BENDING LINE HEATING

Sulaiman, Eko Julianto S.

Program Diploma III Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

## Abstract

The process of bending steel hull plate was needed to form a body vessel in accordance with the outline plan drawings (body plan) in order to obtain the form that streamlines the hull. This bending process can be done with the cold and the heating method of lines (line heating). Bending line heating method is very beneficial economically, but have several problems, especially in setting the proper heating temperature in the heating process of his line. Heating is provided when line heating the plate hardness value can be changed. This study aims to analyze the influence of cold bending and line heating to changes : hardness value of material. The research method is a laboratory experiment is conducted using the test object (specimen) plate steel AISI-E2512, which treated the cold bending and bending line heating using three kinds of bending radius of R.67, R.100, R.133 and hardness testing method Rockwell. The result showed that the treatment process of line heating causes an increase in hardness values of specimens are on average 14.31% and specimens only in cold bending hardness value increased by an average 9.04% of the normal plate hardness conditions.

**Keywords:** Bending line heating, Hardness value

## PENDAHULUAN

Pelat baja lambung kapal merupakan komponen terbesar investasi kapal niaga yaitu sebesar 40% (Saut Gurning, 2005), dan memiliki resiko kerusakan tinggi akibat pengkaratan, sehingga membutuhkan biaya pemeliharaan dan perbaikan yang tidak sedikit. Konstruksi lambung kapal harus kuat agar dapat menahan beban dari berat kapal, berat muatan, dan juga tekanan dari luar. Baja kapal yang digunakan untuk kapal harus mempunyai kekuatan tinggi dan sesuai dengan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia. Baja yang digunakan untuk bagian lambung kapal ada dua macam yaitu baja dengan kekuatan tarik  $48 \text{ kg/mm}^2 - 60 \text{ kg/mm}^2$  serta baja dengan kekuatan tarik  $50 \text{ kg/mm}^2 - 63 \text{ kg/mm}^2$  (BKI, 2006).

Pada lambung kapal, terdapat pelat baja yang mengalami proses pelengkungan untuk mendapatkan bentuk badan kapal sesuai dengan gambar rencana garis kapal (*body plan*). Proses pelengkungan pelat baja tersebut dilakukan dengan dua cara yaitu proses *bending* dingin dan *bending* pemanasan garis (*bending line heating*). *Bending* adalah proses pembentukan pelat atau profil untuk mendapatkan bentuk lengkung yang diinginkan sesuai dengan gambar rencana garis kapal yang bersangkutan. Setiap selesai pelaksanaan *bending* biasanya lengkung yang

tercipta tidak begitu sempurna, dimana lengkung pelat belum sesuai dengan gambar rencana garis kapal sehingga pelat lambung kapal tersebut belum dapat menjalani proses *assembling*. Hal ini terjadi karena terbatasnya fungsi alat roll *bending*, dan untuk mendapatkan ketepatan bentuk lengkung sesuai dengan gambar rencana garis kapal maka dilakukan proses *line heating*.

*Line heating* merupakan teknik pemanasan yang memanfaatkan nyala api *brander* untuk membuat bentuk-bentuk lengkung atau menghilangkan deformasi pada pelat baja. Teknik pemanasan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pemanasan garis (*line heating*) dan pemanasan setempat (*spot heating*). Di perusahaan dok dan galangan kapal PT. Janata Marina Indah, Pelabuhan Tanjung Mas Semarang, proses pembuatan bentuk-bentuk lengkung kebanyakan dilakukan dengan menggunakan metode pemanasan garis (*line heating*).

Manfaat penggunaan teknik pemanasan garis (*line heating*) pada proses pelengkungan pelat baja (Pribadi, 1997) adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi pekerjaan yang menggunakan peralatan penekan yang berat.
2. Mendapatkan hasil yang lebih akurat pada proses pembuatan bentuk lengkung pelat.

3. Dapat diaplikasikan untuk pembentukan pelat-pelat dengan ukuran besar.
4. Memudahkan pekerjaan perakitan konstruksi dengan menghilangkan deformasi yang terjadi pada setiap tahap pekerjaan.

Proses pemanasan garis menghasilkan pelengkungan pada pelat baja yang disebabkan oleh pemanasan pada garis desain (garis pemanasan). Hal ini terjadi karena adanya hasil perbedaan elongasi (penguluran, pemanjangan dan pemuaian) antara sisi yang dipanaskan dengan sisi belakangnya. Selain itu, pada saat pendinginan terdapat elongasi pada sisi belakang yang disebabkan oleh dampak pengerutan sisi yang dipanaskan. Akibat proses pemuaian (pada saat pemanasan) dan pengerutan (pada saat pendinginan) pada pelat baja, seperti halnya pada proses pengelasan, dimana akibat pemuaian dan pengerutan pada waktu pengelasan mengakibatkan terjadinya tegangan sisa pada sambungan las (Wiryosumarto, 2000).

Penelitian ini akan menganalisa pengaruh proses *line heating* (pemanasan garis) pada pelat baja, sehingga menimbulkan perubahan nilai kekerasan pelat baja yang dapat mempengaruhi kekuatan struktur kapal secara keseluruhan.

## METODE PENELITIAN

### 1. Material Benda Uji

#### 1.1. Pelat Baja

Benda uji (spesimen) adalah pelat baja *Grade A* (BKI) setara dengan AISI E 2512. Pelat baja dipersiapkan dengan ketebalan 11 mm. Pelat baja spesimen dibersihkan untuk menghilangkan kotoran pada pelat baja agar korosi awal hilang, sesuai dengan standar ASTM G1-90, "*Standart Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Speciment*". Komposisi spesimen pada Tabel 1 dan kekuatan tarik Tabel 2.

**Tabel 1. Komposisi kimia pelat baja**

Unsur	Kadar Maks. (%)
C	0.14
Mn	0.66
P	0.026
S	0.017
Si	0.27

**Tabel 2. Kekuatan tarik pelat baja**

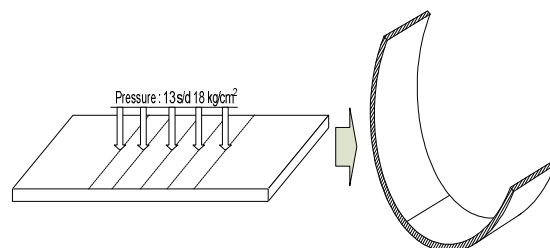
Sifat Mekanik Tarik	
<i>Yield Strength (YS)</i>	308 N/mm <sup>2</sup> - 327 N/mm <sup>2</sup>
<i>Tensile Strength (TS)</i>	438 N/mm <sup>2</sup> - 464 N/mm <sup>2</sup>
<i>Elongation</i>	26-29 %

### 1.2. Bending Dingin

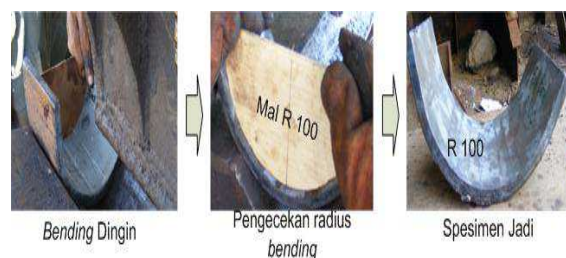
Benda Uji (*speciment*) pelat baja yang akan diuji setelah dibersihkan dan dipotong dengan ukuran 300 mm x 150 mm x 11 mm (pelat baja datar), terlebih dahulu dibending dingin dengan ukuran radius bending sesuai dengan radius pelat bilga kapal (1000, 1500 dan 2000 mm) kemudian diskala 1:15 sehingga menjadi :

1. R 67 mm
2. R 100 mm`
3. R 133 mm

Untuk mendapatkan *bending* dengan radius R. 67, R.100 dan R. 133 mm (dibuat mal radius) lalu diberikan tekanan segaris pada pelat datar secara bertahap seperti Gambar 1, sampai di dapatkan radius *bending* sesuai dengan mal radius yang telah disiapkan, dengan besar tekanan 13 kg/cm<sup>2</sup> sampai dengan 18 kg/cm<sup>2</sup>, hal ini dilakukan agar material tidak patah saat dibending. Proses persiapan benda uji *bending* dingin seperti terlihat di gambar 2.



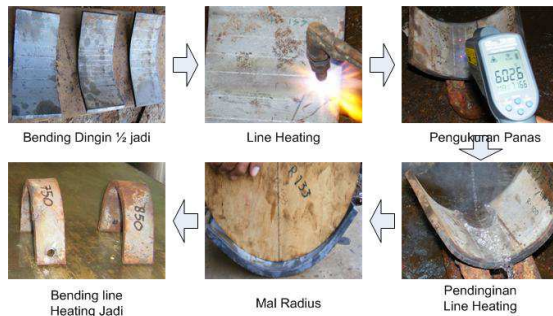
**Gambar 1. Persiapan benda uji.**



**Gambar 2. Proses pembuatan benda uji bending dingin**

### 1.3. Bending Line Heating

*Line heating* dilakukan oleh pekerja yang terampil melakukan pekerjaan *bending line heating* di perusahaan Dok dan Galangan Kapal, sehingga diharapkan hasilnya dapat mendekati kondisi pemanasan sesungguhnya. Variasi temperatur pemanasan yang digunakan yaitu 400 °C, 500 °C, 600 °C, 750 °C dan 850 °C. Pengukuran suhu dilakukan dengan memakai termometer infrared. Kecepatan blander dan nyala api dianggap sama untuk semua spesimen uji. Proses pendinginan dilakukan dengan menggunakan media air (disemprot) dan media udara (didiamkan). Proses *Bending line heating* pada gambar 3 berikut.



**Gambar 3. Proses pembuatan benda uji bending line heating**

Jumlah spesimen yang dibuat dapat dilihat dalam tabel 3 berikut ini :

**Tabel 3. Jumlah benda uji yang dibuat adalah sebanyak 16 buah:**

Radius	400°C	500°C	600°C	750°C	850°C
R. 67	1	1	1	1	1
R. 100	1	1	1	1	1
R. 133	1	1	1	1	1
datar	1				

## 2. Uji Kekerasan

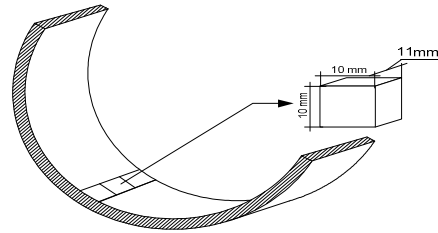
Uji kekerasan dilakukan dengan metode *Rockwell*, untuk memperoleh nilai kekerasan dari benda uji setelah mengalami *bending* dingin maupun *bending line heating*.

### 2.1. Benda Uji Kekerasan

Benda uji kekerasan dibuat dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 11 mm, seperti yang terlihat dalam gambar 4 yang berasal dari benda uji ;

- Bending* dingin : R. 67, R. 100 dan R. 133
- Bending line heating* 600°C : R. 67, R. 100 dan R. 133

c. Pelat baja normal, sebagai pembanding.



**Gambar 4. Pembuatan benda uji kekerasan**

Benda uji ini kemudian di haluskan hingga mengkilat dan diperoleh permukaan yang sejajar dan rata pada masing-masing sisi benda uji dengan menggunakan mesin ampelas dan ampelas tangan ukuran: 200, 400, 1000 dan 1500, selanjutnya ditempatkan di mesin uji kekerasan seperti gambar 5 dan indenter pada table 4.



**Gambar 5. Mesin uji kekerasan (Rockwell).**

**Tabel 4. Skala Rockwell yang digunakan.**

Scale	Indenter	Minor Load $F_0$ kgf	Major Load $F_1$ kgf	Total Load $F$ kgf	Value of $E$
A	Diamond cone	10	50	60	100

## 2.2 Pengambilan Data

Dalam metode rockwell, nilai kekerasan berdasarkan kedalaman penekanan indenter dan hasilnya dapat langsung dibaca pada jarum penunjuk indikator di mesin Rockwell.

Data uji kekerasan diperoleh dengan memperhatikan jarum penunjuk sebagai indikator tingkat kekerasan benda uji dan kemudian dicatat dalam data uji kekerasan.

## 2.3 Analisa Kekerasan

Setelah data terkumpul kemudian dilakukan analisa untuk memperoleh gambaran tentang kekerasan benda uji.

Nilai Kekerasan Rockwell (HR):

$$HR = E - e$$

$e$  = Penambahan kedalaman penetrasi dari beban mayor  $F_1$ , diukur dalam unit 0.002 mm

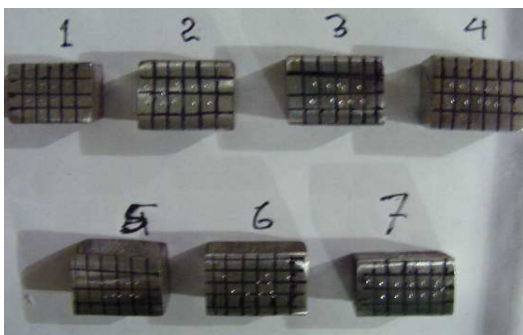
$E$  = Konstanta tergantung dari indenter: 100 unit untuk *diamond indenter*, 130 unit untuk *steel ball indenter*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data dan Pembahasan Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan untuk menilai apakah pelat baja kapal dengan standart *grade A* (BKI) atau setara AISI-E2512 setelah di bending dingin dan *bending line heating* masih memiliki sifat mekanis yang di persyaratkan dalam kelayakan kapal untuk berlayar.

Spesimen dibuat dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 11 mm, setelah proses pemotongan di bersihkan dan di amplas. Kemudian spesimen ditempatkan pada ragam *Rockwell Hardness Test*. Spesimen setelah pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Spesimen setelah uji kekerasan (*Rockwell Hardness Test*).

Dengan melihat indikator pada mesin uji, maka diperoleh data hasil pengujian nilai kekerasan seperti dalam tabel 5..

Dalam menentukan nilai kekerasan menggunakan persamaan berikut

$$\text{Deviasi } (\delta HR) : \delta HR = \sqrt{\frac{\sum (HR - \overline{HR})^2}{n(n-1)}}$$

Dimana :

$n$  = banyaknya percobaan

Nilai sesungguhnya ( $NS$ ) :

$$NS = \overline{HR} \pm \delta HR$$

Ralat Nisbi ( $RN$ ) :

$$RN = \frac{\delta HR}{HR} \times 100 \%$$

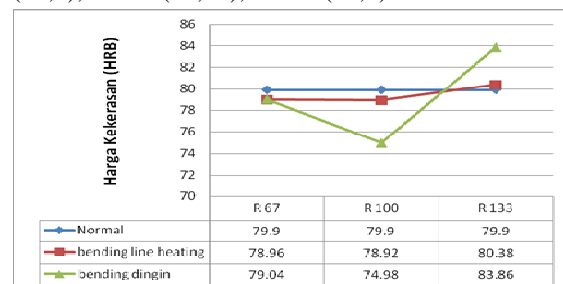
Keseksamaan ( $K$ )

$$K = \left( 1 - \frac{\delta HR}{HR} \right) \times 100 \%$$

Tabel 5. Hasil Uji Kekerasan (*Rockwell Hardness*).

No	Nilai HRB Untuk Benda Uji (speciment)						
	Normal	Spesimen Bending					
		Line Heating			Tanpa Line Heating		
	R 0	R 67	R 100	R 133	R 67	R 100	R 133
1	2	3	4	5	6	7	8
1	42.50	49.50	48.00	49.00	47.50	48.50	41.00
2	42.50	49.00	50.00	46.50	48.50	49.50	40.50
3	42.00	50.00	49.00	48.50	48.00	49.00	40.50
4	43.00	49.00	48.50	48.00	48.50	49.00	43.00
5	43.00	49.00	49.50	46.50	48.00	49.00	42.00
6	43.50	50.00	49.50	48.50	48.50	49.50	44.00
7	43.00	50.00	49.00	49.00	48.00	49.00	44.50
8	43.00	50.00	50.00	46.50	49.00	49.50	43.00
9	43.00	49.50	49.00	46.00	49.00	48.50	42.00
10	43.50	50.00	50.00	46.00	48.00	49.00	42.00
Max	43.50	50.00	50.00	49.00	49.00	49.50	44.50
Min	43.50	50.00	50.00	49.00	49.00	49.50	44.50
$\overline{HR}$	42.90	49.60	49.25	47.45	48.30	49.05	42.25
$\delta HR$	0.459	0.459	0.677	1.257	0.483	0.369	1.379
NS	43.36	50.06	49.93	48.71	48.78	49.42	43.63
RN	1.07%	0.93%	1.37%	2.65%	1.00%	0.75%	3.26%
K	98.93%	99.07%	98.63%	97.35%	99.00%	99.25%	96.74%

Perbandingan nilai kekerasan dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 7, dimana terlihat pelat normal nilai kekerasan rata-rata paling rendah bending dingin R. 133 (42,25) dan spesimen yang di perlakuan *bending line heating* nilai kekerasan rata-rata jauh lebih tinggi dari perlakuan bending dingin yaitu pada spesimen R.67 dengan pemanasan 600°C (49,60). Pada spesimen dengan perlakuan *bending line heating* rata-rata kekerasannya menurun sejalan dengan bertambah besarnya radius bending yaitu : R.67 (49,6), R.100 (49,25), R.133 (47,5).



Gambar 7. Perbandingan nilai kekerasan spesimen uji bending dingin & Perlakuan *line heating*

Secara prinsip semakin keras suatu material atau mengalami proses pengerasan, maka keuletannya (*ductility*) akan menurun dan cenderung rapuh (*brittle*) / mudah pecah, karena secara

mikrostruktur kepadatan struktur semakin rapat sehingga tegangan muka antar atomnya tinggi, dan terjadi perubahan mikrostruktur, tapi hal ini dapat diminimalisasi setelah proses pengerasan, dilakukan proses pemanasan ulang (*anealing*) sampai titik transformasi, untuk menghilangkan tegangan antar atom juga mengembalikan struktur molekul ke bentuk awal.

Peningkatan kekerasan pelat baja akibat dibending dingin maupun *bending line heating* dapat dilihat dari tabel 6 berikut :

**Tabel 6. Persentasi kenaikan kekerasan pelat baja setelah di bending**

No.	Spesimen	Nilai kekerasan		Persentasi Perubahan	
		HR	NS	HR	NS
1	Normal	42,90	43,36	0,00%	0,00%
2	BLH R67	49,60	50,06	15,62%	15,45%
3	BLH R100	49,25	49,93	14,80%	15,15%
4	BLH R133	47,45	48,71	10,61%	12,33%
5	BD R67	48,30	48,78	12,59%	12,51%
6	BD R100	49,05	49,42	14,34%	13,97%
7	BD R133	42,25	43,63	-1,52%	0,62%

Keterangan :

BLH = spesimen dengan perlakuan *bending line heating*

BD = spesimen dengan perlakuan bending dingin

Normal = spesimen tanpa perlakuan

Nilai kekerasan (NS) pelat baja dengan perlakuan *bending line heating* hingga membentuk radius 67 mm paling tinggi dimana peningkatan kekerasan hingga 15,45% dari kondisi normal. Kemudian diikuti dengan *bending line heating* radius 100 mm 15,15 % dan bending dingin radius 100 mm yaitu 13,97% dan paling rendah adalah bending dingin dengan radius 133 mm yaitu 0,62% saja.

Dengan demikian diperoleh gambaran bahwa spesimen dengan perlakuan *bending line heating* menyebabkan perubahan nilai kekerasan material meningkat rata-rata 14,31% dan spesimen yang hanya di bending dingin nilai kekerasannya meningkat rata-rata 9,04%.

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Berdasarkan analisa pengaruh bending pelat baja baik untuk perlakuan bending dingin maupun *bending line heating* dengan menggunakan berbagai temperatur, terhadap tingkat kekerasan plat baja, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Proses pelengkungan spesimen pelat baja dengan perlakuan bending line heating menyebabkan perubahan nilai kekerasan material meningkat rata-rata 14,31% dan spesimen yang hanya dibending dingin nilai kekerasannya meningkat rata-rata 9,04% daripada nilai kekerasan kondisi pelat normal. Pelat baja yang dibending dengan radius paling kecil nilai kekerasannya naik lebih tinggi dibanding radius yang lebih besar.

## Saran

Proses bending pelat baja lambung kapal sebaiknya dilakukan dengan *bending line heating* dengan suhu 600°C, dan pada suhu ini nilai kekerasan material lebih tinggi daripada bending dingin sehingga lebih tahan korosi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Biro Klasifikasi Indonesia, PT., 2006, *Rules for The Classification and Construction of Seagoing Stel Ships, Volume II, Rules For Hull, Edition 2006*, BKI, Jakarta
- Callister Jr, William, D, (1994), "*Material Science And Engineering*", 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey,
- Chirillo, L, D, (1982), "*Line Heating*", US Department of Transportation,
- Furunaka Jica SV, (2002), "*Buku Pedoman untuk Fairing*", Palembang, Indonesia,
- Jang, D,C,, Moon, S,C,, Ko, D,E,, (2007), "*Acquisition of Line Heating Information for Automatic Plate Forming*", Seoul National University, Korea
- Meilinda Nurbanasari,"*Pengaruh Temperatur dan Reduksi Ketebalan Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi AISI 321 Pada Larutan 3,5% NaCl*", Teknik Mesin, ITB,
- Pribadi, T,W, dan Hendroprasetyo, W,, (1997), "*Pengaruh Proses Pembentukan Cara Panas (Flame Heating Technique) pada Kekuatan Mekanis Pelat Baja Kelas A-BKI Produksi Krakatau Steel*", Jurusan Teknik Perkapalan, FT, Kelautan – ITS, Surabaya, Indonesia,
- Zakharov, B, (1962), "*Heat Treatment of Metals*", Peace Publisher, Moscow, 2<sup>nd</sup> Printing.