

# ELEMEN MESIN

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



Penerbitan & Percetakan  
**UNP PRESS**  
021-556322

# **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**



**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

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>V</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>VI</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>IX</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>XVI</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Pengertian Elemen Mesin .....	1
B. Pembagian Elemen Mesin .....	1
C. Prinsip Dasar Perencanaan Elemen Mesin .....	2
D. Pertimbangan dalam Perencanaan Elemen Mesin .....	3
E. Dasar Perhitungan dalam Perencanaan Elemen Mesin ...	4
F. Soal-Soal Latihan .....	5
<b>BAB 2. SAMBUNGAN KELINGAN .....</b>	<b>6</b>
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
<b>BAB 3. SAMBUNGAN LAS .....</b>	<b>55</b>
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
<b>BAB 4. SOLDER/PATRI .....</b>	<b>90</b>
A. Peralatan Patri .....	90
B. Pemakaian Solder .....	99
C. Bahan Solder .....	103
D. Macam-Macam Sambungan Solder .....	106
E. Proses Penyolderan .....	110
F. Keuntungan dan Kerugian Penyolderan .....	110
<b>BAB 5. SAMBUNGAN ULIR .....</b>	<b>114</b>
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
<b>BAB 6. ALAT TRANSMISI DAYA .....</b>	<b>133</b>
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
<b>BAB 7. PERANCANGAN PEGAS .....</b>	<b>194</b>
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
<b>BAB 8. BANTALAN DAN PELUMASAN .....</b>	<b>239</b>
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
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>278</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>280</b>
<b>INDEKS .....</b>	<b>281</b>
<b>PARA PENULIS .....</b>	<b>282</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
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 Margin (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 Dibebeani 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- Paralel .....	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 Ekiwalennya .....	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 Permukaan 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 Hydrodynamic 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 Beberapa 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 $\Theta_{max}$ dan $\Phi$ 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

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
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 $S_{sy}$ untuk Pegas Tekan, dan Beban Statik .....	211
7.5. Kekuatan Fatigue Torsional, $S_{sf}$ 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 $S_y$ yang Direkomendasikan untuk Pegas Helix Torsional pada Pembebanan Statik .....	224
7.9. Kekuatan Fatigue Bending Maksimum $S_{sf}$ 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 Perencanaan 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. Menentukan 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. Pemilihan 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  $F = \text{Gaya tarik}$   $A = \text{Luas penampang bidang gaya}$

b. Tegangan Geser

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

c. Tegangan Puntir

Tegangan puntir adalah tegangan yang terjadi disebabkan benda memuntir terhadap sumbunya, dengan  $M_p = \text{Momen puntir}$  dan  $W_p = \text{Momen tahanan punter}$

d. Tegangan Bengkok

Tegangan bengkok adalah tegangan yang terjadi karena adanya momen yang menyebabkan benda mengalami lentur atau bengkok, dengan  $M_b = \text{Momen bengkok}$  dan  $W_b = \text{Momen tahanan bengkok}$

## 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.

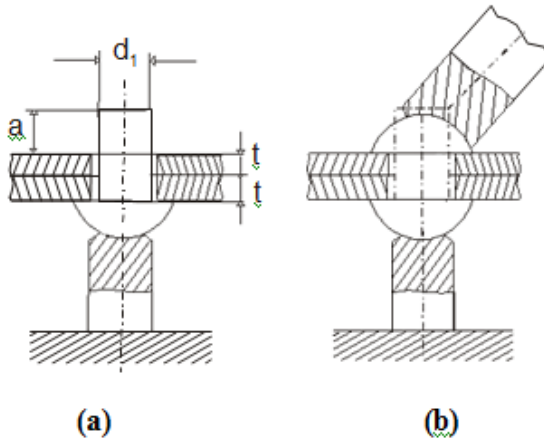
Perkembangan teknologi pengelasan di tahun 1940-an telah sangat mengurangi aplikasi sambungan kelingan. Pengelasan adalah metode mencairkan logam secara lokal (lembaran atau pelat tumpang tindih) dengan pemanasan intensif dengan logam pengisi atau tanpa itu dan memungkinkan mendinginkan mereka untuk 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 kelonggaran (*clearance*) antara bagian dalam lubang dan keling. Penurunan panjang dan diameter tidak terjadi sewaktu keling dingin.

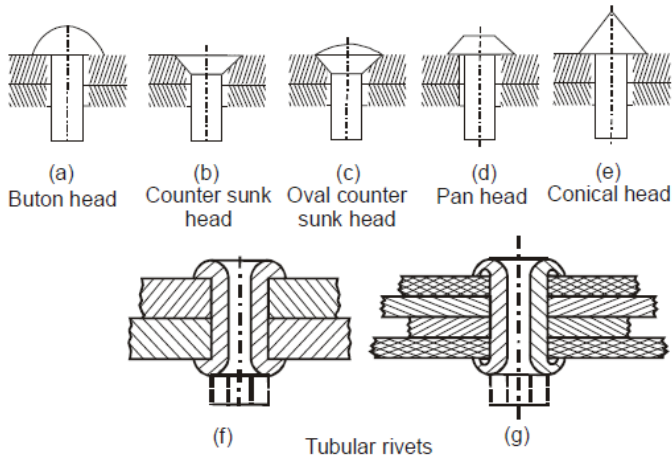


**Gambar 2.1. Jenis Pembentukan Kepala Keling**

## 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 protruding 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:

- Menurut tujuan,
- Menurut posisi pelat yang dihubungkan, dan
- Menurut susunan paku keling.

Menurut tujuan sambungan kelingan diklasifikasikan sebagai:

#### **Sambungan yang kuat**

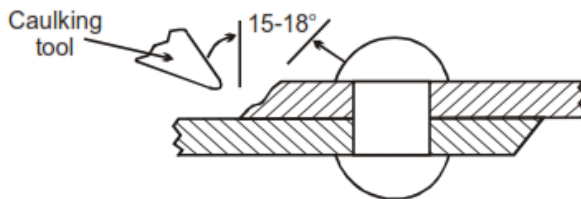
Dalam sambungan ini kekuatan adalah satu-satunya kriteria. Sambungan dalam struktur keteknikan seperti batang (beam), struktur dan rangka mesin butuh sambungan yang kuat.

#### **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.

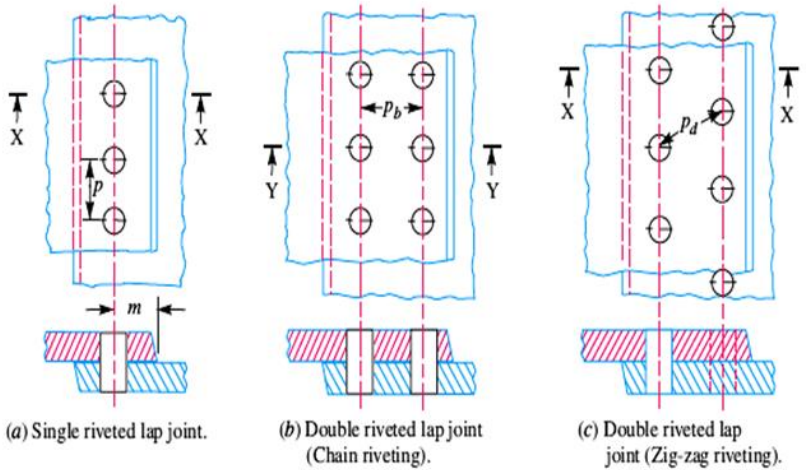
#### **Sambungan kuat dan rapat**

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).

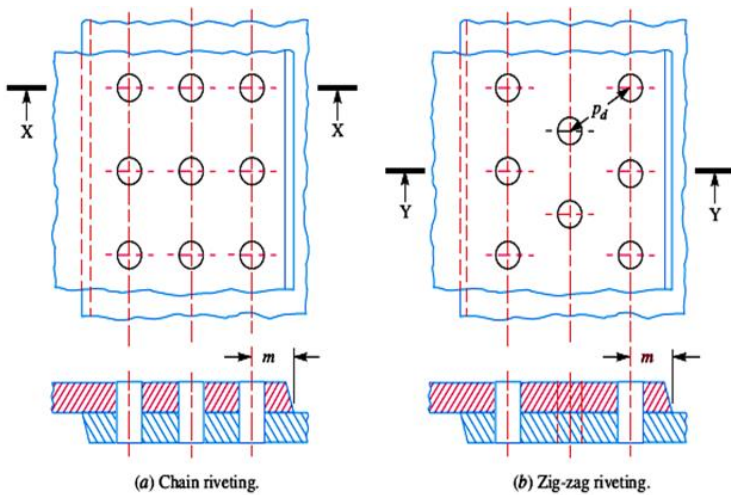


**Gambar 2.3. Mendempul (Caulking) Sambungan Keling**

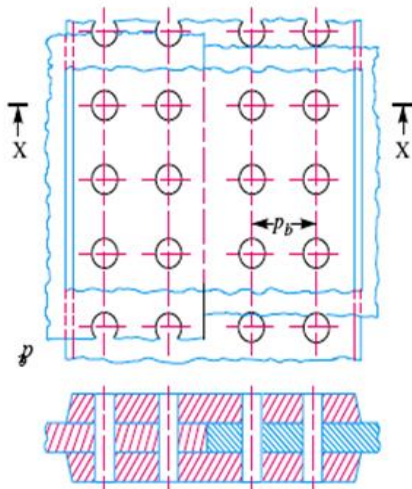
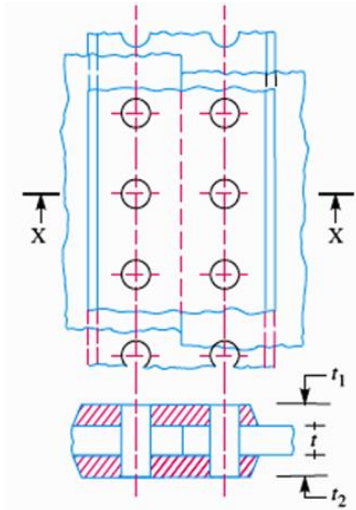
Sambungan keling diklasifikasikan sebagai (i) Lap Joint dan (ii) butt joint sesuai dengan posisi pelat. Lap joint Lap Joint (sambungan 2 lapis) adalah sambungan yang mana dua plat disambung bersama-sama, seperti terlihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5. Butt Joint (sambungan 3 lapis) adalah sambungan 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.



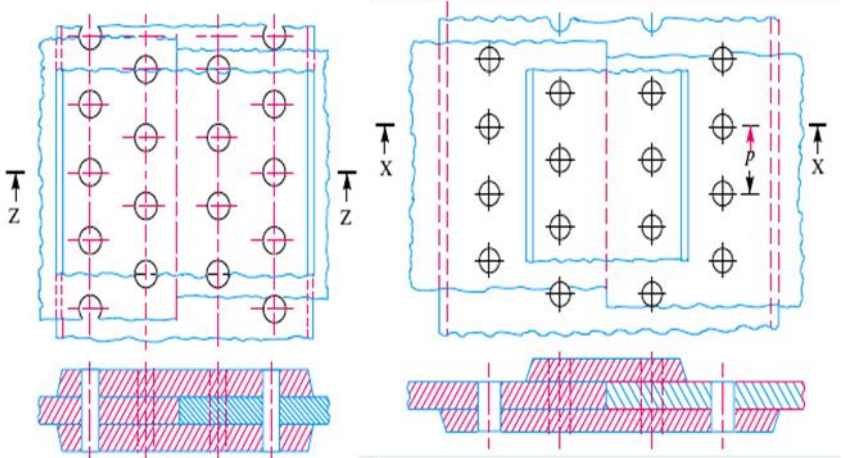
**Gambar 2.4. Sambungan Lap joint single dan double**



**Gambar 2.5. Sambungan Lap joint triple**

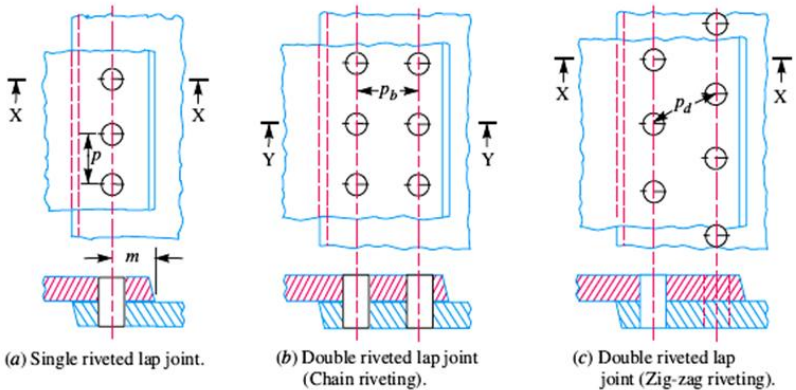


- a) Single riveted double strap butt joint.  
 b) Double riveted double strap butt joint



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  $p_b$  dan ditunjukkan pada Gambar 2.7 (d) dan (e).

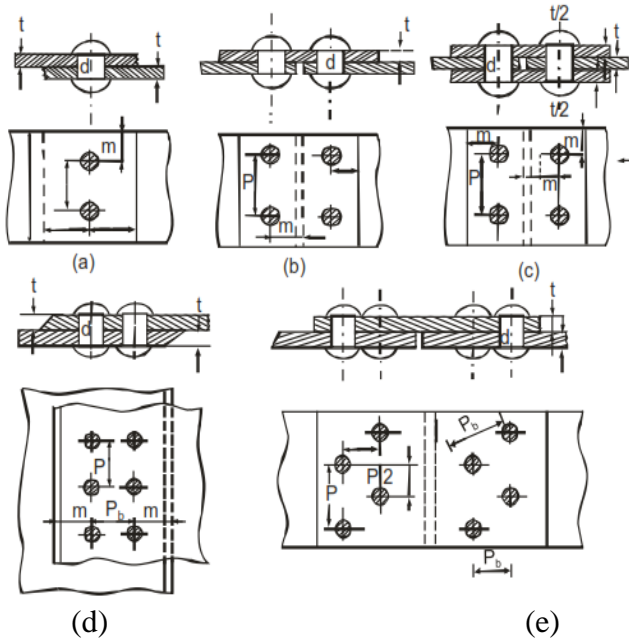
### **Diagonal pitch**

Jarak terkecil antara pusat dua lubang paku keling di baris yang berdekatan dari sambungan keling zig-zag disebut diagonal pitch. Dilambangkan dengan  $p_d$ , 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  $t_c$ . Diameter lubang keling dilambangkan dengan  $d$ . Diameter ini biasanya besar dari diameter keling dilambangkan dengan  $d_1$ .

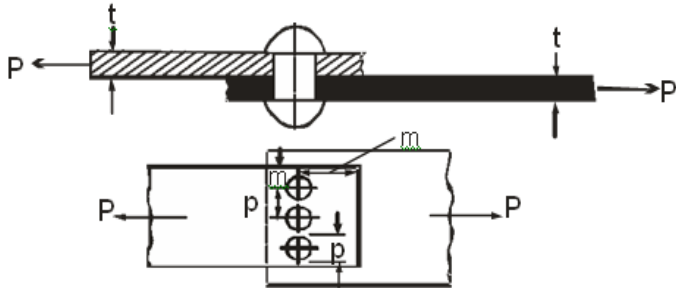
Sebuah masalah perancangan sambungan keling melibatkan penentuan  $p$ ,  $p_b$ ,  $p_d$ ,  $m$ ,  $t$ ,  $t_c$  dan  $d$ , tergantung pada jenis sambungan.



**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:

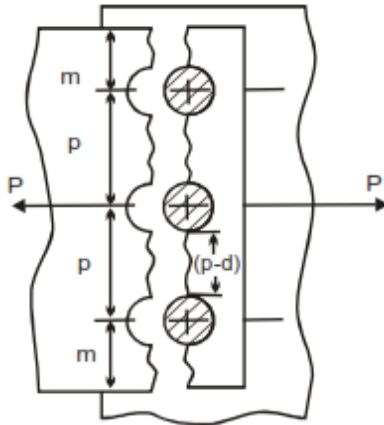
$$A_t = (p - d) t$$

Jika tegangan yang diizinkan untuk pelat dalam tarikan adalah  $\sigma_t$ , maka kekuatan tarik dari sambungan adalah

$$P_i = \sigma_t (p - d) t \quad \dots (2.1)$$

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

$$P_i \geq P \quad \dots (2.2)$$



**Gambar 2.9. Robek Pelat pada Bagian Terlemah oleh Lubang**

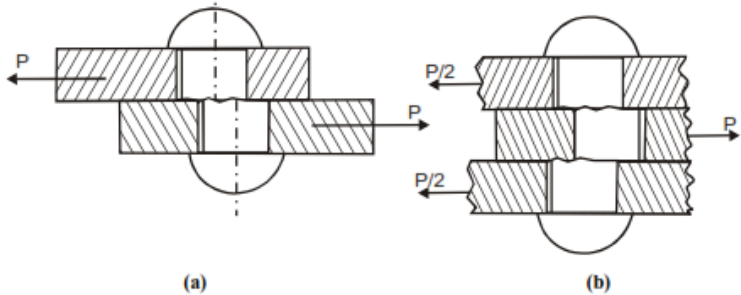
#### **b. Geser Pada Paku Keling**

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  $\tau_s$ , maka kekuatan geser atau beban geser daya dukung sambungan.

$$P_s = \tau_s \frac{\pi}{4} d^2 \quad \dots (2.3)$$

Kegagalan tidak terjadi jika

$$P_s \geq P \quad \dots (2.4)$$

Jika  $n$  adalah jumlah paku keling per panjang pitch,

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

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

$$P_s = n \times 1,75 \tau_s \frac{\pi}{4} d^2 \quad \dots (2.6)$$

### c. Perubahan Bentuk Pelat dan Keling

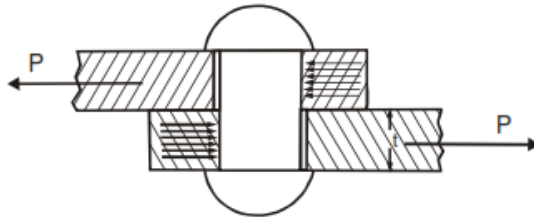
Karena paku keling dikompresi terhadap permukaan dalam lubang, ada kemungkinan paku

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  $\sigma_c$ , maka kekuatan yang dapat merubah bentuk adalah,

$$P_c = dt \sigma_c \quad \dots (2.7)$$



**Gambar 2.11. Perubahan Bentuk Paku Keling**

Kegagalan pada mode ini tidak akan terjadi jika

$$P_c \geq P \quad \dots (2.8)$$

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

$$A_{ms} = 2mt$$

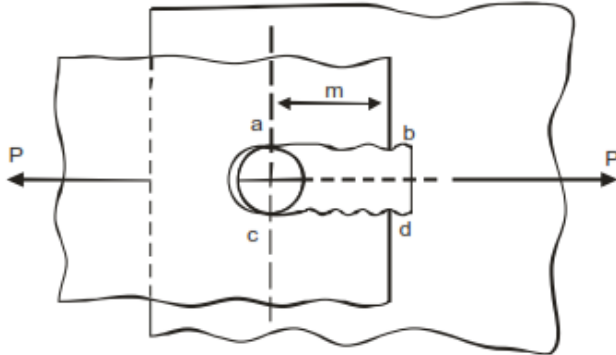
Jika tegangan geser yang diizinkan pelat  $\tau_s$ , kemudian beban daya dukung bersama terhadap geser margin adalah,

$$P_{ms} = 2 m t \tau_s \quad \dots (2.9)$$

Kegagalan dalam kasus ini tidak terjadi jika

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

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  $\sigma_t$ ,  $\tau_s$  dan  $\sigma_c$ , 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 terdistribusi 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

$$P_1 = pt \sigma_t \quad \dots (2.11)$$

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

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

Kekuatan ideal dalam berbagai modulus 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 %
<b>Lap Joints</b>		
Single riveted	45-60	63.3
Double riveted	63-70	77.5
Triple riveted	72-80	86.5
<b>Butt Joints</b>		
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  $P_s = P_c$

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

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

Jika paku keling menerima geser ganda

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

Umumnya  $\tau_s = 60 \text{ MPa}$  atau  $\text{N/mm}^2$

$\sigma_c = 130 \text{ MPa}$  atau  $\text{N/mm}^2$

$d = 2,75 t$  pada geser tunggal

$d = 1,37 t$  pada geser ganda  $\dots (2.15)$

Dari persamaan (3.1) dan (3.3)

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

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

atau

Substitusikan  $\tau_s = 60$  MPa

$$\sigma_t = 75 \text{ MPa}$$

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

Gunakan persamaan (3.15) pada persamaan di atas

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

$$p = 1,86 d \text{ (geser ganda)} \quad \dots \text{ (2.16)}$$

Persamaan (2.7) dan (2.9)

$$2 m t \tau_s = d t \sigma_c$$

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

Substitusikan  $\tau_s = 60$  MPa

$$\sigma_c = 130 \text{ MPa}$$

$$m = 1,08 d \quad \dots \text{ (2.17)}$$

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

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

Hal ini dikenal sebagai rumus Unwin.

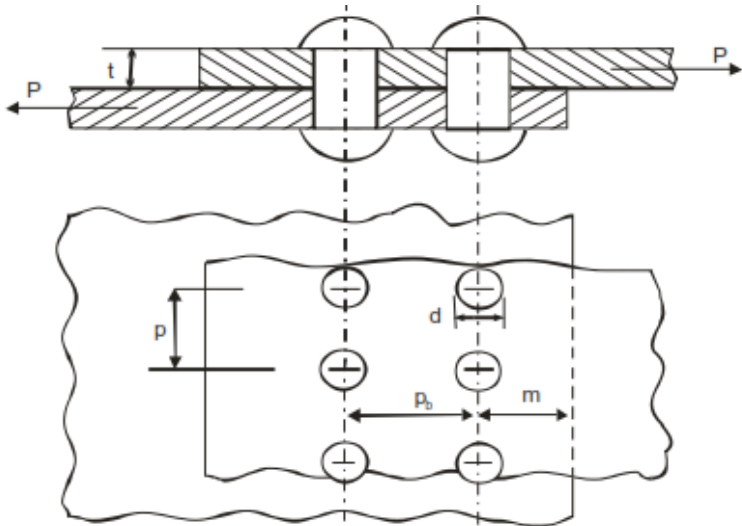
### Contoh 1

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

$$\sigma_t = 90 \text{ MPa}, \tau_s = 75 \text{ MPa}, \sigma_c = 150 \text{ MPa}$$

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  $d = \sqrt{9,5} = 18,5 \text{ mm} \quad \dots \text{ (i)}$

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

$$= \frac{\pi}{4} d^2 \tau_s = \frac{\pi}{4} (18,5)^2 75 = 20.16 \text{ kN} \quad \dots \text{ (a)}$$

Kekuatan perubahan bentuk (crushing) untuk satu paku keling

$$= \sigma_c dt = 150 \times 18,5 \times 9,5 = 26.36 \text{ kN} \quad \dots \text{ (b)}$$

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.

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

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  $p = 65,55 \text{ mm}$  katakan  $65,7 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{ (ii)}$

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

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

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

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

- 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:

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

$$\therefore m = \frac{\pi d^2}{4 t} = \frac{\pi (18.5)^2}{4 \cdot 9.5} = 28.3 \text{ mm} \quad \dots \text{(iv)}$$

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

$m = 28.3$  mm dapat diterima.

Dengan demikian desain dilengkapi dengan

$d = 18.5$  mm,  $p = 65.7$  mm,  $p_b = 55.5$  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

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

Kekuatan geser paku keling pada panjang pitch

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

Kekuatan menghancurkan paku keeling pada panjang pitch

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

Kekuatan robek pelat dengan satu lobang pada panjang pitch

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

Kekuatan geser margin

$$P_{ms} = 2 \tau_s m t = 2 \times 75 \times 28.3 \times 9.5 = 40.32 \text{ kN} \quad \dots \text{ (g)}$$

Gaya  $P_s$ ,  $P_c$ ,  $P_t$ , dan  $P_{ms}$ , paling rendah adalah  $P_{ms}$

$$\eta = \frac{P_s}{P_t} = \frac{40.3}{56.2} = 71.7\% \quad \dots \text{ (h)}$$

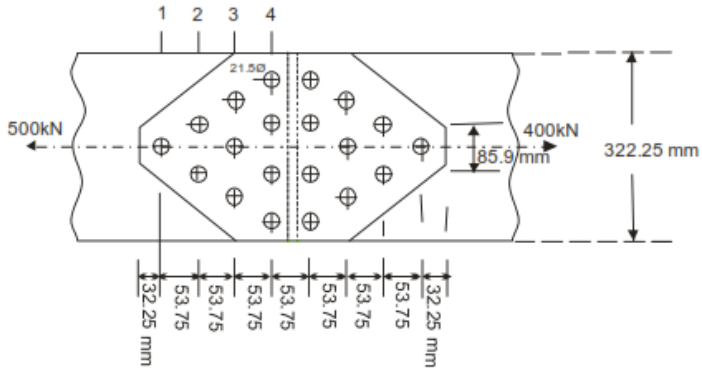
Nilai desain adalah:

$$d = 18.5 \text{ mm}, p = 65.7 \text{ mm}, pb = 55.5 \text{ mm}, m = 28.3 \text{ mm}, \eta = 71.7\%$$

## 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 modulus 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.  $\sigma_t$  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  $s/t$  dan  $\sigma_c$  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 margin.

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 modulus kegagalan yang robek sepanjang baris dalam disertai dengan menggantung atau menghancurkan paku keling di semua baris luar. Kekuatan dalam mode ini

dilambangkan dengan  $P_{ts}$  atau  $P_{tc}$  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

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

Dari standard

$$d = 21,5 \text{ mm}$$

dimana diameter paku keling,  $d_1 = 20 \text{ mm}$  . . .

(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.

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

$$\text{atau } 500 \times 103 = 133 (b - 21,5) 12,5 \quad . . .$$

(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.

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

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

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

Juga kekuatan hancur

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

$$n = \frac{500}{51} = 9,8, \text{ katakan } 10 \quad \dots$$

(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  $1,5 d = 1,5 \times 21,5 = 32,25 \text{ mm}$  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

$$p = \frac{257,75}{3} = 85,9 \text{ mm} \quad \dots \text{ (iv)}$$

Jarak antara baris,  $p_b$  harus antara 2,5 sampai 3 d

$$p_b = 2,5 \times 21,5 = 53,75 \text{ mm} \quad \dots \text{ (v)}$$

### **Pelat Penutup**

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

$$t_c = 0.625 \times 12.5 = 7.8 \text{ mm} \quad \dots \text{ (vi)}$$

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

$$\begin{aligned} P_s &= 1.75 \times 10 \times \frac{\pi}{4} d_1^2 \tau_s \\ &= 1.75 \times 10 \times \frac{\pi}{4} (20)^2 \times 109 = 17.5 \times 34 = 595 \text{ kN} \quad \dots \text{ (a)} \end{aligned}$$

Kekuatan hancur (crushing) 10 paku keling

$$P_c = 10 \times \sigma_c \times d_1 \times t = 10 \times 51 = 510 \text{ kN} \quad \dots$$

(b)

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

$$\begin{aligned} P_{t1} &= (b - d) \times t \times \sigma_t \\ &= 133 (322.25 - 21.5) \times 12.5 = 500 \text{ kN} \quad \dots \text{ (c)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} P_{tc2} &= 133 (322.25 - 2 \times 21.5) \times 12.5 + \sigma_c \times d_1 \times t \\ &= 133 \times 279.25 \times 12.5 + 204 \times 20 \times 12.5 \\ &= 464.25 + 51 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{atau} \quad P_{tc2} = 515,5 \text{ kN} \quad \dots$$

(d)

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

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

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

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

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

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

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

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

Kekuatan pelat padat tanpa lubang

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

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

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

$$= 93.3\% \dots (vii)$$

## 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  $\sigma_r$ , diameter dalam D dan tegangan tarik yang diizinkan  $\sigma_t$ , ketebalan dihitung dari,

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

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

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

Nilai  $C$  diberikan dalam Tabel 2.4. Jika dengan perhitungan  $p$  ternyata kurang daripada  $p_{\text{maks}}$ , 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 penuh jumlah 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 ( $t_c$ )**

- a. Untuk cover butt tunggal dengan rantai keling

$$t_c = 1,125 t \quad \dots$$

(2.25)

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

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

(2.26)

Untuk penutup ganda lebar paku keling dan rantai sama

$$t_c = 0,625 t \quad \dots$$

(2.27)

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

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

(2.28)

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

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

$$t_2 = 0,625 t \quad (\text{untuk cover pada bagian luar}) \dots$$

(2.29)

Margin  $m = 1,5 d$  ...

(2.30)

### Menentukan Pitch Caulking, $p_t$

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:

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

(2.31)

Hubungan empiris ini dimana tekanan yang digunakan  $\sigma$  dalam N/mm<sup>2</sup>.

## 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,  $\sigma_r$  bekerja pada bagian melingkar dari ruang silinder cenderung untuk memisahkan dua bagian panjang tabung.

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

(2.32)

### Pitch, ( $p$ )

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

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

(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  $Nn_1 = n$

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

(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).

**Tumpang Tindih Panjang Bagian Shell (*l*)**

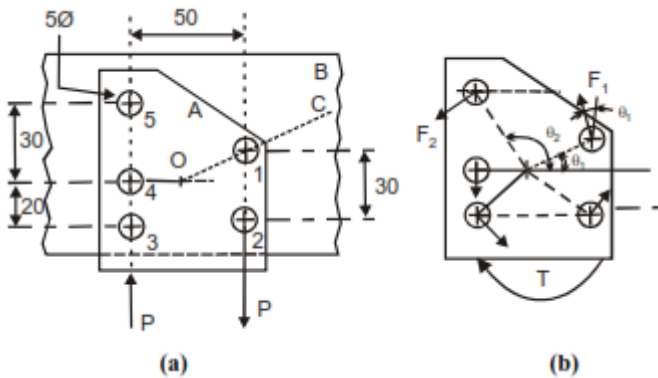
$$l = (N - 1) p_b + 2 m \quad \dots$$

(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  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ , dan lainnya dengan sumbu  $y$ , maka

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

$$\sum_{i=1}^n F_i \cos \theta_i = 0 \quad \dots (i)$$

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

Dan  $\tau_i \propto r_i$  atau  $\tau_i = k r_i$

$$\therefore F_i = k r_i A_i \quad \dots$$

(ii)

Berikut  $k$  adalah konstanta,  $\tau_i$  = tegangan geser dalam paku keling  $i^{\text{th}}$  yang mana luas penampang adalah  $A_i$  dan pusatnya berada pada jarak  $r_i$  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  $r_i \cos i = x$

$$\therefore k \sum_1^n x A_i = 0$$

Yang sama seperti

$$k \bar{x} A_i = 0$$

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, F2, F3, F4 dan F5 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 r2 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.

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

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

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

$$\therefore \text{Tegangan geser maksimum} = \frac{F_2}{A} = \frac{375,6}{19,64} = 19,12$$

N/mm<sup>2</sup>.

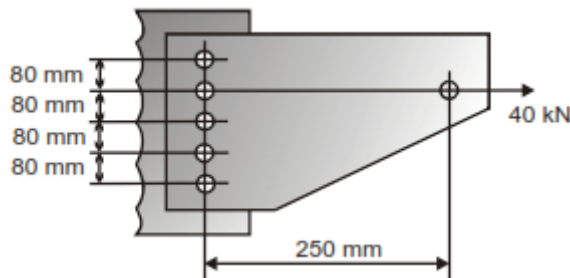
Tegangan geser maksimum akan ada pada paku keeling 2 dan 5.

### E. Soal-Soal Latihan

1. Jelaskan jenis sambungan keling.
2. Apa modulus 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 modulus robeknya dari tebal pelat 10,5 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;  $\sigma_t = 105 \text{ N/mm}^2$ ,  $\tau_s = 75 \text{ N/mm}^2$  dan  $\sigma_c = 150 \text{ N/mm}^2$ .  
Desain sambungan secara lengkap dan tunjukkan d,

$d_1$ ,  $p$ ,  $p_b$  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  $\sigma_u = 352$  MPa  
Tegangan geser maksimum  $\tau_u = 256$  MPa  
Tegangan crushing maksimum  $\sigma_{uc} = 512$  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  $65 \text{ N/mm}^2$ . 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. *Design 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, Kinematika 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 1973, 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.



**PENERBITAN & PERCETAKAN UNP PRESS**  
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang  
Sumatera Barat

