ELEMEN MESIN

Prof. Dr. Ambiyar, M.Pd
Dr. Waskito, MT
Hendri Nurdin, ST, MT

Penerbitan & Percetakan
UNP PRESS

ELEMEN MESIN

Prof. Dr. Ambiyar, M.Pd
Dr. Waskito, MT
Hendri Nurdin, ST, MT

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NO 19 TAHUN 2002
TENTANG HAK CIPTA
PASAL 72
KETENTUAN PIDANA SANGSI PELANGGARAN

1. Barang siapa 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 denda paling sedikit Rp 1.000.000, 00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan denda paling banyak Rp 5.000.000.000, 00 (lima milyar rupiah).
2. Barang siapa 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 denda paling banyak Rp 500.000.000, 00 (lima ratus juta rupiah).

ELEMEN MESIN

Prof. Dr. Ambiyar, M.Pd

Dr. Waskito, MT

Hendri Nurdin, ST, MT

UNP PRESS

2022

ELEMEN MESIN

editor, Tim editor UNP Press
Penerbit UNP Press, Padang, 2022
1 (satu) jilid; 17.6 x 25 cm (B5)
Jumlah Halaman i + Halaman Buku

ISBN : 978-602-1178-90-4

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

Penyusun: Prof. Dr. Ambiyar, M.Pd - Dr. Waskito, MT
Hendri Nurdin, ST, MT
Editor Substansi: Tim UNP Press
Editor Bahasa: Prof. Dr. Harris Effendi Thahar, M.Pd
Desain Sampul & Layout: Dr. Asrul Huda, M.Kom & Syed Abdul Qadir, S.Pd

KATA PENGANTAR

Elemen Mesin adalah bagian-bagian suatu konstruksi yang mempunyai bentuk serta fungsi tersendiri, seperti baut-mur, pen, pasak, poros, kopling, sabuk-pulli, rantai-sprocket, roda gigi dan sebagainya. Dalam penggunaan elemen mesin bisa berfungsi sebagai elemen pengikat, elemen pemindah atau transmisi, elemen penyangga, elemen pelumas, elemen pelindung, dan sebagainya.

Buku ini terdiri dari delapan bab. Pada Bab 1 diuraikan tentang cakupan materi dari buku Elemen Mesin ini. Kemudian pada Bab 2, terdapat uraian mengenai Sambungan Kelingan serta prosedur desainnya. Sedangkan pada Bab 3 dibahas tentang sambungan las beserta jenis-jenisnya. Memasuki Bab 4 dibahas seputar penyolderan atau patri.

Adapun Bab 5 diuraikan kajian tentang sambungan ulir, sedangkan pada Bab 6 diuraikan tentang alat transmisi daya. Selain itu pada bab 7 dijelaskan tentang perancangan pegas beserta jenis-jenisnya. Pada Bab 8 diuraikan tentang pelumasan dan bantalan pada mesin.

Lewat buku ini diharapkan pembaca dapat memahami konsep dari elemen-elemen mesin secara luas. Demi pengembangan buku ini di masa mendatang, kami sangat menantikan kritik dan saran.

Terima kasih dan selamat membaca.

Padang, 22 Juni 2022

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **V**

DAFTAR ISI ..... **VI**

DAFTAR GAMBAR ..... **IX**

DAFTAR TABEL ..... **XVI**

BAB 1. PENDAHULUAN **1**

A. Pengertian Elemen Mesin 1

B. Pembagian Elemen Mesin 1

C. Prinsip Dasar Perencanan Elemen Mesin 2

D. Pertimbangan dalam Perencanaan Elemen Mesin 3

E. Dasar Perhitungan dalam Perencanaan Elemen Mesin ... 4

F. Soal-Soal Latihan 5

BAB 2. SAMBUNGAN KELINGAN **6**

A. Pengertian Sambungan Kelingan …….. 6

B. Sambungan dan Efisiensi 7

C. Prosedur Desain Sambungan Keling 34

D. Pembebanan Torsi dan Eksentrik Sambungan Keling. ... 45

E. Soal-soal Latihan 52

BAB 3. SAMBUNGAN LAS **55**

A. Pengertian Sambungan Las …… 55

B. Jenis Sambungan Las 59

C. Kekuatan Sambungan Las Fillet Melintang 60

D. Kekuatan Sambungan Las Fillet Sejajar 62

E. Kasus Khusus Sambungan Las Fillet 64

F. Kekuatan Butt Joint 68

G. Beban Eksentris Sambungan Las 73

H. Soal-Soal Latihan 87
BAB 4. SOLDER/PATRI 90
A. Peralatan Patri 90
B. Pemakaian Solder 99
C. Bahan Soler 103
D. Macam-Macam Sambungan Solder 106
E. Proses Penyolderan 110
F. Keuntungan dan Kerugian Penyolderan 110
BAB 5. SAMBUNGAN ULIR 114
A. Pengertian Sambungan Ulir …….. 114
B. Istilah Penting pada Ulir 114
C. Jenis Ulir 115
D. Jenis Sambungan Ulir 118
E. Dimensi Standar Ulir 119
F. Sambungan Baut Akibat Beban Sentris 121
G. Soal-Soal Latihan 131
BAB 6. ALAT TRANSMISI DAYA 133
A. Pengertian Alat Transmisi Daya …… 133
B. Tujuan..... 133
C. Alat transmisi..... 134
D. Transmisi Daya dengan Sabuk 143
E. Rantai..... 159
F. Roda Gigi 160
G. Ringkasan..... 191
H. Soal-soal Latihan..... 192
BAB 7. PERANCANGAN PEGAS 194
A. Pengertian Pegas 194

B. Klasifikasi Pegas 194
C. Material Pegas 197
D. Pegas Helix 201
E. Pegas Tekan 210
F. Pegas Tarik 214
G. Pegas Daun 225
H. Pegas Belleville 227
I. Soal-soal Latihan 233
BAB 8. BANTALAN DAN PELUMASAN 239
A. Pengertian dan Sejarahnya 239
B. Klasifikasi dan Kriteria Pemilihan Bantalan 241
C. Sistem Pelumasan 244
D. Bantalan Luncur 251
E. Soal-soal Latihan 275
DAFTAR PUSTAKA 278
GLOSARIUM 280
INDEKS 281
PARA PENULIS 282

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

2.1. Jenis Pembentukan Kepala Keling 8

2.2. Jenis Kepala Paku Keling 9

2.3. Mendempul (Caulking) Sambungan Kelingan 10

2.4. Sambungan Lap Joint Single dan Double 11

2.5. Sambungan Lap Joint Triple 11

2.6. Butt Joint 13

2.7. Dimensi dan Notasi Sambung Keling 14

2.8. Single Riveted Lap Joint 15

2.9. Robek Pelat pada Bagian Terlemah oleh Lubang 16

2.10. Geser pada Paku Keling 17

2.11. Perubahan Bentuk Paku Keling 18

2.12. Geser pada Marjin (Margin) 19

2.13. Sambungan Keling Lap Joint Ganda 24

2.14. Sambungan Keling Pada Struktur 27

2.15. Sambungan Keling untuk Ketel dan Tangki 34

2.16. Sambungan Keling untuk Ketel 41

2.17. Sambungan Keling untuk Shell Boiler 45

2.18. Beban Torsi dan Eksentrik Sambungan Keling 46

2.19. Sambungan Keling pada Sebuah Kolom Vertikal 50

2.20. Besar Gaya pada Ketiga Paku Keling 51

2.21. Menentukan Diameter Paku Keling 54

3.1. Sambungan Las Jenis Lap Joint 59

3.2. Sambungan Las Butt Joint 60

3.3. Tipe Lain Sambungan Las 60

3.4. Lap Joint 60
3.5. Skema dan Dimensi Bagian Sambungan Las 61
3.6. Sambungan Las Fillet Sejajar dan Kombinasi 62
3.7. Las Fillet Menerima Torsi 64
3.8. Las Fillet Menerima Momen Bengkok 65
3.9. Las Fillet Memanjang 66
3.10. Poros Pejal 67
3.11. Menentukan Torsi pada Las Fillet 68
3.12. Butt joint 69
3.13. Menentukan Panjang Las 72
3.14. Beban Eksentris 75
3.15. Sambungan Las Dibebani secara Eksentris 77
3.16. Sebuah Sambungan Las 81
3.17. Sebuah Poros Pejal Dilas ke Pelat Tipis 83
3.18. Sebuah Balok Dilas dengan Las Fillet 84
3.19. Sebuah Pelat Baja Persegi Dilas 86
3.20. Sebuah Pelat Dilas secara Fillet 88
3.21. Sebuah Braket di Las 89
4.1. Baut Solder 91
4.2. Macam Bentuk Kepala Baut-Solder Tangan 92
4.3. Baut-Solder Tetap 93
4.4. Baut Solder Pistol 93
4.5. Baut-Solder Mini 94
4.6. Baut-Solder Pena 94
4.7. Baut-Solder Listrik untuk Pekerjaan Biasa 95
4.8. Baut-Solder Listrik untuk Pekerjaan Berat 95
4.9. Baut-Solder untuk Pekerjaan Industri 95

4.10. Dapur Terbuka dengan Bahan Bakar Arang Kayu/ Arang Batu 96
4.11. Dapur Terbuka dengan Bahan Gas 97
4.12. Penimahan Kepala Baut-Solder 99
4.13. Tempat Air 100
4.14. Pipa Saluran (Ducting) 100
4.15. Prinsip Sambungan Patri 103
4.16. Macam-macam Bentuk Timah Solder 104
4.17. Macam-macam Bahan Tambah dan Kemasannya 104
4.18. Macam-macam Sambungan Patri 108
4.19. Macam-macam Penguatan Sambungan Solder 109
4.20. Gaya Kapiler 109
5.1. Istilah pada Ulir 114
5.2. B.S.W. Thread 116
5.3. B.A. Thread 116
5.4. American National Standard Thread 117
5.5. Square Thread 117
5.6. Acme Thread 117
5.7. Knuckle Thread 118
5.8. Buttress Thread 118
5.9. Jenis Sambungan Baut dan Ulir 119
5.10. Cap Screws 119
5.11 Beban Eksentris yang Sejajar dengan Sumbu Baut 122
5.12. Bebas Eksentris Tegak Lurus Sumbu Baut 125
5.13. 126
5.14. Bebas Eksentris dengan Sambungan Melingkar 128
5.15. Sebuah Pelat 131

5.16. Sebuah Bracket 131
6.1. Jenis Belt dan Pulley 134
6.2. Sabuk Terbuka 136
6.3. Sabuk Silang 136
6.4. Rantai dan Rantai Penggerak 139
6.5. Gerak Roda Gigi 141
6.6. Transmissi Mur 142
6.7. Menggunakan Idler pada Sabuk 143
6.8. Hukum Sabuk (Law of Belting) 144
6.9. Sabuk Penggerak Terbuka 145
6.10. Sabuk Penggerak Silang 147
6.11. Puli Tirus 148
6.12. Rasio Gaya Tegang Pada Sabuk Datar 151
6.13. Rasio Gaya Tegang pada Sabuk V 153
6.14. Gaya Tegang Disebabkan Gaya Sentrifugal 156
6.15. Kinematika Rantai 159
6.16. Roda Gigi Lurus 160
6.17. Rack and Pinion 161
6.18. Helical Gears 161
6.19. Roda Gigi Herringbone 162
6.20. Roda Gigi Bevel Lurus 163
6.21. Spiral Bevel Gears 164
6.22. Kontak Hyperboloid 164
6.23. Roda Gigi Cacing 165
6.24. Roda Gigi Cacing 166
6.25. Roda Gigi Hypoid 166
6.26. Terminologi Roda Gigi 168

6.27. Terminologi Roda Gigi 172
6.28. Roda Gigi Kereta Sederhana 173
6.29. Roda Gigi Kereta 174
6.30. Roda Gigi Kombinasi 175
6.31. Box Roda Gigi Konvensional 177
6.32. Roda Gigi Lurus 181
7.1. Wire Form Spring: (a) Helical Compression Spring, (b) Helical Extension Spring, (c) Drawbar Spring, (d) Torsion Spring ... 196
7.2. Spring Washer Dan Flat Spring : (a) Lima Tipe Spring Washer, (b) Volute Spring, (c) Beam Spring, (d) Power Spring 197
7.3. Kurva Stress-Strain untuk Satu Siklus 198
7.4. Kekuatan Ultimate Kawat Material Pegas Vs Diameter Kawat 200
7.5. Geometri dan Gaya-Gaya pada Pegas Helix 202
7.6. Distribusi Tegangan pada Penampang Pegas 204
7.7. Empat Tipe Ujung Pegas 206
7.8. Various Panjang Pegas Helix Tekan: (a) Panjang Bebas, (b) Panjang Terpasang, (c) Panjang Minimum Operasi, (d) Panjang Pejal 207
7.9. Kondisi Critical Buckling Pegas untuk Ujung Paralel dan Non- Parallel 208
7.10. Kurva S-N Kawat Pegas 212
7.11. Pegas Helix Tarik. (a) Geometry; (b) Bentuk Hook Konvensional; (c) Pandangan Samping; (d) Improved Design; (e) Pandangan Samping 215
7.12. Daerah Tegangan Geser Awal yang Direkomendasikan

pada Pegas Tarik 217
7.13 Lokasi Tegangan Kritis pada Hook 218
7.14. Spesifikasi Pegas Helix Torsional 221
7.15. Pegas Daun, (a) Papan Segitiga, Pegas Kantilever (b) Pegas Daun Bertumpuk Ekivalennya 226
7.16. (a) Pegas Belleville yang Ada di Pasaran (b) Dimensi Pegas Belleville (Posisi Bebas/Tidak Terdefleksi) 228
7.17. Karakteristik Gaya-Defleksi yang Dinormalisasi Pegas Belleville 229
7.18. Pemasangan Pegas Belleville pada Kondisi Memungkinkan Melewati Posisi Flat 229
7.19. Posisi Tegangan Maksimum Terjadi pada Pegas Belleville. 231
7.20. Susunan Pegas Belleville..... 233
7.21. Papan Loncat 234
7.22. Katup Overflow 234
7.23. Sebuah Batang Torsional..... 235
7.24. Pintu Oven 236
7.25. Pegas Helix Tekan..... 236
7.26. Pegas helix tarik..... 237
7.27. Sebuah Perangkap Tikus 238
8.1. Kereta Celtic dan Bantalan Kayu yang Digunakan 240
8.2. Bucket Wheel Excavator dan Jenis Bantalan yang Digunakan . 240
8.3. Arah Beban pada Bantalan 241
8.4. Konstruksi Bantalan Luncur dan Bantalan Pelindung 242
8.5. Lapisan Pelumas Diantara Pemukaan yang Berkontak..... 245
8.6. Variasi Viskositas Oli Pelumas terhadap Temperature 249
8.7. Jenis Pelumasan Berdasarkan Tingkat Pemisahan Permukaan

Oleh Pelumas..... 250
8.8. Contoh Konstruksi Journal Bearing Dan Thrust Bearing..... 252
8.9. Posisi Journal Bearing pada saat Diam, Mulai Diperasikan (Start) dan pada saat Mencapai Full-Film Lubrication..... 257
8.10. Karakteristik Gesekan pada Hydrodinamic Bearing dari Saat Start Sampai Mencapai Kondisi Full Film 257
8.11. Tegangan Geser pada Journal Bearing Tanpa Beban 258
8.12. Lapisan Pelumas Antara Pelat Nonparalel yang dapat Menahan Beban Tranversal..... 260
8.13. Komponen Kecepatan pada Eccentric Journal Bearingi 261
8.14. Distribusi Tekanan Pada Bantalan Luncur Pendek 264
8.15. Perbandingan Pendekatan Short-Bearing Ovrick untuk Bebarapa Variasi L/D dengan Pendekatan Long-Bearing Sommerfeld. 266
8.16. Kurva Hubungan Rasio Eksentrisitas dengan Bilangan Ocvirk..... 269
8.17. Rasio Tekanan dan Rasio Torsi Vs Bilangan Ocvirk untuk Bantalan Pendek..... 270
8.18. Sudut Θmax dan Φ sebagai Fungsi Bilangan Ocvirk 271
8.19. Geometri untuk Contoh Perancangan Bantalan..... 272
8.20. Perancangan Poros dan Bantalan Soal 1..... 275
8.21. Perancangan Poros dan Bantalan Soal 4..... 276

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

2.1. Efisiensi Sambungan Ketel Komersil 21
2.2. Saran Penyusunan Paku Keling 35
2.3. Standar Lobang dan Diameter Paku Keling 35
2.4. Nilai Konstanta untuk Pitch 36
3.1. Ukuran Las Minimum yang Direkomendasikan 70
3.2. Faktor Konsentrasi Tegangan 71
3.3. Momen Inersia Polar dan Section Modulus dari Las 80
5.1. Dimensi standar ISO untuk Ulir 120
7.1. Sifat-Sifat Mekanik Material Pegas 199
7.2. Koefisien dan Eksponen Kekuatan Ultimate Material Pegas 201
7.3. Formula Pegas Tekan Helix untuk Empat Kondisi Ujung Lilitan 208
7.4. Kekuatan Yield Torsional Ssy untuk Pegas Tekan, dan Beban Statik 211
7.5. Kekuatan Fatigue Torsional, Ssf untuk Pegas Tekan (Stress Ratio, R = 0) 211
7.6. Kekuatan Yield Torsional dan Bending Material Pegas Tarik 219
7.7. Kekuatan Fatigue Material ASTM A228 dan SS 302 220
7.8. Kekuatan Yield Bending Maksimum Sy yang Direkomendasikan untuk Pegas Helix Torsional pada Pembebanan Statik 224
7.9. Kekuatan Fatigue Bending Maksimum Ssf yang Direkomendasikan untuk Pegas Helix Torsional pada Pembebanan Dinamik (Rasio Tegangan, R=0) 224
7.10 Tingkat Tegangan Tekan Maksimum yang Direkomendasikan

untuk Pegas Belleville pada Pembebanan Statik (Asumsi Suc=Sut) 232
8.1. Jenis-Jenis Pelumas Cair 246
8.2. Jenis-Jenis Pelumas Padat 248
8.3. Material Bantalan yang Direkomendasikan untuk Sliding Melawan Baja atau Besi Cor 255

BAB I
PENDAHULUAN

A. Pengertian Elemen Mesin

Elemen Mesin adalah bagian-bagian suatu konstruksi yang mempunyai bentuk serta fungsi tersendiri, seperti baut-mur, pen, pasak, poros, kopling, sabuk-pulli, rantai-sprocket, roda gigi dan sebagainya. Dalam penggunaan elemen mesin bisa berfungsi sebagai elemen pengikat, elemen pemindah atau transmisi, elemen penyangga, elemen pelumas, elemen pelindung, dan sebagainya.

B. Pembagian Elemen Mesin

Elemen Mesin dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Elemen-elemen Sambungan
   a. Sambungan Paku Keling
   b. Sambungan Las
   c. Sambungan Solder
   d. Sambungan Ulir
   e. Sambungan Lem

2. Elemen-elemen Transmisi
   a. Poros dan pasak
   b. Kopling
   c. Sabuk dan rantai penggerak
   d. Roda gigi
   e. Rem

BAB I
PENDAHULUAN

A. Pengertian Elemen Mesin

Elemen Mesin adalah bagian-bagian suatu konstruksi yang mempunyai bentuk serta fungsi tersendiri, seperti baut-mur, pen, pasak, poros, kopling, sabuk-pulli, rantai-sprocket, roda gigi dan sebagainya. Dalam penggunaan elemen mesin bisa berfungsi sebagai elemen pengikat, elemen pemindah atau transmisi, elemen penyangga, elemen pelumas, elemen pelindung, dan sebagainya.

B. Pembagian Elemen Mesin

Elemen Mesin dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Elemen-elemen Sambungan
   a. Sambungan Paku Keling
   b. Sambungan Las
   c. Sambungan Solder
   d. Sambungan Ulir
   e. Sambungan Lem

2. Elemen-elemen Transmisi
   a. Poros dan pasak
   b. Kopling
   c. Sabuk dan rantai penggerak
   d. Roda gigi
   e. Rem

3. Elemen Penyangga
   a. Pegas
   b. Bantalan

C. Prinsip Dasar Perencanan Elemen Mesin

Pada dasarnya perencanaan elemen mesin merupakan perencanaan komponen yang diadakan/dibuat untuk memenuhi kebutuhan mekanisme suatu mesin. Tahap-tahap dalam perencanaan elemen mesin adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kebutuhan

   Menentukan kebutuhan dalam hal ini adalah kebutuhan akan elemen mesin yang akan direncanakan, sesuai dengan fungsinya.

2. Pemilihan mekanisme

   Berdasarkan fungsinya dipilih mekanisme yang tepat dari elemen tersebut. Contoh: Memindahkan putaran poros penggerak ke poros yang digerakkan dengan roda gigi miring.

3. Beban mekanis

   Berdasarkan mekanisme yang ditentukan pada tahap ke 2 beban-beban mekanis yang akan terjadi harus dihitung berdasarkan data pada tahap ke 1, hingga diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada elemen tersebut. Contoh data antara lain: daya yang ditransmisikan, putaran, dan sebagainya

4. Pemilihan Material

   Untuk mendapatkan elemen mesin yang tahan dipakai, dilakukan pemilihan material dengan kekuatan yang sesuai dengan kondisi beban yang terjadi.

5. Menetukan Ukuran

   Bila terjadi kesesuaian pemakaian bahan dan perhitungan beban mekanis, dapat dicari ukuran-ukuran elemen mesin yang direncanakan dengan standar.

6. Modifikasi

   Modifikasi bentuk diperlukan bila elemen-elemen mesin yang direncanakan telah pernah dibuat sebelumnya.

7. Gambar kerja

Pada tahap ini, ukuran-ukuran untuk penggambaran gambar kerja diperoleh, baik gambar detail maupun gambar perakitan.

8. Pembuatan dan control kualitas

Dengan gambar kerja dapat dibuat elemen mesin yang diperlukan.

D. Pertimbangan dalam Perencanaan Elemen Mesin

Hal-hal penting yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan elemen mesin adalah:

1. Jenis-jenis tegangan yang ditimbulkan pembebanan
2. Gerak dari elemen mesin
3. Pemilhan bahan
4. Bentuk dan ukuran komponen
5. Tahanan gesek dan pelumasan
6. Hukum ekonomi
7. Penggunaan komponen standar
8. Keamanan operasi
9. Fasilitas bengkel
10. Jumlah komponen yang akan diproduksi
11. Harga konstruksi total
12. Pemasangan.

E. Dasar Perhitungan dalam Perencanaan Elemen Mesin

Perhitungan pada perencanaan elemen mesin didasarkan pada teori-teori mekanika teknik dan kekuatan bahan.

1. Dasar-dasar mekanika teknik

a. Gaya

Gaya adalah penyebab suatu gerak dan deformasi suatu benda atau aksi sebuah benda terhadap benda lain. Gaya adalah sebuah besaran vector yang mempunyai besar, arah, dan titik tangkap.

b. Momen

Momen adalah sebuah gaya yang bermaksud untuk menggerakkan atau memutar benda.

c. Kesetimbangan

Suatu benda kaku dikatakan dalam keadaan setimbang bila resultante (jumlah) gaya-gaya yang bekerja = 0 dan momen disetiap titik benda = 0. Syarat kesetimbangan benda. Jika satu syarat tersebut tidak dipenuhi maka benda tersebut dikatakan tidak seimbang.

2. Dasar-Dasar Kekuatan Bahan

Tegangan-tegangan yang akan terjadi dalam perencanaan elemen mesin adalah:

a. Tegangan Tarik

Tegangan Tarik adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya yang tegak lurus terhadap luas bidang gaya. dengan F = Gaya tarik A = Luas penampang bidang gaya

b. Tegangan Geser

Tegangan Geser adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya yang bekerja sejajar terhadap luas bidang gaya, dengan V= Gaya geser; A = Luas penampang bidang gaya

c. Tegangan Puntir

Tegangan puntir adalah tegangan yang terjadi disebabkan benda memuntir terhadap sumbunya, dengan Mp = Momen puntir dan Wp = Momen tahanan punter

d. Tegangan Bengkok

Tegangan bengkok adalah tegangan yang terjadi karena adanya momen yang menyebabkan benda mengalami lentur atau bengkok, dengan Mb = Momen bengkok dan Wb = Momen tahanan bengkok

F. Soal- Soal Latihan

1. Sebutkan dan jelaskan langkah-langkah perencanaan elemen mesin
2. Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis pembebanan
3. Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis tegangan

BAB II
SAMBUNGAN KELINGAN

A. Pengertian

Dalam praktek keteknikan sering diperlukan bahwa dua lembaran (sheet) atau pelat (plate) yang digabung bersama-sama dan menerima beban dengan cara sedemikian rupa sehingga sambungan dibebani. Banyak sambungan tersebut diperlukan untuk mengatasi kebocoran sehingga gas yang terkandung di dalamnya tidak diperbolehkan untuk keluar. Sebuah sambungan kelingan mudah dipahami antara dua pelat tumpang tindih pada ujung-ujungnya, membuat lubang melalui kedua ketebalan, batang paku keling melewati lubang dan menciptakan kepala di akhir batang pada sisi lain. Sejumlah paku keling bisa melewati deretan lubang, yang merata sepanjang tepi pelat. Dengan sambungan seperti yang telah dibuat antara dua pelat, mereka tidak bisa ditarik terpisah. Pada setiap ujung bebas diaplikasikan gaya untuk menarik pelat menjadi terpisah, maka tegangan tarik pada pelat sepanjang deretan lubang kelingan dan tegangan geser di paku keling akan menciptakan gaya resistensi. Sambungan tersebut telah digunakan dalam struktur, ketel dan kapal.

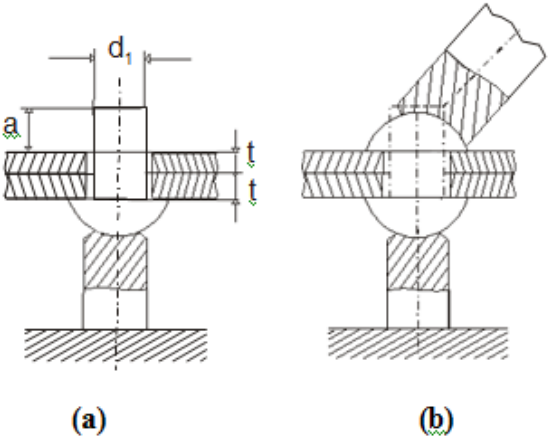
Perkembangan teknologi pengelasan di tahun 1940-an telah sangat mengurangi aplikasi sambungan kelingan. Pengelasan adalah metode mencairkan logam secara lokal (lembaran atau pelat tumpang tindih) dengan pemanasan intensif dengan logam pengisi atau tanpa itu dan memungkinkan mendinginkan mereka untuk membentuk suatu massa yang koheren, sehingga menciptakan sambungan. Sambungan tersebut dapat dibuat untuk struktur, ketel, bejana tekan, dan lainnya dan lebih mudah dibuat pada baja. Kemajuan telah dibuat dalam pengelasan beberapa jenis baja, tetapi ukuran struktur besar dapat menghambat penggunaan teknik otomatis dan perlakuan panas yang

diperlukan dalam beberapa kasus. Kapal dilas dalam ukuran besar dan sejumlah besar selama Perang Dunia Kedua dan banyak kegagalan dan upaya penelitian dilakukan untuk membuat las teknologi yang lebih baik.

B. Sambungan dan Efisiensi

1. Pembentukan Kepala

Sambungan keling dibuat dengan melewati batang paku keling melalui lubang di dua pelat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (a). Pembuatan kepala paku keling dengan proses yang sulit ditunjukkan pada Gambar 2.1 (b). Kesulitan bagian silinder paku keling dapat dilakukan dingin atau panas. Ketika diameter paku keling adalah 12 mm atau kurang, proses dingin dapat dilakukan. Untuk diameter yang lebih besar keling adalah pertama dipanaskan sampai lampu merah dan dimasukkan. Kepala terbentuk segera mengikuti. Paku keling sepenuhnya mengisi lubang dalam proses panas. Namun harus dipahami bahwa pendinginan akan menyebabkan panjang berkurang dan diameter menurun. Pengurangan panjang menarik kepala paku keling terhadap pelat dan membuat sambungan sedikit lebih kuat. Pengurangan diameter menciptakan kelongangaran (*clearance*) antara bagian dalam lubang dan keling. Penurunan panjang dan diameter tidak terjadi sewaktu keling dingin.

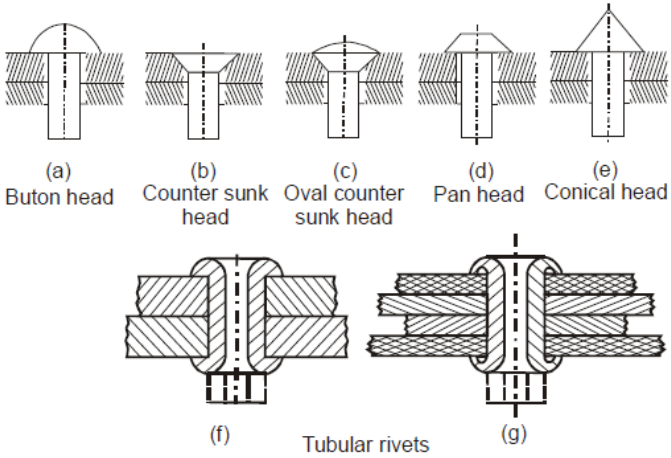


Gambar 2.1. Jenis Pembentukan Kepala Keling

2. Jenis Paku Keling

Untuk pelat baja biasanya paku keling dibuat dalam baja karbon rendah. Namun, paku keling tembaga menambah ketahanan terhadap korosi dan paku keling aluminium dapat digunakan untuk mengurangi berat keseluruhan struktur. Baja karbon rendah adalah standar dalam komposisi terutama untuk aplikasi ketel.

Paku keling dengan kepala tenggelam seperti pada Gambar 2.2 (b) dan berbentuk oval merupakan paku keling tenggelam yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 (c) tidak sekuat kepala paku keling tombol (button). Mereka digunakan hanya ketika protrotruding kepala paku keling yang pantas. Kepala panci dan kepala kerucut, Gambar 2.2 (d) dan (e) lebih jarang digunakan dan sulit untuk membentuk. Paku keling tubular, Gambar 2.2 (f) dan (g) adalah penyimpangan khusus dari paku keling padat. Paku keling ini digunakan dalam pesawat.



Gambar 2.2. Jenis Kepala Paku Keling

3. Jenis Sambungan Kelingan

Klasifikasi sambungan kelingan didasarkan pada berikut ini:

a. Menurut tujuan,
b. Menurut posisi pelat yang dihubungan, dan
c. Menurut susunan paku keling.

Menurut tujuan sambungan kelingan diklasifikasikan sebagai:

Sambungan yang kuat

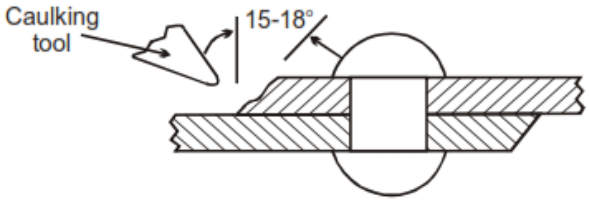
Dalam sambungan ini kekuatan adalah satu-satunya kriteria. Sambungan dalam struktur keteknikan seperti batang (beam), struktur dan rangka mesin butuh sambungan yang kuat.

Sambungan yang rapat

Sambungan ini memberikan kekuatan serta untuk mengatasi kebocoran (leak) terhadap tekanan rendah. Sambungan pada reservoir, kontainer dan tangki termasuk dalam kelompok ini.

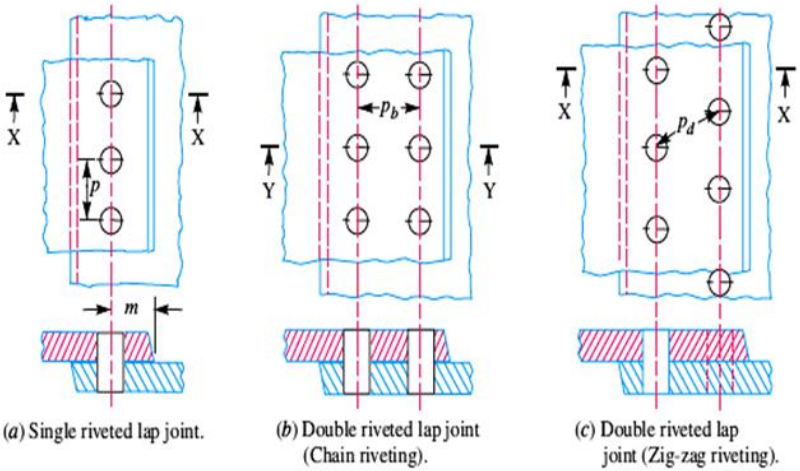
Sambungan kuat dan rapat

Ini adalah sambungan yang diterapkan pada ketel dan bejana tekan dan memastikan kekuatan dan tidak ada kebocoran. Klasifikasi ini tidak memiliki dasar yang kuat dan sewenang-wenang. Namun, hal ini membantu memahami dasar desain dan manufaktur. Kerja panas paku keling adalah satu cara membuat kontak intim antara pelat dalam daerah sambungan. Selanjutnya, lubang dibor dan reamer untuk toleransi yang diperlukan dan gerinda dilakukan untuk membuat kontak yang baik sebelum paku keling ditempatkan dalam lubang. Tepi pelat disusun dengan sebuah palu (hammer) dan alat mendempul sehingga tepi sangat menempel pada permukaan pelat untuk mengatasi kebocoran (Gambar 2.3).



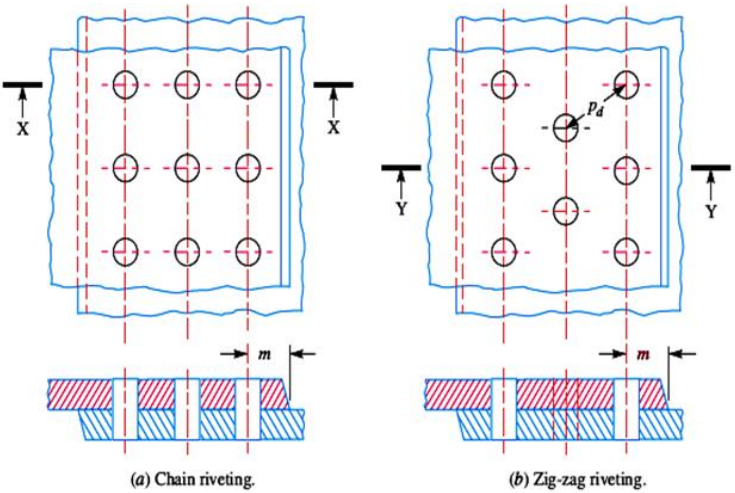
Gambar 2.3. Mendempul (Caulking) Sambungan Kelingan

Sambungan keling diklasifikasikan sebagai (i) Lap Joint dan (ii) butt joint sesuai dengan posisi pelat. Lap joint Lap Joint (sambungan 2 lapis) adalah sambungan yang mana dua plat disambung bersama-sama, seperti terlihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5. Butt Joint (sambungan 3 lapis) adalah sambungan yang mana plat utama ditutup oleh dua plat lain. Plat penutup dikeling bersama-sama dengan plat utama, seperti pada Gambar 2.6. Ada 2 jenis butt joint, yaitu: a. Single strap butt joint, dan b. Double strap butt joint.



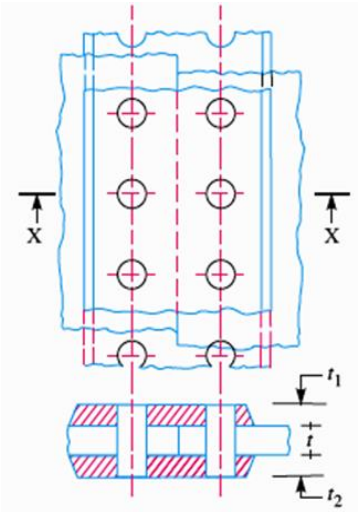
(*a*) Single riveted lap joint. (*b*) Double riveted lap joint (Chain riveting). (*c*) Double riveted lap joint (Zig-zag riveting).

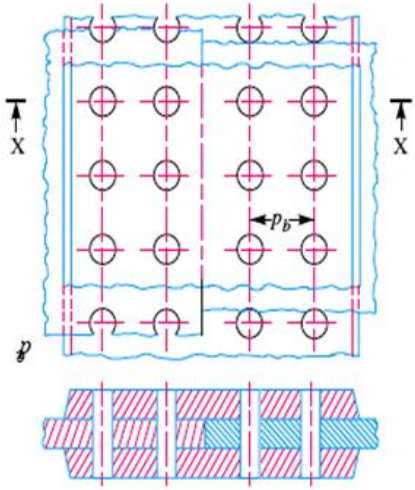
Gambar 2.4. Sambungan Lap joint single dan double



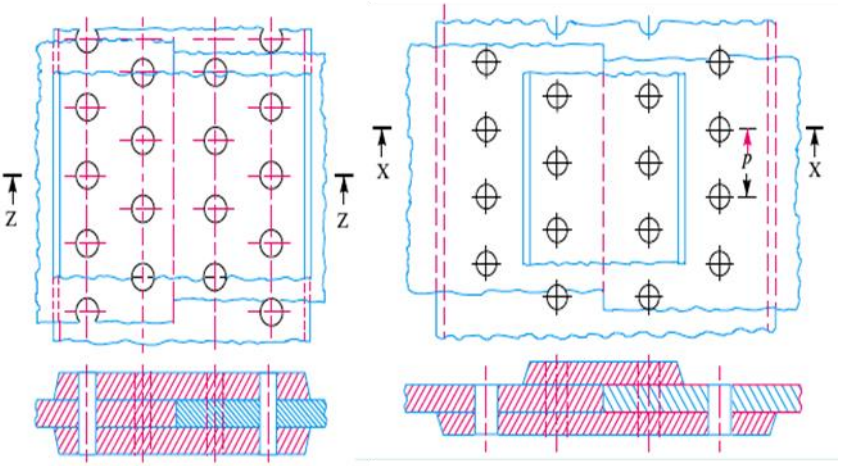
(*a*) Chain riveting. (*b*) Zig-zag riveting.

Gambar 2.5. Sambungan Lap joint triple

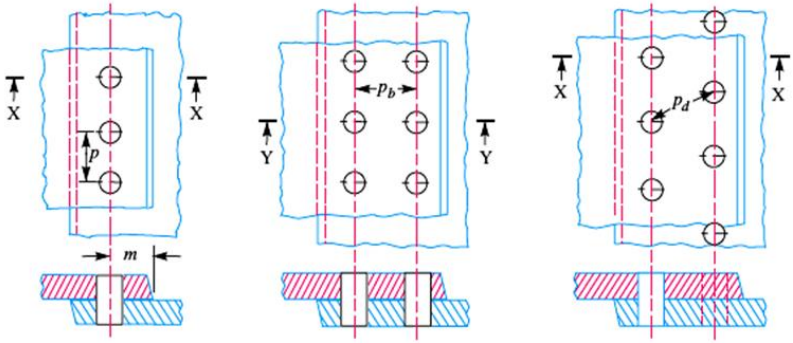




a) Single riveted double strap butt joint.
b) Double riveted double strap butt joint



c) Double riveted double strap butt joint.
d) Double riveted double strap butt joint



(*a*) Single riveted lap joint. (*b*) Double riveted lap joint (Chain riveting). (*c*) Double riveted lap joint (Zig-zag riveting).

Gambar 2.6. Butt joint

4. Nomenklatur

Beberapa dimensi menjadi penting dalam sambung keling dan desain dengan banyak perhitungan. Dimensi dan notasi mereka untuk digunakan dalam teks ini dijelaskan di bawah ini.

Pitch

Seperti yang terlihat pitch dari gambar 2.7 (b) dan (c), dilambangkan dengan p, adalah jarak pusat antara dua lubang paku keling yang berdekatan.

Back pitch

Jarak pusat antara dua baris yang berdekatan paku keling didefinisikan sebagai back pitch. Hal ini ditandai dengan pb dan ditunjukkan pada Gambar 2.7 (d) dan (e).

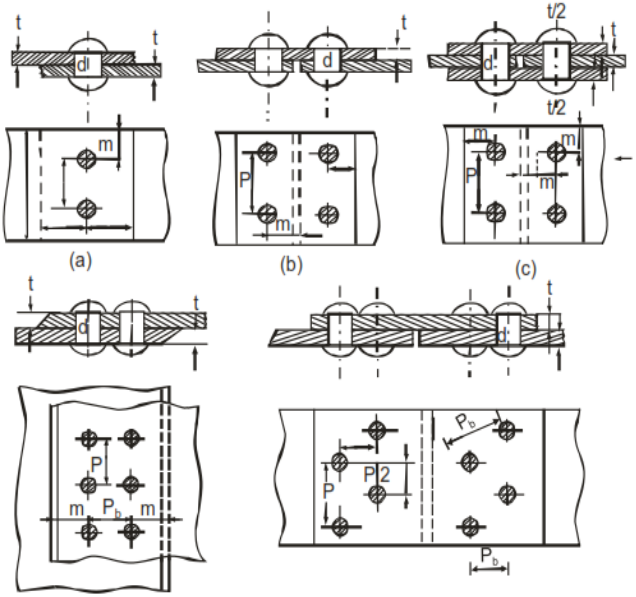
Diagonal pitch

Jarak terkecil antara pusat dua lubang paku keling di baris yang berdekatan dari sambungan keling zig-zag disebut diagonal pitch. Dilambangkan dengan pd, diagonal pitch ditunjukkan pada Gambar 2.7 (e).

Batas (margin)

Ini adalah jarak antara pusat lubang paku keling dan ujung terdekat dari pelat. Hal ini ditandai dengan m seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 (b), (c) dan (d). Pelat yang akan disambung sering dari ketebalan yang sama dan ketebalan mereka dilambangkan dengan t. Namun, jika ketebalan yang berbeda, yang lebih rendah akan dilambangkan dengan t_1. Ketebalan pelat penutup (juga dikenal sebagai strap) dalam butt akan dilambangkan dengan tc. Diameter lubang keling dilambangkan dengan d. Diameter ini biasanya besar dari diameter keling dilambangkan dengan d_1.

Sebuah masalah perancangan sambungan keling melibatkan penentuan p, pb, pd, m, t, tc dan d, tergantung pada jenis sambungan.

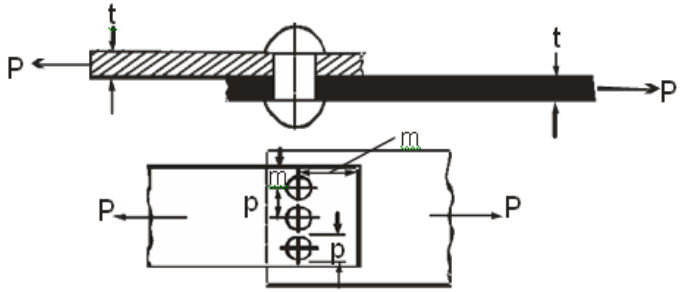


(d) (e)

Gambar 2.7 Dimensi dan Notasi Sambung Keling

5. Mode Kegagalan Sambung Keling

Sebuah sambungan mungkin gagal dalam beberapa cara tetapi kegagalan terjadi segera setelah kegagalan terjadi di salah satu mode. Berikut ini adalah deskripsi mode kegagalan dari sambungan keling. Mode ini dijelaskan dengan bantuan keling lap joint tunggal, yang mengalami beban tarik P. Secara umum deskripsi akan berlaku untuk jenis lain dari sambungan. Referensi dibuat pada Gambar 2.8 di mana keling lap joint tunggal ditunjukkan sedang dibebani.



Gambar 2.8. Single Riveted Lap Joint

a. Robek Bagian pelat yang Melemah oleh Lubang

Gambar 2.9 menunjukkan mode ini kegagalan. Pelat pada bagian lain jelas lebih kuat, dan karenanya tidak gagal. Jika gaya tarik P yang menyebabkan robek, itu akan terjadi sepanjang bagian terlemah, yang ada deretan paku keling. Jika hanya satu panjang pitch p dihitung; itu dilemahkan oleh satu lubang berdiameter d. Daerah yang menahan gaya tarik adalah:

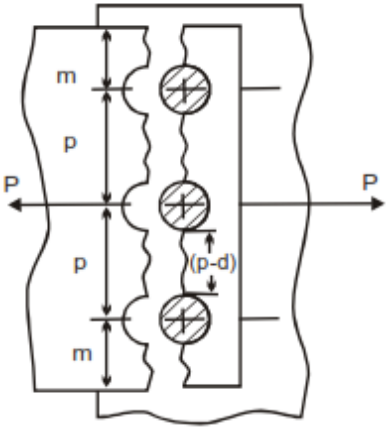
$A_t = (p - d)\, t$

Jika tegangan yang diizinkan untuk pelat dalam tarikan adalah σt, maka kekuatan tarik dari sambungan adalah

$$Pi = \sigma t\,(p - d)\,t \qquad \ldots (2.1)$$

Jika P adalah gaya tarik diterapkan per panjang lapangan maka sambungan tidak akan gagal jika

$$Pi \geq P \qquad \ldots (2.2)$$



Gambar 2.9. Robek Pelat pada Bagian Terlemah oleh Lubang

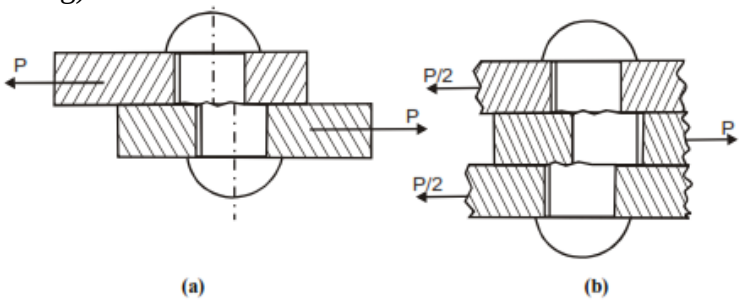
b. Geser Pada Paku Keling

Gambar 2.10 menunjukkan bagaimana keling dapat geser. Kegagalan akan terjadi ketika semua paku keling berturut-turut geser secara bersamaan. Memperhitungkan kekuatan yang dimiliki oleh keling terhadap mode ini kegagalan, salah satu memperhitungangkan jumlah paku keling dan panjang pitch. Selanjutnya, kegagalan pada lap joint karena geser dapat terjadi hanya sepanjang bagian keling seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 (a). Namun, dalam kasus cover butt joint ganda, kegagalan mungkin terjadi sepanjang dua bagian dengan cara yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 (b). Jadi dalam kasus geser tunggal daerah yang menahan geser adalah sebuah paku keling,

$$As = \frac{\pi}{4} d^2$$

(Karena perbedaan antara diameter lobang dan diameter paku keling sangat kecil, maka diameter

lobang diameter digunakan untuk diameter paku keling).



Geser Tunggal Geser ganda

Gambar 2.10. Geser pada Paku Keling

Jika tegangan geser yang diijinkan pada geser tunggal dari pada paku keling adalah τs, maka kekuatan geser atau beban geser daya dukung sambungan.

$$Ps = \tau_s \frac{\pi}{4} d^2 \qquad \ldots \quad (2.3)$$

Kegagalan tidak terjadi jika

$$P_s \geq P \qquad \ldots \quad (2.4)$$

Jika n adalah jumlah paku keling per panjang pitch,

$$P_s = n\, \tau_s \frac{\pi}{4} d^2 \qquad \ldots \quad (2.5)$$

Jika keling ini di geser ganda seperti pada Gambar 2.10 (b) luas efektif yang terjadi kegagalan adalah 2 As. Tegangan yang diijinkan pada geser ganda 1,75 kali geser tunggal. Oleh karena itu di geser ganda

$$Ps = n\ x\, 175\ \tau_s \frac{\pi}{4} d^2 \qquad \ldots \quad (2.6)$$

c. Perubahan Bentuk Pelat dan Keling

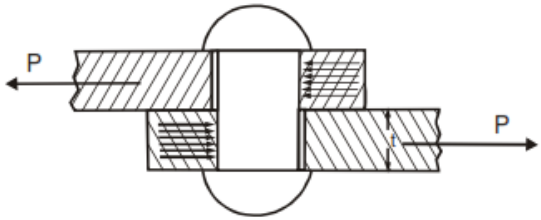
Karena paku keling dikompresi terhadap permukaan dalam lubang, ada kemungkinan paku

keling atau permukaan lubang dapat rusak. Daerah, yang menahan tindakan ini, adalah daerah lubang atau paku keling pada bidang diametral. Daerah per paku keling ini (lihat Gambar 2.11).

$$A_c = dt$$

Jika tegangan bantalan keling atau crushing (perubahan bentuk) yang diperbolehkan pada pelat σc, maka kekuatan yang dapat merubah bentuk adalah,

$$P_c = dt\,\sigma_c \qquad \ldots \quad (2.7)$$



Gambar 2.11. Perubahan Bentuk Paku Keling

Kegagalan pada mode ini tidak akan terjadi jika

$$P_c \geq P \qquad \ldots \quad (2.8)$$

Dimana P adalah beban yang diterapkan per panjang pitch, dan ada satu paku keling per pitch. Jika jumlah paku keling adalah n dalam per panjang pitch maka sisi kanan dalam persamaan (2.7) dikalikan dengan n.

d. Geser Pada Batas Pelat Dekat Lobang Keling

Gambar 2.12 menunjukkan mode kegagalan yang mana batas dapat geser sepanjang ab dan cd. Jika panjang batas adalah m, maka luas yang menahan kegagalan ini adalah

$$A_{ms} = 2mt$$

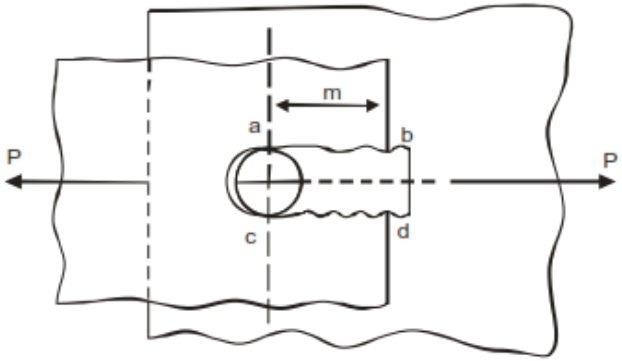
Jika tegangan geser yang diizinkan pelat τs, kemudian beban daya dukung bersama terhadap geser margin adalah,

$$P_{ms} = 2\ mt\ \tau_s \qquad \ldots \quad (2.9)$$

Kegagalan dalam kasus ini tidak terjadi jika

$$P_{ms} \geq P \qquad \ldots \quad (2.10)$$

Dimana p adalah yang diaplikasikan per panjang pitch



Gambar 2.12. Geser pada Marjin (Margin)

Mode kegagalan yang dibahas di atas adalah terjadi dalam kasus tertentu yang diperhitungkan secara unik. Salah satu kasus tersebut adalah ketika paku keling yang disusun dalam bentuk lossenge atau bentuk berlian. Dalam menuliskan persamaan di atas untuk kekuatan sambungan tertentu asumsi telah dibuat. Paling penting harus diingat bahwa sebagian besar tegangan langsung telah diasumsikan pada paku keling dan pelat yang mungkin tidak terjadi. Namun, tegangan yang sebenarnya dan sebagian besar tegangan langsung dikompensasi dengan menurunkan nilai tegangan yang diizinkan σt, τs dan σc, yaitu dengan meningkatkan faktor keamanan.

Asumsi yang dibuat dalam perhitungan kekuatan sambungan dalam persamaan. (2.1) melalui persamaan (2.10) adalah:

1) Beban tarik yang merata di panjang pitch.
2) Beban terditribusi secara merata di semua paku keling.
3) Pembengkokan paku keling tidak terjadi.
4) Lubang keling tidak menghasilkan konsentrasi tegangan. Pelat pada lubang tidak melemah karena peningkatan diameter keling selama pembentukan kedua kepala.
5) Tekanan yang akan menghancurkan terdistribusi secara merata di atas daerah paku keling.
6) Gesekan antara permukaan pelat yang berkontak diabaikan.

6. Efisiensi Sambungan Keling

Jika panjang pitch atau lubang pelat diperhitungkan maka beban daya dukung akan

$$P_1 = pt\,\sigma_t \qquad \ldots (2.11)$$

P_1 tampaknya akan lebih besar dari Pt, Ps, Pc atau Pms. Rasio Pt, Ps, Pc atau Pms terhadap P_1 didefinisikan sebagai efisiensi sambungan dalam modus tertentu. Idealnya P_t, P_s, P_c dan P_{ms} semua harus sama, namun sebenarnya tidak mungkin terjadi. Efisiensi sambungan akan ditentukan oleh Pt, Ps, Pc, dan Pms. Dengan demikian efisiensi sambungan

$$\eta = \frac{Paling\ kecil\ dari\ P_t,\ P_s,\ P_c\ \ dan\ P_{ms}}{P_t\ \sigma_t} \qquad \ldots (2.12)$$

Kekuatan ideal dalam berbagai modus kegagalan yang sama tidak tercapai dalam desain karena diameter lubang paku keling dan diameter paku keling yang standar

untuk teknologi kenyamanan. Tabel 2.1 menggambarkan efisiensi rata-rata dan maksimum dari sambungan boiler.

Tabel 2.1. Efisiensi Sambungan Ketel Komersil

Type of Joint	Average Efficiency %	Maximum Efficiency %
Lap Joints		
Single riveted	45-60	63.3
Double riveted	63-70	77.5
Triple riveted	72-80	86.5
Butt Joints		
Single riveted	55-60	63.3
Double riveted	70-83	86.6
Triple riveted	80-90	95.0
Quadruple riveted	85-94	98.1

7. Perhitungan Diameter Lobang dan Pitch

Untuk sambungan keling yang ideal harus sama-sama kuat terhadap geser dan perubahan bentuk (crushing). Oleh karena itu, dari persamaan (2.3) dan (2.7), membuat Ps = Pc

$$\frac{\pi}{4} d^2 \tau_s = d\, t\, \sigma_c$$

$$\therefore d = 1{,}274 \frac{\sigma_c}{\tau_s} t$$ (pada geser tunggal) . . . (2.13)

Jika paku keling menerima geser ganda

$$d = 0{,}637 \frac{\sigma_c}{\tau_s} t$$ . . . (2.14)

Umumnya τ_s = 60 MPa atau N/mm2

σ_c = 130 MPa atau N/mm2

d = 2,75 t pada geser tunggal

d = 1,37 t pada geser ganda . . . (2.15)

Dari persamaan (3.1) dan (3.3)

$$(p - d)\, t\, \sigma_t = \frac{\pi}{4} d^2\, \tau_s$$

atau

$$p = \frac{\pi d^2}{4 t\, \sigma_t} \tau_s + d$$

Subsitusikan $\tau_s = 60$ MPa

$\sigma_t = 75$ MPa

$$p = 0{,}628 \frac{d^2}{t} + d$$

Gunakan persamaan (3.15) pada persamaan di atas

$p = 2{,}73\, d$ (geser tunggal)

$p = 1{,}86\, d$ (geser ganda) . . . (2.16)

Persamaan (2.7) dan (2.9)

$$2\, mt\, \tau_s = d\, t\, \sigma_c$$

Atau $m = \frac{d}{2} \frac{\sigma_c}{\tau_s}$

Subsitusikan $\tau_s = 60$ MPa

$\sigma_c = 130$ MPa

m = 1,08 d . . . (2.17)

Ada beberapa pertimbangan praktis karena yang dimensi desain yang dimodifikasi. Paling penting dari ini adalah tekanan desak (tightness) dari sambungan, yang dapat dicapai dengan mendempul (caulking) dari tepi pelat. Mendempul menjadi lebih mudah dengan pitches pendek dan paku keling yang lebih kecil. Hal ini juga diinginkan untuk margin harus 1,5 d tapi tidak besar. Hasil dalam bagian ini adalah indikasi dari prosedur perhitungan dan tidak berarti diperlakukan sebagai formula standar. Hasil ini

hanya berlaku untuk kasus tertentu dan tekanan yang diperbolehkan. Sebagai praktek umum untuk pelat dengan ketebalan lebih besar dari 8 mm diameter lubang keling ditentukan oleh

$$d = 6\sqrt{t} \qquad \ldots \quad (2.18)$$

Hal ini dikenal sebagai rumus Unwin.

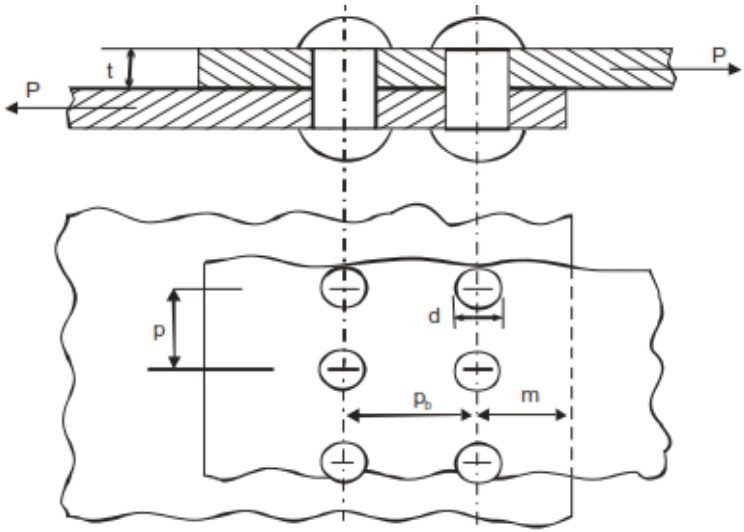
Contoh 1

Desain keling lap joint ganda untuk tebal pelat 9,5 mm. Hitung efisiensi sambungan. Tegangan yang diijinkan adalah:

σt = 90 MPa, τs = 75 MPa, σc = 150 MPa

Penyelesaian:

Sambungan yang akan dirancang secara skematis diperlihatkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Sambungan Keling Lap Joint Ganda

a. Diameter lubang keling d.

Hal ini ditentukan dengan rumus Unwin itu, Persamaan. (2.18)

$$d = 6\sqrt{t}$$

Atau $d = \sqrt{9{,}5} = 18{,}5$ mm . . . (i)

b. Pitch sambungan, p:

Dalam sambungan keling ganda ada 4 paku keling dalam per panjang pitch. Diameter keling akan diambil sebagai diameter lubang sebagai mana perbedaan antara mereka adalah kecil. Paku keling bisa gagal dalam geser atau karena hancur. Pertama-tama menentukan kekuatan geser dan menghancurkan paku keling dan kekuatan yang akan merobek pelat. Kekuatan geser untuk satu paku keling

$$= \frac{\pi}{4} d^2 \tau_s = \frac{\pi}{4} (18.5)^2 \ 75 = 20.16 \text{ kN} \qquad \text{. . . (a)}$$

Kekuatan perubahan bentuk (crushing) untuk satu paku keling

$$= \sigma_c \ dt = 150 \times 18.5 \times 9.5 = 26.36 \text{ kN} \qquad \text{. . . (b)}$$

Dari (a) dan (b) terlihat bahwa paku keeling lebih lemah dalam geser.

Kita akan menyamakan kekuatan robek pelat dengan kekuatan geser paku keling dalam panjang pitch. Ada dua paku keling per panjang pitch.

$$\therefore \quad \sigma_t \ (p - d)\, t = 2 \ x \ \frac{\pi}{4} d^2 \ \tau_s$$

atau $$p = \frac{\pi}{2} \frac{d^2}{t} \frac{\tau_s}{\sigma_t} + d = \frac{\pi}{2} \frac{(18{,}5)^2}{9{,}5} \frac{75}{90} + 18{,}5$$

atau $p = 65{,}55$ mm katakan 65,7 mm..... (ii)

Pitch harus sedemikian rupa sehingga kerja membentuk kepala tidak terhalang. Praktek

menyatakan bahwa p ≥ 3 d diizinkan untuk pembentuk kepala. 3 d = 55,5 mm, dan nilai p yang diperoleh pada persamaan (ii) dapat diterima.

c. Bagian belakang pitch pb: Ini harus antara 2,5 d sampai dengan 3,0 d. Untuk keling rantai dengan nilai yang lebih tinggi lebih disukai untuk alasan untuk membentuk kepala.

$$p_b = 3d = 3 \times 18.5 = 55.5 \text{ mm} \qquad \ldots \text{(iii)}$$

d. Margin, m: m ditentukan dengan persamaan kekuatan geser keling (lebih kecil dari kekuatan geser dan menghancurkan keling). Ingat bahwa ada dua paku keling per panjang pitch:

$$\therefore \qquad 2mt\ \tau_s = 2\,\frac{\pi}{4}\,d^2\,\tau_s$$

$$\therefore \qquad m = \frac{\pi}{4}\,\frac{d^2}{t} = \frac{\pi}{4}\,\frac{(18.5)^2}{9.5} = 28.3 \text{ mm} \qquad \ldots \text{(iv)}$$

Nilai m minimum yang diterima adalah 1.5 d = 27,5 mm

m = 28.3 mm dapat diterima.

Dengan demikian desain dilengkapi dengan

d = 18.5 mm, *p* = 65.7 mm, *pb* = 55.5 mm, *m* = 28.3 mm

Diameter adalah standar, berdasarkan ukuran bor. Biasanya fraksi seperti 18,5 mm tidak dapat diterima. Diameter paku keling kurang dari diameter lubang sebesar 1 mm. Namun proses pembentukan kepala meningkatkan diameter paku keling.

e. **Efisiensi Sambungan**

Kekuatan tarik dari pelat tanpa lubang, per pitch

$$P_1 = \sigma_t\ pt = 90 \times 65.7 \times 9.5 = 56.2 \text{ kN} \qquad \ldots \text{(c)}$$

Kekuatan geser paku keling pada panjang pitch

$$P_s = 2 \times \tau_s \times \frac{\pi}{4}\,d^2 = 2 \times 75 \times \frac{\pi}{4}\,(18.5)^2 = 40.3 \text{ kN} \qquad \ldots \text{(d)}$$

Kekuatan menghancurkan paku keeling pada panjang pitch

$$P_c = 2 \times \sigma_c \times d \times t = 2 \times 150 \times 18.5 \times 9.5 = 52.7 \text{ kN} \qquad \ldots \text{(e)}$$

Kekuatan robek pelat dengan satu lobang pada panjang pitch

$$P_t = \sigma_t \ (p - d)\ t = 90\ (65.7 - 18.5)\ 9.5 = 40.36 \text{ kN} \qquad \ldots \text{(f)}$$

Kekuatan geser margin

$$P_{ms} = 2\ \tau_s\ mt = 2 \times 75 \times 28.3 \times 9.5 = 40.32 \text{ kN} \qquad \ldots \text{(g)}$$

Gaya Ps, Pc, Pt, dan Pms, paling rendah adalah Pms

$$\eta = \frac{P_s}{P_1} = \frac{40.3}{56.2} = 71.7\% \qquad \ldots \text{(h)}$$

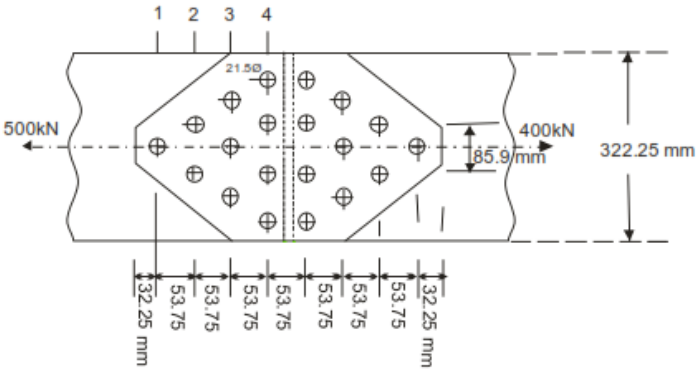
Nilai desain adalah:

d = 18.5 mm, p = 65.7 mm, p_b = 55.5 mm, m = 28.3 mm, η = 71.7%

8. Sambungan Keling Pada Struktur

Untuk struktur, jembatan atau balok-balok, dll di mana lebar pelat dikenal dengan jenis sambungan lebih disukai berbentuk permen (lozenge) atau berlian (diamond). Sambungan ini memiliki kekuatan seragam atau sama dalam semua mode kegagalan. Penyesuaian margin dalam perhitungan dimensi mungkin sedikit mengurangi atau meningkatkan kekuatan dalam modus tertentu. Sambungan-sambungan biasanya dari tipe double cover butt dengan paku keling sehingga diatur bahwa hanya ada satu keling di baris terluar dan jumlah mereka meningkat menuju baris kedalam (inner). (Lihat Gambar 2.14). Dengan demikian beban daya dukung sambungan

$$P = \sigma_t\ (b - d)\ t$$



Gambar 2.14. Sambungan Keling Pada Struktur

Di sini b adalah lebar pelat, t ketebalan dan d, diameter lubang. σt adalah tegangan tarik yang diijinkan. Diameter keling ditentukan oleh persamaan Unwin. Penentuan jumlah paku keling adalah tugas utama untuk gaya yang dibutuhkan. Tentu saja pertama-tama akan ditentukan apakah kekuatan keling kecil dari pada geser atau menghancurkan yang akan tergantung pada besaran relatif dari $s\tau$ dan σc serta pada luas penampang keling dan daerah proyeksinya. Langkah berikutnya akan menyusun paku keling dalam bentuk berlian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Kemudian kembali pitch, back pitch dan marjin.

Sambungan dirancang untuk tidak robek di baris terluar, yaitu baris 1 pada Gambar 3.11. Maka baris 2, yang merupakan baris dalam berikutnya dan diperlemah oleh dua lubang paku keling, dikenakan robek. Perhatikan bahwa robek ini adalah mungkin jika keling di baris terluar (atau baris 1) geser atau hancur pada saat yang sama. Itu berarti jenis sambungan memiliki satu kemungkinan modus kegagalan yang robek sepanjang baris dalam disertai dengan menggunting atau menghancurkan paku keling di semua baris luar. Kekuatan dalam mode ini

dilambangkan dengan Pts atau Ptc dan satu akhiran lagi dapat digunakan untuk menunjukkan baris yang robek akan terjadi.

Jadi $$P_{ts2} = \sigma_t\ (b - 2d)\ t + \tau_s\ \frac{\pi}{4}\ d^2$$

Atau $$P_{tc2} = \sigma_t\ (b - 2d)\ t + \sigma_c\ dt$$

dan $$P_{ts3} = \sigma_t\ (b - 3d)\ t + 3\tau_s\ \frac{\pi}{4}\ d^2$$

atau $$P_{tc3} = \sigma_t\ (b - 3d)\ t + 3\sigma_c\ dt$$

Contoh 2

Dua pelat baja dengan tebal 12,5 mm diperlukan untuk menerima beban tarik 500 kN pada sebuah sambungan double cover butt. Hitung lebar pelat jika tidak menjadi lemah oleh lebih dari satu lubang paku keling. Desain butt joint dilengkapi dan dimensi ditunjukkan pada sket. Nilai-nilai maksimum dari kekuatan adalah sebagai berikut:

Tegangan tarik pada pelat 600 MPa

Tegangan geser pada paku keling 490 MPa

Tegangan crushing pada pelat dan paku keling 920 MPa

Gunakan faktor keamanan 4,5

Juga menggunakan standard berikut ini.

Lubang paku keling, dari 13,5 mm sampai 25,5 mm pada langkah 2 mm dan dari 27 mm sampai 42 mm pada langkah 3 mm.

Paku keling, 1,5 mm kurang dari diameter lubang paku keling sampai 24 mm pada langkah 2 mm dan 2 mm kurang dari diameter lubang paku keling dari 25 mm sampai 39 mm pada langkah 3 mm.

Penyelesaian:

Tegangan yang diizinkan adalah:

$$\sigma_t = \frac{600}{4.5} = 133 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_s = \frac{490}{4.5} = 109 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{920}{4.5} = 204 \text{ N/mm}^2$$

Diameter lobang paku keling menggunakan formula Unwin

$d = 6\sqrt{t} = 6\sqrt{12{,}5} = 21{,}21$ mm

Dari standard

d = 21,5 mm

dimana diameter paku keling, d_1 = 20 mm . . . (i)

Bandingkan kekuatan geser dan crushing pada sebuah paku keling,

$$P_s = \tau_s \frac{\pi}{4} d_1^2 = 109 \times \frac{\pi}{4} \times (20)^2 = 34 \text{ kN}$$

$$P_c = \sigma_c d_1 t = 204 \times 20 \times 12.5 = 51 \text{ kN}$$

Paku keling pada crushing lebih besar dari geser

Lebar pelat

Pertimbangkan kekuatan tarik bagian terlemah dari pelat, yaitu baris yang dilemahkan oleh satu lubang paku keling.

$$P = \sigma_t (b - d) t$$

atau 500 x 103 = 133 (b – 21,5) 12,5 . . . (ii)

B = 300,75 + 21,5

Jumlah paku keling

Paku keling adalah geser ganda pada cover butt joint. Kekuatan pada geser ganda 1.75 kekuatan pada geser

tunggal. Juga diasumsikan bahwa pembentukan kepala tidak mengubah diameter paku keling.

$$P_s = 1{,}75\ \tau_s\ \frac{\pi}{4}\ d_1^{\ 2} = 1{,}75\ x\ 34 = 59{,}5\ \text{kN}$$

$$\text{n}\ P_s = P,\ \text{jadi}\ \ \text{n}\ 59{,}5\ =\ 500\ \text{kN}$$

$$\text{n}\ =\ \frac{500}{59{,}5} = 8{,}4$$

Juga kekuatan hancur

$$\text{n}\ P_c = P,\ \text{jadi}\ \ \text{n}\ 51\ =\ 500\ \text{kN}$$

$$\text{n}\ =\ \frac{500}{51} = 9{,}8,\ \text{katakan 10} \qquad \ldots$$

(iii)

Dapat dilihat bahwa ada 10 buah paku yang diperlukan

Penyusunan Paku Keling

Sepuluh paku keling dapat dengan mudah disusun dalam empat baris: 1, 2, 3 dan 4. Kita harus memastikan bahwa 10 paku keling seharusnya tidak melemahkan pelat. Penyusunan ini ditunjukkan pada Gambar 2.14. Pitch dari paku keling ditentukan oleh perhitungan geometris. Baris ke 4 untuk bagian dalam harus memiliki margin 1,5 d = 1,5 × 21,5 = 32,25 mm dari tepi.

Dengan demikian, jarak ekstrim antara pusat dua paku keling dalam baris 4

$$b - 2\,m = 322.25 - 2 \times 32.25 = 257.75\ \text{mm}$$

Jelas jarak ini sama dengan 3 p

$$p = \frac{257.75}{3} = 85.9\ \text{mm} \qquad \ldots \text{(iv)}$$

Jarak antara baris, pb harus antara 2,5 sampai 3 d

$$p_b = 2.5 \times 21.5 = 53.75\ \text{mm} \qquad \ldots \text{(v)}$$

Pelat Penutup

Secara teoritis pelat penutup memiliki ketebalan t / 2 tapi secara praktis ketebalan tc = 0,62 t

$$t_c = 0.625 \times 12.5 = 7.8 \text{ mm} \qquad \ldots \text{(vi)}$$

Pelat penutup diberi bentuk berlian sehingga dapat mengakomodasi semua paku keling (Lihat Gambar 2.14).

Efisiensi

Kekuatan geser dari 10 paku keeling adalah geser ganda

$$P_s = 1.75 \times 10 \times \frac{\pi}{4} d_1^2 \ \tau_s$$

$$= 1.75 \times 10 \times \frac{\pi}{4} (20)^2 \times 109 = 17.5 \times 34 = 595 \text{ kN} \qquad \ldots \text{(a)}$$

Kekuatan hancur (crushing) 10 paku keling

$$P_c = 10 \ x \ \sigma_c \ d_1 t = 10 \ x \ 51 = 510 \text{ kN} \qquad \ldots$$

(b)

Kekuatan robek pelat sepanjang bagian terlemah, yaitu di sepanjang baris 1

$$P_{t1} = (b - d) \ t \ \sigma_t$$

$$= 133 \ (322.25 - 21.5) \ 12.5 = 500 \text{ kN} \qquad \ldots \text{(c)}$$

Kekuatan untuk merobek sepanjang baris kedua dan menghancurkan satu paku keling dalam baris 1

$$P_{tc2} = 133 \ (322.25 - 2 \times 21.5) \ 12.5 + \sigma_c \ d_1 \ t$$

$$= 133 \times 279.25 \times 12.5 + 204 \times 20 \times 12.5$$

$$= 464.25 + 51 \text{ kN}$$

atau $\qquad P_{tc2} = 515{,}5 \text{ kN} \qquad \ldots$

(d)

Kekuatan untuk merobek sepanjang baris ketiga dan menghancurkan 3 paku keling dalam baris 1 dan 2

$$P_{tc3} = 133\ (322.25 - 3 \times 21.5)\ 12.5 + \sigma_c \times 3d_1\, t$$

$$= 133 \times 257.75 \times 12.5 + 3 \times 51 \times 10^3 = 428.5 + 3 \times 51 \text{ kN} \quad \ldots \text{(e)}$$

$$P_{tc3} = 581.5 \text{ kN}$$

Kekuatan untuk merobek sepanjang baris keempat dan menghancurkan paku keling di baris lain

$$P_{tc4} = 133\ (322.25 - 4 \times 21.5)\ 12.5 + 6 \times 51 \times 10^3$$

$$P_{tc4} = 699 \text{ kN} \quad \ldots \text{(f)}$$

dan (f) diharapkan lebih dari (d), namun perhitungan telah dibuat demi kelengkapan.

Kekuatan pelat padat tanpa lubang

$$P_t = \sigma_t\, bt = 133 \times 322.25 \times 12.5 = 535.74 \text{ kN} \quad \ldots \text{(g)}$$

Dari semua kekuatan dari (a) sampai (f), maka paling kecil adalah P_{t1} = 500 kN

$$\eta = \frac{P_{t1}}{P_t} \times 100 = \frac{500}{535.74} \times 100$$

$$= 93.3\% \quad \ldots \text{(vii)}$$

C. Prosedur Desain Sambungan Keling

1. Prosedur desain untuk longitudinal butt joint

Ketebalan Shell Boiler (t)

Efisiensi sambungan dipilih dari Tabel 3.1 dan untuk tekanan σr, diameter dalam D dan tegangan tarik yang diizinkan σt, ketebalan dihitung dari,

$$t = \frac{\sigma_r\ D}{2\sigma_t\, \eta} + 1 \text{ mm} \quad \ldots$$

(2.19)

Diameter dan ketebalan akan memandu lebih lanjut dalam hal pengaturan keling. Tabel 2.2 dapat digunakan untuk tujuan ini.

Tabel 2.2. Saran Penyusunan Paku Keling

Dia. of Shell (mm)	Thickness of Shell (mm)	Rivet Arrangement
610-1830	6-12.5	Double riveted
915-2130	8-25.0	Triple riveted
1525-2740	9.5-31.75	Quadruple riveted

Penentuan Lubang Diameter Keling (d) dan Diameter Keling (d_1)

Rumus Unwin, memberikan $d = 6\sqrt{t}$ digunakan jika $t \geq 8$ mm. Dalam kasus yang sangat jarang terjadi jika $t < 8$ mm, d dihitung dengan menyamakan kekuatan geser dan kekuatan menghancurkan keling. Diameter lubang harus dibulatkan ke nilai standar terdekat dengan bantuan Tabel 2.3, dan diameter paku keling juga dimantapkan.

Tabel 2.3. Standar Lobang dan Diameter Paku Keling

d (mm)	13	15	17	19	21	23	25	28.5	31.5	34.5	37.5	41	44
d_1 (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	42

Penentuan Pitch Paku Keling (*p*)

Pitch minimum 2 d mengakomodasi die untuk pembentuk kepala. Pitch dihitung dengan menyamakan kekuatan robek dengan kekuatan menggunting atau menghancurkan keling (s). Namun, pitch tidak boleh melebihi nilai tertentu untuk kebocoran sambungan. Nilai maksimum p diberikan oleh persamaan berikut.

$$p \text{ maks} = C \times t + 41{,}28 \text{ mm} \quad \ldots (2.20)$$

Nilai C diberikan dalam Tabel 2.4. Jika dengan perhitungan p ternyata kurang daripmax, maka akan diterima.

Tabel 2.4. Nilai Konstanta untuk Pitch

Number of Rivets	Lap Joint	Butt Joint Single Cover	Butt Joint Double Cover
1	1.31	1.53	1.75
2	2.62	3.06	3.50
3	3.47	4.05	4.63
4	4.17	–	5.52
5	–	–	6.00

Penentuan back pitch (pb)

a. Untuk lap dan butt joint memiliki jumlah yang sama paku keling di baris yang berbeda, pb diberikan sebagai

$pb = (0{,}33\ p + 0{,}67\ d)$ mm untuk zig-zag . . . (2.21)

$pb = 2\ d$ . . . (2.22)

b. Untuk sambungan di mana jumlah paku keling di baris luar adalah setengah dari itu baris dalam yang pb harus lebih besar dari nilai yang dihitung dari Persamaan (2.21) dan (2.22). Namun, nilai pb untuk baris memiliki penuhjumlah paku keling tidak akan kurang dari 2 d.

c. Ada Kasus ketiga muncul untuk sambungan memiliki baris keling zig-zag dan baris luar memiliki setengah jumlah paku keling baris dalam

$p_b = (0{,}2\ p + 1{,}15\ d)$ mm . . . (2.23)

d. Batch pitch untuk keeling baris dalam zig-zag menjadi

$p_b = (0{,}165\ p + 0{,}67\ d)$ mm . . . (2.24)

Pitch p dalam persamaan di atas adalah salah satu baris luar, yaitu jauh dari ujung butt.

Penentuan Tebal dari Pelat Penutup (*tc*)

a. Untuk cover butt tunggal dengan rantai keling

$$t_c = 1{,}125\ t \quad \ldots (2.25)$$

b. Untuk penutup tunggal dengan pitch di barisan luar menjadi dua kali lipat di baris inner

$$t_c = 1{,}125 \left(\frac{p-d}{p-2d}\right) t \quad \ldots (2.26)$$

Untuk penutup ganda lebar paku keling dan rantai sama

$$t_c = 0{,}625\ t \quad \ldots (2.27)$$

c. Untuk double cover dengan lebar sama dengan pitch di barisan luar menjadi dua kali lipat di barisan dalam

$$t_c = \left(\frac{p-d}{p-2d}\right) \quad \ldots (2.28)$$

d. Untuk lebar double cover yang tidak sama (cover lebih luas di dalam)

$t_{c1} = 0{,}75\ t$ (untuk cover pada bagian dalam)

$t2 = 0{,}625\ t$ (untuk cover pada bagian luar) . . . (2.29)

Margin m = 1,5 d . . . (2.30)

Menentukan Pitch Caulking, pt

Pitch paku keling pada baris yang terdekat terhadap ujung harus sekecil mungkin untuk menghindari kebocoran (leakage). Pitch ini dikenal dengan pitch caulking dan membantu ujung-ujung didempul secara efektif (lihat gambar 2.3). Bagaimanapun, pith caulking dihitung dengan cara berikut ini:

$$p_c = d + 13{,}8 \frac{t_c^{\frac{3}{4}}}{(\sigma_{12})^{\frac{1}{4}}} \quad \ldots$$

(2.31)

Hubungan empiris ini dimana tekanan yang digunakan σr dalam N/mm^2.

2. **Prosedur Desain untuk Circumferential Lap Joint**

Tebal shell, diameter dari lobang paku keeling, back pitch dan marjin dihitung dengan cara yang sama seperti longitudinal butt joint. Kuantitas lain disajikan berikut ini

Jumlah Paku Keling (*n*)

Paku keling menrima geser tunggal dan semua dari mereka menerima geser ketika ada tekanan, σr bekerja pada bagian melingkar dari ruang silinder cenderung untuk memisahkan dua bagian panjang tabung.

$$n\ \tau_s \frac{\pi}{4} d_1^{\ 2} = \sigma_r \frac{\pi}{4} D^2$$

$$n = \frac{\sigma_r}{\tau_s} \frac{D^2}{d_1^{\ 2}} \quad \ldots$$

(2.32)

Pitch, (*p*)

Efisiensi dari lap joint η dapat diambil setengah efisiensi longitudinal butt joint. Efisiensi lap joint dihitung pada kapasitas beban robek dari sambungan.

$$\eta = \frac{p - d}{p} \quad \ldots$$

(2.33)

Jumlah Baris, (*N*)

Paku keling ditempatkan sepanjang keliling shell. Jumlah paku keling dalam satu baris

$$n_1 = \frac{\pi\ (D + t)}{p}$$

Jumlah total paku keling Nn1 = n

$$N = \frac{n\,p}{\pi\ (D + t)} \quad \ldots$$

(2.34)

Apakah sambungan akan paku keling tunggal atau banyak (multiple) ditentukan oleh N. Jika N ternyata kurang dari 1, maka paku keling tunggal akan melayani tujuan. Dalam setiap kasus pitch harus memenuhi kondisi mendempul (caulking).

Tumpah Tindih Panjang Bagian Shell (*l*)

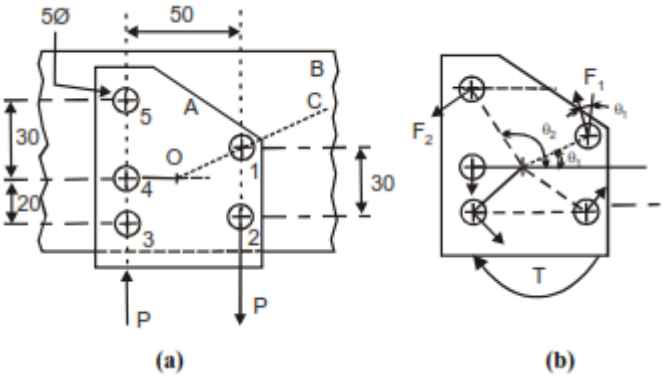
$$l = (N - 1)\ p_b + 2\ \text{m} \quad \ldots$$

(2.35)

D. Pembebanan Torsi dan Eksentrik Sambungan Keling

Pelat A terkeling ke elemen struktur B. Torsi A diterapkan pada pelat A. Pelat akan terpuntir, tentu saja dengan jumlah yang sedikit elastis, sekitar beberapa titik seperti O pada Gambar 3.15 (a). Itu tidak salah untuk mengasumsikan bahwa setiap garis lurus seperti oc yang melewati pusat sebuah keling, tetap lurus sebelum dan sesudah penerapan torsi. Kemudian deformasi, maka

regangan dan tegangan geser rata-rata di seluruh bagian dari keling akan sebanding dengan jarak antara o dan pusat keling. Oleh karena rata-rata tegangan geser adalah sama dengan gaya geser dibagi dengan luas penampang keling, gaya geser pada paku keling akan sebanding dengan jarak antara o dan pusat keling. Arah gaya ini akan tegak lurus dengan garis sambungan.



Gambar 2.18. Beban Torsi dan Eksentrik Sambungan Keling

Gaya F_1, F_2, dan lainnya pada individu paku keling individu ditunjukkan pada Gambar 2.18 (b). Untuk kondisi kesetimbangan memuaskan, komponen kekuatan dalam arah vertikal dijumlahkan nol. Jika gaya F_1, F_2, dan lainnya membuat sudut θ_1, θ_2, dan lainnya dengan sumbu y, maka

$$F_1 \cos \theta_1 + F_2 \cos \theta_2 + \ldots + F_n \cos \theta_n = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} F_i \cos \theta_i = 0 \qquad \ldots \text{(i)}$$

Tetapi $$F_i = \tau_i \; A_i = \frac{\tau_i}{r_i} \; r_i \; A_i$$

Dan $$\tau_i \; \alpha \; r_i \quad \text{atau} \quad \tau_i = k \; r_i$$

$$\therefore \qquad F_i = k\, r_i\, A_i \qquad . \; .$$

(ii)

Berikut k adalah konstanta, τi = tegangan geser dalam paku keling i^{th} yang mana luas penampang adalah Ai dan pusatnya berada pada jarak ri dari o. Gunakan (ii) dan (i) untuk mendapatkan

$$k \sum_{1}^{n} r_i\, A_i \cos \theta_i = 0$$

Dari gambar 2.15 (b) sehingga *ri* cos*i* = *x*

$$\therefore \qquad k \sum_{1}^{n} x\, A_i = 0$$

Yang sama seperti

$$k\, \bar{x}\, A_t = 0$$

Dimana $\bar{x}$ adalah koordinat pusat massa-x semua keling dan jumlah luas penampang bagian adalah A_i. Oleh karena k maupun A_i adalah nol, $\bar{x} = 0$. Jika kemudian jumlah gaya di sepanjang sumbu x diperhitungkan, maka hasil $\bar{y}$ = 0. Ini berarti bahwa o adalah titik bertepatan dengan pusat massa dari daerah sistem daerah.

Contoh 5

Pada Gambar 2.18 (a) menunjukkan jarak antara kolom dan baris paku keling. Setiap paku keling memiliki diameter 5 mm dan gaya P = 1 kN. Hitung tegangan geser pada paku keling.

Penyelesaian

Lima paku keling telah diberi nomor sebagai 1, 2,. . . , 5. Ambil pusat paku keling 3 sebagai awal dan sumbu x dan y sepanjang 32 dan 35 mm. Luas semua paku keling adalah:

$$A = \frac{\pi}{4}(5)^2 = 19{,}64 \text{ mm}^2.$$

Jika $\bar{x}$ dan $\bar{y}$ adalah koordinat titik berat (centroid), maka

$$50A + 50A = 5A\,\bar{x}$$

$$\bar{x} = 20 \text{ mm}$$

$$50A + 20A + 30A = 5A\,\bar{y}, \quad \bar{y} = 20 \text{ mm}$$

Oleh karena itu pusat massa adalah pada garis horizontal melalui paku keling 4. Kita dapat menghitung berbagai jarak dari pusat paku keling ke titik berat (*centroid*).

$$r_1 = \sqrt{10^2 + 30^2} = 10\sqrt{10}$$

$$r_2 = \sqrt{20^2 + 30^2} = 10\sqrt{13}$$

$$r_3 = \sqrt{20^2 + 20^2} = 10\sqrt{8}$$

$$r_4 = \sqrt{20^2 + 0} = 10 \times 2$$

$$r_5 = \sqrt{30^2 + 20^2} = 10\sqrt{13}$$

Selanjutnya $F_1 = k\,r_1 = k\,10\sqrt{10}$, momen F1 terhadap 0

$$M_1 = k\,r_1^2 = 1000\,k$$

$$F_2 = k\,r_2 = k\,10\sqrt{13}, \quad M_2 = 1300\,k$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{10}}{\sqrt{13}} \quad \text{or} \quad F_1 = \sqrt{\frac{10}{13}}\,F_2$$

Kita dapat menentukan F1, F_2, F_3, F_4 dan F_5 berhubungan dengan k atau dapat menentukan setiap gaya yang berhubungan dengan F2. Kita mungkin ingin memilih F2 karena acuan dari semua gaya lain dan karena r_2 lebih besar dari semua r lainnya.

$$F_3 = \sqrt{\frac{8}{13}}\, F_2,\ F_4 = \frac{2}{\sqrt{13}}\, F_2,\ F_5 = F_2$$

Ambil momen dari semua gaya terhadap O dan menyamakan dengan aplikasi 50 P = 50000 N mm.

$$\sqrt{\frac{10}{13}}\, F_2 10\sqrt{10} + F_2 10\sqrt{13} + \sqrt{\frac{8}{13}}\, F_2 10\sqrt{8} + \frac{2}{\sqrt{13}}\, F_2 10 \times 2 + F_2 10\sqrt{13} = 5 \times 10^4$$

$$\frac{100F_2}{\sqrt{13}} + \frac{130F_2}{\sqrt{13}} + \frac{80F_2}{\sqrt{13}} + \frac{40F_2}{\sqrt{13}} + \frac{130F_2}{\sqrt{13}} = 5 \times 10^4$$

$$\therefore \qquad F_2 = \frac{500\sqrt{13}}{4.8} = 375.6 \text{ N}$$

$\therefore$ Tegangan geser maksimum = $\frac{F_2}{A} = \frac{375{,}6}{19{,}64}$ = 19,12 N/mm^2.

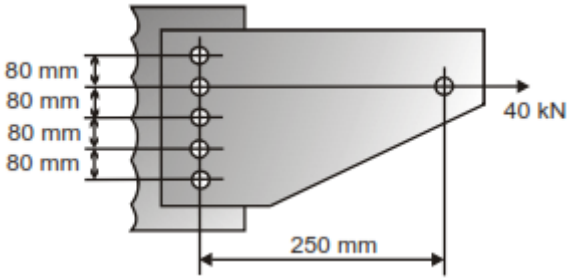
Tegangan geser maksimum akan ada pada paku keeling 2 dan 5.

E. Soal-Soal Latihan

1. Jelaskan jenis sambungan keling.
2. Apa modus yang berbeda dari kegagalan sambungan keling?
3. Definisikan pitch, back pitch, marjin dan pitch diagonal.
4. Definisikan efisiensi sebuah sambungan kelingan dan jelaskan untuk berbagai kekuatan.
5. Sebuah sambungan struktural dengan tipe double cover butt memiliki efisiensi 85% dengan kondisi bahwa kekuatan terendah dalam modus robeknya dari tebal pelat10,5 mm pelat pada sebagian besar baris yang dilemahkan oleh satu lubang. Cari gaya tarik yang diterima oleh sambungan dan jumlah paku keling jika tekanan diizinkan untuk pelat dan paku keling adalah; σt = 105 N / mm2, τs = 75 N / mm2 dan σc = 150 N / mm2. Desain sambungan secara lengkap dan tunnunjukkan d,

d_1, p, pb dan m pada sket. Juga berikan dimensi pelat penutup.

6. Apa jenis sambungan yang digunakan dalam sebuah ketel dan mengapa?
7. Jelaskan jumlah yang diperlukan untuk menghitung sambungan keling dan
   tunjukkan sebuah sket.
8. Apa yang Anda pahami dengan beban dari sebuah sambungan keling? Jelaskan dengan bantuan sket.
9. Sebuah shell boiler dengan diameter 1m yang mengalami tekanan uap 2,7 MPa. Hal ini diusulkan untuk menggunakan sebuah sambungan keling cover butt ganda dengan jumlah paku keling dua kali di baris dalam. Asumsikan berikut nilai tegangan maksimum.
   Tegangan tarik maksimum σu = 352 MPa
   Tegangan geser maksimum τu = 256 MPa
   Tegangan crushing maksimum σuc = 512 MPa
   Untuk pelat dan bahan paku keling
   Dengan mesin keling asumsikan faktor keamanan 4. Sket sambungan dan tunjukkan dimensinya. Hitung efisiensi sambungan.
10. Tentukan diameter paku keling jika tegangan geser yang diizinkan 65 N/mm^2. Asumsikan semua paku keling memiliki diameter yang sama dalam gambar 2,21.



Gambar 2.21. Menentukan Diameter Paku Keling

DAFTAR PUSTAKA

Bandari, V.B. 2010. *Designe of Machine Element*. New Delhi: Mc-Graw Hill International Book Company.

Boresi, Arthur P. 2003. *Advanced Mechanics of Materials*. USA: John Wiley & Sons Inc.

Dias da Silva, Vitor. 2005. *Mechanics and Strength of Materials*. New York: Springer.

Gross, Dietmar, et.al. 2011. *Mechanics of Materials*. New York: Springer.

Hearn, E.J. 1997. *Mechanics of Material*, Vol.1. Boston: Butterworth Heinemann.

Hibbler, Russell C. 2010. *Mechanics of Materials*. Boston: Prentice Hall.

Klemanov, Boris, M. 2007. *Machine Element Life and Design*. London: Crc Press.

Khurmi, R.S and J.K Gupta. 2005. *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT) Ltd.

Khurmi, R.S. 1980. *Applied Mechanics and Strength of Material*. New Delhi: S Chand & Company Ltd.

Mott, Robert. L. 2004. *Machine Elements in Mechanical Design*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Nash, William A. 1998. *Strength of Materials*. New York: Mc-Graw Hill Companies.

Patnaik, Surya and Dale Hopkins. 2004. *Strength of Materials*. Boston: Butterworth Heinemann.

Ross, Carl T.F. 1999. *Strength of Materials and Structures*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Shigley, Joseph, *et.al*. 2004. *Machine Design*. New York: Mc-Graw Hill Companies.

Spotts, M.F. 2003. *Design of Machine Elements*. New York: Springer.

Walker, J.D. 1978. *Applied Mechanics*. London: Hodder and Stoughton Ltd.

PARA PENULIS

Ambiyar, lahir di Padang Panjang 13 Februari 1955 Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat. Menamatkan pendidikan S-1 di IKIP Padang Jurusan Teknik Mesin. Lulus Sarjana Muda Tahun 1977 dan Sarjana Tahun 1979. Kemudian melanjutkan studi S-2 Jurusan Teknologi Pendidikan dan Kejuruan di IKIP Jakarta dan Lulus Tahun 1986. Melanjutkan Studi S-3 di UNJ Jakarta, Lulus Tahun 2005. Pada Tahun 2019 meraih Jabatan Akademik Profesor di bidang Evaluasi Pendidikan. Sampai saat ini merupakan salah seorang staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin dan juga sebagai Koordinator Prodi S-3 PTK di FT-UNP. Memiliki pengalaman mengajar selama ini dalam beberapa mata kuliah seperti Media dan Sumber Pembelajaran, Pedagogik, Kurikulum Pendidikan, Evaluasi Formatif, Termodinamika, Mekanika Teknik, Dinamika Teknik. Penelitian yang telah dikembangkan mengarah ke bidang ilmu rekayasa bahan dengan fokus *Evaluasi Pendidikan Kejuruan dan Mechanical Engineering*.

Waskito, lahir di Medan 8 Agustus 1961 Sumatera Utara, menamatkan pendidikan Sarjana Pendidikan Teknik Mesin di FKT IKIP Padang (1985) pada bidang Ilmu Pendidikan Teknik Mesin. Kemudian melanjutkan studi magister Teknik pada Bidang Konstruksi Mesin (1997) Di Institut Teknologi Bandung. Menamatkan pendidikan Strata 3 di Universitas Negeri Padang pada bidang Teknologi Pendidikan Tahun 2010. Sampai saat ini merupakan salah seorang staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Memiliki pengalaman mengajar selama ini dalam beberapa mata kuliah seperti Teknologi Pendidikan Kejuruan, Media Pendidikan, Rancangan Konstruksi Mesin, Analisis Konstruksi Mesin, Kinematikan Dinamika, Gambar Mesin. Penelitian yang telah dikembangkan mengarah ke bidang ilmu rekayasa bahan dengan fokus *Teknologi Pendidikan Kejuruan dan Mechanical Engineering*.

Hendri Nurdin, lahir di Medan 28 Februari 1073, menamatkan pendidikan Sarjana Teknik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (2000) pada bidang Ilmu Teknik Mesin. Kemudian melanjutkan studi magister Teknik pada Bidang Ilmu Bahan & Struktur (2006). Di Universitas Sumatera Utara Medan. Sampai saat ini merupakan salah seorang staf pengajar di Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Memiliki pengalaman mengajar selama ini dalam beberapa mata kuliah seperti Teknologi Bahan, Pengujian Bahan, Elemen Mesin, Mesin Teknologi Terapan, Fisika Teknik, Mekanika Teknik, Dinamika Teknik. Penelitian yang telah dikembangkan mengarah ke bidang ilmu rekayasa bahan dengan fokus *natural science materials, renewable alternative energy*.

RINGKASAN ISI BUKU

Elemen Mesin adalah bagian-bagian suatu konstruksi yang mempunyai bentuk serta fungsi tersendiri, seperti baut-mur, pen, pasak, poros, kopling, sabuk-pulli, rantai-sprocket, roda gigi dan sebagainya. Dalam penggunaan elemen mesin bisa berfungsi sebagai elemen pengikat, elemen pemindah atau transmisi, elemen penyangga, elemen pelumas, elemen pelindung, dan sebagainya.

Buku ini terdiri dari delapan bab. Pada Bab 1 diuraikan tentang cakupan materi dari buku Elemen Mesin ini. Kemudian pada Bab 2, terdapat uraian mengenai Sambungan Kelingan serta prosedur desainnya, sedangkan pada Bab 3 dibahas tentang sambungan las beserta jenis-jenisnya. Memasuki Bab 4 dibahas seputar penyolderan atau patri.

Adapun Bab 5 diuraikan kajian tentang sambungan ulir, sedangkan pada Bab 6 diuraikan tentang alat transmisi daya. Selain itu pada bab 7 dijelaskan tentang perancangan pegas beserta jenis-jenisnya. Pada Bab 8 diuraikan tentang pelumasan dan bantalan pada mesin.

Buku ini dilengkapi dengan **glossary** (kosa kata) yang dapat mempermudah memahami istilah-istilah elemen mesin yang ditemui. Di samping itu juga dilengkapi ***indeks buku*** tentang suatu kata atau istilah penting yang disusun berdasarkan abjad dan informasi halaman berupa tempat kata atau istilah tersebut ditemukan.

ELEMEN MESIN

Prof. Dr. Ambiyar, M.Pd
Dr. Waskito, MT
Hendri Nurdin, ST, MT

Elemen Mesin adalah bagian-bagian suatu konstruksi yang mempunyai bentuk serta fungsi tersendiri, seperti baut-mur, pen, pasak, poros, kopling, sabuk-pulli, rantai-sprocket, roda gigi dan sebagainya. Dalam penggunaan elemen mesin bisa berfungsi sebagai elemen pengikat, elemen pemindah atau transmisi, elemen penyangga, elemen pelumas, elemen pelindung, dan sebagainya.

Buku ini terdiri dari delapan bab. Pada Bab 1 diuraikan tentang cakupan materi dari buku Elemen Mesin ini. Kemudian pada Bab 2, terdapat uraian mengenai Sambungan Kelingan serta prosedur desainnya, sedangkan pada Bab 3 dibahas tentang sambungan las beserta jenis-jenisnya. Memasuki Bab 4 dibahas seputar penyolderan atau patri.

Adapun Bab 5 diuraikan kajian tentang sambungan ulir, sedangkan pada Bab 6 diuraikan tentang alat transmisi daya. Selain itu pada bab 7 dijelaskan tentang perancangan pegas beserta jenis-jenisnya. Pada Bab 8 diuraikan tentang pelumasan dan bantalan pada mesin.

Buku ini dilengkapi dengan glossary (kosa kata) yang dapat mempermudah memahami istilah-istilah elemen mesin yang ditemui. Di samping itu juga dilengkapi indeks buku tentang suatu kata atau istilah penting yang disusun berdasarkan abjad dan informasi halaman berupa tempat kata atau istilah tersebut ditemukan.

Appti
IKAPI
IKATAN PENERBIT INDONESIA
PENERBITAN & PERCETAKAN UNP PRESS
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang
Sumatera Barat
UNP PRESS