PENELITIAN PEMBUATAN BADAN RODA LORI DARI PELAT BAJA HASIL ROL PANAS DENGAN METODE PROSES TARIK DALAM

Oleh :
Kosasih *) dan Hafid Abdullah**)

INTISARI

Penelitian pembuatan badan roda lori dari pelat baja untuk pengontrol jalan kereta api dilakukan dengan proses tarik dalam. Tujuannya adalah untuk memperbaiki timbulnya cacat keriput dan sobek yang sering diakibatkan oleh kesalahan pada konstruksi cetakan. Cara penanggulangannya digunakan mesin pres hidrolik aksi ganda, yang mempunyai tekanan pemegang bakalan yang sesuai dan konstan. Berdasarkan hasil percobaan : (1) bahan yang digunakan adalah pelat baja hasil rol panas dengan kadar karbon 0,29 %, (2) Ø bakalan 540 mm dengan LDR 1,58, (3) bahan cetakan dan penekan adalah besi cor kelabu dengan HB = 260 kg/mm², (4) gaya tekan pemegang bakalan adalah 15 ÷ 47 ton dan 94 ÷ 138 ton. Hasil penelitian membuktikan bahwa, sirip yang terbentuk pada badan roda lori menggunakan Ø bakalan 540 mm relatif kecil sehingga dapat menghemat biaya, dibandingkan dengan Ø 560 mm karena sirip yang terbentuk lebih besar.

Kata kunci-kata kunci : badan roda lori, proses tarik dalam, mesin pres hidrolik.

ABSTRACT

Research on the manufacturing of carbon steel plate wheel for controlling of rail way by deep drawing process. This research is aimed at countermeasure the wrinkle and crack defects caused by blank diameter, press force of blank holder and dies construction during the above process. Double action pressing machine with constant of blank holder is used to minimize the defects. Base on the research that : (1) blank material is used hot rolling carbon steel plate with carbon content : 0.29 %, (2) blank diameter = 540 mm, with Limiting Draw Ratio (LDR) = 1,58, (3) dies and blank holder is used cast iron with hardness HB = 260 kg/mm², (4) press force of blank holder 15 ÷ 47 ton and 94 ÷ 138 ton. The results of the research show that the flange on blank diameter 540 mm is smaller than blank diameter 560 mm.

Keywords : steel plate wheel, deep drawing process, hydrolic press machine.

I. PENDAHULUAN

Pembuatan badan roda lori umumnya dilakukan dengan proses tarik dalam dan pengecoran. Pada prakteknya sering dilakukan dengan proses tarik dalam dengan satu tahap penarikan. Bahan penggerak pemegang bakalan digunakan karet, sehingga sering menimbulkan cacat keriput yang diakibatkan melemahnya sifat karet tersebut. Cacat-cacat yang biasa terjadi dalam pembuatan badan roda lori melalui proses tarik dalam diantaranya adalah sebagai berikut : (a) cacat keriput dan sobek, (b) cacat penipisan yang berlebihan, (c) cacat goresan yang dalam.

Penelitian ini akan membahas pembuatan badan roda lori melalui proses tarik dalam, yang bertujuan mengusahakan proses pembuatan tersebut tidak mengalami cacat keriput dan sobek. Cacat keriput dan sobek sering diakibatkan oleh kesalahan konstruksi cetakan. Gaya tekan pemegang bakalan terlalu lemah akan mengakibatkan cacat keriput dan apabila terlalu kuat akan mengakibatkan cacat sobek. Berdasarkan hal tersebut di atas maka cara penanggulangannya digunakan mesin pres aksi ganda (*double action*), yang mempunyai tekanan pemegang bakalan yang sesuai dan konstan.

Prinsip kerja mesin pres hidrolik yaitu memompakan fluida tekanan tinggi ke dalam satu silinder atau lebih, sehingga terjadi peubahan (conversi) dari energi hidrolik menjadi usaha mekanik. Atas dasar sumber energi fluida di dalam mesin pengolah energi, maka jenis pres hidrolik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu : (1) pres hidrolik dengan sumber aliran ; aliran fluida dari pompa tekanan tinggi dialirkan ke silinder hidrolik melalui pipa dan katup pengontrol, (2) pres hidrolik dengan sumber tekanan ; fluida dialirkan ke silinder hidrolik dari accumulator melalui pipa dan katup.

2.3. Metode Proses Tarik Dalam

Proses tarik dalam dapat diklasifikasikan menjadi : (a) cetakan gerak tunggal, (b) cetakan gerak ganda, (c) cetakan gerak tiga, (d) cetakan tarik ulang. Seperti ditunjukkan pada gambar 4 yang dimaksud dengan cetakan gerak tunggal hanya ram bagian dalam yang bergerak, sedangkan ram lainnya diam. Cetakan gerak ganda ram bagian dalam dan bagian luar bergerak sedangkan bagian bawah diam. Cetakan gerak ganda ram bagian dalam dan bagian luar bergerak sedangkan bagian bawah diam. Cetakan gerak tiga ram bagian dalam, luar dan bawah bergerak. Cetakan tarik ulang adalah proses penarikan dari bentuk tabung diameter besar menjadi diameter yang lebih kecil.

2.4. Perhitungan Bakalan Yang Dibutuhkan

Perhitungan bakalan yang dibutuhkan, seperti ditunjukkan pada gambar 4⁽¹⁾, adalah sebagai berikut :

1. Mangkok dibagi kedalam busur-busur dan garis-garis lurus.
2. Panjang tiap-tiap garis dan busur diberi tanda "l".
3. Titik berat garis dan busur dari pusat mangkok diberi tanda "r".
4. Panjang busur didapat sebagai berikut :

$$l_2 = \frac{\alpha}{360} \times \pi \times 2R_1 \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

α = derajat lengkungan

$$l_2 = \frac{\pi \times R_1}{2} \text{ (jika } \alpha = 90^\circ \text{)}$$

$$5. \text{ Luas bakalan} = \frac{\pi \times do^2}{4} \dots\dots\dots(4)$$

$$6. \text{ Luas mangkok} = 2\pi r_1 l_1 \dots + 2\pi r_5 l_5 \quad (5)$$

7. Rumus akhir diperoleh :

$$do = \sqrt{8(r_1 l_1 + \dots\dots\dots + r_5 l_5)} \dots\dots\dots(6)$$

Gambar 4. Penampang mangkok⁽¹⁾.

2.5. Cacat-cacat pada pengerjaan pres

Padat pengepresan pelat seringkali dijumpai beberapa jenis cacat. Cacat-cacat ini berpengaruh terhadap kualitas produk tersebut. Jenis cacat yang sering dijumpai antara lain :

1. Cacat retak atau sobek
Terjadi pada benda kerja yang dipres dapat dilihat secara visual. Cacat tersebut menyebabkan produk tidak dapat dipakai. Terbentuknya cacat retak dan sobek terjadi pada daerah putus (regangan yang besar). Regangan yang besar disebabkan adanya aliran bahan yang terlambat. Faktor-faktor yang menghambat aliran bahan adalah adanya bentuk kurva yang tajam pada permukaan cetakan.
2. Cacat keriput
Ditinjau dari segi kekuatan cacat keriput yang mudah terlihat secara visual tidak merugikan, tetapi dari tampak luar sangat mengganggu. Terjadinya cacat tersebut karena adanya perbedaan aliran bahan dari satu arah terlalu besar, sedangkan dari arah lainnya aliran terlambat. Hal ini bisa disebabkan bentuk dari cetakan dan kondisi permukaan.

3. Penipisan yang berlebihan
Sepintas cacat ini tidak mudah terlihat, namun dengan melakukan pengukuran dapat segera diketahui daerah yang mengalami penipisan dan ditinjau dari segi kekuatan cacat ini sangat mengganggu. Pada prinsipnya terjadinya cacat penipisan ini sama dengan cacat retak atau sobek.

III. HIPOTESIS

Melalui metode proses tarik dalam diharapkan dapat dihasilkan produk badan roda lori untuk pengontrol jalan kereta api yang tidak menimbulkan cacat keriput dan sobek.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Spesifikasi Bahan Bakalan

Untuk mengetahui spesifikasi bahan bakalan yang lengkap perlu dilakukan pengujian dan pemeriksaan, yaitu :

1. Uji Kekerasan : digunakan metode *Rockwell "B"* dengan beban 100 kg dan penetratornya adalah bola baja 1/16". Nilai kekerasan diperoleh 75 – 76 HRB.
2. Uji Tarik : dilakukan pada bakalan dengan standar DIN. Pengujian ini dilakukan terutama untuk memperoleh kekuatan tarik (σ_u), kekuatan luluh (σ_y) dan rasio regangan (R).

Gambar 5. Spesimen uji tarik menurut standar DIN ⁽²⁾.

Untuk mendapatkan harga R, diambil cara sebagai berikut ⁽³⁾ :

- a. Buat spesimen uji tarik menurut standar (gambar 5).
- b. *Gage length* dibagi tiga bagian, masing-masing diberi tanda a, b, c.
- c. Ukur lebar dan tebal *gage length* pada tiap-tiap bagian, sebelum dan setelah ditarik.
- d. Hitung nilai R, menggunakan rumus :

$$R = \frac{\epsilon \text{ lebar}}{\epsilon \text{ tebal}} = \frac{\ln(w_o/w)}{\ln(t_o/t)} \dots\dots\dots(7)$$

Untuk menghitung nilai R rata-rata dengan menggunakan rumus :

$$\bar{R} = 2 \frac{R_0^o + R_{45}^o + R_9^o}{4} \dots\dots\dots(8)$$

Catatan :

Pengukuran dilakukan pada dua buah spesimen, masing-masing dilakukan dalam arah 0°, 45° dan 90° terhadap arah pengerolan. Pengukuran pada tiap spesimen dilakukan tiga titik dan pengukuran pada tiap titik dilakukan sebanyak tiga kali (lihat gambar 5)

Dimana :

W = lebar pelat setelah ditarik.

Wo = lebar pelat sebelum ditarik.

t = tebal pelat setelah ditarik.

to = tebal pelat sebelum ditarik

3. Pemeriksaan Metalografi : bertujuan untuk mengetahui jenis proses pengerolan pada pelat dan kadar karbon. Untuk mengetahui kadar karbon, spesimen dianil, yaitu dengan memanaskan spesimen pada temperatur ± 830 °C, ditahan pada temperatur tersebut selama ± 30 menit, kemudian didinginkan perlahan-lahan dalam tungku.

Gambar 6. Struktur mikro pelat, etsa nital 3 %.
Pembesaran 347 x

Gambar 7. Struktur mikro pelat yang telah dianil
Etsa nital 3 %, pembesaran 694 x

Gambar 8. Cetakan dan penekan badan roda lori.

Perhitungan kadar karbon dilakukan dengan metalografi kuantitatif. Caranya adalah sebagai berikut :

1. Buat garis-garis lurus pada kertas transparan, banyaknya garis-garis sebanyak sepuluh garis yang panjangnya 100 mm.
2. Ambil foto mikro struktur dari spesimen yang telah dianil (gambar 7).
3. Letakkan kertas transparan tadi pada sebuah foto mikro struktur yang dianil, kemudian hitung berapa bagian fasa ferit dan fasa perlit yang dilewati oleh garis-garis tersebut. Misalnya P_1 % ferit dan Q_1 perlit.
4. Geserkan kertas transparan tadi dari kedudukan awal dan hitung kembali prosentase fasa ferit dan fasa perlit, sampai kertas transparan dilakukan beberapa kali pergeseraan.
5. Rata-ratakan prosentase fasa perlit, misalnya a % perlit, maka prosentase kadar karbon dapat diketahui dengan menggunakan kaidah lengan pada diagram kesetimbangan besi-karbida besi adalah :

$$a\% = \frac{(\text{kadarkarbon}) (0,025)}{0,8 - 0,025} \times 100\% \dots (9)$$

4.2. Spesifikasi Cetakan

Bahan cetakan dan penekan terbuat dari besi cor kelabu. Kekerasan cetakan dan penekan sekitar 260 HB.

4.3. Menentukan Gaya Penekan

Faktor-faktor yang mempengaruhi gaya penekanan adalah (1) Diameter bakalan, (2) Radius cetakan dan penekan, (3) Kelonggaran cetakan, (4) Ketebalan bakalan, (5) Kekuatan bahan, yang rinciannya dapat dilihat seperti tersebut di bawah ini. Oleh karena itu sebelum menentukan gaya penekanan, terlebih dahulu harus ditentukan faktor gaya penekanan tersebut.

1. Diameter Bakalan :

Berdasarkan literatur 1, diameter bakalan untuk roda lori dapat ditentukan sebagai berikut :

a. panjang busur: $l = \frac{\pi \times R}{2}$ (jika $\alpha = 90^\circ$) ..(10)

panjang busur terdiri dari l_2 , l_4 dan l_6

$$l_2 = \frac{\pi \times R_1}{2} \text{ (gambar 9)}$$

$$l_4 = \frac{\pi \times R_2}{2} \text{ (gambar 9)}$$

$$l_6 = \frac{\pi \times R_3}{2} \text{ (gambar 9)}$$

b. Luas bakalan $= \frac{\pi \times d_o^2}{4} \dots \dots \dots (11)$

c. Luas badan roda lori = $2\pi r_1 l_1 + 2\pi r_2 l_2 + \dots \dots \dots + 2\pi r_7 l_7 \quad (12)$

Diameter bakalan badan roda lori (d_o) diperoleh = 540 mm.

Gambar 9. Penampang badan roda lori.

- Radius cetakan (r_d) dan penekan (r_p).
 r_d tergantung pada ukuran dan ketebalan bakalan. Apabila radius cetakan dibuat besar akan diperoleh beban penekanan lebih rendah dan menambah batas rasio penarikan (LDR), tetapi akan menjadi keriput. Apabila radius cetakan terlalu kecil kemungkinan besar produk akan robek. *Oehler* dan *Kaiser* telah mengembangkan persamaan empiris untuk radius cetakan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} r_d &= 0,035 (50 + (d_o - d_i))\sqrt{t_o} \\ &= 0,035 (50 + (540 - 340))\sqrt{3} \\ &= 15 \text{ mm} \end{aligned} \quad (13)$$

dimana :

d_o = diameter bakalan
 d_i = diameter produk
 t_o = tebal bakalan

$$\begin{aligned} r_p &= (3 \div 5) + r_d \\ &= 4 + 15 \\ &= 19 \text{ mm} \end{aligned} \quad (14)$$

- Kelonggaran Cetakan
 Dari persamaan empiris kelonggaran cetakan diperoleh :

$$\begin{aligned} U_d &= t_o + 0,07 \sqrt{10 \cdot t_o} \quad (4) \\ &= 3 + 0,07 \sqrt{10 \cdot 3} \\ &= 3,38 \text{ mm} \end{aligned} \quad (15)$$

- Kekuatan Bahan

Bahan bakalan untuk tarik dalam ditunjukkan dalam tabel 1. Bahan cetakan tarik dalam yang sering digunakan adalah : besi cor, baja cor, paduan Zn cor, baja karbon, baja perkakas dan paduan aluminium *bronze*, lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Bahan bakalan untuk tarik dalam ⁽⁴⁾

Standar	σ_{min} (kg/mm ²)	Rasio penarikan yang dicapai			Pelumasan	Keterangan
		sa	sb	sc		

Baja lunak

AISI 1008	27-41	1,8	1,2	1,6	emulsi minyak dengan sabun	Ekstra tarik dalam untuk penarikan untuk tarik dalam
AISI 1008		1,9	1,25	1,65		
SAE 1006	27-37	2,0	1,3	1,7		
	27-35					

Stainless steel

AISI 430	40-60	1,55	-	1,25	Pasta grafit	
AISI 304	50-70	2,0	1,2	1,8		

Baja tahan karat

ASTM 405	50-65	1,7	1,2	1,6	Pasta grafit	
AISI 314	59-74	2,0	1,2	1,8		

Catatan :

sa = satu tahap penarikan
sb = satu tahap tarik ulang tanpa anil
sc = satu tahap tarik ulang dengan anil

Tabel 2. Bahan cetakan tarik dalam ⁽⁴⁾

Standar	Kegunaan
	Besi cor
UNS F10004	Penekan dan perkakas
UNS F10005	Penarik dengan ketahanan aus tinggi
	Baja karbon biasa
AISI 1015	Penekan, cetakan dan alat pengupas
	Baja perkakas tidak dipadu
AISI 1095	Perkakas penarik dengan ukuran besar
AISI 1086	Ukuran besar
	Baja perkakas dipadu
AISI D3	Cetakan dengan ketahanan aus tinggi
UNS E51100	

- Menentukan gaya penekan yang dibutuhkan
 Ditentukan menurut beberapa literatur adalah :

$$\begin{aligned} a. P &= \pi \cdot d_i \cdot t_o \cdot n \cdot \sigma_u \quad (5) \\ &= 3,14 \cdot 340 \cdot 3 \cdot 0,89 \cdot 48 \\ &= 137646 \text{ kg} \approx 138 \text{ ton} \end{aligned} \quad (16)$$

Dimana :

N = Faktor penarikan ($\ln \beta_n / \ln \beta_{\text{max}}$)

$\beta_n = d_o / d_i$ ($540 / 340 = 1,588$)

$\beta_{\text{max}} = d_o \text{ max} / d_i$ ($560 / 340 = 1,647$)

$$\begin{aligned} b. P &= \pi \cdot d_i \cdot t_o \cdot n \cdot \sigma_u \cdot n \quad (6) \\ &= 3,14 \cdot 340 \cdot 3 \cdot 48 \cdot 0,79 \\ &= 1221450 \text{ kg} \approx 121,45 \text{ ton} \end{aligned} \quad (17)$$

4.4. Menentukan Gaya Tekan Pemegang Bakalan

Berdasarkan beberapa literatur, diperoleh :

$$1. F_{bh} = A_{bh} \times p_{bh}^{(4)} \quad (18)$$

$$a. A_{bh} = \pi/4(540^2 - 340^2) = 138160 \text{ mm}^2$$

$$b. P_{bh} = 10-3.3. \left[\frac{(540/340 - 1)^3 + 0,005 \times 340}{3} \right].48 = 0,16 \text{ kg/mm}^2$$

$$c. F_{bh} = 22106 \text{ kg} \approx 22 \text{ ton}$$

$$2. F_{bh} = A_{bh} \times p_{bh}^{(5)} \quad (19)$$

$$a. A_{bh} = \pi/4(540^2 - 340^2) = 138160 \text{ mm}^2$$

$$b. P_{bh} = 0,0025. \left[\frac{(540/340 - 1)^2 + 0,005 \times 340}{3} \right].48 = 0,11 \text{ kg/mm}^2$$

$$c. F_{bh} = 15 \text{ ton}$$

4.5. Percobaan

Percobaan dilakukan pada mesin pres hidrolis aksi tunggal (*single action*), gambar 10. Untuk memperoleh gaya tekan pemegang bakalan digunakan penggerak karet, dengan kekerasan 65 *shore*. Percobaan ini bertujuan untuk membuktikan kebenaran hasil perhitungan diameter bakalan badan roda lori yang dibutuhkan.

Gambar 10. Mesin pres hidrolis.

Tahap proses percobaan :

- Membuat diameter bakalan sebanyak 2 buah, masing-masing diameter 560 mm dan 540 mm.
- Pelumas dilakukan pada bakalan dan cetakan, dengan menggunakan pelumas minyak.
- Menjalankan mesin
- Memasang bakalan di atas pemegang bakalan.
- Kemudian mesin pres dengan satu alat kemudi tangan, agar terjadi proses penekanan.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Pengujian dan Pemeriksaan

Pengujian dan pemeriksaan bertujuan untuk mendapatkan spesifikasi bahan.

- Hasil Uji Kekerasan : kekerasan pelat bakalan yang dihasilkan sekitar 75 s/d 76 HRB, kekerasan ini akan berpengaruh terhadap gaya penekanan. Apabila kekerasan bahan tinggi, maka gaya penekanan tinggi.
- Hasil Uji tarik : tujuan dari pengujian ini untuk memperoleh data kekuatan tarik (σ_u) dan rasio regangan R. Hasil uji tarik menunjukkan $\sigma_u = 48 \text{ kg/mm}^2$ dan $\sigma_y = 37 \text{ kg/mm}^2$. Atas dasar literatur 11 bahwa $\sigma_o = K\epsilon^n$, hal ini berarti semakin tinggi σ_u , maka semakin tinggi pula gaya penekanan yang dibutuhkan. Pelat mempunyai nilai R besar menunjukkan ketahanan yang tinggi terhadap penipisan dan menambah batas rasio penarikan (LDR). Dari hasil pengujian nilai R menunjukkan 0,846 (tabel 3), hal ini berarti ketahanan terhadap penipisan rendah. Pada gambar 11 menunjukkan bahwa pelat hasil pengujian mempunyai LDR $\pm 2,4$.

Tabel 3. Nilai R rata-rata.

No	Sebelum ditarik		Setelah ditarik		R	$\bar{R}$
	lebar	tebal	lebar	tebal		
Ia	20,502	2,930	18,731	2,607	0.702	0,846
	20,485	2,921	17,855	2,457		
	20,508	2,923	19,004	2,631		
Ib	20,533	2,835	18,977	2,511		
	20,496	2,827	18,305	2,394		
	20,526	2,828	18,920	2,503		
IIa	20,532	2,952	18,700	2,656	0.927	
	20,496	2,947	17,672	2,531		
	20,499	2,958	18,580	2,652		
IIb	20,407	2,961	18,436	2,639		
	20,308	2,955	17,677	2,549		
	20,416	2,951	18,580	2,652		
IIIa	20,196	2,949	18,886	2,730	0.8319	
	20,197	2,944	18,439	2,639		
	20,161	2,947	17,954	2,553		
IIIb	20,237	2,965	18,894	2,706		
	20,137	2,947	17,688	2,541		
	20,302	2,939	18,614	2,653		

Catatan : I = arah 90° terhadap arah pengerolan

II = arah 45° terhadap arah pengerolan

III = arah 0° terhadap arah pengerolan

Gambar 11. Hubungan antara nilai $\bar{R}$ dengan LDR ⁽⁷⁾.

3. Hasil Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan metalografi ini bertujuan untuk mengetahui kadar karbon pada suatu bahan dan untuk menentukan jenis proses pengerjaan pada pelat. Gambar 6, menyatakan bahwa pelat mengalami proses pengerolan panas. Gambar 7 menyatakan bahwa bahan mempunyai kadar karbon 0,29 %, yang berarti bahan menunjukkan baja karbon rendah termasuk SAE atau AISI 1030 (tabel 7 dan 8).

5.2. Hasil Perhitungan Gaya Penekanan

1. Hasil Perhitungan Diameter Bakalan :

Diameter bakalan yang diperoleh menurut hasil perhitungan adalah 540 mm dengan LDR 1,58. Apabila diameter bakalan relatif besar maka akan memperbesar gaya penekanan. Ditinjau dari LDR bahan, bahwa diameter bakalan 540 mm memenuhi syarat untuk bakalan badan roda lori, karena LDR bahan lebih besar dari LDR spesimen.

2. Hasil Perhitungan Radius Cetakan dan Penekan :

Hasil perhitungan radius cetakan diperoleh 15 mm, sedangkan radius cetakan yang ada adalah 14 mm. Hal ini tidak banyak berbeda. Apabila radius cetakan dibuat besar akan diperoleh gaya penekanan yang relatif rendah dan menambah LDR (batas rasio penarikan), tetapi kan terjadi keriput. Radius penekanan dibuat lebih besar dari radius cetakan yaitu 19 mm yang bertujuan untuk mencegah reduksi ketebalan dinding. Radius penekanan yang ada adalah 6 mm, hal ini akan terjadi reduksi ketebalan dinding.

3. Hasil Perhitungan Kelonggaran Cetakan.

Kelonggaran cetakan hasil perhitungan adalah 3,38 mm dan kelonggaran cetakan yang ada 3,5 mm, hal ini tidak banyak berbeda. Apabila kelonggaran cetakan terlalu besar, maka mangkok silinder yang terbentuk kurang baik. Apabila kelonggaran cetakan relatif kecil akan terjadi proses *ironing* (penipisan), retak, *cold welding* (pengelasan dingin) dan menambah beban penekanan.

4. Hasil Perhitungan Gaya Penekanan

Gaya penekanan diperoleh dari hasil perhitungan menurut beberapa literatur, ditunjukkan pada tabel 6.

5.3. Data Hasil Perhitungan Gaya tekan Pemegang Bakalan

Gaya tekan pemegang bakalan sekitar $15 \div 47$ ton (tabel 4). Apabila gaya tekan pemegang bakalan terlalu kuat mengakibatkan sobek dan apabila gaya tekan terlalu rendah mengakibatkan keriput.

Tabel 4. Gaya penekanan untuk badan roda lori

Literatur	Gaya penekan (P)
(7)	111 ton
(7)	94 ton
(16)	138 ton
(15)	121 ton

Tabel 5. Gaya tekanan pemegang bakalan untuk badan roda lori

Literatur	Gaya penekan (P)
(1)	22 ton
(15)	19 ton
(16)	15 ton
(6)	47 ton

Tabel 6. Batasan komposisi kimia baja karbon standar ^(a)

AISI/SAE	% C	% Mn	% P Max	% S Max
C 1010	0,08 - 0,13	0,30 - 0,60	0,04	0,05
C 1015	0,13 - 0,60	0,30 - 0,60	0,04	0,05
C 1018	0,15 - 0,20	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1020	0,18 - 0,23	0,30 - 0,60	0,04	0,05
C 1025	0,22 - 0,28	0,30 - 0,60	0,04	0,05
C 1030	0,28 - 0,34	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1035	0,32 - 0,38	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1040	0,37 - 0,44	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1045	0,43 - 0,50	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1050	0,48 - 0,55	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1055	0,50 - 0,60	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1060	0,55 - 0,65	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1065	0,60 - 0,70	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1070	0,65 - 0,75	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1075	0,70 - 0,80	0,40 - 0,70	0,04	0,05
C 1080	0,75 - 0,88	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1085	0,80 - 0,93	0,70 - 1,00	0,04	0,05
C 1090	0,85 - 0,98	0,60 - 0,90	0,04	0,05
C 1095	0,90 - 1,03	0,30 - 0,50	0,04	0,05

Dimana : (a) = tingkat minimum
(b) = tingkat maximum

Tabel 7. Sifat mekanik baja karbon ^(a)

AISI/SAE	Kekuatan tarik (1000 psi)	Kekuatan luluh (1000 psi)	Perpanjangan dalam 2 in (%)	Kekerasan Brinnel
C 1010	47 (a) 53 (b)	26 44	28 20	95 105
C 1015	50 (a) 56 (b)	27 47	28 18	101 111
C 1018	58 (a) 64 (b)	32 54	25 15	116 126
C 1020	55 (a) 61 (b)	30 51	25 15	111 121
C 1025	58 (a) 64 (b)	32 54	25 15	116 126
C 1030	68 (a) 76 (b)	37 64	20 12	137 149
C 1035	72 (a) 80 (b)	39 67	18 12	143 163
C 1040	76 (a) 85 (b)	42 71	18 12	149 170
C 1045	82 (a) 94 (b)	45 77	18 12	149 170
C 1050	90 (a) 100 (b)	45 77	16 12	163 179
C 1055	94 (a)	51	12	192
C 1060	98 (a)	54	12	201
C 1065	100 (a)	55	12	207
C 1070	102 (a)	56	12	212
C 1095	0,90 - 1,03	0,30 - 0,50	0,04	0,05

Dimana : (a) = tingkat minimum
(b) = tingkat maximum

5.5. Hasil Percobaan

Terbukti bahwa hasil perhitungan diameter bakalan untuk badan roda lori adalah benar dan berhasil terbentuk seperti ditunjukkan pada gambar 12. Sirip yang terbentuk pada diameter bakalan 540 mm relatif sedikit, sedangkan yang diameter 560 mm sirip terbentuk lebih besar. Hal ini berarti dengan sirip relatif kecil akan menghemat bahan.

Gambar 12. Badan roda lori hasil percobaan dengan diameter bakalan 540 mm.

Gambar 13. Badan roda lori hasil percobaan dengan diameter bakalan 560 mm.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN

1. Pelat baja yang digunakan untuk badan roda lori adalah pelat baja hasil rol panas dengan kadar karbon 0,29 % (AISI/SAE 1030), $\sigma_u = 48 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_y = 37 \text{ kg/mm}^2$, $\bar{R} = 0.846$, LDR = 2,4 dan tebal = 3 mm.
2. Diameter bakalan untuk badan roda lori adalah $\pm 540 \text{ mm}$ dengan LDR 1,58. Hal ini memenuhi syarat karena LDR spesimen lebih kecil dari LDR bahan.
3. Bahan cetakan dan pebekan digunakan besi cor kelabu dengan kekerasan (HB) = 260 kg/mm^2 .
4. Gaya tekan pemegang bakalan yang dibutuhkan untuk badan roda lori antara 15 s/d 47 ton.
5. Gaya penekanan yang dibutuhkan untuk membentuk badan roda lori adalah antara 94 s/d 138 ton.
6. Kelonggaran cetakan hasil perhitungan adalah 3,38 mm, sedangkan yang ada 3,5 mm.
7. Radius cetakan hasil perhitungan adalah 15 mm, sedangkan yang ada adalah 14 mm.
8. Radius penekan hasil perhitungan adalah 19 mm, sedangkan yang ada adalah 6 mm. Hal ini akan berpengaruh terhadap kualitas produk.
9. Dari hasil percobaan, sirip terbentuk relatif sedikit pada diameter bakalan 540 mm, sedangkan pada diameter bakalan 560 mm, sirip terbentuk lebih besar.
10. Perlu diadakan percobaan lebih lanjut dengan menggunakan mesin pres hidrolik aksi ganda yang mempunyai tekanan pemegang bakalan yang sesuai dan konstan.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Mardjono Siswosuwarno yang telah memberikan sumbangan pemikiran dan diskusi yang berguna.
2. PT. PINDAD, khususnya : (a) Divisi tempa dan cor, (b) Departemen Permesinan dan produksi, (c) Laboratorium metalurgi, beserta para pejabat, manajer dan stafnya yang telah memungkinkan dilakukan penggunaan fasilitas dan peralatan penelitian ini dari awal hingga selesai.
3. Semua pihak yang tidak bisa ditulis satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Eary, Donald F. and Reed Edward A., "Techniques Of Pressworking Sheet Metal", Prentice Hall, Inc, 1985.
2. Taschenbuch, DIN, "Material Prufnormen Fur Metallische Werkstoffe, 1978.
3. Nelson, Paul, G., "Simplified Methods Of Determining $\bar{R}$ and Value In The Tension Test, Production Laboratory Automotive Division Philadelphia Plant, 1964.
4. Kurt Lange, "Hand Book Of Metal Forming", Mc. Graw Hill Book Company.
5. Makelt, Heinrich, Translated By Hardbottle, R., "Mechanical Presses", Edward Arnold (Publishers) Ltd, 1968.
6. Handojo, "Proses Pembentukan Logam", Akademi Industri Logam Bandung.
7. Dieter, G.E., "Mechanical Metallurgy", Mc. Graw Hill Book Company.
8. Earl, R. Parker, "Materials Data Book", Mc. Graw Hill Book.

^{*)} dan ^{**)} Peneliti pada B4T dan BBLM/MIDC Depperindag. Bandung.