

AMBIYAR & PURWANTONO

FABRIKASI LOGAM

Buku ini berisikan tentang sejarah perkembangan fabrikasi logam, pendekatan teoritis proses pembentukan plat, proses fabrikasi logam pada pengerjaan dingin dan panas, serta berbagai macam metode pembentukan yang digunakan di industri seperti : *bending, blanking, squeezing, rolling, deep drawing, spinning, ekstrusi* dan *forging*. Teknik penulisan buku ini lebih mengacu pada tampilan gambar-gambar sebagai informasi untuk memudahkan pemahaman proses pabrikan logam

ISBN 978-979-8587-57-3



9789798587573

PENERBIT UNP PRESS
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
Jl. Prof. Hamka Air Tawar Padang
Telp. (075) 740222, 740223 Fax (075) 740224



UNP PRESS

FABRIKASI LOGAM

Ambiyar & Purwantonono

FABRIKASI LOGAM



AMBIYAR &
PURWANTONO

PENERBIT UNP PRESS PADANG
 UNP PRESS

Fabrikasi Logam

Ambiyar & Purwanto

KETENTUAN PIDANA
SAKSI PELANGGARAN

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu Ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah)
2. Barangsiapa dengan sengaja menyerahkan, menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Fabrikasi Logam

Oleh

Ambiyar & Purwanto



UNP PRESS
2008

Ambiyar & Purwanto,
Fabrikasi Logam,
Ambiyar, dkk.,
editor, Tim editor UNP Press
Penerbit UNP Press Padang, 2008
1 (satu) jilid; 175 x 250 cm (B5)
172 hal.

Fabrikasi Logam
ISBN: 978-979-8587-57-3
1. Teknik, 2. Ilmu Logam 3. Industri
1. UNP Press Padang

Fabrikasi Logam

Hak Cipta 2008, dilindungi oleh undang-undang pada penulis
Hak penerbitan pada UNP Press

Oleh: Dr. Ambiyar, M. Pd
Editor isi. Prof. Dr. Suparno, M.Pd
Editor Bahasa: Dr. Syahrul. M.Pd

Layout & Desain Sampul Drs. Nasbahry Couto

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang telah memberikan rahmat dan kurnia-Nya kepada kita semua. Penulisan buku Fabrikasi logam ini bertujuan untuk membantu para pemerhati di bidang proses pembentukan plat-plat tipis yang banyak digunakan untuk berbagai komponen permesinan, khususnya untuk pembuatan bodi kendaraan, penutup (*cover*) mesin-mesin, dan sebagainya.

Buku Fabrikasi Logam ini memuat tentang sejarah perkembangan fabrikasi logam, pendekatan secara teori proses pembentukan plat, proses fabrikasi logam pada pengerjaan dingin dan panas, serta berbagai macam metode pembentukan yang digunakan di industri, seperti *bending*, *blanking*, *squeezing*, *rolling*, *deep drawing*, *spinning*, *extrusi*, dan *forging*. Teknik penulisan buku lebih mengacu pada tampilan gambar-gambar sebagai informasi untuk memudahkan pemahaman proses fabrikasi logam ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penulisan buku ini.

Padang, Agustus 2008

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii

BAB I. PENDAHULUAN 1

A. Sejarah Perkembangan Teknologi Pembentukan	1
B. Ruang Lingkup	7
1. Mengetahui Dasar Teknik Pembentukan dan Pengerjaan Logam 8	
2. Konsep Dasar Tegangan dan Regangan.....	11
3. Mengetahui Dasar Gaya Geser dan Bengkokan.....	17
C. Rangkuman.....	18

BAB. II PROSES FABRIKASI LOGAM

.....	21
A. Pendahuluan	21
B. Proses Pengerjaan Dingin	23
C. Keuntungan Proses Pengerjaan Dingin	26
D. Spring Back.....	32
E. Pembentukan Secara Manual.....	36
F. Peralatan Utama, Alat Bantu, dan Landasan.....	37
G. Teknik Pemukulan.....	43
H. Proses Tekuk/Lipat	48
I. Proses Pengerolan	61
J. Proses <i>Stretching</i> (Peregangan).....	70
K. Proses Blanking	74
L. Proses <i>Deep Drawing</i>	82
M. Proses <i>Squeezing</i> (Tekanan).....	94
N. Proses Spinning	98
O. Penguatan Pelat	105
P. Rangkuman.....	112

BAB. III PEMBENTUKAN PANAS.....115

A. Pertumbuhan Produk <i>Forging</i>	115
B. Proses Pengerjaan Panas	117
C. Sifat Logam pada Temperatur Tinggi.....	119
D. Mekanisme Pelunakan pada Pengerjaan Panas	119
E. Tempa	121
F. Perlakuan Panas pada Proses Pembentukan Panas	123
G. Ekstrusi	146
H. Kriteria Pembentukan.....	150

I.	Cacat pada Produk Pembentukan	153
J.	Rangkuman.....	162
DAFTAR PUSTAKA.....		164
GLOSARI.....		166
INDEKS.....		171

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Tempa Tradisional	2
1.2. Mesin <i>Bending</i> dengan Program NC	5
1.4. Sebuah benda diberi gaya tarik	12
1.5. Grafik Tegangan Regangan (Sardia &Kenji, 1984)	12
1.6. Kurva Tegangan dan Regangan di Daerah Elastik Dieter,1986).....	15
1.7. Hubungan Tegangan-Regangan pada Bahan Mulur Kontinu (Dieter,1986)	15
1.8. Grafik Tegangan Regangan Baja dan Alluminium	16
1.9. Hasil Penelitian pada Proses Pembentukan.....	17
1.10. Aplikasi Teori Bengkok pada Pembentukan Plat.....	18
2.1. Proses Fabrikasi pada Pembentukan Plat Lembaran	22
2.2. Hasil Produk Pelat Tipis dan Pelat Tebal untuk Konstruksi Alat Pengolahan Hasil Pertanian dan Turbin Air Skala Kecil	25
2.3. Pemotongan.....	27
2.4. Penembukan	27
2.5. Penembukan dengan Penahan Pegas	28
2.6. Pembengkokkan	28
2.7. <i>Bending U</i>	28
2.8. <i>Squeezing</i>	29
2.9. <i>Squeezing</i> Tutup Botol.....	29
2.10. <i>Press</i>	29
2.11. Penguatan Tepi.....	30
2.12. <i>Springback</i> Pelat	33
2.13. Pengaruh <i>Spring Back</i> pada Pembentukan Plat U.....	34
2.14. <i>Spring Back</i> pada Pelat (Lyman,1968)	35
2.15. Proses Bending dan Faktor- K (Little,1980).....	36
2.16. Palu Besi Segiempat dan Bulat	38
2.17. Palu Besi Kombinasi Segi Empat dan Tirus serta Bulat.....	38
2.18. Palu Besi Kombinasi Bulat rata & Bola dan Pipih.....	38
2.19. Palu Kayu Kepala Bulat dan Palu Karet Bulat	39
2.20. Palu Karet Persegi.....	39
2.21. Palu Plastik Palu Kombinasi dan Bulat.....	39
2.22. Palu Kayu Tirus dan Palu Rata	40
2.23. Macam-macam Landasan (Meyer,1975).....	40
2.24. Kombinasi Gambar 2.25. Rata.....	41
2.25. Rata.....	41
2.26. Bulat Gambar	42
2.27. Kombinasi Silinder dan Tirus	41
2.28. Seperempat Bola	42
2.29. Kombinasi Rata K	42
2.30. Kombinasi Silinder	42
2.31. Sudut 45 dan kerucut dan Kerucut	42
2.32. Pipa.....	42
2.33. Alur.....	42

2.34. Kombinasi Tirus	42
2.35. Kedudukan dan Silinder Landasan.....	42
2.36. Pembentukan Secara Manual (Lyman, 1968)	44
2.37. Pembentukan Mangkuk (Lyman, 1968).....	45
2.38. Pegecekan Radius Benda	46
2.39. Pembentukan Pipa Lengkung (Lyman, 1968)	46
2.40. Langkah Proses Tekuk	48
2.41. Langkah Awal Tekuk.....	48
2.42. Penekukan Pelat.....	49
2.43. Sudut Tekuk.....	49
2.44. Bentangan pada Proses Tekuk.....	50
2.45. Konstruksi Mesin Tekuk/Lipat. (Mills, 1995)	50
2.46. Jenis Lipatan	51
2.47. Langkah Proses Tekuk untuk Sambungan Lipat. (Meyer, 1975)	51
2.48. Penekukan Bidang Lengkung (Meyer, 1975)	52
2.49. Mesin <i>Bending</i> Hidrolik	52
2.50. Proses <i>Bending Dies</i> dan <i>Punch</i>	53
2.51. Mesin Lipat <i>Universal 1</i>	55
2.52. Mesin Lipat <i>Universal 2</i>	55
2.53. Berbagai Macam Tipe <i>Punch</i> dan <i>Diesserta</i> Bentuk Profil yang Di- hasilkan.....	56
2.54. Langkah <i>Bending</i> untuk Proses <i>Bending</i> Sisi Tepi Pelat Menjadi Bentuk Silinder Memanjang di Sepanjang Tepi Pelat	56
2.55. Bentangan Pelat dengan Tipe <i>Bend Allowance</i> dan <i>Bend Reduction</i> ... 57	57
2.56. Kelengkungan pada Proses <i>Bending</i>	58
2.57. Aplikasi Proses Tekuk.....	59
2.58. Perkembangan Mesin Tekuk di Industri <i>Hydraulic Bending Machine</i> NC	61
2.59. Proses Pengerolan Pelat Tebal di Industri Pengerolan Dilakukan dengan Menggunakan Motor Listrik sebagai Penggerak dan Sistem Penekannya Menggunakan Hidrolik Sistem (Kalpajian, 1984)	61
2.60. Tipe Susunan Rol Jepit.....	62
2.61. Tipe Susunan Rol Piramid	62
2.62. Tipe Susunan Rol Kombinasi Jepit dan Piramide.....	63
2.63. Grafik Tegangan Regangan Baja Carbon Rendah dan Baja Karbon Tinggi (Dieter, 1986).....	66
2.64. Mesin Rol Kombinasi Tipe Jepit dan Piramide	67
2.65. Macam-macam Kesalahan pada Proses Pengerolan	68
2.66. Aplikasi Proses Pengerolan yang Ada di Industri	69
2.67. Proses Peregangan (Dieter, 1986)	73
2.68. Efek Peregangan	
2.69. Proses <i>Blanking</i> untuk Penembukan Pelat (www.advantagefabricated metals.com).....	75
2.70. Proses <i>Blanking</i> Pelat Menjadi Bentuk Bulat dan Persegi Tak Tentu (www.advantagefabricated metals.com)	76
2.71. Peletakan Benda Kerja pada Proses <i>Blanking</i> (www.suwaprecision.com)	77
2.72. Proses <i>Blanking</i> untuk Pembuatan Ring Pelat.....	78
2.73. Mesin <i>Blanking</i> Pelat.....	79

2.74. Punch dan Dies	79
2.75. Bentuk <i>Punch</i>	80
2.76. Menentukan Titik Berat <i>Punch</i>	80
2.77. Grafik Hubungan Gaya <i>Blanking</i> dengan <i>Clearence</i>	81
2.78. Aplikasi Penggunaan Hasil Proses <i>Blanking</i>	82
2.79. Proses <i>Drawing</i> (www.substech.com)	82
2.80. <i>Blank</i> dan <i>draw piece</i>	83
2.81. Mesin <i>Deep Drawing</i>	84
2.82. Proses <i>Drawing</i> (www.substech.com)	84
2.83. Beberapa Macam Bentuk <i>Draw Piece</i>	86
2.84. Langkah Proses <i>Deep Drawing</i> (Lyman,1968)	86
2.85. Bagian Utama <i>Die Drawing</i> (www.substech.com)(Lyman,1968)	91
2.86. Metoda Penekanan Gaya Tunggal (Lyman,1968)	91
2.87. Metoda Penekanan Gaya Ganda (Lyman,1968)	92
2.88. Pembuatan Mangkuk pada Proses <i>Deep Drawing</i>	93
2.89. Contoh Produk <i>Deep Drawing</i>	93
2.90. Mesin <i>Press</i>	94
2.92. Produksi dari Proses <i>Pressing</i> Mangkuk dalam Jumlah Besar	96
2.91. Mesin <i>Squeezing</i>	96
2.93. Peralatan Mesin <i>Press</i> (www.answers.com)	97
2.94. Hasil Produk Jadi Proses <i>Squeezing</i> Kereta Api Cepat dan Mobil	97
2.95. Proses <i>Spinning</i> untuk Pembentukan Pelat	98
2.96. Proses <i>Spinning</i>	99
2.97. <i>Tool Spinning</i>	100
2.98. Dudukan <i>Tool Holder</i>	100
2.99. Eretan Atas <i>Rest</i>	101
2.100. <i>Tool</i> Pembentuk	102
2.101. Proses <i>Finishing</i> (Lyman,1968)	103
2.102. Produksi <i>Spinning</i> Proses 1	104
2.103. <i>Produksi Spinning</i> Proses 2	104
2.104. Komponen Hasil Produk <i>Spinning</i>	105
2.105. Pelat tanpa Penguatan	106
2.106. Pelat dengan Penguatan	107
2.107. Macam-macam Penguatan Tepi	108
2.108. Penguatan Tepi dengan Lipatan	109
2.109. Macam-macam Penguatan Tepi dengan Cara Dipress	109
2.110. Penguatan Tepi dengan Proses <i>Jogle</i>	110
2.111. Penguatan Bodi	110
2.112. Aplikasi Penguatan Tepi pada Produk	111
3.1. Grafik Pertumbuhan Produk Forging per Tahun (Kalyani, 2001)	115
3.2. Pertumbuhan Tonnage per Tahun (Kalyani, 2001)	116
3.3. <i>Customer</i> Pengguna Produk Forging (Kalyani, 2001)	116
3.4. Proses Kompresi pada <i>Forging</i>	117
3.5. Grafik Reduksi dengan Temperatur Material Nikel <i>Based Super Alloy</i> ..	118
3.6. Grafik Tegangan Luluh Dengan Temperatur Pemanasan pada Proses <i>Forging</i>	118
3.7. Grafik Kecepatan Pendinginan (Hubungan Suhu dengan Waktu Pendingi- nan) (Surdia & Kenji,1984)	122
3.8 Dapur Tempa	124

3.9. Dapur Tempa sederhana	126
3.10 Landasan Paron	127
3.11. Landasan Datar dan Landasan Profil	127
3.12. Macam-macam <i>Smeed Tang</i>	128
3.13. Macam-macam Palu Tempa	129
3.14. Beberapa Jenis Palu Tempa	130
3.15. Mesin <i>Hammer</i> (www.forging-hydraulic-press.com)	131
3.16. Bagian Utama Mesin Hammer	132
3.17. Bak Pendingin	133
3.18. Penjepit Hidrolik	133
3.19. Ragum Tempa	133
3.21. Parang Hasil Tempa	134
3.20. Proses Penempaan Alat Pertanian Parang	134
3.22. Penempaan di Atas Landasan	135
3.23. Proses Penempaan Pembuatan Parang	135
3.24. Proses Pembuatan Pisau Mulai dari Material Mentah Menjadi Bentuk Seperti yang Diinginkan	136
3.25. Proses Penempaan Sendok	136
3.26. Penempaan Parang Panjang	137
3.27. Proses Tempa dengan Mesin <i>Hammer</i>	138
3.28. Mesin <i>Hammer</i> Konvensional	138
3.29. Produk yang Dihasilkan Mesin Hammer	139
3.30. Tempa dengan Menggunakan <i>Die</i> (www.forging-hydraulic-press.com)	140
3.31. Beberapa Model Penempaan	141
3.32. Hasil Produk Tempa 1	142
3.33. Hasil Produk Tempa 2	142
3.34. Hasil Produk Tempa 3	143
3.35. Proses Pembentukan Ekstrusi Dingin	146
3.36. Metode Pembentukan Ekstrusi (www.ekstrution.com)	147
3.37. Metode Penekanan Bentang	147
3.38. Langkah Pembentukan Kepala	148
3.39. Pembentukan Kepala Paku Keling (www.extrution.com)	148
3.40. Hasil Produk Ekstrusi 1	149
3.41. Hasil dari Proses Ekstrusi 2	150
3.42. Diagram Batas Pembentukan Keeler Goodwin (Lyman, 1968)	151
3.43. Kemampuan Bentuk (Wood Cs)	152
3.44. Hubungan Regangan Perentangan dengan Kurva Tegangan Regangan (Dieter, 1986)	154

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Klasifikasi <i>Cold Working</i>	30
2.2. Jenis Material dan Kecepatan Maksimal <i>Draw Dies</i>	91
3.1. Warna Pembakaran dan Temperatur.....	125
3.2. <i>Forging</i> 1.....	144
3.3. <i>Forging</i> 2.....	145
3.4. <i>Forging</i> 3.....	145

BAB I

PENDAHULUAN



A. Sejarah Perkembangan Teknologi Pembentukan

Fabrikasi logam merupakan istilah yang digunakan pada proses pembentukan logam. Istilah fabrikasi berasal dari *fabrication* yang berarti pengerjaan. Logam adalah salah satu jenis material yang banyak digunakan untuk berbagai macam keperluan. Secara umum pengertian fabrikasi logam adalah proses pengerjaan logam-logam untuk diubah bentukannya menjadi komponen-komponen sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

Sejarah fabrikasi logam dimulai sejak zaman pra sejarah yang diperkirakan dalam rentang waktu antara tahun 4000 sampai 3000 S.M. Perkembangan pembentukan logam ini diawali pada pembuatan-pembuatan asesoris atau hiasan-hiasan kerajaan, perisai untuk keperluan perang, peralatan rumah tangga dan sebagainya. Bahan-bahan logam ini umumnya terbuat dari bahan perunggu dan kuningan. Proses pengerjaan yang dilakukan untuk pembuatan peralatan ini dilakukan secara manual dengan proses pengerjaan panas maupun dingin.

Proses fabrikasi logam untuk berbagai macam peralatan ini dikerjakan oleh para ahli logam yang mempunyai keterampilan khusus. Para ahli logam ini mempunyai keahlian pekerjaan tangan (*handy craft*) yang diperoleh secara turun-temurun. Proses fabrikasi untuk bentuk-bentuk profil ini dilakukan seluruhnya dengan menggunakan keahlian tangan. Peralatan bantu yang digunakan meliputi berbagai macam bentuk palu, landasan-landasan pembentuk serta model-model cetakan sederhana.

Bentuk profil pelat yang dihasilkan dari proses pembentukan ini memiliki nilai seni yang tinggi, khususnya pada bentuk ukiran yang ditampilkan dari produk tersebut. Profil yang ditampilkan mempunyai arti dan nilai seni dengan menampilkan bentuk-bentuk dari, bunga-bunga, simbol-simbol, peradaban manusia serta profil-profil binatang.

Beberapa hasil peninggalan sejarah ditemukan dalam bentuk peralatan rumah tangga seperti; bentuk-bentuk cangkir, cawan, dan berbagai macam piring. Produk piring dan cangkir ini memiliki desain dan ukiran khusus yang mempunyai arti dan nilai seni. Hasil survei bidang arkeologi memberikan gambaran bahwa produk rumah tangga yang digunakan untuk keperluan kerajaan berbeda dengan produk-produk yang dikeluarkan untuk rakyat biasa.

Biasanya produk-produk ini mempunyai ciri-ciri khusus pada desain dan ukiran atau hiasan yang terdapat pada produk tersebut. Pola-pola atau bentuk profil yang dikerjakan untuk perhiasan atau asesoris untuk kerajaan ini memiliki nilai artistik yang tinggi. Hal ini terlihat dari beberapa peninggalan sejarah yang ditemukan di beberapa museum sejarah di Perancis dan kota-kota sejarah lainnya.



Gambar 1.1. Tempa Tradisional

Pada gambar 1.1 memperlihatkan proses fabrikasi yang dilakukan dengan sistem penempaan secara tradisional. Bahan bakar untuk

proses pemanasan materialnya menggunakan arang kayu, batu bara, arang tulang dan sebagainya. Proses pembakaran dilakukan secara sederhana yakni dengan melakukan proses pembakaran arang ditungku dimana proses penghembusan udaranya menggunakan bambu atau pipa panjang. Material yang ditempa umumnya dari bahan loyang, perunggu yakni campuran bahan kuningan, tembaga dan seng. Warna tampilan bahan ini mengarah kekuning-kuningan mengkilat atau kuning emas. Dimensi material yang dibentuk mempunyai bentuk lempengan atau mendekati lembaran juga ada yang membentuk profil-profil tertentu. Bentuk material ini disesuaikan dengan bentuk-bentuk profil yang akan dibentuk. Perkembangan teknologi pembentukan logam ini ditandai dengan ditemukannya proses pembentukan dengan menggunakan alat-alat pembentuk dengan menggunakan penekan sistem hidrolik, juga menggunakan landasan, *punch*, *swage*, *dies* sebagai alat bantu untuk membentuk profil-profil yang diinginkan. Jika pada awalnya proses pembentukan dilakukan secara manual di atas landasan-landasan pembentuk dengan menggunakan palu, maka sekarang ini proses pembentukan dilakukan dengan berbagai macam metode.

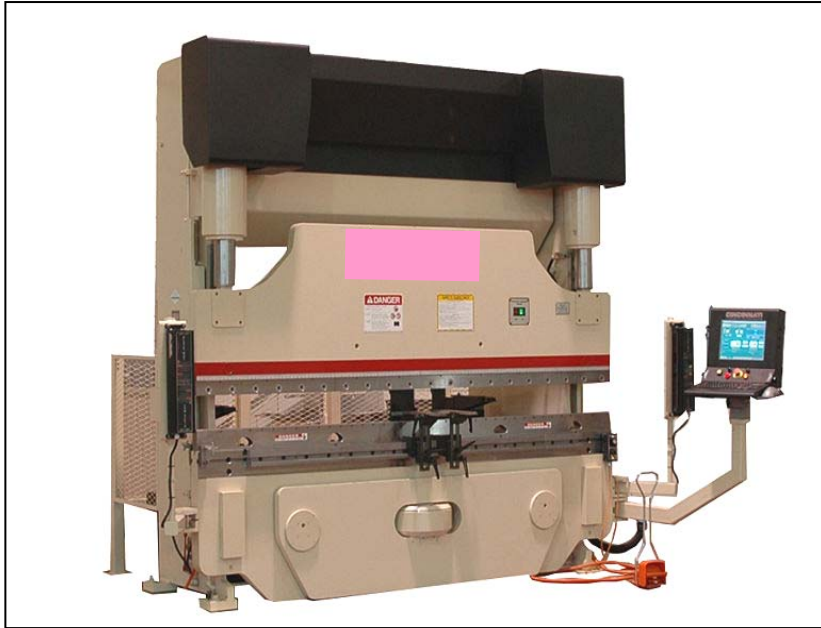
Metode yang digunakan pada proses pembentukan logam diantaranya adalah proses *bending* atau penekukan, *squeezing*, *rolling*, *spinning*, *deed drawing*, *stretching*, *crumpling*, *blanking*, *press* dan sebagainya. Setiap proses memiliki kemampuan pembentukan tersendiri, misalnya untuk proses *bending*. Proses ini mampu menekuk pelat secara lurus dan rapi yang digunakan untuk peralatan perkantoran seperti *file cabinet*, *locker*, lemari data dan sebagainya. Proses pengerolan pelat juga sangat banyak digunakan untuk pembuatan-pembuatan pipa, tangki-tangki, bejana bertekanan seperti ketel atau boiler dan lain-lain. Produk pengerolan ini juga dapat dilakukan secara manual maupun dengan motor control. Penggerak dengan motor kontrol ini memudahkan dalam proses pengerolan, khususnya pengerolan pelat-pelat tebal dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

Perkembangan yang sangat pesat juga terjadi pada proses pembentukan dengan tekanan atau *press*. Proses *press* ini dilakukan dengan menggunakan tenaga hidrolik dengan menggunakan *swage* atau cetakan dengan penekan karet (*rubber*) pembentuk. Proses ini dapat dilakukan dalam keadaan dingin, khususnya untuk pengerjaan pembentukan pelat-pelat tipis. Hasil dari produk *press* ini dapat membentuk profil-profil yang sulit, dengan bentuk yang dihasilkan tanpa cacat. Proses tekanan (*press*) hidrolik ini banyak digunakan untuk pembentukan bodi-bodi mobil dengan istilah sekarang *full press body*. Pelat-pelat lembaran yang mengalami pekerjaan pembentukan ini seperti tekan menghasilkan pelat menjadi lebih kaku (*rigid*).

Produk pelat yang dihasilkan juga mengalami perkembangan yang pesat. Hal ini semenjak ditemukannya proses pengerolan pelat yang menghasilkan produk pelat yang mempunyai sifat mampu bentuk, mampu mesin dan mampu las. Produk pelat yang dihasilkan dari proses pengerolan secara bertingkat ini mempunyai bentuk struktur mikro yang memanjang dan pipih, sehingga pelat hasil pengerolan ini mempunyai sifat *elastis* atau lentur yang baik untuk dilakukan proses pembentukan. Pelat lembaran yang berkualitas mempunyai karakteristik sifat mampu bentuk yang baik. Sifat ini terlihat jika pelat mengalami proses pembentukan sisi pelat yang mengalami peregangan tidak menimbulkan keretakan. Retak ini dapat menyebabkan terjadinya kerusakan atau robek pada komponen pelat yang terbentuk.

Karakteristik sifat mampu las juga dapat diperlihatkan apabila pelat tersebut mengalami proses pengelasan tidak terjadi retak atau *crack* pada daerah transisi. Daerah transisi ini merupakan daerah yang rentan terhadap kerusakan sebab daerah ini merupakan daerah yang mengalami perubahan panas dan dingin. Istilah teknologi pengelasannya adalah *Heat Affect Zone* (HAZ). Pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk mengalami perubahan yang tak menentu. Akibat perubahan struktur mikro ini, terjadi perubahan sifat mekanik dari bahan pelat tersebut.

Perubahan sifat mekanik ini, terjadi khususnya pada sifat kekerasan dan tegangan luluhnya. Produk bahan pelat yang dihasilkan tidak hanya diproduksi untuk keperluan pembentukannya saja tetapi produk-produk pelat yang digunakan untuk keperluan khusus juga dapat dihasilkan. Produk pelat untuk keperluan khusus ini biasanya untuk keperluan militer juga ada yang digunakan untuk keperluan perbankan. Produk pelat untuk keperluan militer ini dapat dilihat dari pembuatan tank baja yang digunakan untuk keperluan perang. Tank Baja yang dihasilkan ini mempunyai karakteristik anti peluru, sehingga bahan pelat yang digunakan harus tahan terhadap berbagai macam tembakan senjata. Rompi anti peluru yang digunakan oleh aparat keamanan juga dilapisi dengan bahan pelat anti peluru. Bahan pelat anti peluru yang digunakan untuk melapisi bagian dada atau depan ini mempunyai tebal yang sangat tipis jika dibandingkan dengan pelat yang digunakan untuk Tank Baja. Walaupun keduanya digunakan untuk anti peluru. Brankas yang digunakan untuk penyimpanan uang dan benda-benda berharga di perbankan juga di produk dengan karakteristik khusus. Bahkan brankas ini dirancang dengan membuat lapisan yang terdiri atas berbagai macam jenis bahan yang digunakan untuk brankas tersebut. Brankas ini tidak hanya tahan terhadap peluru tetapi dibakarpun dengan temperatur tinggi tidak berpengaruh terhadap isi brankas tersebut.



Gambar 1.2. Mesin *Bending* dengan Program NC

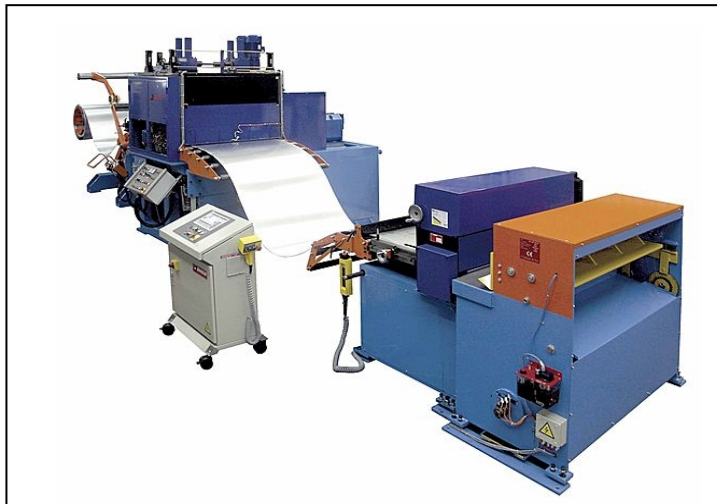
Dewasa ini perkembangan teknologi pembentukan pelat mengalami perkembangan yang sangat pesat. Hal ini terlihat dari dalam kehidupan sehari-hari, khususnya yang berdampak dengan kita adalah alat transportasi. Alat transportasi, seperti kereta api, mobil, kapal laut, pesawat terbang, dan bodi kendaraan merupakan hasil produk dari pembentukan pelat. Teknologi pembentukan pelat tidak hanya dilakukan dengan menggunakan peralatan sederhana tetapi sejak ditemukannya teknologi produksi yang menggunakan program komputer seperti *CNC (Computer Numerical Control)* sangat membantu dalam proses produksi.

Pada gambar 1.2 terlihat mesin penekuk (*bending machine hydraulic*) pelat dengan tekanan sistem hidraulik. Proses pembengkokan pelat ini menggunakan tenaga hidraulik yang berfungsi menekan dies pembengkok. Pelat diletakkan di atas landasan sesuai dengan posisi bagian pelat yang akan dibengkokkan. Prinsip kerja alat ini dapat dikontrol dengan pemrograman sesuai dengan bentuk-bentuk *bending* yang diinginkan.

Proses produksi dengan sistem hidraulik dan pemrograman komputer ini terlihat dari hasil produk yang dikerjakan memiliki ketelitian tinggi serta

tingkat sifat mampu tukar (*interchange ability*) yang tinggi. Produksi dengan sistem komputer ini sangat menguntungkan untuk jumlah produksi yang besar. Jika dibandingkan produksi secara manual, tingkat ketelitian dan mampu tukarnya dari pekerjaan manual ini rendah. Kondisi ini sangat tidak menguntungkan pada jumlah produksi yang besar, sebab ini akan menambah waktu dan biaya pekerjaan. Hasil produksi pembentukan pelat secara manual ini akan menjadi lebih mahal. Harga mahal ini menjadi rendahnya daya saing harga apalagi jika dibandingkan dengan penggunaan bahan plastik.

Bahan plastik sudah mulai banyak menggeser penggunaan bahan yang menggunakan bahan dasar pelat atau bahan logam. Tetapi untuk beberapa komponen tertentu ini masih didominasi bahan yang menggunakan bahan dasar pelat logam. Bahan dasar logam ini mempunyai keuntungan yang lebih baik jika dibandingkan dengan bahan plastik, khususnya untuk penggunaan pada kondisi-kondisi tertentu. Sifat bahan logam yang tidak bisa digantikan oleh bahan plastik ini diantaranya bahan logam ini memiliki sifat mekanik yang lebih baik seperti kekerasan, *impact* (tumbukan), tegangan tarik, dan *modulus elastisitas*. Dibandingkan dari sifat-sifat fisis bahan logam memiliki titik lebur yang lebih tinggi, bahan ini menjadi lebih tahan panas dibandingkan dengan plastik.



Gambar 1.3. Mesin *Blanking* dengan Sistem Program NC

Kemampuan untuk menghasilkan berbagai bentuk lembaran pelat datar dengan laju produksi yang tinggi merupakan salah satu perkembangan teknologi pembentukan pelat. Laju produksi yang tinggi ini ditengarai dengan penemuan sistem pembentukan logam secara mekanis dan hidrolis.

Proses pembentukan dengan sistem ini dipicu oleh tuntutan dunia industri pada penggunaan bahan-bahan pelat untuk berbagai komponen permesinan. Namun demikian, metode kuno pada proses pembentukan pelat dengan tangan tidak dapat ditinggalkan begitu saja, karena pada proses pembentukan masih ada beberapa bagian pembentukan yang belum sempurna. Pada saat ini proses lanjutan atau *finishing* komponen masih dilakukan dengan tangan secara manual.

Pada prinsipnya suatu bentuk yang dihasilkan dari bahan lembaran pelat datar dengan cara penarikan atau perentangan dan penyusutan dimensi elemen volume pada tiga arah utama yang tegak lurus terhadap satu dengan yang lainnya.

Bentuk-bentuk yang diperoleh dari hasil pembentukan pelat ini merupakan penggabungan antara proses perentangan dengan penyusutan. Proses perentangan dan penyusutan ini memberikan perubahan terhadap ketebalan pelat lembaran yang dibentuk.

Pada proses pembentukan ini terjadi proses pengerasan regang. Artinya kekerasan bahan akan meningkat setelah adanya proses peregangan. Apabila proses ini diabaikan, kemungkinan cacat dari hasil pembentukan besar terjadi. Cacat-cacat pada proses pembentukan ini diantaranya adalah terjadinya pengeriputan antara proses peregangan dan penyusutan komponen yang tidak seimbang.

Akibat proses peregangan yang besar dapat terjadi robek pada bagian-bagian komponen yang mengalami penarikan secara berlebihan.

B. Ruang Lingkup

Teknik fabrikasi logam ini membahas tentang berbagai macam proses pembentukan logam-logam menjadi komponen-komponen permesinan. Proses pengerjaan dilakukan baik dalam keadaan panas (pengerjaan panas) dan pada temperatur ruang (pengerjaan dingin). Teknik dan prosedur pembentukan dilakukan dengan berbagai macam metode fabrikasi pembentukan baik pada arah dua dimensi dan tiga dimensi.

1. Mengetahui Dasar Teknik Pembentukan dan Pengecoran Logam

❖ Dasar Teknik Pembentukan

Teknik pembentukan logam merupakan proses yang dilakukan dengan cara memberikan perubahan bentuk pada benda kerja. Perubahan bentuk ini dapat dilakukan dengan cara memberikan gaya luar sehingga terjadi deformasi plastis. Aplikasi pembentukan logam ini dapat dilihat pada beberapa proses seperti pengerolan (*rolling*), pembengkokan (*bending*), tempa (*forging*), ekstrusi (*extruding*), dan penarikan kawat (*wire drawing*), penarikan dalam (*deep drawing*).

Tahapan yang dilakukan dalam proses pembentukan untuk suatu konstruksi ini meliputi hal-hal berikut ini.

1. Mendesain alat sesuai dengan fungsi dan kegunaannya.
2. Menganalisis konstruksi pelat terhadap pembebanan.
3. Membuat gambar desain.
4. Menentukan jenis bahan pelat.
5. Menentukan metode penyambungan dan penguatan.
6. Menentukan metode perakitan.
7. Membuat gambar kerja konstruksi alat.
8. Membuat gambar bentangan
9. Melakukan pemotongan awal (*pre cutting*).
10. Melakukan pemotongan bahan pelat.
11. Melakukan proses pembentukan.
12. Menentukan alat bantu atau model.
13. Metode perakitan.
14. Pengukuran dimensi konstruksi.
15. Uji coba konstruksi.
16. *Finishing*.

Teknologi pembentukan dewasa ini banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Konstruksi ini biasanya dibedakan berdasarkan dimensi pembentukan yang diinginkan.

❖ Dasar Pengecoran Logam

Proses Pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dengan cara logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Pengecoran juga dapat diartikan

sebagai suatu proses manufaktur dengan menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian-bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi.

Proses pengecoran sendiri dibedakan menjadi dua macam, yaitu *traditional casting* (tradisional) dan *non-traditional* (non-tradisional).

Teknik tradisional terdiri atas:

1. *Sand-Mold Casting*
2. *Dry-Sand Casting*
3. *Shell-Mold Casting*
4. *Full-Mold Casting*
5. *Cement-Mold Casting*
6. *Vacuum-Mold Casting*

Teknik non-tradisional terbagi atas:

1. *High-Pressure Die Casting*
2. *Permanent-Mold Casting*
3. *Centrifugal Casting*
4. *Plaster-Mold Casting*
5. *Investment Casting*
6. *Solid-Ceramic Casting*

Ada 4 faktor yang berpengaruh yang merupakan ciri dari proses pengecoran, yaitu berikut ini.

1. Adanya aliran logam cair ke dalam rongga cetak.
2. Terjadi perpindahan panas selama pembekuan dan pendinginan dari logam dalam cetakan.
3. Pengaruh material cetakan.
4. Pembekuan logam dari kondisi cair.

Klasifikasi pengecoran berdasarkan umur dari cetakan. Ada pengecoran dengan sekali pakai (*expendable mold*) dan ada pengecoran dengan cetakan permanent (*permanent mold*). Cetakan pasir termasuk dalam *expendable mold*, karena hanya bisa digunakan satu kali pengecoran saja. Setelah itu, cetakan tersebut rusak pada saat pengambilan benda coran.

Dalam pembuatan cetakan, jenis-jenis pasir yang digunakan adalah pasir silika, pasir zircon atau pasir hijau. Perikat antar butir-butir pasir dapat digunakan bentonit, resin, furan atau air gelas.

Secara umum cetakan harus memiliki bagian-bagian utama sebagai berikut ini.

- *Cavity* (rongga cetakan), merupakan ruangan tempat logam cair yang dituangkan ke dalam cetakan. Bentuk rongga ini sama dengan benda kerja yang akan dicor. Rongga cetakan dibuat dengan menggunakan pola.
- *Core* (inti), fungsinya adalah membuat rongga pada benda coran. Inti dibuat terpisah dengan cetakan dan dirakit pada saat cetakan akan digunakan.
- *Gating sistem* (sistem saluran masuk), merupakan saluran masuk ke rongga cetakan dari saluran turun.
- *Sprue* (Saluran turun), merupakan saluran masuk dari luar dengan posisi vertikal. Saluran ini juga dapat lebih dari satu, tergantung kecepatan penuangan yang diinginkan.
- *Pouring basin*, merupakan lekukan pada cetakan yang fungsi utamanya adalah untuk mengurangi kecepatan logam cair masuk langsung dari *ladle* ke *sprue*. Kecepatan aliran logam yang tinggi dapat terjadi erosi pada *sprue* dan terbawanya kotoran-kotoran logam cair yang berasal dari tungku ke rongga cetakan.
- *Raiser* (penambah), merupakan cadangan logam cair yang berguna dalam mengisi kembali rongga cetakan bila terjadi penyusutan akibat solidifikasi.

Logam-logam yang dapat digunakan untuk melakukan proses pengecoran yaitu: besi cor, besi cor putih, besi cor kelabu, besi cor maliabel, besi cor nodular, baja cor dan lain-lain. Peleburan logam merupakan aspek terpenting dalam operasi-operasi pengecoran karena berpengaruh langsung pada kualitas produk cor. Pada proses peleburan, mula-mula muatan yang terdiri atas logam, unsur-unsur paduan dan material lainnya seperti *fluks* dan *unsur pembentuk terak* dimasukkan ke dalam tungku.

Fluks adalah senyawa *inorganic* yang dapat “membersihkan” logam cair dengan menghilangkan gas-gas yang ikut terlarut dan juga unsur-unsur pengotor (*impurities*). Fluks memiliki beberapa kegunaan yang tergantung pada logam yang dicairkan, seperti pada paduan aluminium terdapat *cover fluxes* (yang

menghalangi oksidasi dipermukaan alumunium cair), *cleaning fluxes*, *drossing fluxes*, *refining fluxes*, dan *wall cleaning fluxes*. Tungku-tungku peleburan yang biasa digunakan dalam industri pengecoran logam adalah tungku busur listrik, tungku induksi, tungku krusibel, dan tungku kupola.

2. Konsep Dasar Tegangan dan Regangan

Proses pembentukan secara metalurgi merupakan proses deformasi plastis. Deformasi plastis artinya bahan mengalami pembebanan sewaktu terjadinya proses pembentukan, setelah beban dilepaskan, diharapkan pelat tidak kembali kekeadaan semula. Bahan yang mengalami proses pembentukan ini mengalami peregangan atau penyusutan. Terbentuknya bahan inilah yang dikatakan sebagai deformasi plastis. Kondisi proses pembentukan dengan deformasi plastis ini mendekati teori pembentukan dengan Teori Plastisitas.

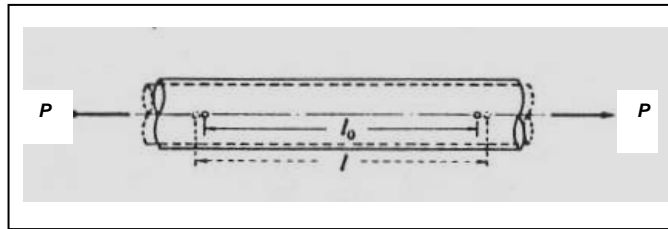
Teori Plastisitas membahas perilaku bahan pada kondisi regangan, dan pada kondisi tersebut Hukum Hook tidak berlaku lagi. Aspek-aspek deformasi plastis membuat formulasi matematis teori plastisitas lebih sulit daripada perilaku benda pada elastis.

Pada hasil uji tarik sebuah benda uji menunjukkan grafik tegangan regangan yang terbentuk terdiri atas komponen elastis yang ditunjukkan pada garis linear dan kondisi plastis ditunjukkan pada garis parabola sampai mendekati putus. Deformasi elastis tergantung pada keadaan awal dan akhir tegangan serta regangan. Regangan plastis tergantung pada jalannya pembebanan yang menyebabkan tercapainya keadaan akhir. Gejala pengerasan regang (*strain hardening*) sewaktu pelat mengalami proses pembentukan sulit diteliti dengan pendekatan teori plastisitas ini.

Bahan anisotropi plastis, histeristis plastis dan efek Bauschinger tidak dapat dibahas dengan mudah oleh teori plastisitas.

Teori plastisitas telah menjadi salah satu bidang mekanika quantum yang paling berkembang, dan suatu kemajuan untuk mengembangkan suatu teori dalam rekayasa yang penting. Analisis regangan plastis diperlukan dalam

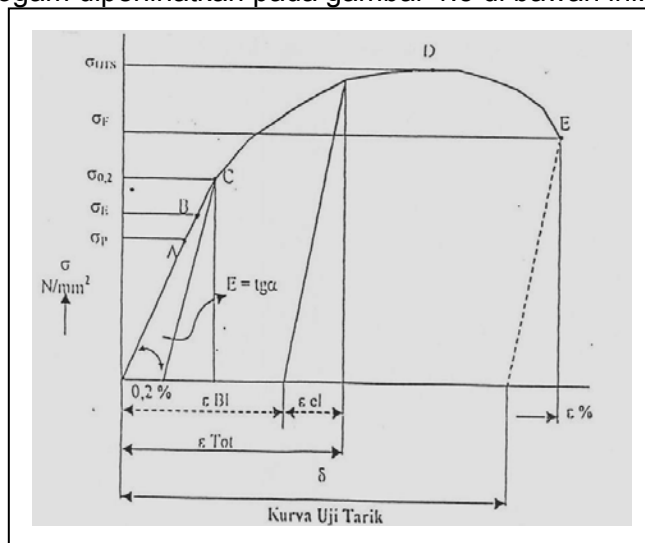
menangani proses pembentukan logam. Teori plastisitas ini didasari atas pengujian tarik. Pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu bahan.



Gambar 1.4. Sebuah benda diberi gaya tarik

Prinsip dasar pengujian tarik yang dilakukan adalah dengan melakukan penarikan terhadap suatu bahan sampai bahan tersebut putus/patah. Gaya tarik yang dikenakan pada spesimen benda uji sejajar dengan garis sumbu spesimen (bahan uji) dan tegak lurus terhadap penampang spesimen. Spesimen dibuat dengan standar dimensi yang sudah ditentukan menurut BS, ISO, ASTM dan sebagainya. Sebelum dan sesudah melakukan pengujian terhadap benda uji ini biasanya semua dimensi dari benda uji dianalisis lebih lanjut.

Pengujian tarik merupakan pengujian terpenting dalam pengujian statis. Secara skematis hasil pengujian tarik untuk logam diperlihatkan pada gambar 1.5 di bawah ini.



Gambar 1.5. Grafik Tegangan Regangan (Sardia & Kenji, 1984)

Hasil pengujian tarik ini diperlihatkan pada gambar grafik tegangan regangan. Grafik tegangan regangan merupakan gambaran karakteristik suatu bahan yang mengalami tarikan. Grafik tegangan regangan ini dapat memberikan acuan pada seorang perencana dalam menentukan dimensi komponen mesin yang akan digunakan. Jika komponen mesin yang akan digunakan untuk beban tidak boleh melebihi batas luluhnya, tegangan yang diizinkan tidak boleh melebihi batas proporsionalnya pada saat terjadinya mulur/luluh. Batas proporsional ini disebut juga dengan batas elastisitas. Artinya, apabila spesimen ditarik akan terjadi pertambahan panjang, jika beban dilepaskan pada batas elastisitas ini spesimen akan kembali ke keadaan semula. Pada batas proporsional atau batas elastis berlaku hukum Hooke:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ atau } \frac{\delta L}{L_0} = \frac{F}{E \cdot A_0}$$

dimana:

E = Modulus elastisitas yang merupakan konstanta bahan

ε = Regangan

σ = Tegangan

δL = Pertambahan panjang material

L_0 = Panjang mula-mula dari material

F = Beban tarik

A_0 = Luas penampang awal material

Untuk menghitung tegangan (σ) dan regangan (ε) digunakan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ dan } \varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \times 100\%$$

dimana:

F = gaya (Newton)

A_0 = luas penampang awal (m^2)

L_0 = panjang mula-mula (m)

δL = perpanjangan (m)

Reduksi penampang dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100\%$$

dimana:

Q = reduksi penampang dalam persen

A_0 = luas penampang awal

A_f = luas penampang

Apabila deformasi terjadi memanjang, terjadi pula deformasi penyusutan yang melintang. Kalau regangan melintang (*lateral strain*) ϵ_r perbandingannya dengan ϵ (*linear strain*); disebut perbandingan Poisson, dinyatakan dengan μ ,

$$\mu = \epsilon_r / \epsilon \quad (\text{Dieter, 1986})$$

Dalam kenyataan, harga μ bagi bahan berkrystal seperti logam kira-kira 1/3, dapat ditentukan dengan perhitungan terperinci dari hubungan antara konfigurasi atom dan arah tegangan.

Apabila batang uji menerima deformasi elastis karena tarikan, volumenya menjadi $V_t = V + \Delta V$, dimana ΔV adalah pertambahan volume akibat spesimen mengalami tarikan.

Perbandingan pertambahan volume dengan volume awal yakni $\Delta V/V$ disebut juga dengan regangan volume (*volumetric strain*).

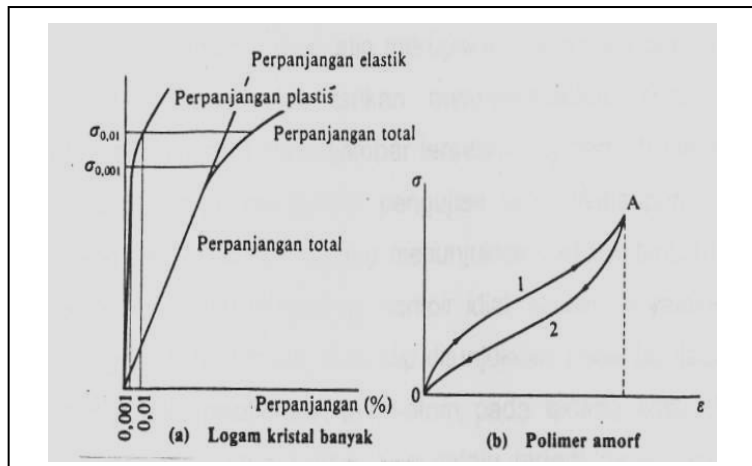
Perbandingan tegangan dengan regangan volume disebut *Modulus elastisitas Bulk* (Dieter, 1986).

Modulus elastik Bulk (K) Jika $\epsilon_v = 1/3$ maka $K = \epsilon / 3$ yang artinya dalam deformasi elastik volume mengembang. Dalam hal geseran, regangan γ mempunyai hubungan dengan tegangan geser τ yaitu: $\tau = G \times \gamma$ (Dieter, 1986), G disebut sebagai modulus geser (*modulus of rigidity*).

Gambar grafik tegangan dan regangan memperlihatkan bahwa sesudah garis linear muncul daerah luluh dan selanjutnya garis membentuk lengkungan sampai putus. Garis melengkung ini merupakan fungsi dari Modulus elastisitas Bulk yang digunakan pada prinsip pembentukan.

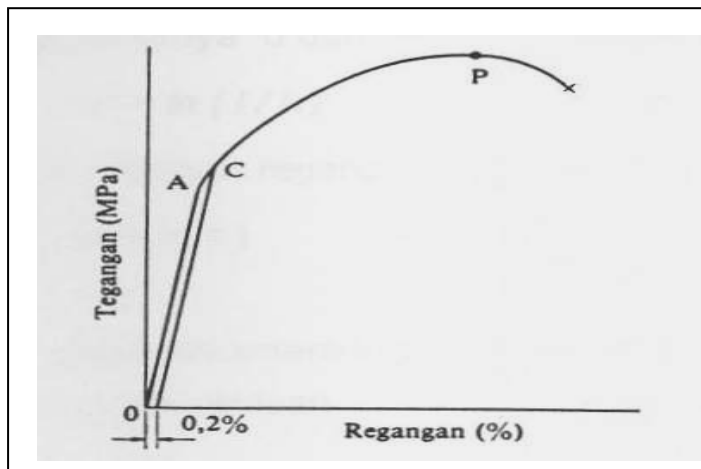
Suatu modulus elastis ditentukan oleh gaya antar atom. Karena itu, dalam hal kristal tunggal sangat dipengaruhi oleh arah konfigurasi atom tetapi sukar dipengaruhi oleh cacat dan ketakmurnian.

Kalau dilihat hanya dari antar aksi dua atom logam, diameter rata-rata dari atom kira-kira 3×10^{-10} m dan gaya antar atom biasanya 10^{-4} N, $10^{-4} / (3 \times 10^{-10})^2 = 10^{15}$ N/m², seharusnya dalam orde 100 GPa.



Gambar 1.6. Kurva Tegangan dan Regangan di Daerah Elastik (Dieter,1986)

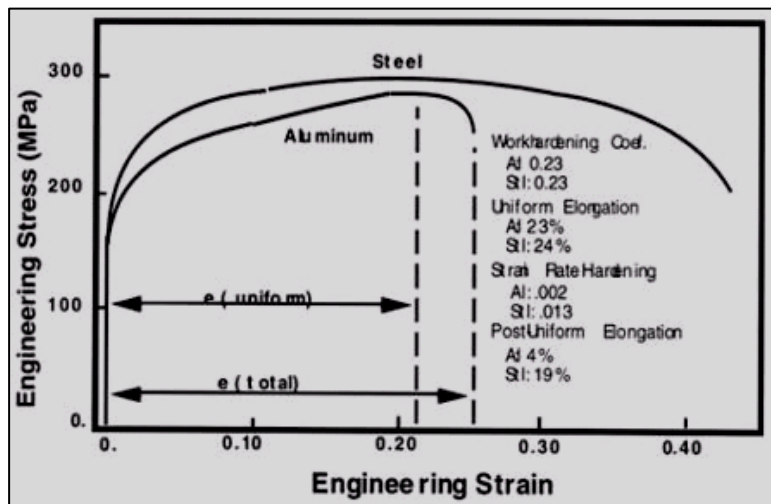
Gambar di atas menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan dalam daerah elastik dengan menggunakan karet sebagai model dari bahan amorf dan logam polikristal sebagai model dari bahan berkrystal. Pada logam, daerah elastik dinyatakan oleh bagian lurus dari hubungan tersebut dan gradiennya sebagai modulus elastik. Secara teknik batas daerah tersebut ditentukan oleh regangan sisa apabila beban ditiadakan seperti ditunjukkan dalam gambar. Harga ini dinamakan batas elastis.



Gambar 1.7. Hubungan Tegangan-Regangan pada Bahan Mulur Kontinu (Dieter,1986)

Kekuatan mulur didapat pada tegangan yang menyebabkan perpanjangan 0,2%. Bagian lurus kurva atau modulus elastis tidak akan berubah karena ada deformasi plastis. Untuk mendapat tegangan mulur, ukurkan deformasi 0,2% dari titik nol pada sumbu regangan, kemudian tarik garis sejajar dengan bagian kurva yang lurus memotong kurva pada titik C, tinggi titik C menyatakan tegangan mulur. Cara ini dinamakan metode *off set* atau disebut metode tegangan mulur atau tegangan uji 0,2%. Kalau bahan dideformasikan pada temperatur sangat rendah dibandingkan dengan titik cairnya, pengerasan terjadi mengikuti deformasinya. Gejala ini dinamakan *pengerasan regangan* atau pengerasan kerja.

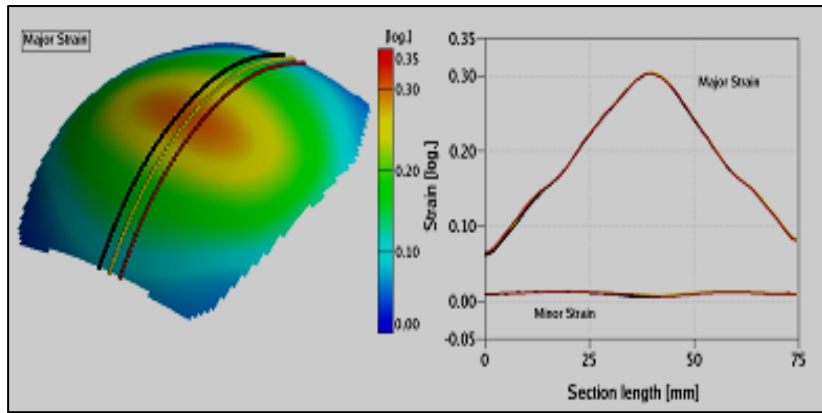
Pengerasan regangan terjadi selama pengujian tarik, dan karena regangan bertambah, kekuatan mulur, kekuatan tarik dan kekerasannya meningkat, sedangkan hantaran listrik dan masa jenisnya menurun. Kristal logam mempunyai kekhasan dalam keliatan yang lebih besar dan pengerasan regangan yang luar biasa. Sebagai contoh, kekuatan mulur baja lunak sekitar 180 MPa, yang dapat ditingkatkan sampai kira-kira 900 MPa oleh pengerasan regangan. Hal ini merupakan sesuatu yang berguna.



Gambar 1.8. Grafik Tegangan Regangan Baja dan Alluminium

Grafik Tegangan dan regangan (gambar 1.9) menunjukkan bahwa baja mempunyai regangan yang lebih besar 40 % dibandingkan dengan aluminium 25 %. Tegangan yang

tergambar memperlihatkan bahwa tegangan baja 300 Mpa juga lebih besar jika dibandingkan dengan aluminium di bawah 300 Mpa.



Gambar 1.9. Hasil Penelitian pada Proses Pembentukan

Hasil penelitian ditunjukkan pada grafik di atas dengan membedakan warna menunjukkan besarnya regangan yang terjadi pada proses pembentukan plat menjadi bentuk mangkuk. Warna merah menggambarkan nilai regangan maksimum.

3. Mengenal Dasar Gaya Geser dan Bengkokan

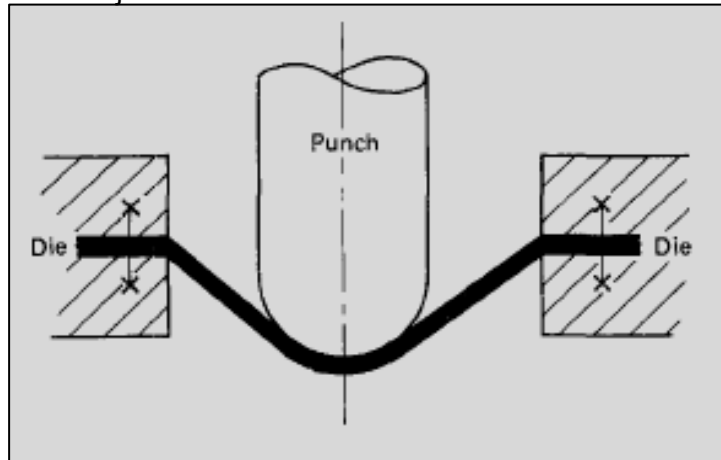
Pengaruh sebuah gaya pada sebuah benda dapat menyebabkan kecenderungan untuk menggerakkan benda (tarik, tekan) dan memutar benda (rotasi). Kecenderungan untuk memutar tersebut merupakan pengaruh gaya terhadap benda ditinjau dari titik tertentu atau titik perputaran yang letaknya pada benda di luar garis gaya tersebut. Pengaruh putaran ini disebut momen yang besarnya ditentukan oleh besar gaya dan lengan momen.

Jika sejumlah gaya bekerja pada suatu gelagar (*beam*) yang mendapat tumpuan setiap ujungnya gaya akan menyebabkan terjadinya bengkokan. Momen yang timbul disebut momen bengkok. Besarnya momen bengkok dapat dihitung dengan rumus:

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{\rho}$$

dimana:

- M = Momen bengkok
 σ = Tegangan bengkok
 I = Momen inersia
 E = Modulus elastisitas
 y = jarak maksimum dari sumbu
 r = Jari-jari



Gambar 1. 10. Aplikasi Teori Bengkok pada Pembentukan Plat

Jika y merupakan jarak maksimum dari sumbu, maka I dibagi y adalah modulus penampang Z , sehingga tegangan maksimum pada penampang diperoleh:

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$M = \sigma Z$$

Dengan demikian, momen bengkok (M) dari suatu penampang sama dengan tegangan maksimum yang diizinkan dikalikan dengan modulus penampang (Z).

C. Rangkuman

Proses pembentukan logam untuk berbagai macam peralatan dikerjakan oleh para ahli logam yang mempunyai keterampilan khusus. Proses pembentukan untuk bentuk-bentuk profil dilakukan

seluruhnya dengan menggunakan keahlian tangan. Peralatan bantu yang digunakan meliputi berbagai macam bentuk palu, landasan-landasan pembentuk serta model-model cetakan sederhana. Dewasa ini, proses pembentukan sudah berkembang seiring perkembangan teknologi. Perkembangan teknologi pembentukan logam ini ditandai dengan ditemukannya proses pembentukan dengan menggunakan alat-alat pembentuk dengan menggunakan penekan sistem hidrolik, juga menggunakan landasan, *punch*, *swage*, *dies* sebagai alat bantu untuk membentuk profil-profil yang diinginkan. Metoda yang digunakan pada proses pembentukan logam di antaranya adalah proses *bending* atau penekukan, *squeezing*, *rolling*, *spinning*, *deep drawing*, *stretching*, *crumpling*, *blanking* dan *press*.

Ruang lingkup yang harus dipelajari dalam teknik pembentukan ini adalah berikut ini.

- Mengetahui Dasar Teknik Fabrikasi Logam khusus pada Proses Pembentukan dan Pengecoran.
 - Dasar Teknik Fabrikasi Logam
Teknik pembentukan *logam* merupakan proses yang dilakukan dengan cara memberikan perubahan bentuk pada benda kerja. Aplikasi pembentukan logam ini dapat dilihat pada beberapa contohnya seperti pengerolan (*rolling*), pembengkokan (*bending*), tempa (*forging*), penekanan (*squeezing*), ekstrusi (*extruding*), penarikan kawat (*wire drawing*), penarikan dalam (*deep drawing*), dan pemutaran (*spinning*).
 - Dasar Teknik Pengecoran
Proses Pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dengan mencairkan logam dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Proses pengecoran sendiri dibedakan menjadi dua macam, yaitu *traditional casting* (tradisional) dan *non-traditional/contemporary casting* (non-tradisional).
- Mengetahui Dasar Tegangan dan Regangan

Proses pembentukan secara metalurgi merupakan proses deformasi plastis. Deformasi plastis ini artinya adalah apabila bahan mengalami pembebanan sewaktu terjadinya proses pembentukan, dan setelah beban dilepaskan, diharapkan pelat

tidak kembali kekeadaan semula. Proses perubahan bentuk inilah yang menyebabkan terjadinya deformasi plastis. Deformasi plastis yang dialami oleh logam akan membentuk sesuai dengan yang diinginkan.

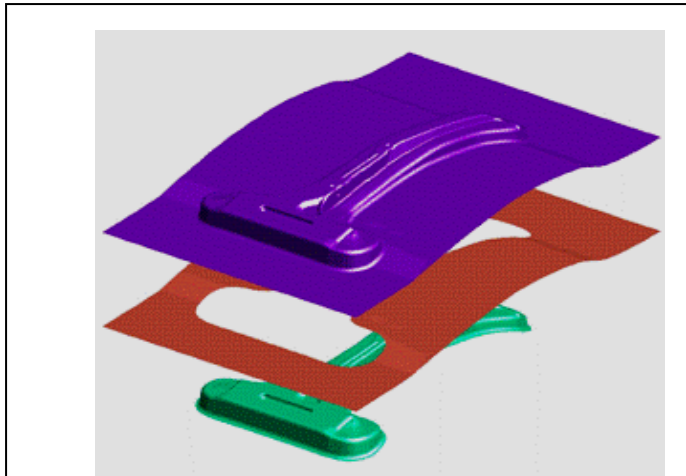
Bahan yang mengalami proses pembentukan ini mengalami peregangan atau penyusutan. Benda dikatakan mencapai kesetimbangan jika benda tersebut dalam keadaan diam/statis atau dalam keadaan bergerak beraturan/dinamis.

- Mengenal Dasar Gaya Geser dan Bengkokan

Pengaruh sebuah gaya pada sebuah benda dapat menyebabkan kecenderungan untuk menggerakkan benda (tarik, tekan) dan memutar benda (rotasi). Kecenderungan untuk memutar tersebut merupakan pengaruh gaya terhadap benda yang ditinjau dari titik tertentu atau titik perputaran yang letaknya pada benda di luar garis gaya tersebut. Pengaruh putaran ini disebut momen yang besarnya ditentukan oleh besar gaya dan dengan momen.

BAB II

PROSES FABRIKASI LOGAM

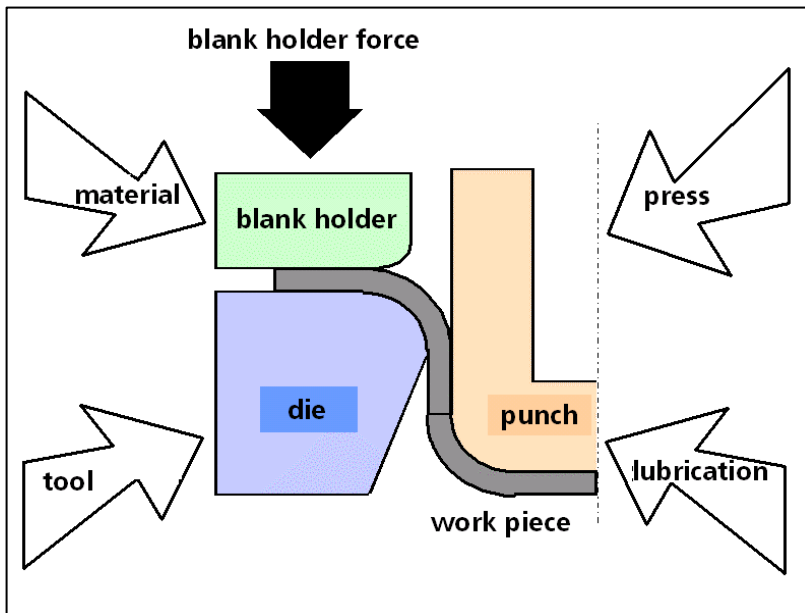


A. Pendahuluan

Prinsip dasar fabrikasi *logam* merupakan proses yang dilakukan dengan cara memberikan perubahan bentuk pada benda kerja. Perubahan bentuk ini dapat dilakukan dengan cara memberikan gaya luar sehingga terjadi deformasi plastis. Aplikasi pembentukan *logam* ini dapat dilihat pada beberapa contohnya seperti pengerolan (*rolling*), pembengkokan (*bending*), tempa (*forging*), ekstrusi (*extruding*), penarikan kawat (*wire drawing*), dan penarikan dalam (*deep drawing*). Dalam proses pembentukan logam inipun digunakan perkakas (*tooling*) yang fungsinya memberikan gaya terhadap benda kerja, serta mengarahkan perubahan bentuknya. Secara makroskopis, deformasi dapat dilihat sebagai perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan bentuk yang terjadi dapat dibedakan atas *deformasi elastis* dan *deformasi plastis*.

Deformasi elastis adalah perubahan bentuk yang terjadi bila ada gaya yang bekerja, serta akan hilang bila bebannya diiadakan. Dengan kata lain bila beban diiadakan, benda akan kembali ke bentuk dan ukuran semula. Deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang permanen meskipun bebannya dihilangkan, kondisi benda akan tetap berubah bentuknya sesuai dengan bentuk yang dikenakan pada benda tersebut.

Kemampuan untuk menghasilkan berbagai bentuk dari lembaran logam datar dengan laju produksi yang tinggi merupakan kemajuan teknologi pembentukan pelat yang sedang mengalami perkembangan. Perkembangan ini ditandai dengan digunakannya sistem hidrolik sebagai penggerak untuk proses pembentukan. Penggunaan sistem hidrolik sebagai alat penekan atau (*press*) dalam proses pembentukan ini sangat menguntungkan. Keuntungan ini di antaranya adalah sistem hidrolik yang digunakan dapat dengan mudah dikontrol, baik tekanannya maupun langkah-langkah penekan. Sistem hidrolik menggunakan katup-katup kontrol dengan solenoid dan manual. Katup solenoid ini memudahkan sistem hidrolik untuk dikontrol sehingga pemanfaatan untuk proses pembentukan sangat mendukung. Apalagi untuk proses yang digerakkan secara otomatis dan berkelanjutan. Peralihan dari proses pembentukan dengan tangan ke metode produksi besar-besaran menjadi faktor penting dalam meningkatkan standar kehidupan selama periode perkembangan tersebut.



Gambar 2.1 Proses Fabrikasi pada Pembentukan Plat Lembaran

Gambar 2.1 di atas memperlihatkan bahwa proses pembentukan plat lembaran ini terdiri atas 3 (tiga) komponen, yakni penahan bawah (*die*), penahan material saat proses (*blank holder*) atau istilah lain disebut *stopper*, dan penekan (*punch*). Punch bergerak turun menekan atau membentuk plat sesuai dengan bentuk die yang digunakan. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses pembentukan lembaran plat

ini di antaranya: material (*work piece*), alat pembentuk (*tool*), penekan (*press*), dan pelumasan (*lubrication*).

B. Proses Pengerjaan Dingin

Proses pengerjaan dingin (*cold working*) yang merupakan pembentukan *plastis* logam di bawah suhu *rekristalisasi* pada umumnya dilakukan pada suhu kamar, tanpa pemanasan benda kerja. Suhu rekristalisasi yang dimaksud adalah suhu pada saat bahan logam akan mengalami perubahan struktur mikro. Perubahan struktur mikro ini akan mengakibatkan perubahan karakteristik bahan logam tersebut. *Cold working* sangat baik untuk produksi massal, mengingat diperlukannya mesin-mesin yang kuat dan perkakas yang mahal. Produk-produk yang dibuat biasanya harganya sangat rendah. Selain itu, material yang menjadi sampah relatif lebih kecil daripada proses pemesian.

Pada kondisi ini logam yang *dideformasi* mengalami peristiwa pengerasan regangan (*strain-hardening*). Logam akan bersifat makin keras dan makin kuat tetapi makin getas bila mengalami deformasi. Hal ini menyebabkan relatif kecilnya deformasi yang dapat diberikan pada proses pengerjaan dingin. Bila dipaksakan suatu perubahan bentuk yang besar, benda kerja akan retak akibat sifat getasnya.

Proses pengerjaan dingin tetap menempati kedudukan yang khusus dalam rangkaian proses pengerjaan. Langkah deformasi yang awal biasanya adalah pada temperatur tinggi. Misalnya, proses pengerolan panas. Balok *ingot*, *billet* ataupun slab di rol panas menjadi bentuk yang lebih tipis, misalnya pelat. Pada tahapan tersebut deformasi yang dapat diberikan relatif besar. Namun proses pengerolan panas ini tidak dapat dilanjutkan pada pelat yang relatif tipis. Memang mungkin saja suatu gulungan pelat dipanaskan terlebih dahulu pada tungku sampai temperturnya melewati temperatur rekristalisasi. Akan tetapi bila pelat tersebut di rol, temperturnya akan cepat turun sampai di bawah temperatur rekristalisasi. Hal ini disebabkan oleh besarnya panas yang berpindah dari pelat ke sekitarnya. Pelat yang tipis akan lebih cepat mengalami penurunan temperatur dari pada pelat yang tebal.

Proses deformasi yang dilakukan pada benda kerja yang luas permukaannya spesifikasinya besar (luas spesifik adalah luas permukaan dibagi dengan volume) hanyalah proses pengerjaan dingin. Beberapa contohnya adalah proses pembuatan pelat tipis (*sheet*) dengan pengerolan dingin, proses pembuatan kawat dengan proses penarikan kawat (*wire drawing*) serta seluruh proses pembentukan terhadap pelat (*sheet metal forming*).

Keunggulan proses pengerjaan dingin adalah kondisi permukaan benda kerja yang lebih baik daripada yang diproses dengan pengerjaan panas. Hal ini disebabkan karena tidak adanya proses pemanasan yang dapat menimbulkan kerak pada permukaan.

Keunggulan lainnya adalah naiknya kekerasan dan kekuatan logam sebagai akibat pengerjaan dingin. Namun hal ini diikuti oleh suatu kerugian, yaitu makin getasnya logam yang dideformasi dingin.

Sifat-sifat logam dapat diubah dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Perubahan sifat menjadi keras dan getas akibat deformasi dapat dilunakkan dan diuletkan kembali dengan proses anil (*annealing*).

Suatu bentuk dihasilkan dari bahan lembaran datar dengan cara perentangan dan penyusutan dimensi elemen volume pada tiga arah utama yang tegak lurus sesamanya merupakan proses pembentukan logam. Bentuk yang diperoleh merupakan hasil penggabungan dari penyusutan dan perentangan lokal elemen volume tersebut. Usaha yang dilakukan pada pembentukan logam menjadi bentuk tertentu, tergantung pada kontur yang diinginkan.

Kontur komponen logam lembaran dibagi menjadi 5 kategori yaitu berikut ini.

- ❖ Komponen lengkungan tunggal.
- ❖ Komponen flens yang di beri kontur, termasuk komponen dengan *flens* rentang dan *flensut*.
- ❖ Bagian lengkungan.
- ❖ Komponen ceruk dalam, termasuk cawan, kotak-kotak dengan dinding tegak atau miring.
- ❖ Komponen ceruk dangkal, termasuk pinggan, alur (*beaded*), bentuk-bentuk timbul dan bentuk-bentuk berkerut.

Selanjutnya dapat diketahui bahwa berbeda dengan proses deformasi pembentukan benda secara keseluruhan, pembentukan lembaran biasanya dilakukan dalam bidang lembaran itu sendiri oleh tegangan tarik. Gaya tekanan pada bidang lembaran hendaknya dihindari karena ini akan menyebabkan terjadinya pelengkungan, pelipatan dan keriput pada lembaran tadi. Tujuan proses pembentukan secara keseluruhan adalah mengubah tebal atau dimensi lateral benda kerja. Pada proses pembentukan lembaran, susut tebal hendaknya dihindarkan karena dapat terjadi penciutan dan kegagalan.

Perbedaan pokok lainnya ialah bahwa lembaran logam mempunyai rasio luas terhadap tebal yang tinggi.



Gambar 2.2 Hasil Produk Pelat Tapis dan Pelat Tebal untuk Konstruksi Alat Pengolahan Hasil Pertanian dan Turbin Air Skala Kecil

Pada gambar 2.2 di atas diperlihatkan suatu produk yang dihasilkan dari bahan lembaran pelat tipis, yakni alat pengolahan hasil pertanian mesin perontok dan penggiling jagung. Pada gambar di sebelahnya merupakan produk yang dihasilkan dari proses pembentukan lembaran pelat tebal, yaitu rumah turbin. Proses pembentukan logam jika dibandingkan dengan proses-proses lainnya mempunyai kedudukan yang berbeda dari beberapa proses pembentukan logam lainnya.

Pendekatan secara teori teknik pembentukan logam perlu dikaji dari tiga bidang utama, yaitu bidang teknologi proses yang menyangkut geometri dan kondisi serta parameter proses. Bidang mekanika yang diperlukan untuk memperkirakan gaya, daya serta energi pembentukan. Bidang metalurgi yang membahas perubahan-perubahan sifat material akibat proses pembentukan.

Pembahasan pada bab ini lebih dititikberatkan pada bidang pertama dan kedua, yaitu teknik pembentukan pelat yang dikaji melalui bidang geometri dan kondisi serat bidang mekanika, yaitu tentang gaya, daya, dan energi pembentukan. Tujuan proses

pembentukan pelat yang utama adalah mengubah bentuk benda kerja menjadi bentuk yang dikehendaki. Di industri jenis proses pembentukan logam sangat banyak ditemukan. Pengkajian proses-proses pembentukan tersebut diklasifikasikan dengan berbagai cara, yaitu berdasarkan daerah temperatur pengerjaan, berdasarkan jenis gaya pembentukan, berdasarkan bentuk benda kerja, dan berdasarkan tahapan produk. Berdasarkan temperatur pengerjaannya, proses pembentukan dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar, yaitu pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin (*cold working*)

C. Keuntungan Proses Pengerjaan Dingin

Keuntungan dari pembentukan dingin di antaranya:

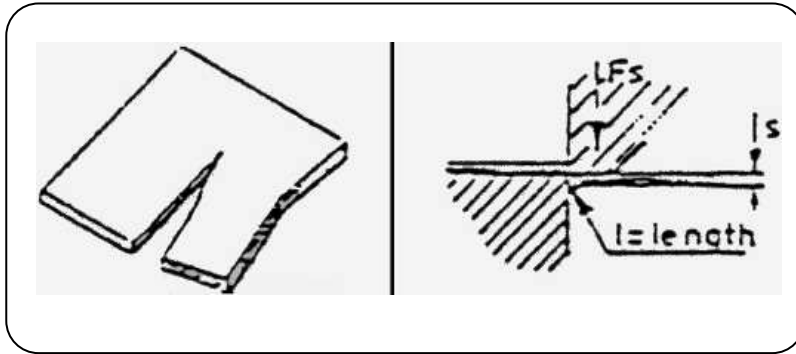
- Tidak dibutuhkan pemanasan.
- Permukaan yang lebih baik.
- Ketelitian yang lebih baik.
- Ukurannya bisa seragam.
- Kekuatan tariknya akan lebih baik dari bahan asalnya.

Alasan terpenting pada pengerjaan pembentukan dengan *cold working* ini, yaitu untuk menghasilkan hasil permukaan dan ketepatan ukuran yang lebih baik dibutuhkan beberapa persiapan spesial yang diberikan pada logam sebelum *proses cold working*. Yang pertama, logam harus bebas dari kerak. Ini untuk menghindari keausan dari perkakas yang digunakan dalam *cold working*. Kerak dihilangkan dengan *pickling* dimana logam dicelupkan ke dalam asam dan kemudian dicuci.

Persiapan kedua, dalam pesannya untuk mendapatkan ukuran tebal pelat yang seseragam mungkin (toleransi kecil) dilakukan proses *cold rolling* ringan, perlakuan ketiga yaitu diberikannya pada logam dengan proses *annealing* ini sesuai keperluan, terutama kalau prosesnya mengadakan deformasi yang besar. Kadang-kadang logam harus dilakukan padanya proses *straightening*, yaitu proses pelurusan dengan rol bila pelat atau kawat yang digunakan kurang lurus.

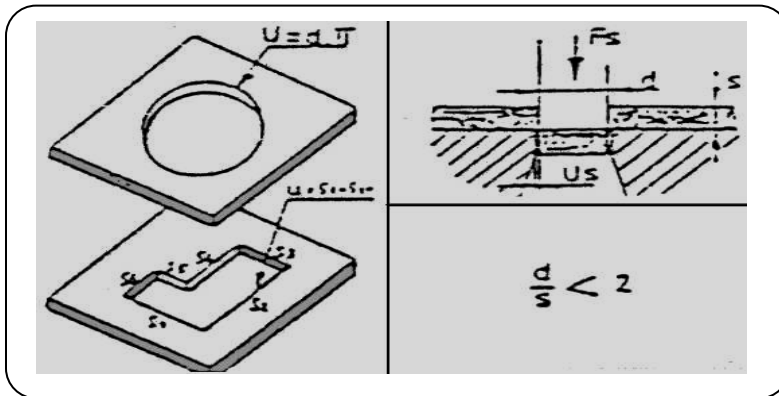
Beberapa contoh proses pembentukan logam untuk pengerjaan dingin dapat dilihat pada gambar berikut. Gambar ini memperlihatkan mulai dari proses pemotongan yang aplikasinya tidak hanya pada proses pemotongan pelat (*pre cutting*) tetapi juga proses ini terjadi pada proses *blanking*. Proses *blanking* ini cukup dikenal di kalangan industri yang berarti penembukan atau

pelubangan. Penembukan sederhana ini dapat dicontohkan pada pembuatan ring pelat untuk pemasangan baut dan mur. Ring pelat yang dihasilkan dari proses blanking ini menggunakan *dies* dan *punch* sesuai dengan bentuk ring pelat yang diinginkan.



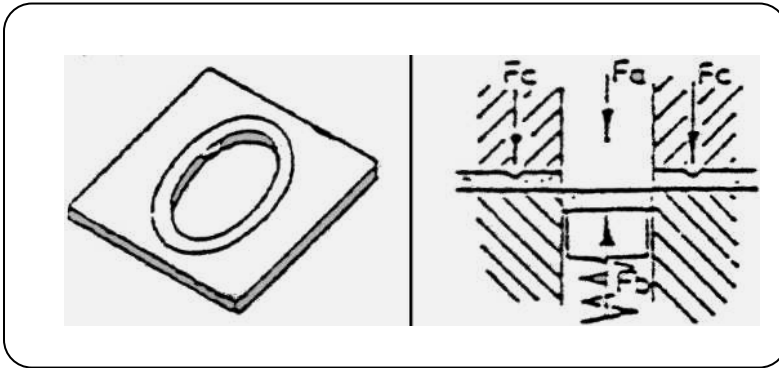
Gambar 2.3. Pemotongan

Gambar 2.3 di atas memperlihatkan proses pemotongan pelat dengan gaya geser, pemotongan ini aplikasinya dapat dilihat pada gunting tangan maupun gunting mesin tenaga hidrolik.



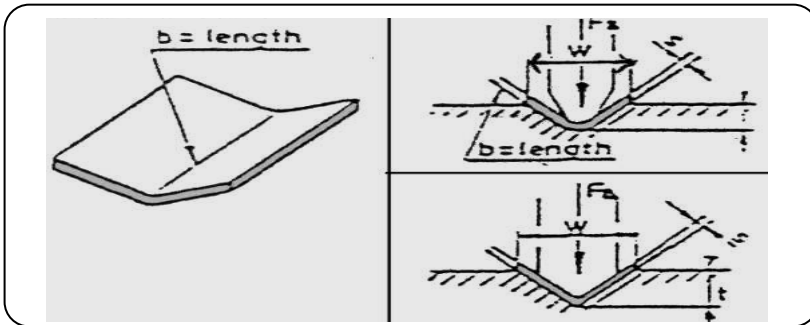
Gambar 2.4. Penembukan

Pada gambar 2.4 merupakan gambar pada proses *blanking* atau penembukan. Penembukan dilakukan dengan menggunakan *punch* dan *dies*.



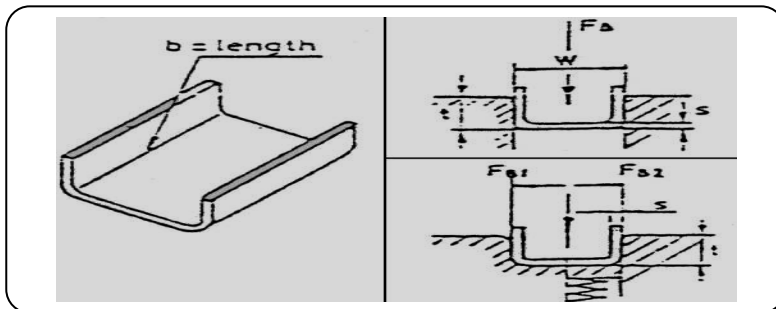
Gambar 2.5. Penembukan dengan Penahan Pegas

Gambar proses *blanking* dengan sistem penembukan lubang melalui penahan pegas pada *dies*. Proses ini menggunakan penekan *stopper* untuk menahan pelat pada saat proses penembukan berlangsung.



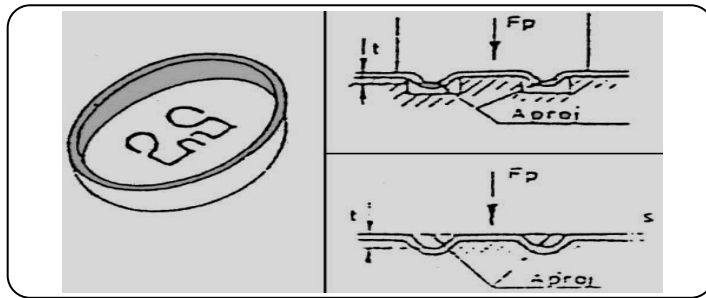
Gambar 2.6. Pembengkokkan

Gambar di atas menunjukkan terjadinya proses *bending* atau pembengkokkan untuk pelat-pelat pada arah memanjang. *Dies* dan *punch* yang digunakan berbentuk sudut yang diinginkan



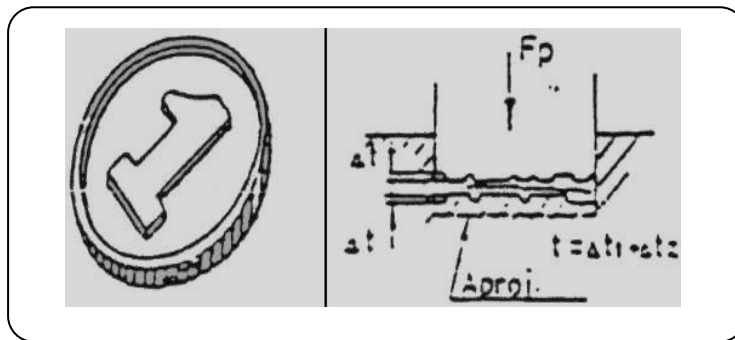
Gambar 2.7. *Bending* U

Pelat yang berbentuk U merupakan hasil *bending* dengan menggunakan *dies* persegi dan *punch*. Turunnya *punch* disesuaikan dengan kedalaman U yang diinginkan.



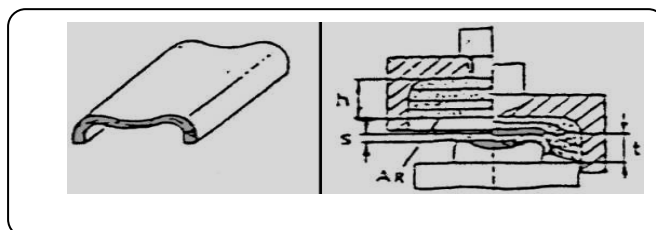
Gambar 2.8. *Squeezing*

Proses berikutnya merupakan proses *squeezing* untuk berbagai macam keperluan. Aplikasi proses ini diperlihatkan pada gambar 2.9 untuk pembuatan tutup-tutup botol yang menggunakan lambang atau simbol. Simbol ini berbentuk timbul. *Punch* yang digunakan pada proses ini mempunyai bentuk simbol dari hasil pembentukan yang diinginkan.

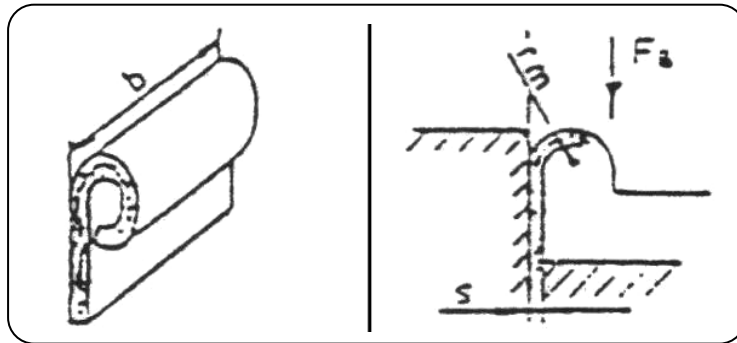


Gambar 2.9. *Squeezing* Tutup Botol

Proses ini biasanya juga dengan produksi yang cukup besar. Tutup-tutup botol ini digunakan dari bahan pelat baja lunak dan dilapisi dengan bahan tahan karat, supaya bahan makanan yang ada dalam botol tidak terkontaminasi dengan karat.



Gambar 2.10. *Press*



Gambar 2.11. Penguatan Tepi

Pembentukan pada gambar 2.11 di atas merupakan proses penguatan tepi pada pelat. Proses ini bertujuan untuk memberikan kekakuan pada tepi pelat.

Proses pengerjaan dingin menurut *DeGarmo* terbagi dalam 4 kelompok besar sebagai berikut:

1. *Squeezing* (mengepres)
2. *Bending* (melengkungkan)
3. *Shearing* (memotong)
4. *Drawing* (menarik)

Tabel 2.1 Klasifikasi *Cold Working*

Klasifikasi Operasi <i>Cold Working</i>	Jenis Prosesnya	Contoh Produk	Keterangan
<i>Squeezing</i> (Ditekan)	<i>Rolling</i>	pelat, baja batangan,	Supaya produk mempunyai permukaan yang halus dan keseragaman ukuran
	<i>Swaging</i> (pukul putar)		Biasanya digunakan untuk mengurangi, meruncingkan ujung batang atau pipa.
<i>Squeezing</i> (Ditekan)	<i>Cold-forging</i>	baut, paku, paku keeling, dsb.	Biasanya untuk menebalkan ujung batang atau kawat
	Ekstrusi		Biasanya pada logam yang yang kekenyalannya rendah seperti pada timah, dan aluminium
	<i>Sizing</i>		

	<i>Riveting</i>		
	<i>Staking</i>		Melebarkan benda-benda melalui pelebaran ujungnya.
	<i>Coining</i>		Pengerjaan dingin dimana logam sama sekali tertutup oleh <i>die</i> (alas cetakan) dan <i>punch</i> (cetakan bagian atas),
	<i>Peening</i>		
	<i>Burnishing</i>		
	<i>Die hobbing</i>		
	<i>Thread rolling</i>		
<p><i>Bending</i> (melengkungkan)</p> <p>Proses <i>bending</i> adalah deformasi plastis logam melalui poros bahan (batang, kawat, pipa, pelat) tanpa perubahan luas permukaan, digaris netral tegangan nol, di luar garis netral terjadi tegangan tarik dan di dalam garis netral terjadi tekanan.</p>	<i>Angle</i>		
	<i>Roll</i>		
	<i>Roll forming</i>		
	<i>Seaming</i>		
	<i>Flanging</i>		
	<i>Straightening</i>		
<p><i>Shearing</i> (memotong)</p> <p>Adalah metoda memotong logam dalam bentuk lembaran dan pelat tanpa adanya geram atau pembakaran</p>	<i>Shearing Slitting</i>		
	<i>Blanking</i>		
	<i>Piercing lancing perforating</i>		
	<i>Notching Nibbling</i>		
	<i>Shaving</i>		
	<i>Trimming</i>		
	<i>Cut-off</i>		
	<i>Dinking</i>		
<i>Drawing</i> (menarik)	<i>Bar dan tube</i>		

bagian dari proses pembentukan dari logam lembaran garis sumbunya.	<i>drawing</i>		
	<i>Wire drawing</i>		
	<i>Spinning</i>		
	<i>Embossing</i>		
	<i>Stretch forming</i>		
	<i>Shell drawing</i>		

(DeGarmo,1979)

Pengaruh pengerjaan dingin terhadap sifat bahan logam, pada daerah di bawah temperatur *rekristalisasi*, deformasi akan menyebabkan naiknya kekerasan, naiknya kekuatan, tetapi disertai dengan turunnya keuletan. Secara makro kenaikan kekuatannya dapat diperoleh dengan mengadakan uji mekanik, misalnya uji tarik.

Kekerasan dan kekuatan bahan yang dikerjakan menjadi meningkat, dan kondisi ini dapat dianggap sebagai hal yang positif, akan tetapi karena disertai dengan berkurangnya keuletan logam, logam menjadi getas, sehingga logam akan makin sukar dibentuk, dan pada suatu saat menjadi rapuh sehingga tidak dapat dideformasi lagi.

Untuk mengembalikan ke sifat-sifatnya semula, yaitu lunak dan ulet perlu dilakukan proses pemanasan terhadap benda kerja yang telah mengalami pengerjaan dingin.

D. Spring Back

Spring back merupakan gaya balik yang ditimbulkan akibat pengaruh elastisitas bahan pelat yang mengalami proses pembentukan. Besarnya gaya balik ini ditentukan oleh harga *Modulus Elastisitas* bahan. Dalam proses pembengkokan ini harus diperhatikan gaya balik atau *spring back* ini. Biasanya, akibat *spring back* terjadi penyimpangan terhadap sudut pembengkokan yang dibentuk.

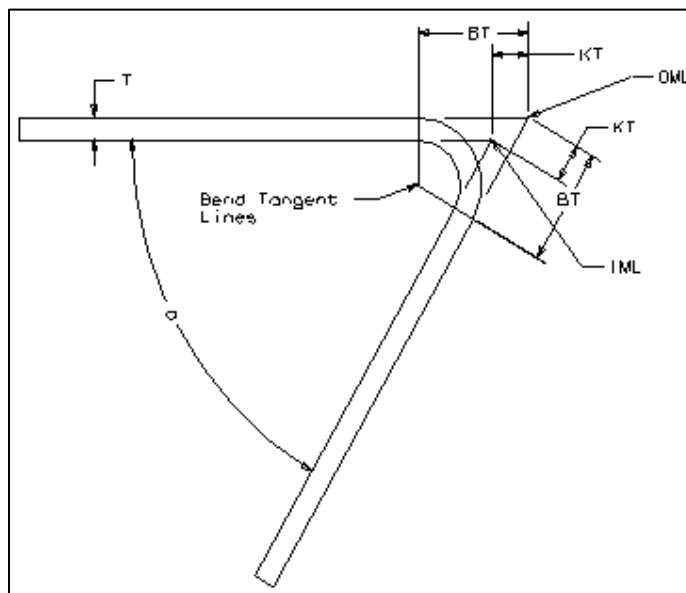
Seorang pekerja harus dapat memperhitungkan besarnya *spring back* ini. Contoh sederhana dapat diperlihatkan pada saat proses pembengkokan. Apabila diinginkan untuk pembentukan *bending* dengan sudut 90° , besarnya sudut tekan pada sepatu pembengkok harus diperkecil dari 90° ($<90^\circ$).

Pada saat dilepas sepatu pembengkok akan menghasilkan sudut pembentukan menjadi sama dengan 90° . Proses *spring back* pada pembentukan dengan *bending* ini dapat dilihat seperti pada gambar 2.12 berikut ini.

Besarnya perubahan dimensi pada hasil pembentukan setelah tekanan pembentukan diadakan merupakan sifat bahan logam yang mempunyai *elastisitas* tersendiri.

Perubahan ini terjadi akibat dari perubahan regangan yang dihasilkan oleh pemilihan elastik. Jika beban dihilangkan, regangan total akan berkurang disebabkan oleh terjadinya pemulihan elastik.

Peluluhan elastik berarti pula balikan pegas, akan makin besar jika tegangan luluh semakin tinggi, atau *modulus elastik* lebih rendah dan regangan plastiknya makin besar.



Gambar 2.12. Springback Pelat

Garis pusat tekuk (*CENTERLINE OF BEND - The line midway between the two bend tangent lines. This is useful for brake forming bends on a press brake.*)

Jarak lengan Tekuk (*FLANGE LENGTH - The distance measured from the edge of the flange to the outside mold line.*)

Garis sumbu netral (*NEUTRAL AXIS - The arc through the bend between the bend tangent lines where the metal neither stretches nor compresses.*)

T =Tebal lembaran plat.

R = *Radius* tekuk.

a = *Sudut* tekuk.

$$K = \tan(a/2)$$

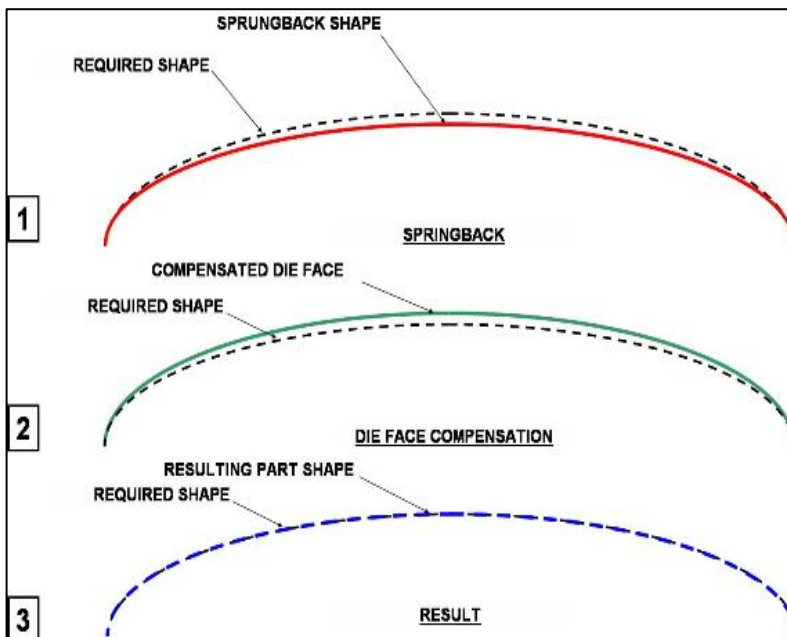
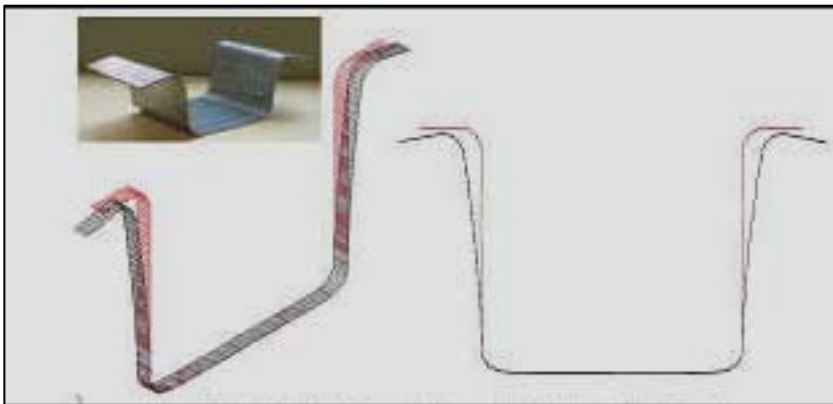
KT – Jarak antara OML to the IML (projected to the plane of one of the surfaces). $KT = [\tan(a/2)]T$ or $KT = K * T$

BA – Bentangan (the length of the neutral axis).

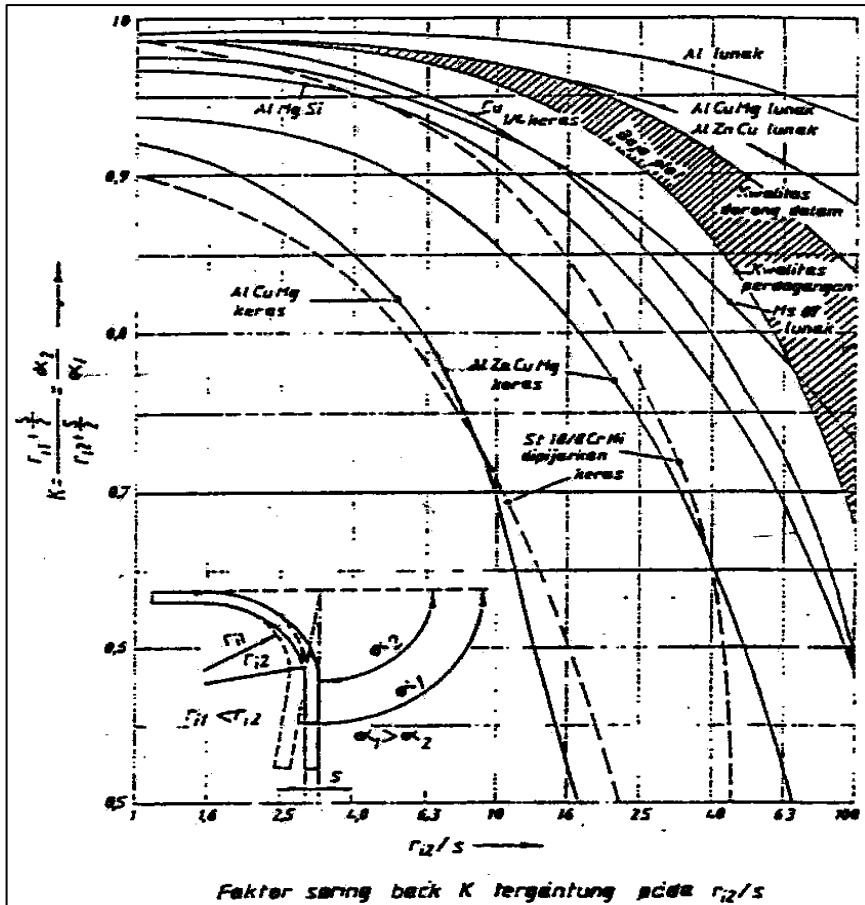
$$BA = a(.01743R + .0078T)$$

BT – Jarak antara OML ke sudut pembengkokan (bend tangent line). $BT = K(T + R)$

D - Setback. The amount of material saved by going through a radius instead of a square corner on a bend. $D = 2BT - BA$.



Gambar 2.13. Pengaruh *Spring Back* pada Pembentukan Plat U



Gambar 2.14. Spring Back pada Pelat (Lyman,1968)

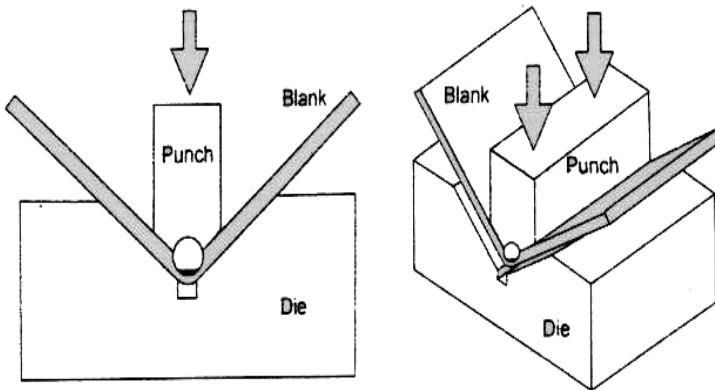
Spring back terdapat pada semua proses pembentukan, tetapi pada pembengkokan paling mudah diamati. Jari-jari lengkungan sebelum beban dihilangkan R_o lebih kecil dibandingkan jari-jari setelah beban dihilangkan R_f .

Kemampuan bengkok adalah sama sebelum dan sesudah pembengkokan maka:

$$B = (R_o + \frac{h}{2})\alpha_o = (R_f + \frac{h}{2})\alpha_f$$

Ratio Balikan Pegas $K_s = \alpha_f / \alpha_o$ persamaannya menjadi:

$$K_s = \frac{\alpha f}{\alpha o} = \frac{R_o + h/2}{R_f + h/2} = \frac{2R_o/h + 1}{2R_f/h + 1}$$



K-Factor Rule of thumb for Coining

Radius	Soft-material	Medium Material	Hard Material
0 to thickness	0.38	0.41	0.44
Thickness to 3 x thickness	0.44	0.46	0.47
Greater than 3 x thickness	0.5	0.5	0.5

Gambar 2.15. Proses Bending dan Faktor- K
(Little,1980)

Gambar 2.14. merupakan proses *bending* dengan harga K yang dapat dianalisis besarnya berdasarkan ratio perubahan sudut. Harga K ini juga dapat diperoleh dari grafik dan tabel di atas. Aplikasi pada proses pembentukan ini adalah dengan melebihi ukuran dies dan punch sesuai dengan sudut pembengkokan ditambah dengan pengaruh faktor K. Faktor K untuk setiap bahan dapat dilihat menurut kekerasan material.

E. Pembentukan Secara Manual

➤ Definisi

Pembentukan pelat secara manual merupakan proses pembentukan yang dilakukan menggunakan landasan-landasan pembentuk dan dengan berbagai macam bentuk palu. Landasan pembentukan ini dikenal juga dengan istilah Pancang Tinman. Palu yang digunakan dalam proses pembentukan ini juga terdiri atas berbagai jenis palu pembentuk. Palu pembentuk ini dapat dibedakan mulai dari ukuran, jenis dan bentuk kepala palu.

➤ **Proses**

Proses pembentukan pelat secara manual ini ditinjau secara mekanika dan metalurgi fisiknya merupakan proses deformasi plastis.

Deformasi plastis ini adalah perubahan bentuk yang diinginkan proses ini berlangsung apabila pelat mengalami pemukulan akan menyebabkan pelat berubah bentuk.

Pukulan pembentukan ini melebihi batas elastisitas pelat yang dibentuk. Setelah pelat mengalami pembentukan di atas landasan ini pelat mengalami perubahan bentuk.

➤ **Karakteristik**

Karakteristik pembentukan secara manual ini memiliki bentuk-bentuk yang sangat bervariasi, sebab pembentuk dengan manual ini sangat tergantung pada bentuk landasan dan kepala palu yang digunakan. Karakteristik hasil pembentukan secara manual ini memiliki kelebihan dari semua proses pembentukan yang ada. Proses pembentukan secara manual ini dapat melakukan semua proses pembentukan yang ada. Hal ini sangat tergantung pada kemampuan atau *skill* pekerja yang melakukannya.

F. Peralatan Utama, Alat Bantu, dan Landasan

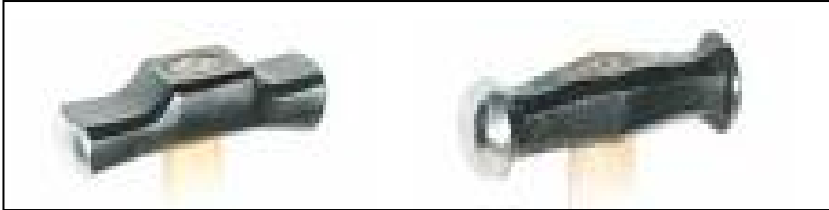
◆ **Palu**

Palu yang digunakan dalam pembentukan secara manual ini terdiri atas berbagai jenis dan bentuk kepala palu. Ditinjau dari jenis palu yang digunakan terdiri atas bahan kepala palu yang bervariasi diantaranya baja, karet, plastik, kayu, *mallet*, dan timbal (timah hitam).

Bentuk kepala palu yang digunakan pada proses pembentukan ini tergantung pada bentuk yang diinginkan. Bentuk kepala palu ini dibedakan menurut fungsi dan kegunaannya. Penggunaan palu juga sangat tergantung pada jenis bahan yang akan dibentuk.

Bahan-bahan yang relatif lunak biasanya menggunakan bahan jenis palu yang lunak. Seperti untuk pembentukan pelat aluminium digunakan palu plastik ataupun palu kayu. Dilihat dari bentuknya kepala palu dapat dibedakan menjadi beberapa jenis palu di antaranya palu kepala bulat, palu kepala pipih, palu kepala segiempat, palu kepala setengah bola, palu kepala tirus,

dan palu kepala bulat besar. Jenis palu yang digunakan pada proses pembentukan pelat secara manual ini dapat pula dibedakan atas palu jenis bahan baja, palu jenis bahan plastik, palu jenis bahan kayu, palu jenis bahan campuran plastik dan sebagainya.



Gambar 2.16. Palu Besi Segiempat dan Bulat

Palu besi kepala membentuk segiempat ini digunakan untuk membentuk bidang penyambungan persegi, agar penyambungan menjadi lebih rapat. Palu kepala bulat digunakan untuk melakukan pemukulan regang pada tepi pelat yang berbentuk silinder.



Gambar 2.17. Palu Besi Kombinasi Segi Empat dan Tirus serta Bulat

Palu besi kepala segiempat rata dan tirus digunakan untuk meratakan permukaan pelat yang mengalami proses penyambungan, Kepala tirus digunakan untuk membentuk sambungan sudut alas. Palu Kepala bola digunakan untuk membentuk bagian-bagian sisi pelat yang melengkung atau berbentuk silinder.



Gambar 2.18. Palu Besi Kombinasi Bulat rata & Bola dan Pipih

Palu jenis kombinasi bulat silinder dan bola ini merupakan palu yang umum digunakan. Jenis palu ini biasanya digunakan untuk membentuk kepala paku keling. Palu picak digunakan untuk merapatkan bagian sisi tepi pelat pada sambungan alas.



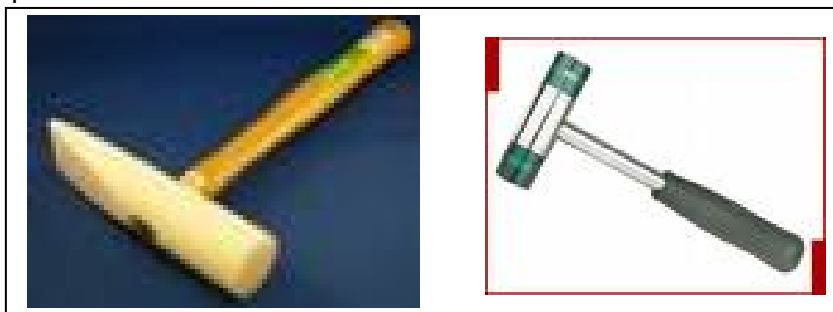
Gambar 2.19. Palu Kayu Kepala Bulat dan Palu Karet Bulat

Palu kayu dan karet ini banyak digunakan untuk pembentukan pelat-pelat yang relatif lebih lunak seperti: pelat aluminium, pelat tembaga dan sebagainya.



Gambar 2.20. Palu Karet Persegi

Palu karet persegi ini digunakan untuk proses *finishing*, yakni untuk meratakan atau merapikan bentuk-bentuk bidang pelat yang menyimpang atau kurang lurus. Palu karet ini jika dipukulkan ke pelat yang lunak tidak memberikan cacat akibat pemukulan.



Gambar 2.21. Palu Plastik Palu Kombinasi dan Bulat

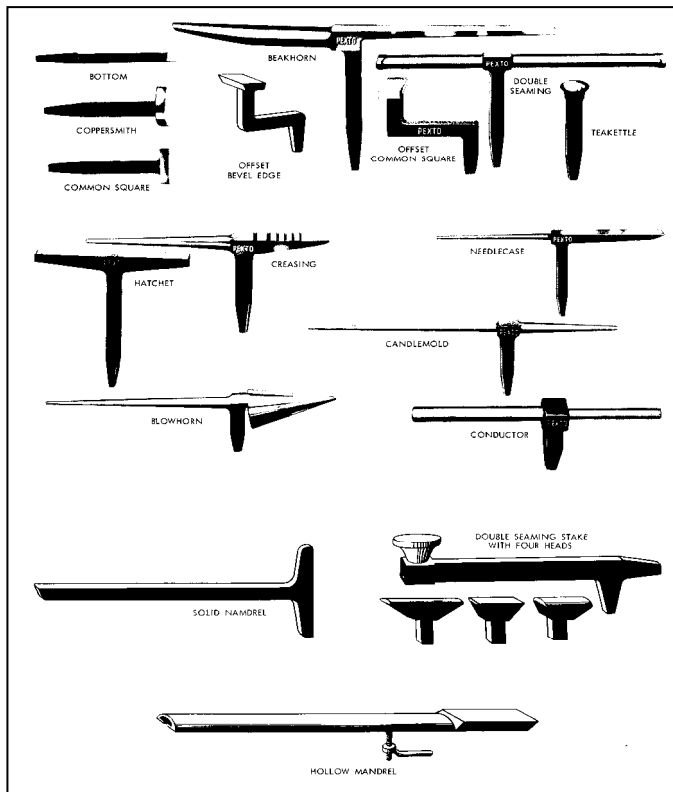
Palu plastik dikenal juga dengan palu *mallet*, dan digunakan untuk proses pembentukan pelat-pelat yang relatif tipis, karena bentuk kepala palunya silinder rata hampir sama dengan palu-palu besi kepala silinder lainnya.



Gambar. 2.22. Palu Kayu Tirus dan Palu Rata

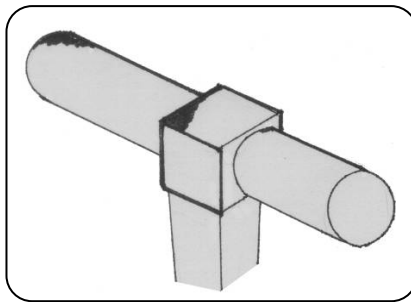
Palu kayu kombinasi bulat dan kerucut digunakan untuk proses pembentukan penarikan dalam secara manual, seperti pembuatan mangkuk-mangkuk dari bahan aluminium.

◆ Landasan

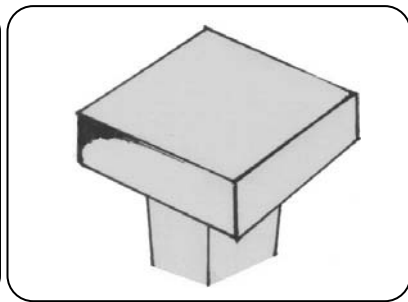


Gambar 2.23. Macam-macam Landasan
(Meyer, 1975)

Landasan yang digunakan pada proses pembentukan pelat secara manual ini dibedakan berdasarkan fungsinya. Landasan ini terdiri atas landasan tetap dan landasan tidak tetap. Landasan tetap ini biasanya mempunyai bentuk yang lebih besar dan memiliki berat lebih dibandingkan dengan landasan tidak tetap. Landasan tetap ini memiliki bentuk umum tanpa variasi yang lebih. Landasan tetap ini disebut juga dengan istilah paron landasan tidak tetap (*Pancang Tinman*). Landasan pembentukan ini ada juga yang terbuat dari kayu. Khususnya landasan-landasan setengah bola. Pada landasan kayu ini dibentuk profil setengah bola dengan berbagai macam variasi, mulai dari diameter dan kedalamannya. Landasan ini biasanya digunakan untuk pembentukan awal mangkuk setengah bola dari bahan-bahan yang relatif lebih lunak seperti aluminium. Proses pembentukannya dapat dilakukan dengan memulai pemukulan dari diameter yang paling besar dan dangkal selanjutnya berurutan sampai pada diameter mendekati bentuk yang diinginkan dengan kedalaman tertentu. Pada gambar berikut ini diperlihatkan gambar macam-macam landasan.

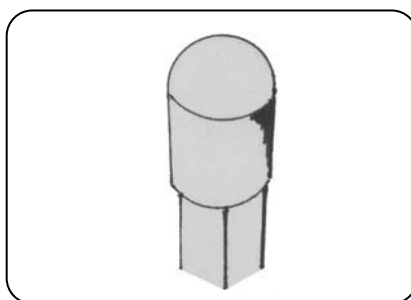


Gambar 2.24. Kombinasi

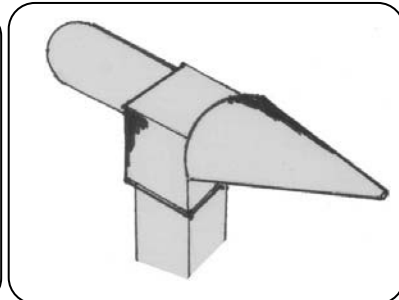


Gambar 2.25. Rata

Landasan kombinasi digunakan untuk membentuk silinder-silinder kecil. Landasan rata digunakan untuk tempat meratakan sambungan-sambungan lipat juga dapat digunakan untuk menekuk pelat.

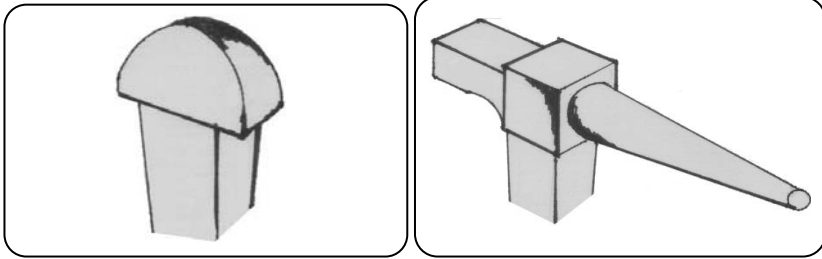


Gambar 2.26. Bulat



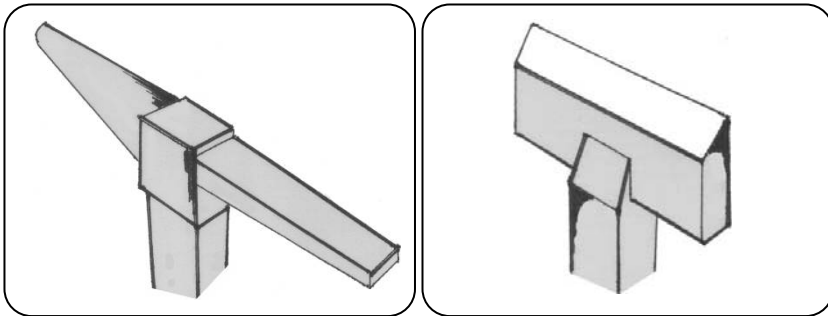
Gambar 2.27. Kombinasi Silinder dan Tirus

Landasan bulat ini digunakan sebagai landasan untuk membentuk mangkuk dan landasan kombinasi silinder dan tirus ini digunakan untuk membentuk silindris berbentuk tirus.



Gambar 2.28. Seperempat Bola Gambar 2.29. Kombinasi Rata K

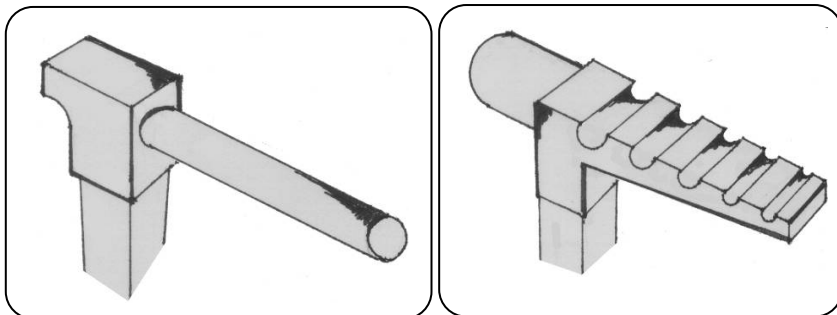
Landasan seperempat bola ini digunakan untuk membentuk penguatan sisi dari silinder dan landasan kombinasi ini digunakan untuk membentuk silinder-silinder yang relatif kecil.



Gambar 2.30. Kombinasi Silinder

Gambar 2.31. Sudut 45° dan Kerucut

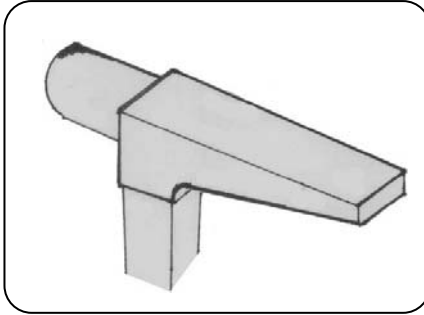
Landasan di atas ini dapat digunakan untuk membentuk kotak persegi dan landasan kerucut dapat digunakan untuk pembentukan kerucut.



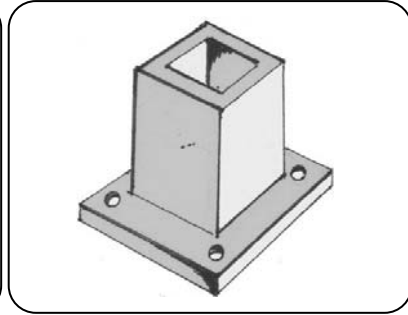
Gambar 2.32. Pipa

Gambar 2.33. Alur

Sesuai dengan namanya pipa dan alur digunakan untuk landasan dalam pembentukan pipa kecil dan alur rata.



Gambar 2.34. Kombinasi Tirus dan Silinder



Gambar 2.35. Kedudukan Landasan

Landasan Kombinasi tirus dan silinder merupakan landasan yang universal dapat digunakan untuk berbagai keperluan pembentukan persegi dan silinder.

G. Teknik Pemukulan

Pemukulan pelat di atas landasan dengan berbagai jenis palu mempunyai teknik-teknik tersendiri. Teknik pemukulan ini biasanya sangat sulit dilakukan dengan pekerja yang tidak terbiasa dengan kerja pembentukan ini. Teknik pemukulan ini dapat dipelajari dari kebiasaan atau pengalaman yang dilakukan secara terus menerus. Pemukulan dengan palu untuk proses pembentukan ini harus dilakukan dengan teknik dan prosedur yang benar. Apabila proses pemukulan ini tidak dilakukan mengikuti teknik dan prosedur yang benar maka akan menghasilkan pemukulan yang menyebabkan pelat menjadi rusak atau cacat. Teknik memegang palu harus dilakukan secara benar yakni memegang palu harus berada di ujung tangkai palu. Jika dipengang berada diujung tangkai palu maka akan menghasilkan gaya pemukulan yang maksimal. Momen dampak yang dihasilkan palu sebanding dengan masa palu dikali dengan jarak pemegang. Artinya semakin jauh jarak pemegang dengan kepala palu maka akan menghasilkan dampak yang lebih besar. Teknik-teknik pemukulan ini dapat dikategorikan sebagai berikut:

❖ Pemukulan Peregangan

Pemukulan regang pada dasarnya adalah pemukulan yang dilakukan untuk meregang pelat menjadi lebih besar. Pelat hasil pemukulan regang ini menghasilkan bentuk pelat menjadi lebih panjang ke arah bagian yang mengalami pemukulan. Teknik

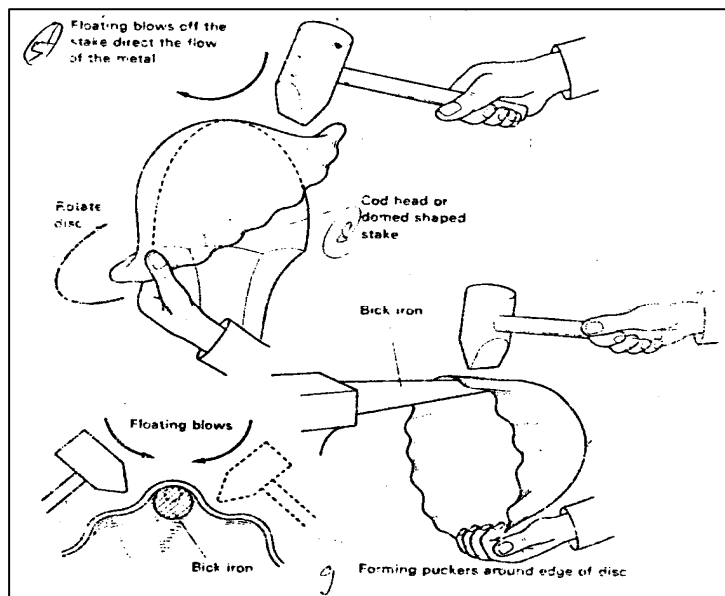
pemukulan regang ini menggunakan palu kepala pipih di atas landasan rata. Pada saat proses pemukulan pelat akan mengalami penurunan ketebalan akibat dari proses pemukulan regang.

❖ Pemukulan Pengerutan

Proses pemukulan kerut menghasilkan pelat menjadi terkompres. Pemukulan ini merupakan kebalikan dari proses pemukulan regang. Dimensi ketebalan pelatnya pun menjadi bertambah. Terjadinya proses pemukulan kerut ini dilakukan di atas landasan lengkung dengan palu kepala bulat. Pemukulan kerut ini digunakan untuk proses pembentukan pelat menjadi bentuk mangkuk.

❖ Pemukulan Perataan

Pemukulan datar merupakan proses pemukulan yang berfungsi untuk mendatar bagian pelat yang mengalami pelengkungan. Pemukulan datar ini juga dapat diterapkan untuk proses pemukulan pembentukan di atas landasan, seperti untuk membengkokkan pelat di atas landasan persegi. Teknik pemukulan ini juga dilakukan untuk meratakan hasil pemukulan regang. Pada saat proses pemukulan regang pelat mengalami cekungan dan tidak merata. Pemukulan datar ini sangat banyak digunakan untuk semua proses pembentukan pelat.



Gambar 2.36. Pembentukan Secara Manual
(Lyman, 1968)

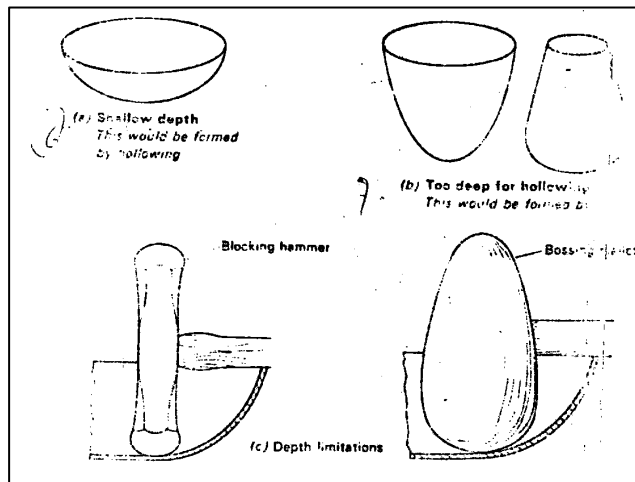
❖ **Pemukulan Keseimbangan**

Pemukulan keseimbangan berguna untuk menyeimbangkan kondisi pelat yang mengalami penyimpangan akibat proses pengerolan. Hasil proses pengerolan pelat biasanya masih belum mengalami bentuk bulat sempurna. Karena itu teknik pemukulan keseimbangan ini akan dapat menghasilkan bulatan silinder menjadi lebih baik. Proses pemukulan ini dilakukan dengan memukul bagian pelat yang melonjong. Pemukulan pelat ini akan menekan pelat yang melonjong dan menjadi lebih datar sampai mendekati keseimbangan dari kebulatan silinder yang diinginkan.

❖ **Pemukulan Pembentukan**

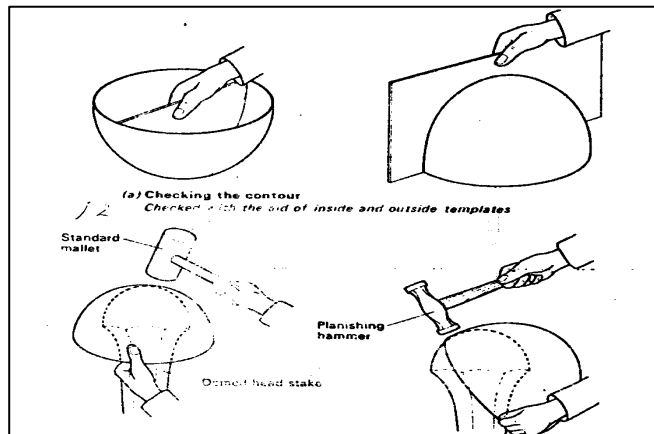
Pemukulan pembentukan merupakan penggabungan dari beberapa teknik pemukulan yang ada. Proses pemukulan pembentuk ini berguna untuk melakukan pembentukan di atas landasan. Pelat diletakan di atas landasan dan dipegang oleh salah satu tangan dan tangan yang satunya melakukan pemukulan pembentukan sesuai dengan bentuk pelat yang diinginkan. Apabila seseorang sudah dapat mensinergikan antara apa yang ada dalam pikirannya disalurkan melalui tangan dan palu akan menghasilkan bentuk pelat yang seperti apa yang diinginkan dalam pikiran tersebut.

Pada gambar memberikan contoh pengerjaan pembentukan pembuatan makuk setengah bola. Sebelumnya pelat dipotong sesuai dengan besarnya bentangan.



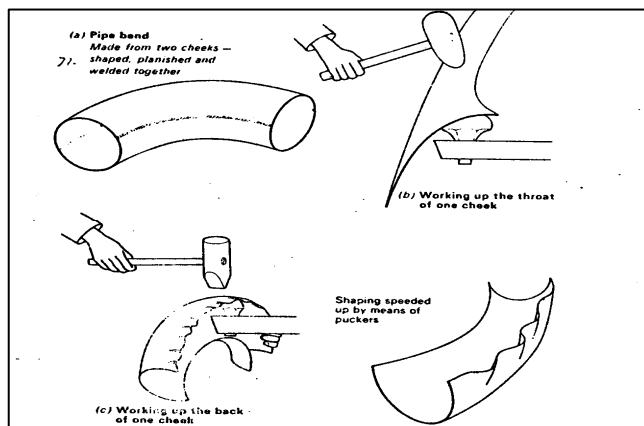
Gambar 2.37. Pembentukan Mangkuk (Lyman, 1968)

Bentangan dapat dihitung berdasarkan diameter mangkuk yang diinginkan. Diameter bentangan merupakan setengah keliling mangkuk yakni: $1/2\pi \cdot D$ mangkuk. sebelumnya dipukul di atas landasan kayu yang membentuk mangkuk. Setelah mendekati bentuk mangkuk maka material dibentuk di atas landasan bola (lihat gambar di atas). Pemukulan dilakukan secara bertahap sampai membentuk mangkuk. Pemukulan sebaiknya dilakukan dari pusat mangkuk dengan arah pemukulan disekeliling lingkaran, lalu secara bertahap pemukulan diturunkan kebawah sampai ketepi sisi mangkuk.



Gambar 2.38. Pengecekan Radius Benda

Hasil pemukulan mangkuk ini diperiksa dengan mal lengkung. Pemeriksaan dilakukan dengan memutar disekeliling mangkuk bekas pukulan pada bagian dalam dan sisi luar mangkuk. Mal sisi luar lebih besar dari mal bagian dalam mangkuk. Kedua posisi bagian dalam dan luar ini sedapat mungkin diperiksa secara teliti.



Gambar 2.39. Pembentukan Pipa Lengkung (Lyman, 1968)

Pemeriksaan sisi luar mangkuk dapat dilakukan dengan mendekatkan mal ke mangkuk, dan diangkat pada posisi datangnya cahaya. Jika terjadi kelonggaran atau ketipakpasan lingkaran yang terbentuk, maka pada celah yang diukur akan terlihat cahaya yang lebih besar dibandingkan pada sisi mangkuk yang sesuai. Selain proses pembentukan yang dilakukan dengan tangan secara manual, proses pembentukan juga dapat dilakukan dengan mesin-mesin pembentukan secara manual. Mesin-mesin ini mempunyai kapasitas dan kemampuan khusus, sesuai dengan kegunaan pembentukan. Hal mengenai mesin untuk pembentukan ini diantaranya:

➤ **Keuntungan**

Keuntungan proses pembentukan dengan sistem pembentukan secara manual ini adalah dapat mengerjakan seluruh bentuk proses pembentukan. Pembentukan dalam jumlah skala kecil atau pembuatan satu buah komponen yang terbuat dari bahan pelat ini sangat cocok dengan pembentukan secara manual. Pengerjaan komponen bahan pelat dengan sistem ini tidak memerlukan cetakan atau alat bantu pembentukan yang lain. Pembentukan pelat ini hanya terbatas pada pembentukan pelat yang relatif mempunyai dimensi lebih kecil dan tipis. Pelat relatif tebal dan mempunyai dimensi yang besar akan sulit dilakukan dengan proses pembentukan secara manual.

➤ **Kesalahan dalam Pembentukan**

Kesalahan-kesalahan yang sering terjadi dalam proses pembentukan ini dapat terjadi apabila pekerja tidak mengetahui karakteristik bahan pelat yang dibentuk. Jika pekerja tidak mempunyai keterampilan/*skill* pada bidang pekerjaan pembentukan ini maka kemungkinan kesalahan besar terjadi. Pekerjaan-pekerjaan pembentukan dalam sangat sulit dikerjakan secara manual. Biasanya pekerjaan yang dihasilkan dari proses pembentukan secara manual ini masih kurang teliti. Apalagi pekerjaan komponen dalam jumlah besar sangat kurang menguntungkan, sebab hasilnya memiliki sifat mampu tukar yang rendah.

➤ **Aplikasi**

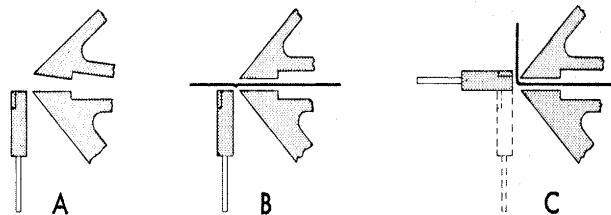
Penerapan sistem pembentukan secara manual ini sangat variatif, khususnya untuk komponen pelat yang relatif kecil dan ringan. Komponen-komponen bahan pelat yang dikerjakan dengan sistem manual ini dapat diterapkan untuk pembuatan komponen mesin yang tidak memerlukan cetakan. *Finishing* dari beberapa proses pengerjaan

pembentukan yang lain juga dapat dilakukan *finishing* secara manual.

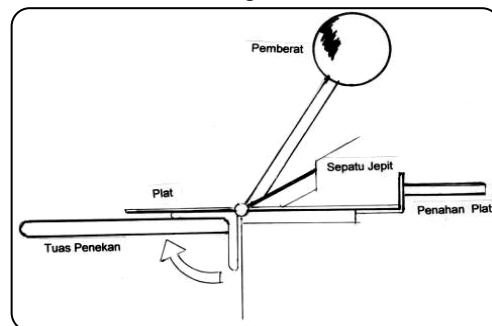
H. Proses Tekuk/Lipat

➤ Definisi

Secara mekanika proses penekukan ini terdiri atas dua komponen gaya, yakni tarik dan tekan (lihat gambar). Pada gambar memperlihatkan pelat yang mengalami proses pembengkokan ini terjadi peregangan, netral, dan pengerutan. Daerah peregangan terlihat pada sisi luar pembengkokan. Pada daerah ini terjadi deformasi plastis atau perubahan bentuk. Peregangan ini menyebabkan pelat mengalami pertambahan panjang. Daerah netral merupakan daerah yang tidak mengalami perubahan. Artinya, pada daerah netral ini pelat tidak mengalami pertambahan panjang atau perpendekan. Daerah sisi bagian dalam pembengkokan merupakan daerah yang mengalami penekanan. Daerah ini mengalami pengerutan dan penambahan ketebalan. Hal ini disebabkan daerah ini mengalami perubahan panjang, yakni perpendekan atau menjadi pendek akibat gaya tekan yang dialami oleh pelat. Proses ini dilakukan dengan menjepit pelat di antara landasan dan sepatu penjepit selanjutnya bilah penekuk diputar ke arah atas menekan bagian pelat yang akan mengalami penekukan.



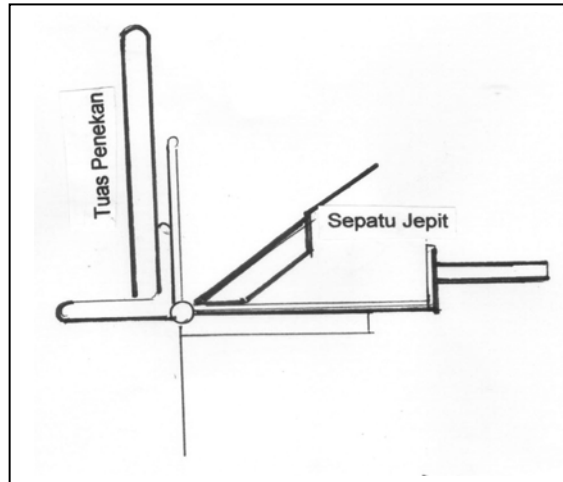
Gambar 2.40. Langkah Proses Tekuk



Gambar 2.41. Langkah Awal Tekuk

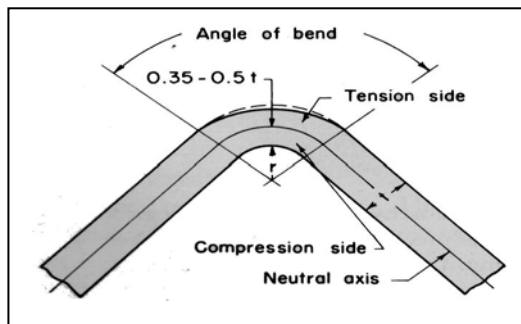
Pada Gambar 2.38 posisi tuas penekuk diangkat ke atas sampai membentuk sudut melebihi sudut pembentukan yang diinginkan.

Besarnya kelebihan sudut pembengkokan ini dapat dihitung berdasarkan tebal pelat, kekerasan bahan pelat, dan panjang bidang membengkokkan/penekukan.



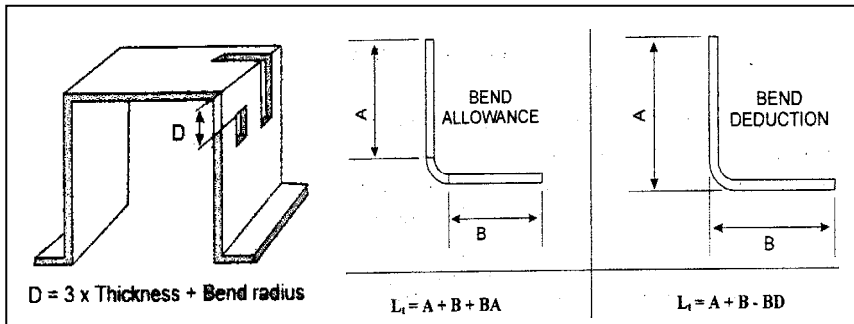
Gambar 2.42. Penekukan Pelat

Langkah proses penekukan pelat dapat dilakukan dengan mempertimbangkan sisi bagian pelat yang akan dibentuk. Langkah penekukan ini harus diperhatikan sebelumnya, sebab apabila proses penekukan ini tidak menurut prosedurnya maka akan terjadi salah langkah. Salah langkah ini sangat ditentukan oleh sisi dari pelat yang dibengkokkan dan kemampuan mesin bending/tekuk tersebut. Komponen pelat yang akan dibengkokkan sangat bervariasi. Tujuan proses pembengkokan pada bagian tepi maupun bodi pelat ini diantaranya adalah untuk memberikan kekakuan pada bentangan pelat.



Gambar 2.43. Sudut Tekuk

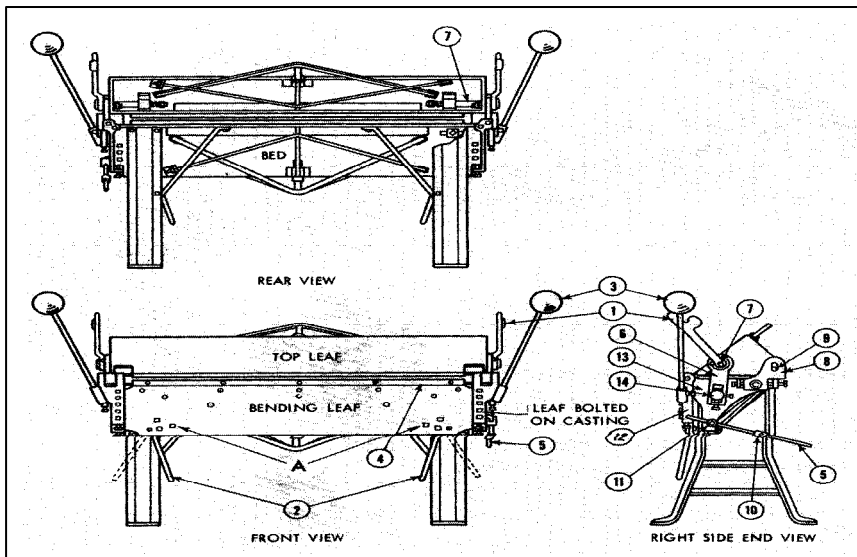
Gambar 2.43 memperlihatkan sudut tekuk yang terbentuk pada proses pelipatan pelat. Bagian sisi atas pelat mengalami peregangan dan bagian bawah mengalami pengerutan.



Gambar 2.44. Bantangan pada Proses Tekuk

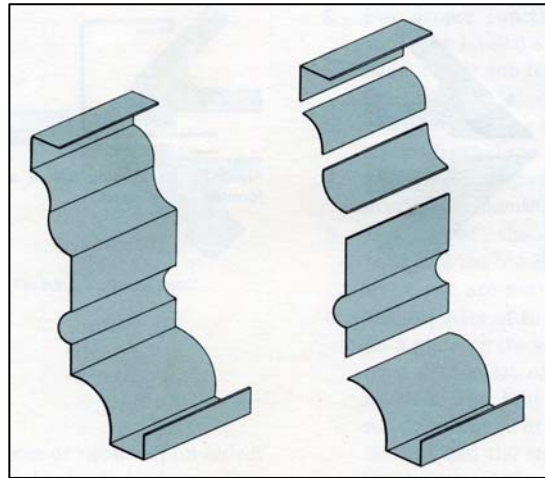
Sudut penekukan pada pelat dapat diatur sesuai dengan bentuk tekukan yang diinginkan. Sudut tekuk diatur sesuai dengan bentuk sudut yang direncanakan ditambah dengan faktor K sebagai faktor *spring back*.

Pada gambar di bawah ini adalah gambar konstruksi mesin tekuk/lipat manual dengan sistem jepitan sederhana. Tenaga penekukan yang digunakan adalah dengan tuas tekuk yang digerakkan dengan tangan. Tangan kiri memegang tuas penekan dan tangan kanan menaikan tuas penekuk.

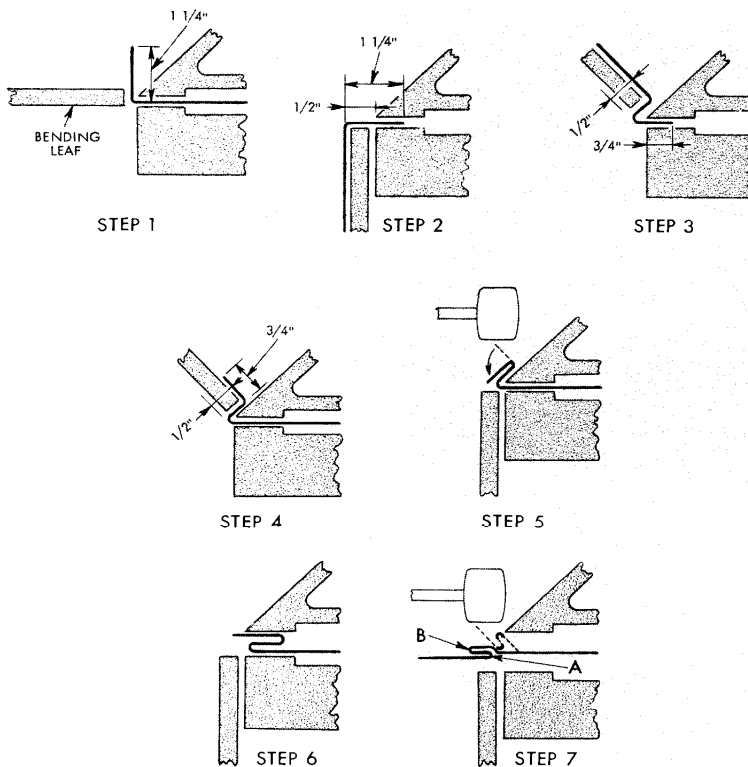


Gambar 2.45. Konstruksi Mesin Tekuk/Lipat. (Mills, 1995)

Proses tekukan yang dapat dilakukan pada mesin tekuk diantaranya dapat dilihat seperti pada gambar 2.46

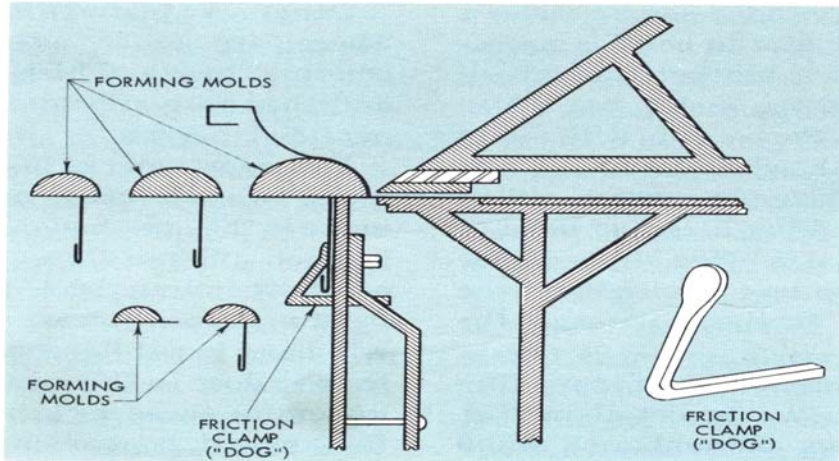


Gambar 2.46. Jenis Lipatan



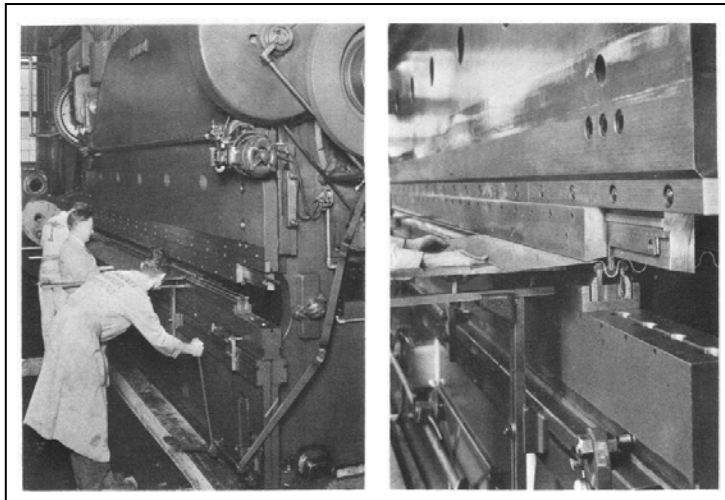
Gambar 2.47. Langkah Proses Tekuk untuk Sambungan Lipat. (Meyer, 1975)

Langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat sambungan lipat pada mesin pelipat terdiri atas tujuh langkah pengerjaan seperti pada gambar 2.48.



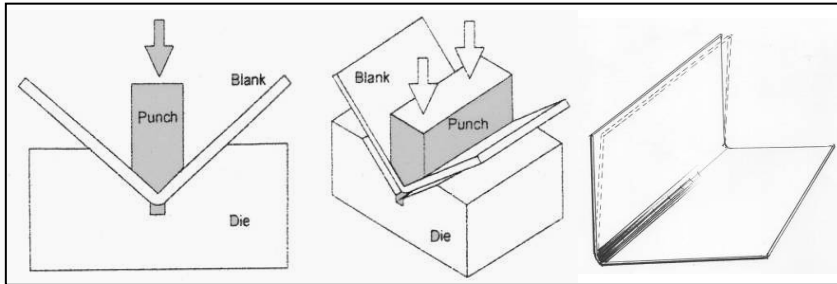
Gambar 2.48. Penekukan Bidang Lengkung
(Meyer, 1975)

Sistem lain yang digunakan dalam proses penekukan ini menggunakan sistem tekan hidrolik. Proses ini dapat dilakukan dengan meletakkan pelat pada dies pembengkok dan dies penekan bergerak turun sambil menekan pelat membentuk sudut sesuai dengan dies bawah yang sudah disiapkan.



Gambar 2.49. Mesin *Bending* Hidrolik

➤ Proses



Gambar 2.50. Proses *Bending Dies* dan *Punch*

Definisi lain menjelaskan bahwa penekukan merupakan proses di mana bentuk-bentuk yang lurus diubah menjadi lengkungan bersudut. Proses ini merupakan proses yang sering digunakan untuk mengubah lembaran dan pelat menjadi saluran, kotak penutup (*cover*) mesin, pintu-pintu, *file cabinet* dan lain-lainnya. Selain itu, penekukan merupakan bagian dari proses pembentukan lain. Definisi dan istilah-istilah yang digunakan pada penekukan dilukiskan pada gambar berikut. Jari-jari pembengkokan R didefinisikan sebagai jari-jari lengkungan cekung atau permukaan dalam tekukan.

Pembengkokan elastis di bawah batas elastis, regangan melalui pertengahan tebal pada sumbu netral. Pada pembengkokan plastik melampaui batas elastis, sumbu netral bergeser lebih dekat ke permukaan dalam lengkungan pada saat proses pembengkokan dilakukan. Karena regangan plastik sebanding dengan jarak dari sumbu netral, serat-serat pada permukaan dalam, dan serat di permukaan dalam mengalami pengerutan.

Serat di tengah-tengah mengalami perentangan, dan karena merupakan serat rata-rata, harus terjadi pengurangan tebal (pada tebal lembaran dan hanya tergantung pada perbandingan antara jari-jari pembengkokan dengan tebal lembaran).

Nilai-nilai yang dapat diperoleh untuk paduan aluminium dan baja tahan karat austenit pada berbagai proses *temper* pengerolan dingin. Data lain yang meliputi sejumlah paduan-paduan suhu tinggi menunjukkan bahwa berbagai pendekatan awal, *spring back* pada pembengkokan dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{R_0}{R_1} = 4 \left(\frac{R_0 \sigma}{Eh} \right) - 3 \frac{R_0 \sigma}{Eh} + 1 \quad (\text{Dieter, 1986})$$

Metode yang lazim digunakan untuk kompensasi balikan pegas adalah pembengkokan dengan jari-jari lengkungan yang lebih kecil dari yang diinginkan sehingga ketika terjadi balikan pegas, bagian tersebut masih mempunyai jari-jari yang tepat sesuai dengan yang diinginkan.

Prosedur coba-coba untuk menemukan kontur cetakan yang tepat untuk balikan pegas dapat dipersingkat dengan menggunakan persamaan di atas, tetapi perhitungan sama sekali tidak merupakan prosedur yang akurat. Selain itu, koreksi terhadap cetakan hanya tepat untuk selang tegangan luluh yang agak sempit. Metode kompensasi balikan pegas yang lain adalah dengan penumbukan pada cetakan, dan menggunakan pembentukan suhu tinggi untuk memperkecil tegangan luluh.

➤ **Karakteristik**

Karakteristik proses penekukan ini memperlihatkan bentuk penekukan yang lurus dari sisi tepi ujung ke tepi ujung yang lainnya. *Bending* ini juga dapat dilakukan untuk membentuk penekukan pada bodi. Pembengkokan pada sisi tepi dapat dilakukan dengan beberapa variasi pembengkokan membentuk sudut 90° atau dapat juga dilakukan penekukan dengan bentuk silinder di sepanjang sisi pelat.

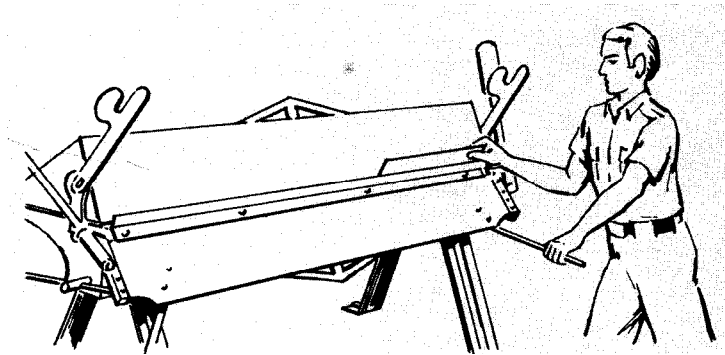
Proses pembengkokan ini hanya dapat dilakukan pada penekukan dalam bentuk lurus. Penekukan bentuk sisi melengkung tidak dapat dilakukan dengan proses ini, sebab sepatu atau dies penekuk mempunyai bentuk lurus saja.

➤ **Peralatan yang digunakan, alat bantu, alat utama, cetakan**

Mesin-mesin yang digunakan dalam proses lipat ini menggunakan sistem jepit secara manual dan sistem tekan bending secara hidrolik.

◆ **Mesin Lipat *Universal***

Sistem penekukan secara manual dapat dilakukan dengan sepatu tekan disepanjang pelat yang ditekan. Proses ini dapat dikerjakan dengan membuat tanda pada daerah pelat yang akan dibengkok. Selanjutnya, pelat dijepit diantara landasan dan sepatu tekan. Garis tanda yang dibentuk harus sejajar dengan sepatu penekan atas. Selanjutnya pembengkok diputar ke atas sampai membengkok pelat yang dijepit. Besarnya sudut pembengkokan dapat diatur sesuai dengan sudut pembengkokan yang dikehendaki. Gambar mesin lipat *universal* ini dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 2.51. Mesin Lipat *Universal 1*

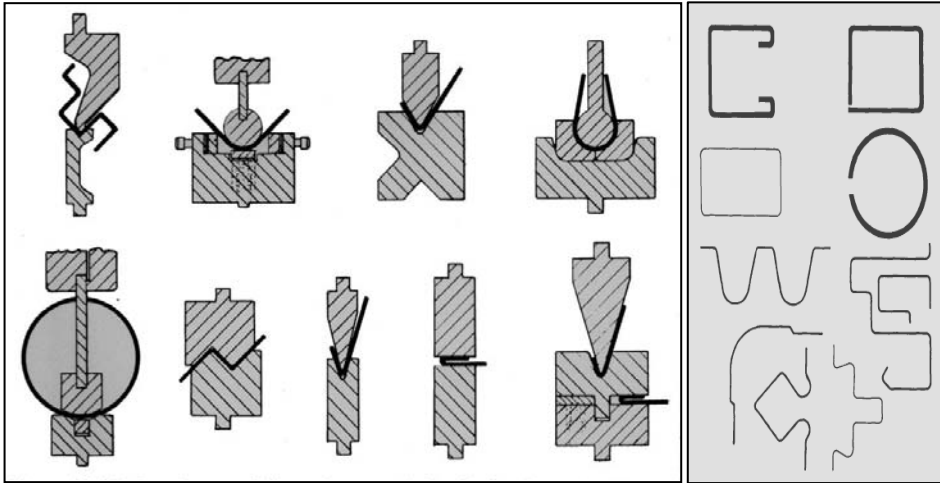
◆ Mesin Lipat *Independen*

Pelipatan pelat *independen* ini menggunakan sepatu yang terpisah-pisah. Sepatu penjepit ini dapat dengan bebas diatur sesuai dengan kondisi pelat yang akan dibentuk. Sepatu penjepit ini dapat dilepas atau diatur sesuai panjang pelat yang akan dilipat. (lihat gambar)

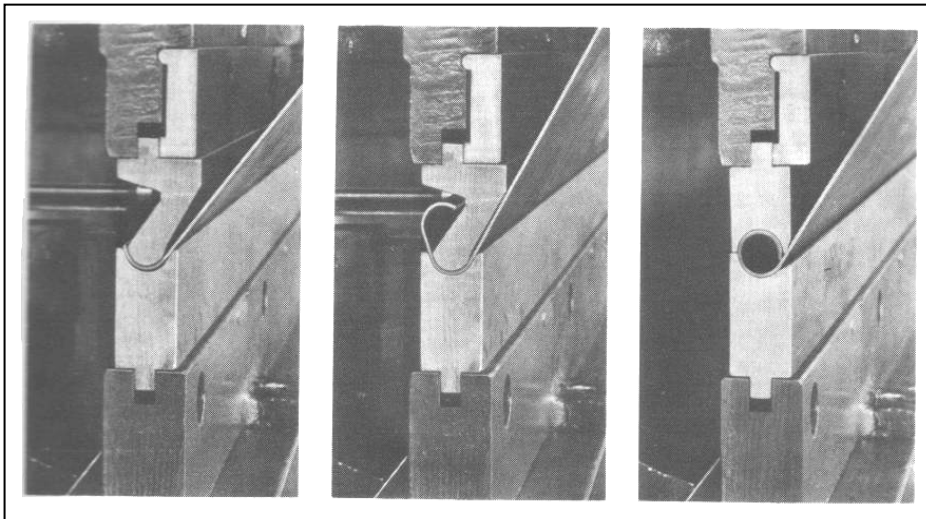
Gambar 2.52. Mesin Lipat *Universal 2*

◆ Mesin Tekuk Hidrolik

Mesin tekuk hidrolik merupakan sistem penekukan yang sangat berkembang di industri. Mesin-mesin *bending* sistem hidrolik ini mempunyai kapasitas yang relatif besar dan umumnya dengan sistem pembentukan pelat yang panjang sampai mencapai panjang 2500 mm sampai 3000 mm. Mesin tekuk hidrolik ini memiliki *dies* sebagai landasan dan *dies* pada posisi bagian bawah tetap dan *punch* penekan bergerak naik dan turun. Gerakan *punch* ini dapat dikontrol langkahnya dengan sistem hidrolik.



Gambar 2.53. Berbagai Macam Tipe *Punch* dan *Dies* serta Bentuk Profil yang Dihasilkan

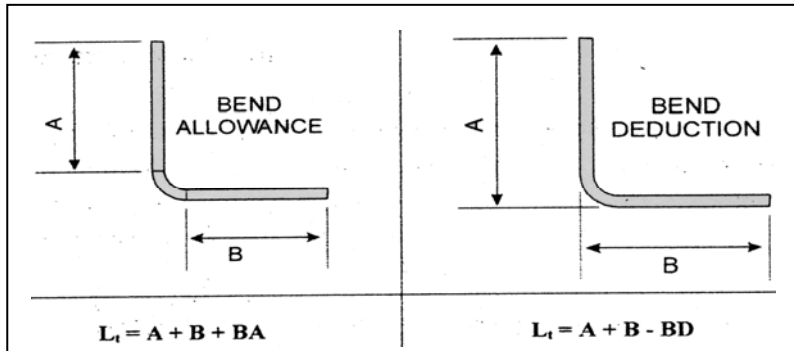


Gambar 2.54. Langkah Bending untuk Proses Bending Sisi Tepi Pelat Menjadi Bentuk Silinder Memanjang di Sepanjang Tepi Pelat

➤ **Bentangan Pelat pada Proses Penekukan**

Panjang bentangan pelat sesungguhnya dapat dihitung berdasarkan radius penekukan dan tebal pelat yang dikerjakan. Ukuran panjang bentangan ini dapat dihitung berdasarkan garis netral yang berada di tengah tebal pelat yang mengalami proses

penekukan. Disain dari gambar konstruksi pelat ini merupakan gambar jadi dalam bentuk yang diinginkan. Bentuk yang diinginkan merupakan bentuk-bentuk kontur/lengkung, persegi, bola, atau kombinasi dari bentuk-bentuk yang lainnya. Untuk menghitung panjang sebenarnya dari bentuk gambar ini dapat dilakukan dengan pendekatan secara matematis.



Gambar 2.55. Bentangan Pelat dengan Tipe *Bend Allowance* dan *Bend Reduction*

Pada gambar terlihat bentuk melengkung dengan jari-jari (R) dengan kombinasi Lurus. Jika panjang bentangan lurus a arah kekiri dan b panjang lengkungan serta c panjang bentangan lurus arah kekanan, panjang total dari pelat yang dibutuhkan untuk pembuatan lengkungan ini dapat dicari dengan mengukur bagian yang tidak mengalami proses penekukan. Bagian ini adalah bidang a dan b. Bidang a dan b ini dapat diukur secara langsung panjang sebenarnya. Bidang c merupakan bidang yang melengkung. Karena itu proses pengukurannya dilakukan dengan mengukur besarnya radius dan tebal bahan pelat. Persamaan matematis dapat pula digunakan untuk menghitung panjang bentangan pada proses penekukan dengan menggunakan rumus berikut ini.

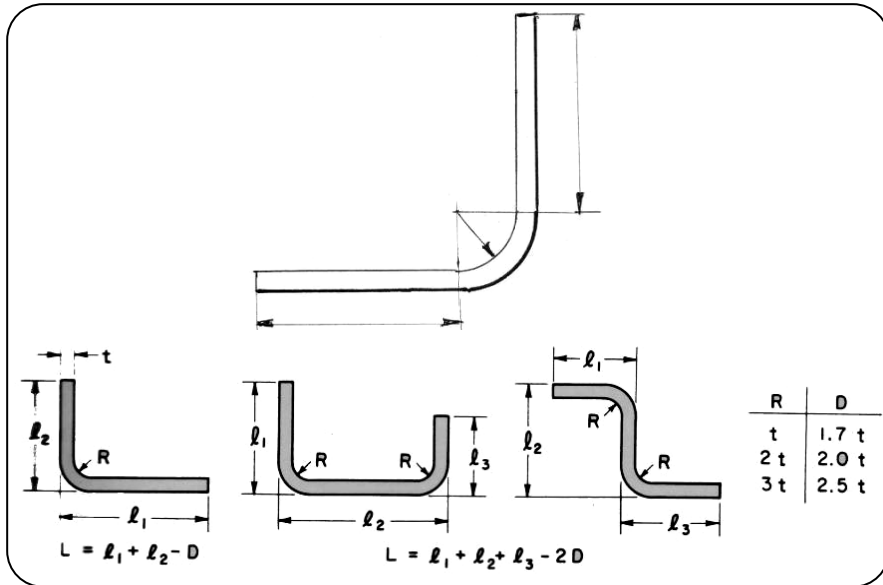
Panjang Bentangan (L) = $a + b + c$

Dimana panjang

- a = 200 mm
- b = 300 mm
- c = panjang lengkungan
- R = 8 mm
- S = 90 ° (sudut bending)
- T = tebal pelat 4 mm

Maka panjang bentangan sesungguhnya (L) = $a + b + c$

$$= 200 + (90/360 \times \pi \times (R + t/2)^2) + 300 = 1285,40 \text{ mm}$$



Gambar 2.56. Kelengkungan pada Proses *Bending*

➤ Keuntungan

Pengerjaan pembentukan pelat dengan sistem bending ini mempunyai beberapa keunggulan diantaranya:

1. Menghasilkan pembungkakan yang lurus dan rapi.
2. Sisi hasil pembungkakan memiliki radius yang merata.
3. Sudut pembungkakan yang dihasilkan sama.
4. Hasil pembungkakan tanpa adanya cacat akibat bekas pemukulan.
5. Menjadikan pelat lebih kaku.

➤ Kesalahan dalam Pembentukan

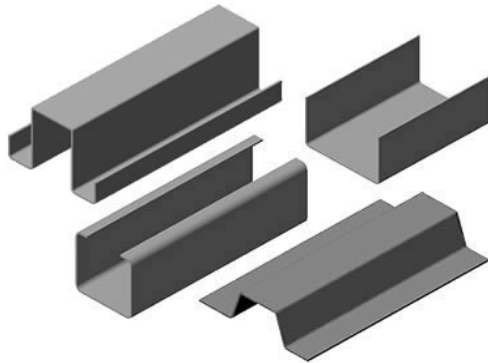
Kesalahan-kesalahan yang sering terjadi pada proses pembungkakan ini adalah berikut ini.

1. Hasil pembungkakan tidak merata atau pada sisi tengah pelat lebih cembung dibandingkan sisi tepi yang lain. Hal ini disebabkan karena tebal pelat yang ditebuk melebihi kapasitas mesin lipat.
2. Jika posisi peletakan pelat tidak sejajar terhadap sepatu penjepit, mengakibatkan hasil pembungkakan menjadi miring.
3. Penekanan pelat pada sepatu pembentuk tidak boleh melebihi atau kurang dari batas sudut pembungkakan yang diinginkan. Jika hal ini terjadi, hasil pembungkakan

cenderung mempunyai sudut pembengkokan yang tidak tepat atau tidak sesuai yang diharapkan.

➤ **Aplikasi Proses Tekuk**

Penerapan proses bending ini banyak digunakan untuk pembuatan bodi atau *cover* mesin-mesin. *Cover* mesin-mesin ini biasanya dikerjakan dengan proses *bending*, yakni dengan melipat sisi-sisi tepi pelat sehingga pelat menjadi lebih kaku dan ringan. *Cover* mesin-mesin ini dapat dengan mudah dibongkar pasang. Kondisi ini dirancang untuk mempermudah proses penggantian atau perawatan mesin tersebut. Aplikasi lain dari sistem bending ini dapat dilihat pada bodi-bodi mesin dan kendaraan, seperti bodi kereta api, bodi truck, bodi alat-alat berat, dan bodi mesin-mesin pertanian.



Gambar 2.57. Aplikasi Proses Tekuk

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam proses pembengkokan pelat

Hasil pembengkokan pelat yang baik dapat dihasilkan dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Sebelum melakukan proses pembengkokan pelat mesin pembengkok harus diperiksa terlebih dahulu terutama dies, atau sepatu pembentuk dan sudut pembengkokan yang diinginkan.
2. Tandailah sisi bagian tepi pelat yang akan dibengkokkan.
3. Posisi tanda pembengkokan ini harus sejajar dengan *dien* pembengkok.
4. Penjepitan pelat harus kuat.
5. Atur sudut pembengkokan sesuai dengan sudut pembengkokan yang dikehendaki.
6. Sesuaikan dies landasan dengan bentuk pembengkokan yang diinginkan.

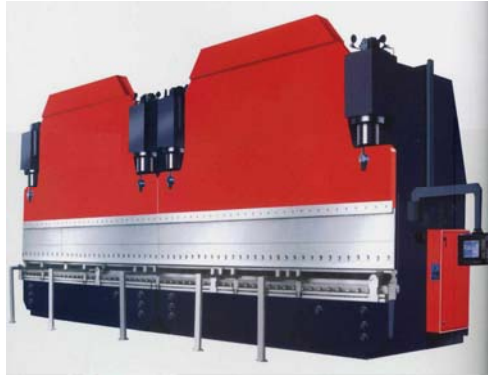
7. Mulailah proses pembengkokan dengan memperhatikan sisi-sisi yang akan dibengkokan, hal ini untuk menjaga agar lebih dahulu mengerjakan posisi pelat yang mudah.
8. Jika ingin melakukan pembengkokan dengan jumlah yang banyak buatlah *jig* atau alat bantu untuk memudahkan proses pembengkokan. *Jig* ini bertujuan untuk memudahkan pekerjaan sehingga menghasilkan bentuk pembengkokan yang sama.

Teknik dan prosedur pembengkokan yang benar akan menghasilkan pembengkokan yang lurus, rapi dan merata.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam proses pembengkokan, diantaranya adalah sebagai berikut ini.

- Menghitung panjang bentangan akibat proses pembengkokan. Hal ini bertujuan agar hasil radius pembengkokan tepat sesuai dengan ukuran yang dikehendaki. Membuat tanda pada sisi bagian pelat yang akan dibengkokan. Tanda ini dapat dilakukan dengan penggores, yakni dengan menentukan ukuran sisi yang akan dibengkokan.
- Menentukan langkah yang tepat pada saat akan dilakukannya pembengkokannya. Langkah ini ditentukan berdasarkan urutan pekerjaan pembengkokan sehingga saat proses berlangsung tidak ada pembengkokan lainnya terganggu dengan proses pembengkokan dari sisi lainnya.
- Pada saat meletakkan pelat di atas landasan atau diantara landasan dan penjepit harus sejajar kelurusannya. Kelurusan bagian sisi pelat yang akan dibengkokan dengan tanda yang sudah digores terhadap dies penekan.
- Penjepitan pelat di sepatu mesin *bending* harus ditahan dengan baik agar pelat tidak mengalami perubahan posisi kelurusannya. Jika terjadi pergeseran, bahan hasil pembengkokan menjadi miring atau menyimpang.
- Sudut hasil pembengkokan harus dilebihkan dari sudut yang diinginkan. Kelebihan ini untuk mengantisipasi pengaruh elastisitas bahan pelat yang mengalami pembengkokan. Besarnya kelebihan sudut penekan ini berdasarkan pengalaman sangat ditentukan oleh jenis

bahan, tebal, dan panjang pelat yang akan dibengkokkan. *Offset* atau penyimpangan ini secara mekanika besarnya 0,02 %.

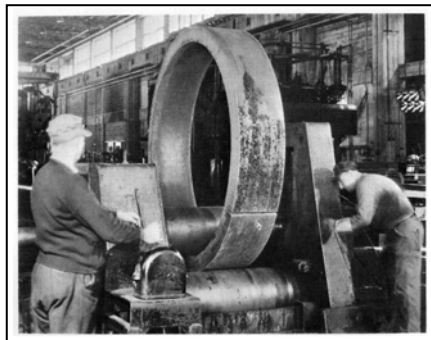


Gambar 2.58. Perkembangan Mesin Tekuk di Industri *Hydraulic Bending Machine NC*

I. Proses Pengerolan

➤ Definisi

Pengerolan merupakan proses pembentukan yang dilakukan dengan menjepit pelat diantara dua rol. Rol tekan dan rol utama berputar berlawanan arah sehingga dapat menggerakkan pelat. Pelat bergerak linear melewati rol pembentuk. Posisi rol pembentuk berada di bawah garis gerakan pelat, sehingga pelat tertekan dan mengalami pembengkokan. Akibat penekanan dari rol pembentuk dengan putaran rol penjepit ini terjadilah proses pengerolan. Pada saat pelat bergerak melewati rol pembentuk dengan kondisi pembengkokan yang sama maka akan menghasilkan radius pengerolan yang merata. (lihat gambar 2.56)



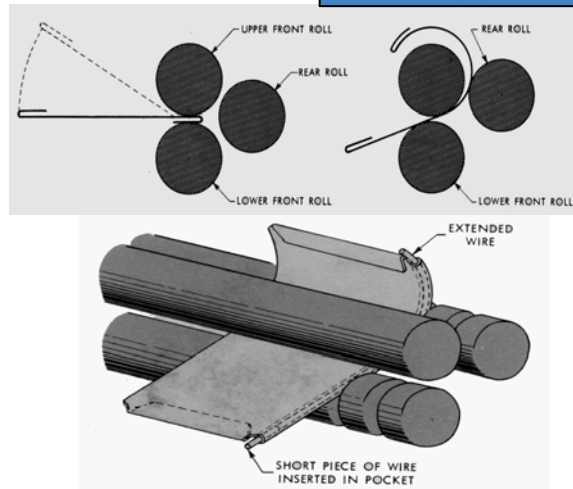
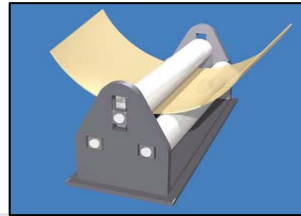
Gambar 2.59. Proses Pengerolan Pelat Tebal di Industri Pengerolan Dilakukan dengan Menggunakan Motor Listrik sebagai Penggerak dan Sistem Penekannya Menggunakan Hidrolik Sistem (Kalpajian, 1984)

➤ Proses

Proses pengerolan dapat terjadi apabila besarnya sudut kontak antara rol penjepit dengan pelat yang akan dirol melebihi gaya penekan yang yang ditimbulkan dari penurunan rol pembentuk. Besarnya penjepitan ini dapat mendorong pelat sekaligus pelat dapat melewati rol pembentuk. Proses pengerolan ini dapat dilihat seperti pada gambar.

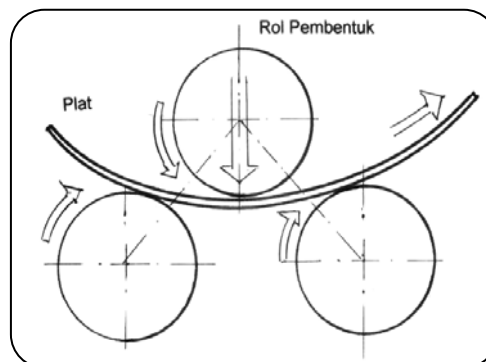
➤ Sistem Pengerolan

- ◆ Tipe Susunan Rol
- ◆ Tipe Jepit



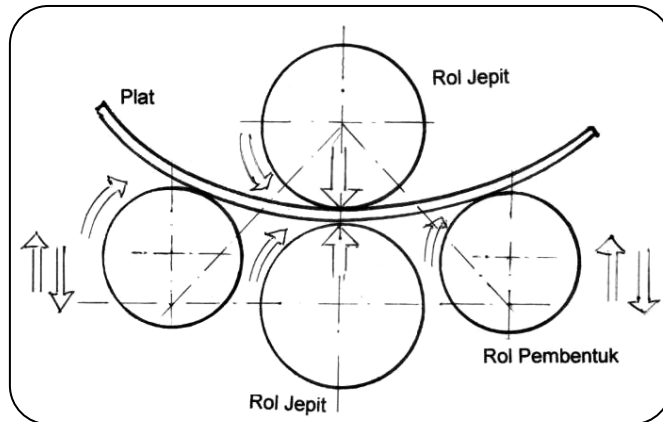
Gambar 2.60. Tipe Susunan Rol Jepit

- ◆ Tipe Piramid



Gambar 2. 61. Tipe Susunan Rol Piramid

◆ Tipe Kombinasi Jepit dan Piramid



Gambar 2. 62. Tipe Susunan Rol Kombinasi Jepit dan Piramide

➤ **Sistem Pengerolan**

Pembentukan rol adalah metode lain untuk menghasilkan bentuk-bentuk lengkung yang panjang. Proses pengerolan ini juga digunakan untuk menghasilkan silinder-silinder berdinding tipis ataupun silinder berdinding tebal dari lembaran datar.

Berbagai metode telah digunakan untuk melengkungkan atau membentuk silinder dari pelat lurus. Bagian-bagian yang berbentuk silinder dan kerucut dibuat dengan memakai pengerol lengkung. Pelengkung tiga rol tidak menjamin terhindarnya penekukan pada lembaran yang tipis. Seringkali ditambahkan rol ke empat pada bagian keluaran untuk memberikan pengaturan tambahan terhadap kelengkungan. Pada pembebanan 3 titik, momen lengkung maksimal terletak di tengah-tengah panjang bentangan. Hal ini dapat menimbulkan regangan lokal, sehingga batas pembentukan terjadi di tengah-tengah, sebelum bahan dilengkungkan sebagaimana mestinya.

Deformasi yang lebih seragam diperoleh dengan memakai peralatan jenis "wiper". Dalam bentuknya yang paling sederhana, peralatan ini terdiri atas lembaran yang diklem salah satu ujungnya pada blok pembentuk. Kontur terbentuk oleh pukulan palu berturutan, dimulai di dekat klem dan bergerak menuju ujung yang bebas. Suatu pelengkung tipe "wiper" ditunjukkan pada gambar 2.61. Pada tipe blok pembentuk atau cetakan mempunyai kontur yang tidak seragam. Karena itu, rol harus ditekan ke blok dengan tekanan seragam yang diperoleh dari silinder hidrolik. Metode ketiga untuk menghasilkan kontur

adalah pembentukan selubung (*wrap forming*). Pada pembentukan selubung, lembaran untuk mencegah terjadinya (Gambar 2.62). Contoh sederhana pembentukan selubung adalah penggulangan pegas pada madril. Pembentukan regang bagian-bagian yang melengkung merupakan kasus khusus pembentukan selubung.

◆ Tipe Jepit

Mesin Rol tipe jepit mempunyai susunan rolnya membentuk huruf L. Mesin rol ini terdiri atas 3 tiga buah rol yang panjang. Dua rol berfungsi menjepit bahan pelat yang akan di rol. Kedua rol ini berputar berlawanan arah, Rol utama merupakan rol penggerak dimana gerakan putar yang dihasilkan rol dapat diperoleh dari putaran tuas maupun putaran motor listrik. Rol penjepit bagian yang satu lagi dapat bergerak turun naik. Pada saat turun rol penjepit secara sejajar menjepit pelat yang akan di rol. Proses penurunan rol penjepit ini dilakukan dengan memutar tuas pada bagian atas. Pemutaran tuas ini sebaiknya dilakukan secara bersamaan sehingga rol penjepit akan turun sejajar dan merata penjepitannya.

Penjepitan pelat ini diharapkan merata pada seluruh bagian pelat. Apabila penekanan ini tidak merata, kemungkinan hasil pengerolan yang terjadi tidak membentuk silinder sempurna atau mendekati bulat yang merata diseluruh bagian pelat yang mengalami pengerolan. Rol penekan juga harus diatur turunnya secara bersamaan dimana posisi rol penekan ini juga harus sejajar terhadap bidang pelat yang akan dirol. Penurunan rol penekan ini juga dapat diatur turun atau naiknya dengan tuas pengatur.

Proses pengerolan dapat dilakukan pada arah ke bawah ataupun ke atas yang sangat ditentukan oleh posisi rol yang dapat dibuka. Pelat yang sudah mengalami proses pengerolan akan menjadi bentuk silinder dimana ujung-ujung pelat yang di rol akan bersatu. Kondisi ini akan menyebabkan sulitnya pelat yang sudah di rol keluar dari mesin rol ini. Mesin rol harus dilengkapi dengan salah satu ujung rol penjepitnya dapat dengan mudah dibuka dan dipasang kembali. Kemudahan untuk membuka dan memasang kembali rol ini akan berpengaruh terhadap operasional mesin rol tersebut. Kemudahan operasional ini akan memperlancar proses pengerolan dan sekaligus dapat memperlancar produksi dan meningkatkan efisiensi kerja.

Hasilnya, biaya proses pengerolan menjadi lebih murah. Rol yang ketiga berfungsi menekan ujung pelat sampai pelat mengalami pembengkokan. Pada saat pelat tertekan oleh rol penekan, pelat bergerak linear searah putaran rol penjepit. Tekanan gaya rol penjepit ini harus lebih besar dari defleksi yang ditimbulkan akibat penekanan pelat tersebut.

◆ Tipe Piramide

Mesin rol tipe piramide mempunyai susunan rol membentuk piramide atau segitiga. Jumlah rol pada mesin rol tipe piramide ini berjumlah tiga buah. Dua rol bagian bawah berfungsi menahan pelat yang akan di rol. Rol bagian atas berfungsi menekan pelat sampai pelat mengalami perubahan bentuk menjadi melengkung. Kelengkungan akibat penurunan rol atas ini selanjutnya diteruskan pada bagian sisi pelat yang lain sambil mengikuti putaran ketiga rol tersebut. Dua Rol bagian bawah berputar searah dimana posisi garis singgung bagian sisi atas rol merupakan arah gerakan pelat yang mengalami proses pengerolan ini. Rol bagian atas berputar berlawanan arah dari gerakan kedua rol bawah. Kedua Rol bagian bawah merupakan sumber putaran. Putaran rol ini dapat diperoleh dengan memutar tuas rol yang berhubungan langsung dengan gigi pemutar mesin rol. Mesin rol tipe ini juga ada yang menggunakan motor listrik sebagai sumber tenaga untuk melakukan proses pengerolan. Rol bagian atas biasanya dapat dengan mudah dibongkar dan dipasang kembali. Hal ini sama fungsinya dengan rol tipe jepit. Pelat yang sudah di rol dapat dengan mudah dikeluarkan dari mesin rol.

◆ Tipe Kombinasi Jepit dan Piramide

Mesin rol kombinasi tipe jepit dan piramide ini terdiri atas empat rol (Lihat gambar 2.61). Dua buah rol berada di tengah, yang berfungsi menjepit pelat dan sekaligus mendorong pelat ke arah rol penekan. Rol penekan dan pengarah pada bagian depan dan belakang masing-masing dapat diatur sesuai dengan ketinggian kedudukan rol. Rol penggerak utama berada di bagian bawah. Rol ini tidak dapat diatur atau tetap pada kondisinya. Akan tetapi rol ini dapat dibuka dan dipasang kembali. Sistem buka pasang ini merupakan sistem kerja mesin rol yang berfungsi untuk menurunkan pelat yang sudah berbentuk silinder keluar. Rol penjepit bagian atas dapat diatur turun naiknya. Turun naiknya rol penjepit ini disesuaikan dengan ketebalan pelat yang akan dibentuk. Sistem pengerolan dengan susunan rol

kombinasi jepit dan piramide ini mempunyai keuntungan jika dibandingkan dengan sistem lainnya. Diantaranya adalah dapat melakukan proses pengerolan timbal balik. Kemampuan sistem susunan rol tipe ini biasanya digunakan untuk proses pengerolan pelat-pelat tebal dan panjang.

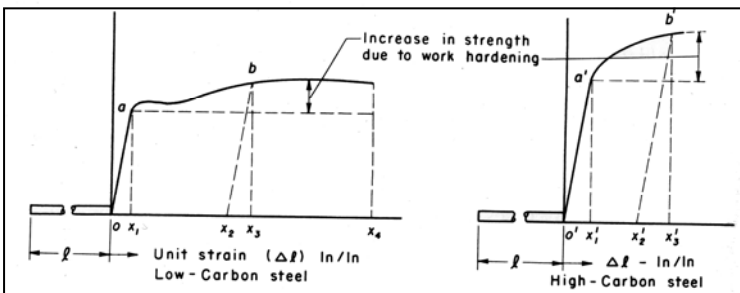
➤ Distribusi Gaya-gaya pada Pengerolan

Gaya-gaya yang terjadi pada pengerolan ini dapat dilihat seperti pada gambar. Rol penekan memberikan gaya tekan pada pelat. Secara mekanika terjadi defleksi pada ujung sisi pelat yang tertekan. Arah gaya pembentuk berada pada garis singgung pertemuan rol penekan dengan pelat yang mengalami kelengkungan. Gaya putar tuas diteruskan ke rol penjepit. Selanjutnya gaya penjepit dari tuas ini mendorong pelat ke arah rol penekan.

➤ Diagram Tegangan Regangan Berulang pada Proses Pengerolan

Proses pengerolan biasanya dilakukan secara berulang-ulang. Aplikasi proses pengerolan berulang ini bertujuan untuk meringankan beban pengerolan. Pengerolan dengan sistem berulang ini akan memberikan pemerataan pembentukan pada seluruh bidang pelat yang mengalami proses pengerolan. Khususnya ujung-ujung sisi pelat yang bersentuhan dengan rol pembentuk.

Diagram Tegangan Regangan di bawah memperlihatkan baja karbon rendah yang menjadi bahan dasar pelat lembaran ini memiliki regangan yang besar jika dibandingkan dengan baja karbon tinggi. Regangan ini dapat di putus-putus dengan pengulangan sistem pengerolan.



Gambar 2.63. Grafik Tegangan Regangan Baja Carbon Rendah dan Baja Karbon Tinggi (Dieter, 1986)

➤ **Karakteristik**

- ◆ Pengerolan silinder
Pengerolan silinder adalah pengerolan yang menghasilkan bentuk silinder atau tabung dengan kelengkungan tersendiri.
- ◆ Pengerolan kerucut
Pengerolan kerucut merupakan hasil pengerolan bentuk-bentuk kerucut. Bentuk kerucut ini dihasilkan dari mesin rol kerucut. Bentuk kerucut ini juga dapat dihasilkan dari pengerolan biasa dengan teknik-teknik tertentu.
- ◆ Peralatan yang digunakan, alat bantu, alat utama
Alat-alat bantu mesin pengerolan ini meliputi: unit mesin rol yang terdiri atas rol utama, tuas pemutar, tuas penjepit, dan tuas penekan.

➤ **Teknik dan Prosedur yang Dilakukan dalam Proses Pengerolan Mengikuti Langkah-langkah Berikut ini.**

- Posisi rol seluruhnya harus pada kondisi sejajar terhadap rol penjepit sebagai acuan.
- Longgarkan antara rol penjepit.
- Aturlah tinggi rol penekan pada posisi mendatar pelat, beri celah antara rol penjepit untuk memudahkan masuknya pelat.
- Turunkan rol penjepit secara bersamaan.
- Naikkan rol penekan secara bertahap untuk meringankan putaran tuas pengerolan.
- Pengerolan sebaiknya dilakukan secara bertahan sampai seluruh sisi pelat mengalami proses pengerolan.

➤ **Mesin Rol**



Gambar 2.64. Mesin Rol Kombinasi Tipe Jepit dan Piramide

Gambar bentangan rol dapat dihitung berdasarkan diameter dan tebal pelat. Untuk menghitung panjang bentangan silinder ini

dapat digunakan persamaan matematis yang dengan menghitung keliling lingkaran dari silinder yang terbentuk. Diameter yang dihitung berdasarkan diameter bagian dalam atau *inside* diameter ditambah tebal pelat. Pertimbangan lain yang harus diperhatikan dalam menghitung panjang bentangan pelat ini dapat ditambahkan metoda penyambungan silinder yang akan digunakan.

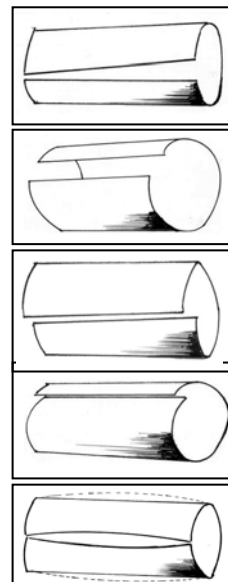
Bentangan untuk silinder (L) = $\pi \times (D + t.pelat) + \text{Metoda Sambungan}$.

➤ Keuntungan

- Menghasilkan radius pembentukan yang menyeluruh.
- Proses kerja pengerolan sederhana sehingga biaya yang dibutuhkan relatif lebih murah.
- Dapat mengerol berbagai bentuk silinder kecil maupun yang besar.
- Tenaga pengerolan lebih ringan karena dapat dilakukan secara berulang-ulang.
- Mampu mengerol kerucut secara bertahap.
- Hasil pengerolan merata diseluruh lembaran pelat dan kondisi pelat yang terbentuk tanpa cacat.

➤ Kesalahan dalam Pembentukan

- Posisi rol pembentuk tidak sejajar
- Penekanan rol pembentuk berlebih
- Penekanan rol pembentuk kurang
- Posisi pelat yang masuk miring
- Pelat mengalami deformasi arah melintang



Gambar 2.65. Macam-macam Kesalahan pada Proses Pengerolan

➤ **Finishing Proses Pengerolan**

Finishing proses pengerolan dilakukan dengan berbagai cara. Pengerolan pelat dilakukan untuk menghasilkan bentuk-bentuk silinder sesuai dengan bentuk yang dikehendaki. Proses selanjutnya, setelah pelat dirol dilakukan proses penyambungan pelat yang sudah terbentuk kelengkungannya.

Penyambungan ini sangat tergantung pada besar kecilnya silinder yang diinginkan. *Finishing* proses pengerolan ini menggunakan proses pengecatan pada bagian dinding yang sudah menjadi silinder atau tabung-tabung. Pengecatan ini berfungsi untukantisipasi proses pengkaratan pada dinding tabung atau silinder.

➤ **Aplikasi**

Aplikasi penggunaan dari produksi pengerolan ini sangat banyak terutama dalam pembuatan tangki-tangki besar untuk tempat penyimpanan berbagai macam cairan. Bahkan, untuk pembuatan boiler bertekanan tinggi juga dapat dihasilkan dari proses pengerolan ini.

Pada gambar berikut ini diperlihatkan hasil pengerolan yang ada di industri. Tangki-tangki itu ada umumnya digunakan sebagai tempat penyimpanan cairan, baik berupa minyak maupun air, atau bahan kimia.



Gambar 2.66. Aplikasi Proses Pengerolan yang Ada di Industri

J. Proses *Stretching* (Peregangan)

Stretching pada dasarnya merupakan proses pembentukan rentang, yakni proses pembentukan gaya tarik utama sehingga bahan tertarik pada peralatan atau blok pembentukan. Prosesnya merupakan perkembangan proses pelurusan rentang lembaran-lembaran yang di gulung. Pembentukan rentang banyak digunakan pada industri pesawat terbang untuk menghasilkan lengkungan-lengkungan dengan jari-jari lengkung besar, seringkali lengkungan ganda. pada proses ini balikan pegas berkurang sekali, karena gradien tegangan relatif seragam. di lain pihak, karena tegangan tarik dominan, maka proses ini deformasi yang besar hanya terjadi pada bahan yang sangat ulet.

Peralatan pembentukan rentang pada dasarnya terdiri atas cakram pengendali hidraulis (biasanya vertikal) yang menggerakkan penumbuk atau 2 buah penjepit untuk mencengkram ujung lembaran. Pada pembentukan proses sedemikian gaya-gaya selalu segaris dengan pinggiran lembaran tidak ditumpu, atau lembaran tetap, sehingga diperlukan jari-jari yang besar untuk mencegah terjadinya sobekan pada lembaran yang terjepit dalam menggunakan mesin pembentuk rentang bahan lembaran logam mula-mula dilengkungkan atau ditaruh pada blok pembentuk dengan tegangan tarik yang relatif kecil kemudian dijepit dan beban tarik ditingkatkan dan terjadi deformasi plastik hingga diperoleh bentuk akhir perbedaan dengan pembentukan selubung adalah pada kelambatan proses penembukan yang mula-mula di cengkram, kemudian masih dalam keadaan lurus dibebani hingga batas elastik sebelum diselungkan mengelilingi blok pembentuk.

Perentangan pada umumnya merupakan bagian dari proses pembentukan lembaran. Sebagai contoh, pada pembentukan mangkuk dengan dasar berbentuk belahan bola, lembaran direntangkan di atas permukaan pons berbagai penekanan untuk ujung-ujung pelat ditahan pada sisi cekam dan selanjut ujung berikutnya dilakukan penarikan mengikuti bentuk kelengkungan yang diinginkan. Kelengkungan yang dapat dikerjakan dengan proses *stretching* ini adalah bentuk lengkungan cembung.

Pelat strip yang ditarik, diketahui bahwa batas deformasi seragam terjadi pada regangan yang sama dengan eksponen pengerasan regangan pada tarikan dwi sumbu penyempitan setempat yang terjadi pada percobaan tarik biasa dapat dihindarkan jika $\sigma^2 / \sigma^1 > 1/2$. Pada bahan terjadi penyempitan setempat difusi yang tidak

mudah dilihat dengan mata. Akhirnya, pada perentangan lembaran tipis ketiakstabilan plastik akan terjadi dalam bentuk penyempitan setempat yang sempit. akan ada sumbu dengan regangan = 0 pada sudut Φ terhadap sumbu deformasi.

Regangan normal ϵ^z harus nol, jika tidak bahan yang berdekatan dengan pinggiran pita akan terdeformasi, kemudian pita akan menyebar di sepanjang X^2 dan pita akan berkembang menjadi penyempit difusi. Dapat dilihat bahwa $\Phi \approx \pm 55^\circ$ untuk bahan isotronik pada beban tarik murni. Kriteria untuk penyempitan setempat yang ditunjukkan dalam bagian 8-3 menjadi yang dari kenyataan bahwa penurunan luas akibat pada penyempitan lokal kurang cepat dari penyempitan difusi. Untuk pengerasan regang yang mengikuti hukum pangkat, terlihat bahwa untuk penyempitan setempat difusi $\epsilon_{\text{setempat}} = n$. Tetapi penyempitan setempat makin besar penurunan tebal pada bengkokan.

Sesuai teori pembengkokan, regangan bertambah besar turunnya jari-jari lengkung jika perubahan tebal diabaikan. Sumbu netral tetap berada di bagian tengah dan perentangan melingkar pada permukaan atas $E a$ akan sama dengan pengerutan pada permukaan bawah. Regangan konvensional pada serat luar dan serat dalam diberikan oleh:

$$E a = E h = \frac{1}{2R/h + 1} \quad (\text{Dieter, 1986})$$

Percobaan menunjukkan bahwa regangan melingkar pada permukaan tarik lebih besar dari yang diberikan oleh persamaan (20-2). Untuk nilai h/R yang besar pada permukaan tekanan tidak jauh berbeda dengan hasil persamaan tersebut.

Untuk pekerjaan pembengkokan tertentu, jari-jari bengkokan tidak padat lebih kecil dari nilai tertentu karena logam akan mengalami retak di permukaan luar. Jari-jari bengkokan minimum biasanya dinyatakan sebagai kelipatan tebal lembaran. Jadi, jari-jari bengkokan $3T$ menyatakan bahwa logam dapat dibengkokan tanpa terjadi retakan dengan jari-jari bengkokan 3 kali tebalnya. Oleh karena itu, jari-jari bengkokan minimum merupakan batas pembentukan. Nilai jari-jari minimum pembengkokan tergantung pada jenis logam dan bertambah besar apabila logam mengalami pengerjaan dingin. Walaupun beberapa logam yang dapat ulet mempunyai jari-jari lengkungan minimum = nol, yang berarti bahwa logam ini dapat dilipat rata, biasanya digunakan jari-jari bengkokan lebih besar dari $\frac{1}{32}$ in untuk mencegah terjadinya kerusakan pada

pons dan cetakan. Untuk lembaran logam berkekuatan tinggi, jari-jari bengkokan minimal adalah 5T atau lebih. Jari-jari bengkokan minimum bukan parameter bahan belaka karena nilainya tergantung antara lain pada geometri bengkokan.

Jari-jari bengkokan minimum untuk tebal lembaran tertentu dapat diprediksi dengan cukup teliti dari pengurangan luas yang diukur pada uji q . Jika q lebih kecil dari 0,2, maka pergeseran pada sumbu netral dapat diabaikan dan R_{min} diberikan oleh persamaan:

$$\frac{R_{min}}{H} = \frac{1}{2q} - 1 \text{ untuk } q < 0,2 \text{ (Dieter, 1986)}$$

Bila q lebih besar dari 0,2 maka pergeseran pada sumbu netral harus diperhitungkan dan jari-jari bengkokan minimum dinyatakan sebagai:

$$\frac{R_{min}}{h} = \frac{(1 - q)^2}{2q - q^2} \text{ untuk } q > 0,2 \text{ (Dieter, 1986)}$$

Keuletan serat-serat luar pada bengkokan merupakan fungsi dari keadaan tegangan yang bekerja pada permukaan terjadi kondisi tegangan dwi sumbu akan menurunkan keuletan logam.

Perbandingan Q^2 / Q^1 , tegangan melintang terhadap tegangan melingkar akan bertambah besar dengan bertambahnya perbandingan lebar terhadap tebal, b/h . Menunjukkan bahwa untuk nilai b/h yang rendah ke dua sumbu juga rendah, karena keadaan tegangan praktis bersifat tarik murni, tetapi sejalan dengan bertambahnya lebar (relatif terhadap tebal) perbandingan Q^2 / Q^1 meningkat hingga pada $b/h = k$ e dua sumbu mencapai nilai jenuh, sebesar $1/2$ regangan yang mengakibatkan patah pada bengkokan bergantung terbalik dengan perbandingan antara lebar-lebar. Pada pembengkokan dengan perbandingan lebar-tebal yang tinggi retak terjadi di dekat pertengahan lembaran.

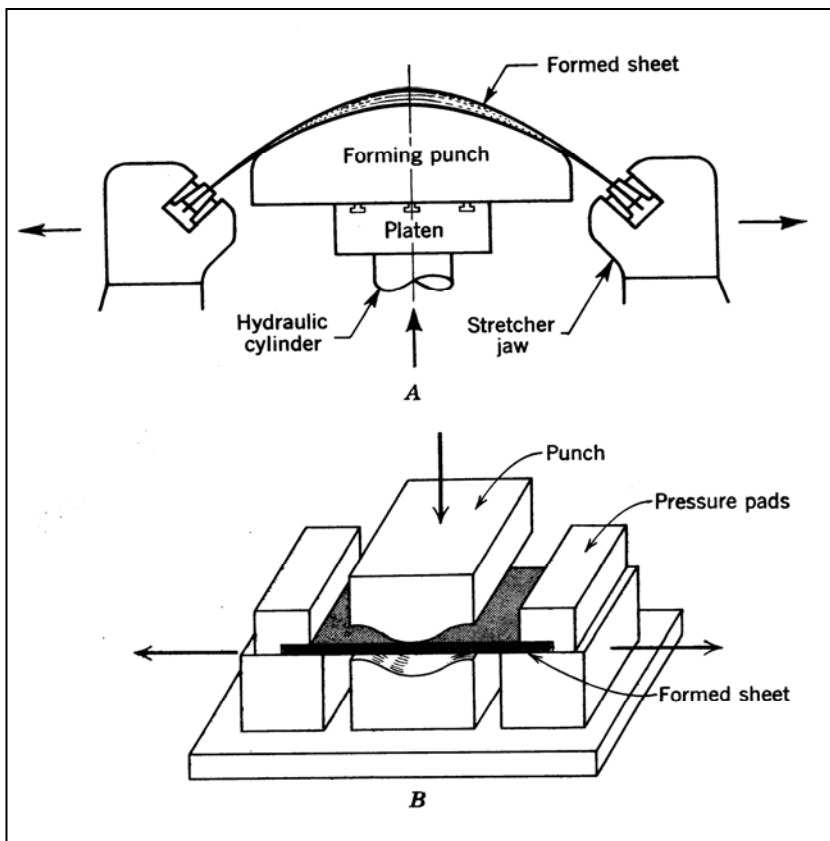
- **Karakteristik Proses *Stretching***

Proses *stretching* mempunyai karakteristik sendiri dimana ciri yang paling menonjol pada proses ini bentuk komponen pelat yang di proses relatif besar. Bentuk kelengkungan yang di kerjakan umumnya berbentuk cembung besar.

- **Peralatan yang Digunakan pada Proses *Stretching***

Alat-alat yang digunakan pada proses *stretching* ini meliputi dies sebagai landasan pembentukan yang diinginkan terbuat dari bahan plastik campuran.

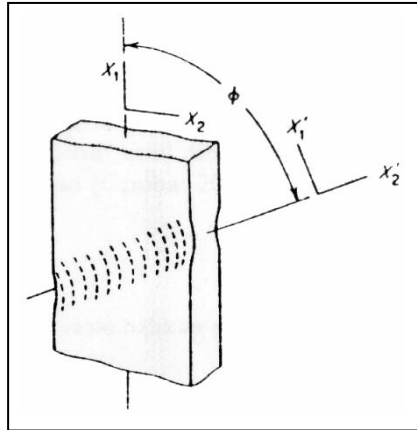
Dies atau cetakan pada proses ini mempunyai bentuk yang diatur sesuai dengan bentuk kelengkungan yang diinginkan. Klem penahan dan klem penarik. Klem penahan ini selalu pada tempatnya (tidak bergerak) klem penarik dihubungkan dengan konektor penarik sejajar dengan bentuk lengkungan yang diinginkan.



Gambar 2.67. Proses Peregangan
(Dieter, 1986)

Pelat dijepit pada ujung-ujungnya, *dies* bergerak sejalan dengan blok pembentuk. Penekan yang digunakan adalah penekanan secara hidrolik sehingga proses pengontrolan gerakan blok ini dapat dengan mudah dikontrol.

Gerakkan blok ini bergerak secara bertahap. Biasanya apabila bentuk kontur ini mempunyai profil yang tak tentu maka dapat dibantu dengan proses pembentukan dengan palu secara manual.



Gambar 2.68. Efek Peregangan

Kapasitas pembentukan dengan *stretching* ini mempunyai keunggulan terhadap bidang pelat yang dikerjakan relatif lebih besar dari proses pembentukan lainnya. Beberapa kelemahan sering terjadi pada proses ini diantaranya adalah terjadi penyempitan akibat tarikan (lihat gambar 2.65).

K. Proses Blanking

➤ Definisi

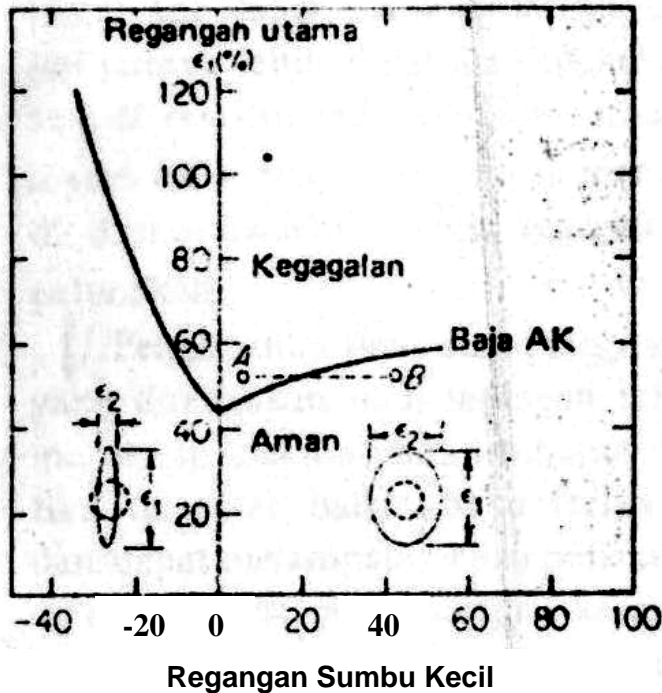
Proses penekanan atau *blanking* ini didasarkan pada proses pengguntingan. Pengguntingan kontur tertutup, dimana logam didalam kontur adalah bagian yang diinginkan, dinamakan penebukan. Jika logam didalam kontur dibuang, pekerjaan yang dilakukan dinamakan pelubangan dan penusukan.

Pembuatan lekukan ke pinggiran lembaran dinamakan dengan penakikan (*notching*).

Pemisahan (*parting*) adalah pemotongan secara simultan setidak-tidaknya pada 2 jalur. Pembelahan adalah pengguntingan tanpa ada bagian logam yang dihilangkan.

Pemangkasan (*triming*) adalah pekerjaan sekunder untuk menepatkan ukuran produk proses sebelumnya, biasanya akibat kelebihan potongan logam. Penghilangan sirip tempa

penekanan, biasanya berupa bola ditekankan pada lembaran hingga pecah.



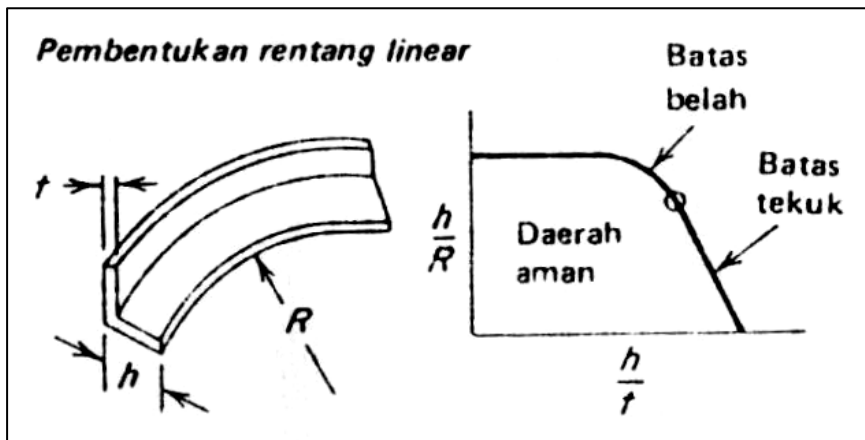
Gambar 3.42. Diagram Batas Pembentukan Keeler Goodwin (Lyman, 1968)

Kedalaman pengembangan sebelum lembaran pecah, diukur. Uji ini membebani lembaran dengan rentangan, sementara uji *swift* pada hakikatnya merupakan penarikan dalam murni. Akan tetapi, sebagian besar proses pembentukan lembaran merupakan kombinasi dari perentangan dwi sumbu dan penarikan dalam. Uji *Fukui*, yang menghasilkan mangkuk kerucut dengan menggunakan penekan ½ bola, juga merupakan kombinasi antara perentangan dan penarikan dalam.

Teknik yang sangat berguna untuk mengendalikan kegagalan pada pembentukan logam lembaran adalah diagram batas pembentukan. Permukaan lembaran diberi kisi lingkaran, yang dibuat dengan cara elektro kimia. Apabila logam mengalami deformasi, lingkaran berubah menjadi *elips*. Sumbu pendek dan sumbu panjang *elips* menyatakan dua buah regangan utama. Regangan dalam dua arah ini diukur sebagai perubahan sumbu-sumbu panjang yang pendek. Regangan ini pada setiap titik permukaan, kemudian dibandingkan dengan diagram Keeler Goodwin untuk suatu bahan. Keadaan

regangan di atas kurva menyatakan kegagalan, sedangkan di bawah nya tidak menyebabkan perpatahan. Sebagai contoh, titik A adalah titik yang mengalami kegagalan, tetapi jika distribusi regangan diubah (mungkin dengan mengubah jari-jari cetakan), dapat digerakkan ke titik B, yang tidak menyebabkan kegagalan logam. Kurva kegagalan untuk daerah tarik-tekan telah diselidiki oleh Keeler dan hampir tetap untuk berbagai jenis baja karbon rendah. Logam-logam yang lain, seperti aluminium mempunyai kurva yang berbeda. Penentuan daerah tarik-tekan pertama kali dilakukan oleh Goodwin.

Pendekatan lain untuk meramalkan kemampuan bentukan lembaran adalah analisis bentuk tarikan rentang. Batas pembentukan bahan ditentukan dengan menggunakan uji Olsen dan uji pelengkungan mangkuk (*cupping*) *swift*. Kemudian bahan uji dipotong-potong menjadi bentuk-bentuk yang sederhana dan besar tarikan atau rentangan dihitung dari geometrinya. Hasil yang diperoleh memberikan diagram batas pembentukan dan tingkat pembentukan yang dapat dicapai.



Gambar 3.43. Kemampuan Bentukan
(Wood Cs)

Gambar kemampuan bentukan serba guna telah dikembangkan untuk proses-proses tertentu seperti pelesungan (*damp*ling), penyentakan (*jog*gling), pembentukan rentang linear, pembentukan karet, perangkaian (*bea*ding) dan pemutaran. Biasanya, pekerjaan-pekerjaan tersebut merupakan proses yang digunakan di industri angkasa luar. Parameter dimensional kritis telah disusun untuk setiap proses. Suatu contoh pembentukan rentang linear terdapat di atas.

Analisis komputer diterapkan untuk melihat proses deformasi mengenai bahan tegar, sehingga rancangan dengan bantuan komputer dan analisis dengan bantuan komputer juga telah diterapkan di bidang pembentukan lembaran. Sistem dengan bantuan komputer dapat menentukan apakah bentuk tertentu dapat dibuat dari lembaran logam berdasarkan gambar rancangan. Program analisis komputer terdiri atas hubungan konstitusi bahan, untuk menentukan regangan kritis. Data untuk FLD dapat ditentukan dengan menggunakan lengkungan bahan lembaran secara eksperimen atau FLD dapat dihitung.

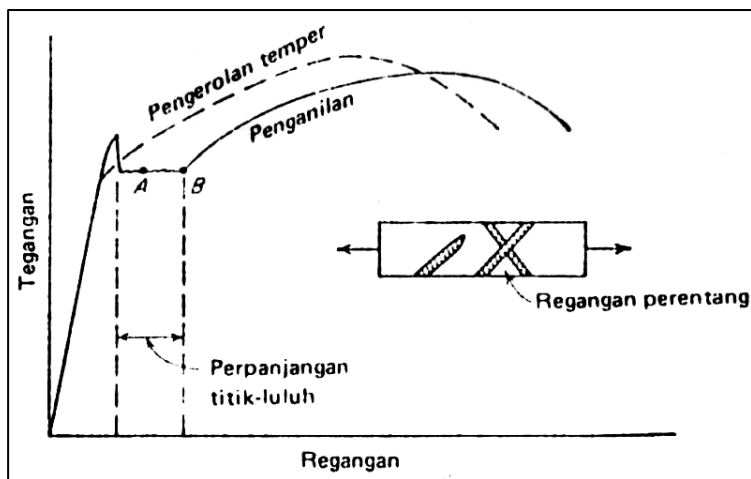
I. Cacat pada Produk Pembentukan

Cacat merupakan hal yang tak diinginkan pada produk komponen lembaran-logam cacat antara lain adalah terbentuknya retak yang akan merusak secara keseluruhan. Kegunaan komponen juga dapat dirusakkan oleh penyempitan setempat atau penipisan atau penekukan dan pengkerutan pada daerah tegangan tekan. Cacat lain adalah kegagalan untuk mempertahankan toleransi dimensi karena terjadi balikan pegas.

Pada penarikan dalam mangkuk, kegagalan yang paling sering terjadi adalah pemisahan dasar pada daerah yang mengalami penipisan paling besar, yaitu di dekat lengkungan pons. Cacat ini dapat diminimumkan dengan cara mengurangi penipisan dengan pons yang jari-jari lebih besar atau memperkecil beban pons pada saat dilakukan penarikan. Jika terjadi retakan radial di flens atau pada pinggiran mangkuk, berarti bahwa logam tidak cukup ulet untuk menahan pengkerutan melingkar yang besar, diperlukan di daerah tersebut. Jenis kegagalan ini lebih sering terjadi pada penarikan ulang tanpa pelunakan.

Pengkerutan *flens* atau pinggiran mangkuk merupakan akibat dari penekukan lembaran yang disebabkan oleh tegangan tekan melingkar yang tinggi. Pada analisis tipe kegagalan ini, setiap elemen pada lembaran dapat dianggap sebagai kolom yang diberi beban tekan. Jika diameter bahan baku terlalu besar, beban dalam pounds akan sangat meningkat nilainya, dan dapat melampaui beban penekukan kritis kolom. Karena stabilitas kolom turun dengan meningkatnya perbandingan kerampingan, beban penekukan kritis akan dicapai pada beban yang lebih rendah untuk lembaran tipis. Untuk mencegah cacat ini, diperlukan pemakaian tekanan penekan yang cukup agar penekukan hilang.

Komponen yang dibentuk dari logam lembaran biasanya memiliki luas permukaan yang besar, maka mudah terkena cacat permukaan yang mengurangi keindahan penampilan komponen tersebut. Kekasaran permukaan yang tampak jelas pada komponen yang mengalami deformasi yang cukup besar dinamakan keriput jeruk (*orange peeling*). Efek keriput jeruk terjadi pada logam lembaran berbutir agak kasar. Cacat ini hasil dari deformasi yang cenderung untuk terdeformasi secara tersendiri, dan karena itu butiran memuat di permukaan, cara terbaik untuk mengatasi hal ini adalah menggunakan lembaran logam berbutir halus, sehingga deformasinya lebih seragam dan setiap butir sulit dibedakan dengan mata telanjang.



Gambar 3.44. Hubungan Regangan Perentangan dengan Kurva Tegangan Regangan (Dieter, 1986)

Cacat yang berada pada permukaan pelat sering terdapat pada lembaran baja karbon rendah adalah adanya regangan perentang, atau cacing (*worm*). Cacat ini nampak sebagai pola yang mirip lidah api di bagian yang rendah pada permukaan. Penurunan bagian permukaan maksimum, dan dengan meningkatnya deformasi cacat menghasilkan permukaan kasar yang seragam.

Cacat regangan perentang berkaitan langsung dengan titik luluh pada kurva tegangan-regangan dan deformasi tak seragam yang terjadi akibat regangan titik luluh. Logam pada regangan perentangan mengalami perentangan sebesar β , sementara logam sisanya hampir-hampir tidak ada regangannya. Hal yang biasa dilakukan untuk mengatasi adalah deformasi dingin baja lembaran sebesar $\frac{1}{2}$ hingga 2% reduksi tebal. Pengerolan temper atau

pengerolan permukaan cukup mampu menghilangkan titik luluh yang ada, jika baja selama penyimpanan mengalami penyepuhan regang, titik luluh akan muncul, dan kesulitan yang berkaitan dengan regangan perentang akan timbul lagi.

Pengerahan sifat-sifat mekanis akibat pengerolah dan proses pengerjaan primer yang lain mempunyai pengaruh yang penting terhadap kemampuan pembentukan suatu logam. Penyeratan mekanis sedikit pengaruhnya pada kemampuan bentuk, sedangkan penyeratan *kristalografi* atau orientasi yang diutamakan, mempunyai pengaruh cukup besar. Biasanya pembengkokan lebih sulit apabila garis pembengkokan sejajar dengan arah pengerolan dan pembengkokan pada arah tegak lurus arah pengerolan jauh lebih mudah.

Salah satu ciri pengarah yang muncul pada penarikan dalam adalah gejala pembentukan kuping (*caring*). Pembentukan kuping adalah terjadinya pinggiran berombak pada bagian atas mangkuk hasil penarikan yang memerlukan pemangkasan untuk menghasilkan bagian atas yang rata. Biasanya terbentuk dua, empat atau enam kuping, tergantung pada orientasi yang diutamakan pada lembaran. Terjadinya kuping dikaitkan langsung dengan *anisotropi planar*, yang dinyatakan sebagai ΔR .

GRADES OF BILLET MATERIAL INSTOCK OR AVAILABLE FROM MILL DEPOT
(If your required grade is not shown, call for assistance)

<u>Alloy Steel</u>	<u>Alloy Steels</u>	<u>Copper Alloys</u>	<u>Nickel, Cobalt, Special Alloys</u>	<u>Stainless Steel PH Grades</u>
2315	9315	Aluminum	Maraging 250,	13-8MO
2340	9430	Bronze	Maraging 300	15-5PH
2515	9840	Nickel	Maraging 350	15-7MO
3140	9850	Aluminum	Monel 400 (reg.)	17-4PH
3145		Bronze	Monel 500 (K)	
3150	<u>Alloy Steel</u>	C613	Nickel 200	<u>Titanium Alloys</u>
3310	<u>Special Grades</u>	C623	Nickel 201	Commercially Pure
3312	HP9-4-20	C624	Nitronic 40	4AL-3MO-1V
3315	HP9-4-30	C630	Nitronic 50	4AL-4MN
4015	CBS600	C632	Nitronic 60	5AL-2.5SN
4017	MA 15	Copper Ni		6AL-2SN -4ZR-2MO
4020	MA 28	C706 (90/10)		6AL-2SN -4ZR-6MO
4023	D6AC	C715(70/30)		6AL-4V
4037	HY80			6A1-6V-2SN
4085	HY100	<u>Magnesium Alloys</u>		
4112	F-11(1 1/4	AZ80		
4115	CR-1/2 MO)			

4120	F-22(2 1/4 CR-1	AZ61A	N155	7AL-4MO
4125	MO)	ZK60A	Multimet	8AL-1MO-1V
4127	F-5(CR-1/2MO)	AZ31B	Nimonic 75	13.5V -11CR-3AL
4130	F-91		Nimonic 80	Ti17
4135	17-22 A	Nickel,	Nimonic 90	CP Grade 1
4140	17-22 AS	Cobalt,	Rene 41	CP Grade 2
4142	17-22 AV	Special	Udimet 500	CP Grade 3
4145	Nitalloy 135N	Alloys	Udimet 700	CP Grade 4
4150	LF1 LF2 LF3	A-286 • AM-355	Vascojet	CP Grade 7
4155	Astroloy	Custom 450	1000	CP Grade 11
4160	Astroloy M	Custom 455	Waspalloy	CP Grade 12
4215		Ferralium 255	Zirconium	
4320	Aluminum	Hastelloy B2	20 CB	Tool Steel
4335	1100	Hastelloy C		A2
4340	2014	Hastelloy	Stainless Steel	A6
4615	2024	C276	254 SMO	A10
4620	2219	Hastelloy N	2205 Super	D2
4630	5083	Hastelloy S	Duplex	D3
4640	5086	Hastelloy W	300 Series	D5
4720	6061	Hastelloy X	302	D6
5150	6063	Haynes 188	303	H11
52100	7049	Haynes 230	304L	H12
6120	7050	Incoloy 800	309	H13
6140	7075	Incoloy 825	310	H21
6145	7079	Incoloy 832	314	H26
6150	7175	Incoloy 890	316L	H43
6170	7475	Incoloy 925	317L	M2
6470		Inconel 600	321	P20
7290	Carbon Steel	Inconel 601	322	S1
8140	1003	Inconel 617	329	S5
8150	1005	Inconel 625	330	S7
8160	1006	Inconel 690	333	T1
8615	1008	Inconel 702	347	W1
8617	1010	Inconel 706	348	W2
8620	1012	Inconel 713	400 Series	
8630	1015	Inconel 718	403	
8640	1018	Inconel 722	405	
8642	1020	Inconel 725	409	
8645	1022	Inconel 738	410	
8720	1023	Inconel 750	414	
8735	1025	Inconel 751	416	
8740	1026	Inconel 800	418	
8750	1029	Inconel 825	420	
9115	1030	Inconel 901	422	
9260	1035			

9310	1040	Inconel 902	429
	1045	Inconel 903	430F
	1055	Inconel W	431
	1070	Invar 36	440A
		Invar 42	440C
		Jethete	442
		M152	446
		Kovar	500 Series
		Rodar	501
		L605	502
		Haynes 25	

Mechanical test certificate:

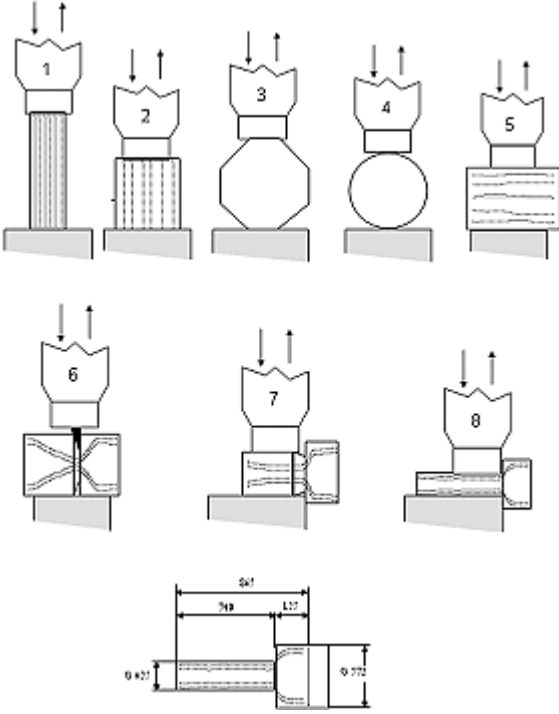
013 PM dated 23/06/2003

014 PM dated 23/06/2003

2	18/04/2003	General Revision	CQ	DS
1	01/01/1999	Added test sampling drawing Modified flow chart of production	CQ	DS
0	26/03/1999	1° Edition	CQ	DS
Rev.	Data	Description	Prepared by	Verified and Approved by

Step	Process	Description
01	Purchasing of raw material	<p>Purchasing of raw material shall be done according to ASTM A 182 F51 - UNS S 31803 and MDS D44 rev.2 with the following requirements:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Melting Electric Arc Furnace + A.O.D. refining • PRE > 35 • N= 0.14 – 0.20 % • Reduction ratio 3/1 min. • Solution annealed condition <p>According Marcora's quality manual ACQ1 last edition. The qualified supplier is: COGNE</p>

02	Receiving inspection on raw material	<p>Receiving inspection on raw material shall be done according to the Marcora's quality manual MAG1 (last revision)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Review of certification according to MDS D44 rev. 2 • Dimensional and visual control and weight control • Check analysis • Recording of raw material • Identification and stocking of raw material
03	Choice of raw material	<p>Identification of raw material according to MDS D44 rev. 2 requirements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bloom 500 mm octagon section – COGNE
04	Cutting	<ul style="list-style-type: none"> • The cutting of raw material is executed by saw <p>A sole codification marking shall be done on each piece for a crossed trace of the job, of the different positions and starting material.</p>
05	Heating for forging	<ul style="list-style-type: none"> • The forging temperature for steel ASTM A 182 F51 - UNS S 31803 is included between 1000°C and 1200°, anyway the minimum allowed forging temperature is 1000°C • In case during forging, the temperature drop below 1000°C the material shall be re-heated at 1200°C for minimum 15 minutes • The heating temperature has to be done slowly up to 700° C (150 °C/h max). • From 700 °C to forging temperature the heating has to be carried out very fast (> 250 °C/h). • The furnaces temperature is controlled through digital regulators and thermocouples of "S" type. <p>Furthermore is available an optical pyrometer with range 600°C – 1600°C. All the control instruments are calibrated yearly. The relevant calibration certificate is filed in QC department.</p>

<p>06</p>	<p>Forging to shape</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • As soon as the forgings operations is completed the forged ring shall be done reheated up to min 1050°C and quenched in water. • In any case the cooling after forging is in water withing max. 60 seconds. Die forging cycle shall be done according to the Marcora's quality manual PRO1 • Minimum reduction ratio shall be 3/1 • After forging every piece is identified with the code of product using the special termic chalk.
<p>Step</p>	<p>Process</p>	<p>Description</p>
<p>07</p>	<p>Controls after forging</p>	<p>After forging all the forged pieces shall be checked by production department (MAG 2). The controls executed are:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visual and dimensional control • Identification and traceability of pieces

		All the forgings shall be marked with the code n° in order to guarantee traceability
08	Heat treatment	<p>Sub supplier: SORBIT S.r.l. - Fraz. Calvenzana – 22040 Rogeno (Como)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Furnace n° Island F10 • Heating rate: 200°/h max. • Holding temperature: 1050°±1090° C • For the Norsok qualification the holding temperature shall be 1060°+/-10°C • Holding time: ½ h x inches calculated on the maximum thickness (min. 2 h) • From furnace, within 60 seconds into water quenching • During and after quenching, max temperature of water is 35°C • Heat treatment lot shall be marked on each piece and the same number referenced on EN 10204 type 3.1.B certificate • Furnace is API 6A ISO 10423 – Appendix H controlled <p>Heat treatment according Marcora's procedure n° HTP 01 Last edition</p>
09	Test lot	<p>Test lot identification shall be as follows</p> <ul style="list-style-type: none"> • Test lot shall not exceed 2000 Kg for forgings with as forged weight <50 Kg • Test lot shall not exceed 5000 Kg for forgings with as forged weight >50 Kg <p>According to Norsok MDS D44 rev. 2</p>
10	Test sampling	One set of impact test, tensile test, hardness test, corrosion test (only for information), microstructure examination and ferrite check shall be carried out for

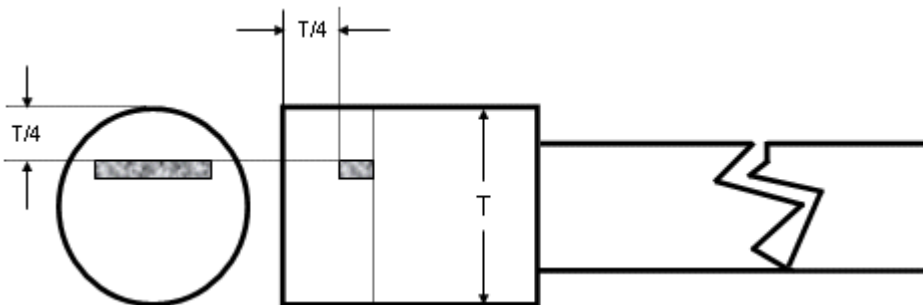
each and heat treatment load.

For the Norsok qualification one set of impact test at -46°C and one micrographic examination shall be executed for information.

Specimens location at $\frac{1}{2} T \times \frac{1}{2} T$.

Test sampling for production

DRG. PP FST 99/0063

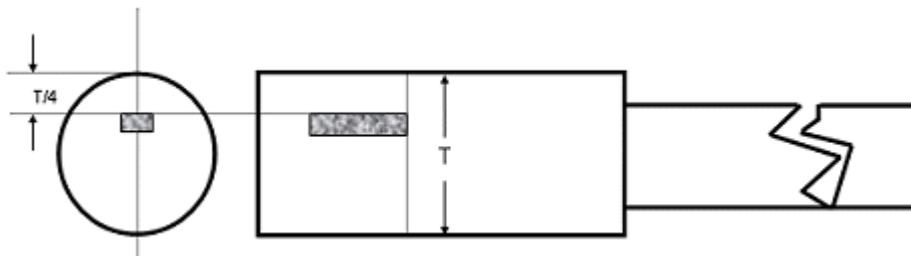


$T (\text{Ø}) > 200 \text{ mm}$

Sampling in transversal position

Test piece $50 \times 20 \times 130 \text{ mm}$ in order to obtain:

- 1 Tensile test
- 3 Impact test (KV – 46°C)
- 1 Micrographic examination
- 1 Ferrite check
- 3 Hardness test
- 1 Corrosion test (only for information)



$T (\text{Ø}) < 200 \text{ mm}$

Sampling in longitudinal position

Test piece $50 \times 20 \times 140 \text{ mm}$ in order to obtain:

- 1 Tensile test
- 3 Impact test (KV – 46°C)
- 1 Micrographic examination

- 1 Ferrite check
- 3 Hardness test
- 1 Corrosion test (only for information)

J. Rangkuman

Proses pengerjaan panas merupakan proses pembentukan yang dilakukan pada daerah di atas temperatur *rekristalisasi* (temperatur tinggi) logam yang diproses. Logam akan mengalami perubahan sifat menjadi lebih lunak pada temperatur tinggi. Kenyataan inilah yang membawa keuntungan-keuntungan pada proses pengerjaan panas, yaitu deformasi yang diberikan kepada benda kerja menjadi lebih relatif besar.

Pengerjaan panas biasanya digunakan pada proses-proses pembentukan primer yang dapat memberikan deformasi yang besar, misalnya proses pengerolan panas, tempa dan *ekstrusi*. *Segregasi* dapat berkurang dengan adanya pemanasan. Pada temperatur tinggi peristiwa difusi akan mudah berlangsung, sehingga efeknya akan lebih menghomogenkan komposisi kimia.

Proses pemanasan untuk mengurangi *segregasi* ini dinamai proses homofenisasi. Besarnya pelunakan dari masing-masing mekanisme tersebut tergantung pada jenis logamnya, temperatur pengerjaan, kecepatan proses deformasi, dan laju regangannya. Batas atas temperatur pengerjaan panas adalah sekitar 50-100⁰C di bawah titik cairnya. Biasanya proses pengerjaan panas dilakukan secara berurutan, misalnya proses pengerolan panas dan diproses tempa yang bertahap.

Menempa merupakan salah satu proses pembentukan yang dilakukan pada benda kerja dalam kondisi panas. Panas yang dimaksud adalah pemanasan benda sebelum dilakukan proses pembentukan. Benda logam dipanaskan terlebih dahulu sampai mencapai temperatur tempa yang diinginkan.

Prinsip dasar menempa secara mekanika mempunyai komponen pembentukan pengepresan atau tekan, peregangan atau tarik, dan pemotongan/geser.

Dapur pemanas ini terdiri atas tempat pembakaran, bodi, cerobong asap, motor penggerak, *blower*, dan bak pendingin. Untuk menghasilkan suatu produksi yang baik dan memenuhi standar pada proses tempa ini dilakukan dengan menghitung

volume awal pada saat benda belum terbentuk dan volume benda pada saat benda sesudah dibentuk. Secara matematis antara volume benda sebelum dibentuk dan sesudah dibentuk harus sama.

Ekstrusi adalah proses dimana suatu balok logam direduksi penampangnya dengan cara menekan logam tersebut melalui lubang cetakan dengan tekanan yang tinggi. Dasar ekstrusi adalah ekstrusi langsung dan ekstrusi tak langsung blok dinamakan juga ekstrusi balik. Suatu blok "*drummy*" atau pelat tekanan diletakkan pada ujung penekan bersentuhan dengan *bilet*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Antoni IKM. 1998. *Kamus Lengkap Teknik*. Surabaya: Gitamedia Press.
- Amanto, Hari dan Daryanto. 2003. *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Amstead, B.H. 1979. *Manufacturing Processes*. New York: John Wiley and Son.
- Avitzur, Betzalel, 1977. *Metal Forming: Processes and Analysis*. New York: Mc Graw Hill.
- Beumer, B. J.M dan B. S Anwir. 1985. *Ilmu Bahan Logam, Jilid I*. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Bogdan O.K and Nicholas W. 1977. *Steel Design for Structural Engineers*. New Jersey: Perntice Hall. Inc.
- Corkson, William, 1975. *Sheet Metal Work*. London: Oxford Technical Press.
- DeGarmo, E. Paul. 1979. *Materials and Processes in Manufacturing*. London: The Macmillan Company.
- Dieter, George E. 1986. *Mechanical Metallurgy*. New York: Mc Graw Hill.
- Kaliyani. 2001. *Forging*. Germany: Kalyani Thermal Systems Ltd
- Kalpakjian, Scrope. 1984. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. Canada: Addison Wesley Publishing Company.
- Kenyon. W. 1979. *Basic Welding and Fabrication*. New York: Mc Graw Hill
- Korb, Lawrence, et.al. 1987. *Metals Handbook*. Ohio: ASM International.
- Lyman. T, 1968. *Sheet Metal Hand Book*. New York: ILO
- Meyer, Leo. A. 1975. *Sheet Metal Shop Practice*. Chicago: Ais Publication.
- Mills, Kathleen, et.al. 1995. *Metals Handbook*. United States of Amerika: ASM International.
- Purwantono. 1991. *Dasar-dasar Kerja Plat*. Padang:UPT Pusat Media Pendidikan FPTK IKIP Padang
- Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa, 1990. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka

Surdia, Tata dan Kenji Chijiwa. 1976. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Surdia, Tata dan Kenji Chijiwa. 1984. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.

www.advantage.efabricated.metals.com, diakses 8 Oktober 2007

www.answers.com, diakses 5 Nopember 2007

www.automation.technology.com, diakses 20 Sepetember 2007

www.buypart.sby.co.uk, diakses 30 Sepetember 2007

www.edirectory.co.uk, diakses 15 September 2007

www.Forging-hydraulic-press.com, diakses 8 Nopember 2007

www.notherm.tool.com, diakses 25 Oktober 2007

www.substech.com, diakses 17 September 2007

www.suwaprecision.com, diakses 2 September 2007

www.tpub.com, diakses 21 Oktober 2007

www.uwm.com, diakses 24 Nopember 2007

www.weldotherm.com, diakses 3 September 2007

GLOSARI

Alloy Steel	= baja paduan
Alloying element	= unsur paduan
Alternating current	= arus bolak balik
Annealing	= pelunakan
Arc welding	= busur nyala las
Assembling	= perakitan
Austenite	= besi gamma
Bainit	= baja halus hasil dari quen
Beaded	= alur
Bearing	= bantalan
Bending	= menekuk/melipat/melengkung
Bending moment	= momen bengkok
Blanking	= pelubangan
Blind Rivet	= paku keeling tembak
Blower	= penghembus
Body	= badan
Brander	= pembakar
Brass	= kuningan
Braze welding	= las kuningan
Butt joint	= sambungan tumpul
CAD	= Computer Aided Design
Cavity	= rongga cetakan
Carbusing	= nyala karburasi
Case hardening	= pengerasan kulit
Centrifugal pump	= pompa centrifugal
Clothing`	= pakaian kerja
Clutch disc	= piringan kopling
Cold forging	= kerja tempa dingin
Complicated	= rumit
Compression	= kompresi/penekanan
Compressor	= kompresor
Conductivity	= konduktivitas
Copper	= tembaga
Core	= inti
Corner joint	= sambungan pojok
Corrosion	= korosi
Casting	= pengecoran
Counter block	= blok yang berlawanan
Coupling	= kopling
Crack	= retak
Creive	= celah
Cross joint	= sambungan silang
Crumping	= pengerutan

Cup	= tutup
Current	= arus
Cutting method	= metode pemotongan
Damage	= rusak
Deep drawing	= penarikan dalam
Deformation	= deformasi
Dipping room	= kamar mandi
Direct current	= arus searah
Double curved surface	= permukaan lengkung
Down	= di bawah
Downhand bult weld	= pengelasan di bawah
Drift	= melubangi
Dry	= kering
Ductility	= kenyal
Edge joint	= sambungan sisi
Electrode wire	= inti elektroda
Element	= unsur
Enclosing	= merangkum
Equipment	= peralatan
Expendable mold	= cetakan sekali pakai
Explosive	= ledakan
Extruding	= ekstrusi
Fan	= kipas
Ferro metal	= logam besi
File	= kikir
File cabinet	= lemari arsip
Filler	= bahan tambah
Fillet joint	= sambungan sudut
Fire extinguisher	= tabung pemadam api
Flame	= nyala api asitelin
Flow meter	= alat pengukur aliran
Flux	= pelumasan
Fly wheel	= roda gila
Forging	= penempaan
Forming	= pembentukan
Fracture	= pecah
Fume	= asap
Fusion welding	= las cair
Gas metal arc welding	= las logam dengan per
Gas tungsten arc welding	= las tungsten dengan lengkung
Gloove	= sarung tangan
Goggle	= kaca mata las
Grease	= gemuk, pelumas
Handy craft	= pekerjaan tangan
Hardening	= pengerasan
Heat Affect Zone (HAZ)	= daerah pengaruh panas
Heat treatment	= perlakuan panas
Heating	= pemanasan
Helmet	= pelindung kepala

Hexagon	= segi enam beraturan
Hole	= rongga/lobang
Horizontal bult weld	= pengelasan horizontal
Horizontal	= horizontal
Impact	= tumbukan
Impressed current	= arus paksa
Inclusion	= kotor
Inpra red	= sinar infra merah
Iron	= besi
Joint type	= jenis sambungan
Key way	= pasak
Knock down	= bongkar pasang
Lap joint	= sambungan tumpang
Lap	= tumpang
Locker	= laci
Logam ferro	= logam besi
Logam non ferro	= logam bukan besi
Machinability	= mampu mesin
Manufacturing	= pembuatan
Matches	= korek api
Metal part	= bagian logam
Metal	= logam
Mild steel	= baja lunak
Milling cutting	= mesin frais
Mixten weld metal	= logam lasan
Neutral flame	= nyala netral
Non ferro metal	= logam bukan besi
Non metal	= bukan logam
Oil	= minyak
Ornament	= hiasan
Orthogonal	= proyeksi tegak lurus dalam 2 di
Overhead bult weld	= pengelasan di atas kepala
Overlap	= kelebihan logam pengisi las
Pentagon	= segi lima beraturan
Permanent mold	= cetakan permanen
Picling	= pengawetan/pelat
Pictorial	= proyeksi miring 3
Pig iron	= besi kasar
Plastic deformation	= deformasi pla
Pocket	= kantong
Poligone	= bersegi banyak
Portable	= dapat dipindah-pindah
Pressure	= tekanan
Pressure gouge	= pengukur tekanan
Pre cutting	= pemotongan awal
Pressing	= penekanan
Production	= produksi
Pulley	= pulli
Pump	= pompa

Punch	= pahat bilat
Quadrilaterals	= bersisi empat
Quenching	= celup dingin
Resistance welding	= las tahanan
Rolled resistance welding	= las tahanan rol
Rigid	= kaku
Riveting	= paku keling
Rolling	= pengerolan
Rubber	= karet
Ruled surface	= permukaan garis
Safety	= keselamatan
Shaft	= poros
Shearing	= gesekan
Sheet metal	= plat baja
Shield metal arc welding	= las busur nyala te
Sizing	= ukuran
Slack	= terak
Slip roller	= penggilingan
Solder	= solder/patri
Splatter	= percikan
Spinning	= putar/pilin
Splashing	= percikan
Spot welding	= las titik
Spring back	= gaya balik
Squeezing	= mengefrais
Stainless steel	= baja tahan karat
Statics	= statika
Steel	= baja
Strain	= regangan
Stretching	= peregangan
Strengthening	= penguatan
Stress	= tegangan
Swaging	= pukul putar
Switch	= pemutus hubungan
Tool	= alat
Torque	= torsi
Trousers	= celana panjang
True length	= panjang garis sebenarnya
Turbine	= turbin
Twist drill	= bor spiral
Unfold	= lipatan
Unroll	= membuka gulungan
Unrolled	= gulungan
Valve	= katup
Vernier caliper	= jangka sorong
Vernier height gauge	= alat ukur ketinggian
Vertical bult weld	= pengelasan vertikal
Vertical down	= pengelasan posisi tegak turun
Vertical Up	= pengelasan posisi tegak naik

Vertical	= vertikal
Vibration	= getaran
Vise	= ragum, penjepit
Vortex	= pusaran air
Warped cone	= kerucut baling
Warper surface	= permukaan baling
Weave bead	= jalur las
Weldability	= mampu las
Welded joint	= sambungan las
Welding	= pengelasan
Welding cost	= biaya pengelasan
Welding instruction	= instruksi pengelasan
Welding method	= metode pengelasan
Welding position	= posisi pengelasan
Welding quality	= kualitas pengelasan
Welding symbol	= simbol pengelasan
Welding squence	= urutan pengelasan
Wire drawing	= penarikan kawat
Wood	= kayu

INDEKS

- ahli logam, 1, 19
Ahmad, 164
Alloy Steel, 155, 166
Amanto, 164
Amstead, 164
arus bolak balik, 166
asesoris, 1, 2
Avitzur, 164
bahan plastik, 6, 38, 73
baja paduan, 166
Bak pendingin, 132
bending, 3, 5, 8, 19, 21, 28, 29, 31, 32, 33, 36, 49, 54, 55, 58, 59, 60, 85, 89, 90, 112, v
Bending, 29, 30, 31, 52, 53, 54, 56, 58, 85, 89, 166
Bengkakan, 17, 20, vi
besi gamma, 166
Beumer, 164
Blanking, 6, 31, 74, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 166, vi
Bogdan, 164
busur nyala las, 166
cacat pada produk, 90
CAD, 166
Cavity, 10, 166
cetakan sekali pakai, 167
cold working, 23, 26, 112
Corkson, 164
Couto, iv
Dapur pemanas, 123, 124, 162
Dasar Teknik, 8, 19, vi
deep drawing, 8, 19, 21, 82, 83, 92, 96, v
Deep Drawing, 82, 83, 84, 91, 93, vi
deformasi elastis, 14, 21, 112
deformasi plastis, 8, 11, 16, 20, 21, 31, 37, 48, 112
Deformasi plastis, 11, 20, 22, 37
DeGarmo, 30, 32, 164
Die Cetakan, 139
dies, 3, 5, 19, 27, 28, 29, 36, 52, 54, 55, 59, 60, 73, 76, 77, 79, 80, 81, 83, 88, 89, 91, 92, 96, 97, 98, 113
Dieter, 14, 54, 67, 71, 72, 73, 154, 164
Ekstrusi, 30, 146, 163, vi
extruding, 8, 19, 21
forging, 8, 19, 21, 115, 116, 117, 118, 119, 123, 125, 144, 145, 158, 159, 166, v
Gaya Geser, 17, 20, vi
hiasan, 1, 2, 168
Kaliyani, 164
Kalpakjian, 164
Kenyon, 164
kerucut baling, 170
komponen, 1, 4, 6, 7, 11, 13, 23, 24, 47, 48, 72, 77, 79, 81, 87, 88, 92, 94, 96, 106, 107, 113, 114, 115, 116, 122, 126, 153, 154, 162, v
Konstruksi Mesin Tekuk, 50
Korb, 164
Landasan, 36, 37, 40, 41, 42, 43, 126, 127, 128, 132, 135, vi
logam besi, 167, 168
Lyman, 45, 46, 47, 91, 92, 103, 164
makroskopis., 21
manual, 1, 3, 6, 7, 22, 36, 37, 38, 40, 41, 47, 50, 54, 74, 92, 102, 106, 121, 126, 138, 157, 158, 159
Mekanisme Pelunakan, 119, vi
Menempa, 121, 162
Mesin Hammer, 131, 132, 138
mesin pelipat, 52
Mestika Zed, iv
Meyer, 52, 164
Mills, 50, 164

- Palu, 37, 38, 39, 40, 128, 129, 135
 pelipatan pelat, 50
 pelumas, 167
 pelunakan, 117, 120, 121, 153,
 162, 166
 pembengkakan, 5, 8, 19, 21, 32,
 34, 35, 36, 48, 49, 53, 54, 55,
 58, 59, 60, 61, 65, 71, 72, 89,
 112, 113, 155
 Pembentukan pelat, 36, 47
 Pemukulan pelat, 43, 45, 113
 Pendidikan, i, iii, iv
 penekanan, 19, 48, 61, 64, 65, 70,
 73, 77, 80, 90, 95, 96, 99, 102,
 106, 107, 108, 149, 151, 166,
 168
 penempaan di atas landasan, 135
 Penempaan Manual, 134
 pengerjaan dingin, 7, 23, 24, 26,
 27, 30, 32, 71, 112, 120, v
 pengerjaan panas, 1, 7, 24, 26,
 112, 117, 119, 120, 121, 162
 pengerolan, 3, 4, 8, 19, 21, 23, 24,
 45, 53, 61, 62, 63, 64, 65, 66,
 67, 68, 69, 117, 119, 121, 155,
 162, 169
 Pengerolan, 61, 62, 63, 66, 67, 69,
 113, 154, vi
 Penguatan Pelat, 105, 107, vi
 perakitan, 8, 129, 166
 perkembangan teknologi, 5, 7, 19
 Perubahan bentuk, 8, 21, 112
 produk cor, 8, 10, 20
 produk *forging*, 115
 Proses pembentukan, 7, 11, 19,
 20, 25, 37, 99, 102, 150
 proses pembentukan logam, 1, 3,
 7, 12, 19, 21, 24, 25, 26, 27, 82,
 86, 113
 Proses penekanan, 74, 89, 99, 113
 Proses Peregangan, 73
 Proses *spinning*, 98, 99, 101, 113
 Proses tekanan, 3
 Proses Tekuk, 48, 50, 52, 59, vi
punch, 3, 19, 23, 27, 28, 29, 31, 36,
 55, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83,
 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 148
 Purwanto, 164
 Ragum Tempa, 133
 Regangan, 11, 13, 20, 66, 67, 71,
 151, 154, vi
 Rol tekan, 61, 113
rolling, 3, 8, 19, 21, 26, 31, v
Smeed tang, 128
 Spinning, 32, 98, 99, 100, 104,
 105, 169, vi
Spring back, 32, 35, 112, 169
Squeezing, 29, 30, 94, 96, 97, 169,
 vi
 Surdia, 120, 165
swage, 3, 19
 tebal pelat, 26, 49, 57, 58, 68, 98
 Tegangan, 11, 13, 17, 18, 20, 66,
 67, 85, 90, 154, vi
 Teknik pembentukan logam, 8, 19
 tempa, 8, 19, 21, 74, 117, 119,
 121, 122, 123, 125, 126, 128,
 132, 134, 139, 141, 162, 166
 temperatur tinggi, 5, 23, 117, 119,
 120, 121, 162
 Temperatur Tinggi, 119, vi
tooling, 21
 unsur paduan, 10, 166
wire drawing, 8, 19, 21, 24, 83

