

Buku ini membahas secara komprehensif berbagai jenis sambungan pada elemen mesin, mulai dari sambungan keling, las, mur dan baut, susut, hingga adhesive. Disajikan dengan bahasa yang mudah dipahami, buku ini menggabungkan teori, rumus perhitungan teknik, serta contoh aplikasi yang sering dijumpai di industri permesinan.

Melalui pembahasan yang sistematis, pembaca akan dibimbing memahami:

- Prinsip dasar dan fungsi tiap jenis sambungan
- Analisis kekuatan dan efisiensi sambungan
- Rumus-rumus penting dalam perhitungan teknik penyambungan
- Aplikasi sambungan dalam desain dan konstruksi mesin

Disusun berdasarkan pengalaman akademik dan praktis di bidang teknik mesin, buku ini sangat direkomendasikan bagi mahasiswa politeknik, universitas teknik, dosen, dan praktisi industri yang ingin memperkuat pemahaman tentang desain sambungan mekanik.

Dengan daftar isi yang tersusun jelas, mulai dari Sambungan Keling hingga Sambungan Adhesive, maka buku ini tidak hanya menjadi pegangan belajar di bangku kuliah, tetapi juga panduan kerja di dunia industri teknik manufaktur.

Dasar-Dasar **SAMBUNGAN ELEMEN MESIN**

Dr. Tulus Subagyo, ST., MT
Wisma Soedarmadji, ST., MT



Yayasan Rahmazar Kurnia Jaya



DASAR-DASAR SAMBUNGAN ELEMEN MESIN

Dr. Tulus Subagyo, ST., MT
Wisma Soedarmadji, ST., MT



Dasar-Dasar **SAMBUNGAN ELEMEN MESIN**

Dr. Tulus Subagyo, ST., MT
Wisma Soedarmadji, ST., MT



Yayasan Rahmazar Kurnia Jaya



DASAR-DASAR SAMBUNGAN ELEMEN MESIN

Dr. Tulus Subagyo, ST., MT
Wisma Soedarmadji, ST., MT

Penerbit: Yayasan Rahmazar Kurnia Jaya

DASAR-DASAR SAMBUNGAN ELEMEN MESIN

Penulis:

Dr. Tulus Subagyo, ST., MT
Wisma Soedarmadji, ST., MT

Editor:

Dr. Muhammad Nizar, M.E.I

ISBN : 978-634-04-4983-9
Tahun Terbit : 2025
Tebal Buku : 124 Lembar
Ukuran Buku : A5 atau 14 cm x 21 cm



Hak Cipta:

Dilindungi oleh Undang-undang. Dilarang memperbanyak, menyimpan dalam bentuk elektronik, atau mempublikasikan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Penerbit: Yayasan Rahmazar Kurnia Jaya
Girimoyo-Karangploso- Malang-Jawa Timur 65152
Wa. 081249745821 / yayasanrahmazar@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT Karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyusun buku Dasar-Dasar Sambungan Elemen Mesin. Buku ini disusun dengan tujuan agar mahasiswa dapat mengerti, memahami dan mampu melakukan Dasar-Dasar Sambungan Elemen Mesin dengan mengaplikasikan konsep dasar-dasar penyambungan, dengan demikian mahasiswa dapat memilih jenis material dan sambungan serta menganalisa dan mendesain untuk menentukan jenis sambungan-sambungan pada komponen-komponen elemen mesin.

Buku ini berisi tentang perhitungan dasar teknik penyambungan las, penyambungan paku keling, penyambungan mur dan baut, penyambungan susut, dan penyambungan adhesive. Buku ini dapat memberikan pemahaman yang kuat mengenai sambungan-sambungan pada elemen-elemen mesin.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak-banyak terima kasih atas bantuan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan buku Dasar-Dasar Sambungan Elemen Mesin.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Besar harapan penulis, agar pembaca dapat memberikan saran serta kritik yang sifatnya membangun. Semoga buku Dasar-Dasar Sambungan Elemen Mesin ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Pasuruan, 17 November 2025

Hormat Kami

Penulis

DAFTAR ISI

Cover	i
Informasi Buku	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	viii
 BAB 1 Sambungan Keling (Riveted Joint)	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Fungsi Sambungan Keling	2
1.3. Metode Pengelasan	2
1.4. Tipe Kepala Keling	3
1.5. Macam-macam Sambungan Keling	4
1.6. Kegagalan pada sambungan keling	7
1.7. Kekuatan dan Efisiensi Sambungan Keling	10
1.8. Sambungan Keling untuk Struktur	12
1.9. Beban Eksentrik Sambungan Paku Keling	14
BAB 2 Sambungan Las (Welding Joint)	21
2.1. Pendahuluan	21
2.2. Jenis-jenis Pengelasan	22
2.3. Jenis-jenis Elektroda	28
2.4. Macam-macam Sambungan Pengelasan	34
2.5. Parameter Pengelasan	36
2.6. Analisa Kekuatan Las	39
2.6.1. Kekuatan sambungan las fillet melintang	39
2.6.2. Kekuatan sambungan las fillet sejajar	40
2.6.3. Khusus Sambungan Las Fillet	41
2.6.4. Las fillet melingkar dengan momen bending	42
2.6.5. Las fillet memanjang dengan beban torsi	42
2.7. Kekuatan But Joint	43
2.8. Beban Eksentris Sambungan Las	46

BAB 3 Sambungan Ulir, Mur dan Baut	51
3.1. Pendahuluan	51
3.2. Sambungan Ulir	52
3.3. Tipe Umum Penyambungan Ulir	53
3.4. Jenis-Jenis Dan Bentuk Ulir	54
3.5. Standart Dimensi Ulir	58
3.6. Analisa Sambungan Ulir	58
BAB 4 Sambungan Susut	61
4.1. Pengertian Sambungan Susut	61
4.2. Aplikasi Sambungan Susut	61
4.3. Jenis Sambungan Susut	62
4.3.1. Dengan Pemanasan	62
4.3.2. Dengan Pendinginan	62
4.4. Rumus Sambungan Susut	64
4.4.1. Tegangan Permukaan	64
4.4.2. Panas yang Diperlukan	64
4.4.3. Kekuatan Sambungan Susut	65
4.4.4. Tahanan Gesekan	65
4.5. Keuntungan dan Kerugian Sambungan Susut	66
4.5.1. Keuntungan	66
4.5.2. Kerugian	66
BAB 5 Sambungan Adhesive	69
5.1. Pengertian Sambungan Adhesive	69
5.2. Tipe Beban Diterapkan Pada Sambungan Adhesive	70
5.3. Keuntungan Sambungan Adhesive	70
5.4. Tipe Tipe Sambungan Adhesive	71
5.5. Proses Perekatan	71
5.6. Perhitungan Sambungan Adhesive	72
5.6.1. Kekuatan Kohesive	72
5.6.2. Kekuatan Membuka	73
Daftar Pustaka	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Bagian-bagian Paku Keling	1
Gambar 1.2 Metode Pengelasan	2
Gambar 1.3 Kepala keling diameter dibawah 12mm	3
Gambar 1.4 Kepala keling (diameter 12mm - 48mm)	3
Gambar 1.5 Kepala keling untuk ketel	4
Gambar 1.6 Sambungan berimpit	5
Gambar 1.7 Sambungan dikeling tunggal, ganda dan triple	5
Gambar 1.8 Sambungan bilah tunggal	6
Gambar 1.9 Macam macam sambungan bilah ganda	6
Gambar 1.10 Sambungan rowe	7
Gambar 1.11 Keretakan pada sudut plat	7
Gambar 1.12 Retak pada seluruh plat	8
Gambar 1.13 Pergeseran paku keling	8
Gambar 1.14 Perubahan bentuk pada keling	9
Gambar 1.15 Sambungan keling untuk struktur	12
Gambar 1.16 Sambungan keling beban eksentris	14
Gambar 2.1 Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW)	22
Gambar 2.2 Pengelasan Tungsten Arc Welding (GTAW)	23
Gambar 2.3 Lasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	24
Gambar 2.4 Pengelasan Flux-cored arc welding (FCAW)	26
Gambar 2.5 Pengelasan Submerged Arc Welding (SAW)	27
Gambar 2.6 Bare elektroda	29
Gambar 2.7 Elektroda dengan lapisan tipis	30
Gambar 2.8 Elektroda dengan lapisan tebal	31
Gambar 2.9 Elektroda Thoriated Tungsten	32
Gambar 2.10 Elektroda Zirconium Dengan Tungsten	32
Gambar 2.11 Elektroda Lanthanated tungsten 1% dan 5%	33
Gambar 2.12 Elektroda Ceriated tungsten 2%	33

Gambar 2.13 Kampuh sambungan las bentuk lurus	34
Gambar 2.14 Macam-macam kampuh sambungan sudut	35
Gambar 2.15 Macam-macam kampuh sambungan Te	35
Gambar 2.16 Hasil Pemilihan Parameter Las	38
Gambar 2.17 Skema dan dimensi bagian sambungan las	39
Gambar 2.18 Sambungan las fillet sejajar dan kombinasi ...	40
Gambar 2.19 Butt joint	43
Gambar 2.20 Beban Eksentris	46
Gambar 3.1 Bagian-bagian ulir	52
Gambar 3.2 Through bolt	53
Gambar 3.3 Tap Bolt	53
Gambar 3.4 Tap Bolt	54
Gambar 3.5 British Standard Whitworth (BSW) Threat	54
Gambar 3.6 British Association (BA) Threat	55
Gambar 3.7 American National Standard Thread	55
Gambar 3.8 Unified Standard Thread	55
Gambar 3.9 Square Thread	56
Gambar 3.10 Acme Threat	56
Gambar 3.11 Knuckle Threat	56
Gambar 3.12 Ulir Metrics	57
Gambar 3.13 Profil desain mur dan baut	57
Gambar 4.1. Benda dengan perlakuan panas	62
Gambar 4.2. Benda dengan perlakuan dingin	62
Gambar 4.3. Tegangan permukaan sambungan	64
Gambar 4.4. Penyambungan sambungan susut	64
Gambar 5.1 Struktur Sambungan Perekat	69
Gambar 5.2 Kegagalan Sambungan Perekat	69
Gambar 5.3 Tipe Beban Pada Sambungan Adhesive	70
Gambar 5.4 Tipe Sambungan Adhesive	71

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Efisiensi	10
Tabel 1.2 Ukuran keling untuk sambungan umum	12
Tabel 1.3 Pitch dari keling untuk sambungan struktur	14
Tabel 2.1 Jenis pelapis, arus las, polaritas	28
Tabel 2.2 Elektroda standar untuk pengelasan baja ringan ..	29
Tabel 2.3 Kode warna elektroda tungsten	31
Tabel 2.4 Elektroda Tungsten untuk baja Karbon	33
Tabel 2.5 Ukuran las minimum yang direkomendasikan	44
Tabel 2.6 Faktor konsentrasi tegangan	44
Tabel 2.7 Momen inersia dan section modulus dari las	49
Tabel 3.1 Dimensi ulir baut dan mur	58
Tabel 4.1 Daftar Ukuran penyusutan untuk alat-alat mesin ..	63

BAB 1

SAMBUNGAN KELING

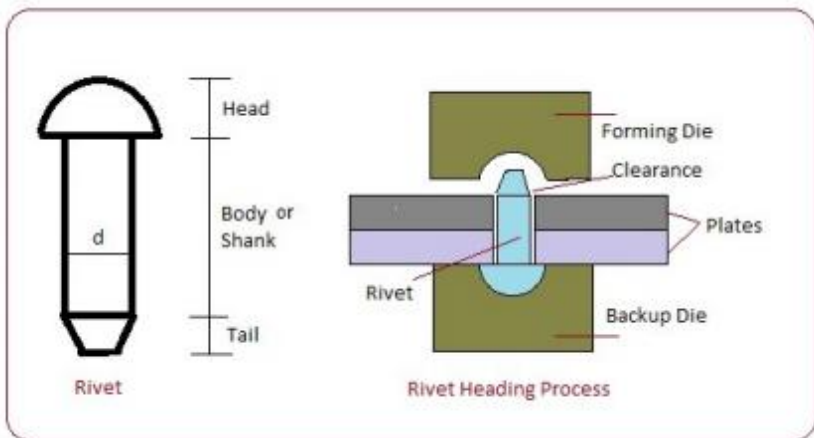
1.1 Pendahuluan

Sambungan keling atau riveted joint atau dalam bahasa sehari-hari disebut dengan paku keling merupakan jenis paku yang terbuat dari logam, namun perbedaannya adalah memiliki bagian ujung batang yang cukup besar. sambungan keling adalah sambungan yang berfungsi untuk mengikatkan atau menyatukan bagian suatu benda dengan benda yang lain menggunakan alat sambung berupa paku keling. Paku keling sendiri ialah material yang terbuat dari logam, mempunyai bagian berupa kepala dan batang. Fungsi paku keling ialah mengikat sambungan plat besi melalui cara dikeling.

Paku keling mempunyai bentuk berupa silinder dengan batang pendek. Sementara bagian kepalanya bisa mempunyai beragam bentuk, seperti bulat, trapesium, datar dan persegi. Bagian silinder dari keling dinamakan shank atau body dan bagian bawah dari shank adalah tail.

Setiap bentuk kepala rivet ini mempunyai kegunaan tersendiri, masing masing jenis mempunyai kekhususan dalam penggunaannya. Diantara paku keling kepala bulat yang biasa digunakan pada konstruksi jembatan, ketel uap, dan konstruksi lainnya yang memerlukan sambungan rapat, Paku keeling berkepala trapezium

sering digunakan untuk bangunan kapal dan pekerjaan konstruksi yang rapat minyak, Paku keling kepala datar digunakan untuk bangunan yang memerlukan kerapatan dan permukaan rata, sedangkan Paku keeling khusus digunakan untuk sambungan yang dapat dikerjakan hanya dari satu sisi saja termasuk pen penarik bahan peledak.



Gambar 1.1 Bagian-bagian Paku Keling

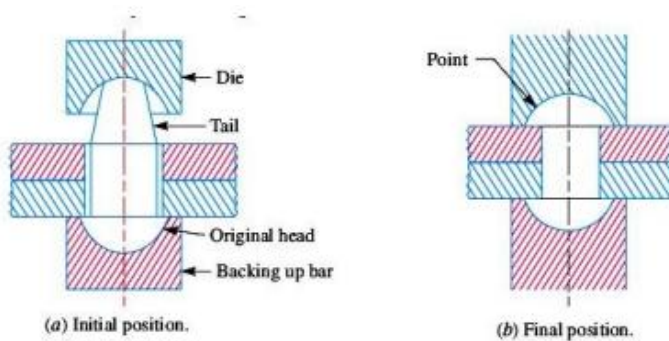
Material pembuatnya sebenarnya bisa berupa baja lunak, aluminium, baja keras, kuningan hingga tembaga. Secara umum banyak terbuat dari bahan logam. Sebab materialnya yang kuat sehingga cocok dipakai dalam beragam jenis konstruksi. Paku keling yang menjadi alat sambung utama pada sambungan ini merupakan paku yang terbuat dari logam.

a. Fungsi Sambungan Keling

Sambungan keling banyak digunakan pada produk atau benda kerja dari bahan pelat atau bahan profil, Sambungan kelingan tersebut berfungsi untuk menyambung bagian pelat satu dengan pelat lainnya atau menyambung bagian plat dengan profil dengan menggunakan paku keling sebagai bahan penyambungannya. Plat disatukan satu sama lain dengan cara ditumpangkan, kemudian dibor selanjutnya dipasang paku keling dan dikelingkan sehingga plat satu dengan plat lainnya menyambung.

b. Metode Pengelingan

Ketika dua plat diikat bersamaan dengan sebuah keling yang telah dilubangi dalam plat di-punching dan di-reaming. Punching adalah metode paling murah dan digunakan untuk plat yang relatif tipis pada suatu struktur. Drilling digunakan pada pekerjaan *pressure-vessel* (tangki). Dalam pengelingan *pressure-vessel* dan struktur, diameter lubang keling biasanya 1,5 mm lebih besar dari pada diameter nominal keeling.



Gambar 1.2 Metode Pengelingan

Pengelingan bisa dikerjakan dengan manual atau dengan mesin. Dalam pengelingan manual, *original head* dari keling ditahan dengan sebuah *hammer* (palu) atau batang yang berat dan kemudian bagian *tail* ditempatkan pada *die* (cetakan keling) yang dipukul oleh sebuah palu. Hal ini mengakibatkan *shank* mengembang hingga memenuhi lubang dan *tail* berubah menjadi sebuah *point*. Dalam pengelingan mesin, *die* adalah bagian dari palu yang dioperasikan dengan tekanan udara, hidrolik atau uap. Sedangkan proses mengeling dengan mesin pres adalah sebagai berikut:

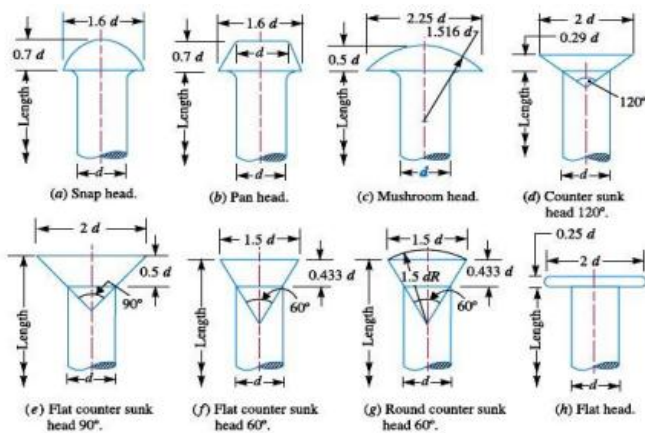
- Persiapkan plat yang akan disambung dan dibor dengan ukuran mata bor $d = d' + (0,1 \text{ s/d } 0,2) \text{ mm}$, d' adalah ukuran diameter paku keling.
- Pasang paku keling, dengan sisa panjangnya mempunyai ukuran $(1,5 \text{ s/d } 1,7) d'$.
- Tempat pelat yang akan disambung dengan posisi paku keling berada pada matres bawah.

- d. Tekan dengan penekan (2), supaya plat atas dan plat bawah betul betul rapat.
- e. Tekan matres atas dengan gaya F yang cukup untuk membentuk kepala paku keling.

c. Tipe Kepala Keling

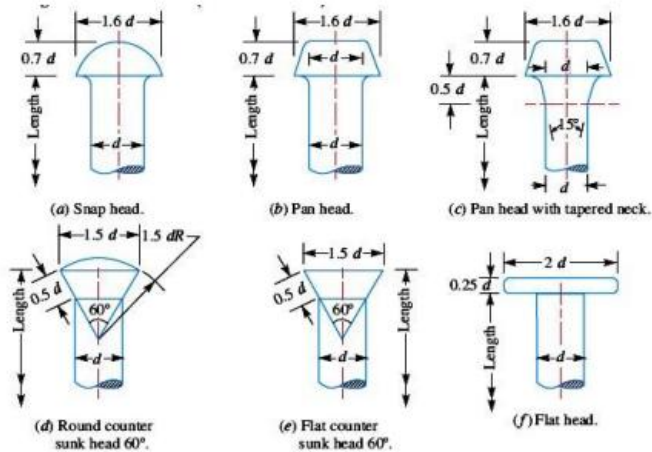
Secara umum kepala keling diproduksi di negara India, sehingga standar yang digunakan harus memenuhi Indian Standard (Standar India) berikut:

- a. Kepala keling secara umum (di bawah diameter 12 mm) sesuai dengan IS: 2155-1982 (ditetapkan 1996).



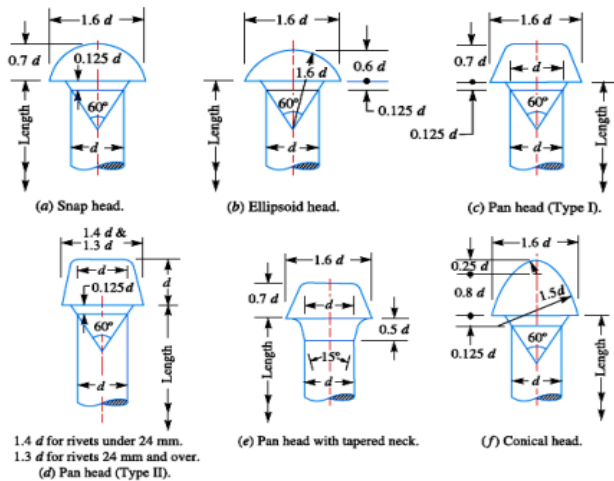
Gambar 1.3 Kepala keling diameter dibawah 12mm

- b. Kepala keling secara umum (diameter 12mm sampai 48mm) sesuai dengan IS: 1929-1982 (ditetapkan 1996).



Gambar 1.4 Kepala keling (diameter 12mm sampai 48mm)

- c. Kepala keling untuk ketel (diameter 12mm sampai 48mm) sesuai dengan IS:1929-1961 (ditetapkan 1996).



Gambar 1.5 Kepala keling untuk ketel

d. Macam-macam Sambungan Keling

Macam macam sambungan kelingan dapat di tinjau dari kekuatan sambungan dan bentuk sambungannya:

a. Sambungan ringan

Sambungan ringan yaitu sambungan yang berfungsi untuk menyambung dua bagian dari suatu produk dengan sambungan yang tidak mempunyai beban yang besar misalnya sambungan kelingan pada perabotan-rumah dan semacamnya.

b. Sambungan kuat

Sambungan kuat yaitu sambungan pada pekerjaan pelat yang mendapatkan beban sehingga memerlukan kekuatan tertentu seperti pada sambungan pelat pada bodi kendaraan , sambungan pada konstruksi jembatan atau konstruksi baja lainnya.

c. Sambungan rapat

Sambungan rapat yaitu sambungan yang memerlukan kerapatan dan tidak bocor, misalnya sambungan pelat pada bak air terbuka atau tangki air berukuran kecil.

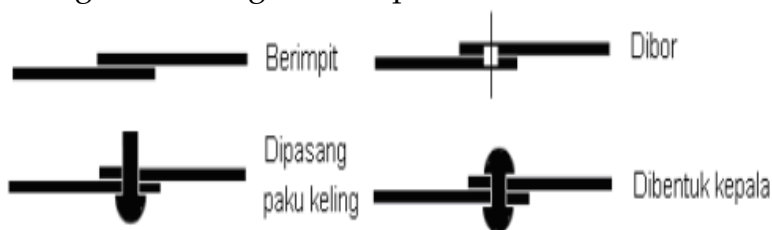
d. Sambungan kuat dan rapat

Sambungan kuat rapat yaitu sambungan kelingan selain memerlukan kekuatan juga memerlukan kerapatan, sambungan kuat rapat tersebut biasanya digunakan pada sambungan pelat ketel atau sambungan pada pelat tabung gas yang bertekanan tinggi.

Ditinjau dari posisi pelat yang disambung dan bahan penyambung, macam macam bentuk sambungan kelingan terdiri atas:

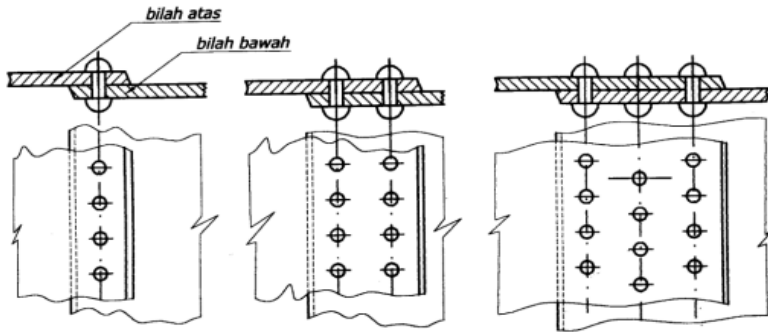
a. Sambungan berimpit

Untuk menyambung dua buah pelat dapat dilakukan dengan cara ditumpangkan, yaitu ujung pelat satu dengan ujung pelat lainnya berimpit satu sama lainnya kemudian dibor, dipasang paku keling dan dibentuk kepala paku sehingga membentuk sambungan kelingan, sambungan tersebut disebut dengan sambungan berimpit.



Gambar 1.6 Sambungan berimpit

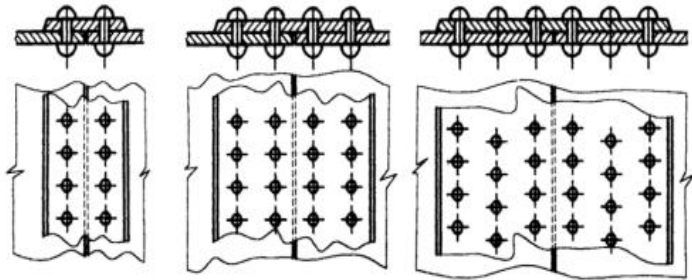
Pada sambungan berimpit dapat dilakukan dengan cara memasang satu baris paku keling dan disebut dengan sambungan berimpit dikeling tunggal, dipasang dua baris paku keling yang disebut dengan sambungan berimpit dikeling ganda dan tiga baris paku keling yang disebut dengan sambungan berimpit yang dikeling triple.



Gambar 1.7 Sambungan dikeling tunggal, ganda dan triple

b. Sambungan bilah tunggal

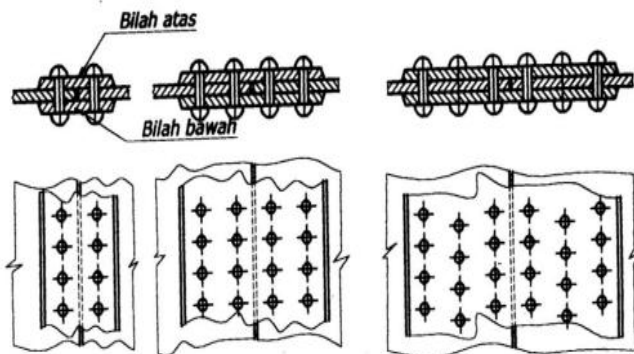
Jika ujung ujung pelat disambung dengan menggunakan sebuah pelat lain yang berbentuk bilah maka sambungan kelingan tersebut disebut dengan sambungan bilah. Ditinjau dari jumlah bilah yang digunakan untuk menyambungannya, sambungan bilah terdiri atas: sambungan bilah tunggal dan sambungan bilah ganda. Sambungan bilah tunggal yaitu sambungan kelingan yang menggunakan satu buah bilah yang dipasang pada satu sisi atas pelat, sambungan bilah tunggal dapat dilaksanakan dengan memasang satu baris paku keling, dua baris atau tiga baris paku keling.



Gambar 1.8 Sambungan bilah tunggal

c. Sambungan bilah ganda

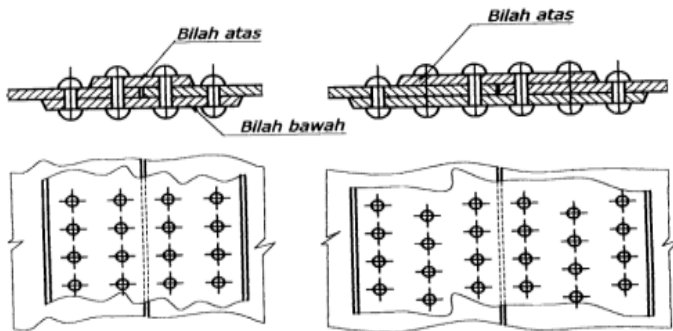
Jika sambungan ujung ujung pelat disambung dengan menggunakan dua buah pelat lain yang berbentuk bilah dan dipasang pada bagian atas dan bagian bawahnya disambung dengan paku keling, sambungan kelingan tersebut disebut dengan sambungan kelingan bilah ganda.



Gambar 1.9 Macam macam sambungan bilah ganda

d. Sambungan rowe

Sambungan rowe adalah sambungan kelingan semacam sambungan kombinasi antara sambungan bilah tunggal dengan sambungan bilah ganda, dengan ukuran bilah bawah lebih lebar dari bilah atas. Sambungan rowe tersebut terdiri atas: Sambungan rowe dikeling dua baris (kampuh ganda) dan Sambungan rowe tiga baris (kampuh triple).



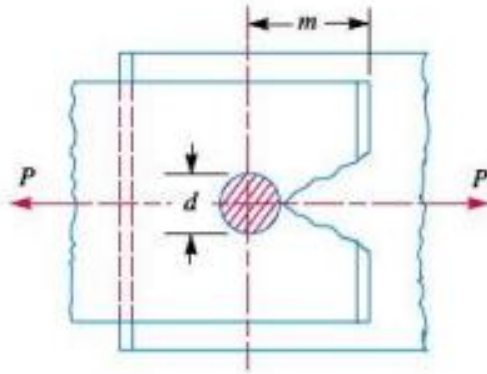
Gambar 1.10 Sambungan rowe

e. **Kegagalan pada Sambungan Keling**

Saat paku keling disambung bisa saja terjadi kegagalan, antara lain:

e. Keretakan pada sudut plat

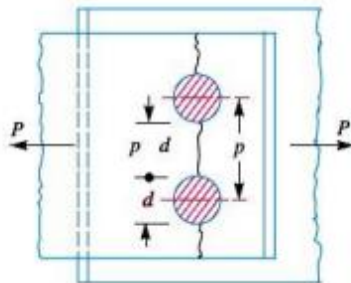
Keretakan ini dapat dihindari dengan mencegah margin, $m = 1,5xd$, dimana d adalah diameter dari lubang keling.



Gambar 1.11 Keretakan pada sudut plat

a. Retak pada seluruh plat

Akibat tegangan tarik pada plat utama, plat utama atau penutup plat bisa terjadi retak seluruhnya. Dalam kasus ini, kita hanya membahas satu panjang kisar (pitch) dari plat. Ketahanan yang diberikan oleh plat melawan keretakan dinamakan ketahanan retak (*tearing resistance*) atau kekuatan retak (*tearing strength*) atau nilai keretakan (*tearing value*) dari plat.



Gambar 1.12 Retak pada seluruh plat

Dimana:

p = Pitch dari keeling

d = Diameter dari lubang keeling

t = Ketebalan plat

σ_t = Tegangan tarik yang diijinkan untuk material plat.

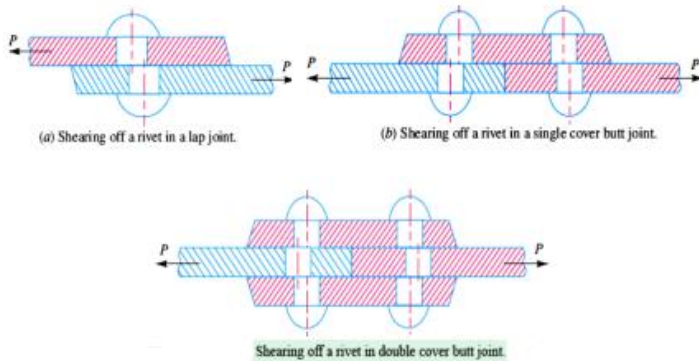
Kita mengetahui bahwa luas keling per panjang pitch adalah: $A_t = (p - d) t$

Ketahanan retak (P_t) dari plat per panjang plat adalah: $P_t = A_t \cdot \sigma_t = (p - d) \cdot \sigma_t$

Ketika ketahanan retak P_t lebih besar dari pada beban yang diterapkan (P) per panjang pitch, maka tipe ini tidak akan terjadi keretakan.

b. Pergeseran paku keling

Plat yang dihubungkan dengan keling yang mengalami tegangan tarik pada keling, dan jika keling tidak sanggup menahan tegangan, maka keling akan bergeser. Ketahanan yang diberikan oleh keling terhadap geseran dinamakan ketahanan geser (*shearing resistance*) atau kekuatan geser (*shearing strength*) atau nilai pergeseran (*shearing value*) dari keling.



Gambar 1.13 Pergeseran paku keling

Dimana:

d = Diameter dari lubang keeling

τ = Tegangan geser yang diijinkan untuk material keeling

n = Jumlah keling per panjang pitch.

Untuk mengetahui luas pergeseran, menggunakan rumus:

$$A_s = \pi/4.d^2 \dots\dots\dots (\text{dalam geser tunggal})$$

$$= 2. \pi/4.d^2 \dots\dots\dots (\text{secara teoritis, dalam geser double})$$

$$= 1,875. \pi/4.d^2 \dots\dots\dots (\text{dalam geser double, terjadi untuk Ketel India})$$

Jadi ketahanan pergeseran yang dibutuhkan dari keling per panjang pitch adalah:

$$P_s = n. \pi/4.d^2 .\tau \dots\dots\dots (\text{dalam geser tunggal})$$

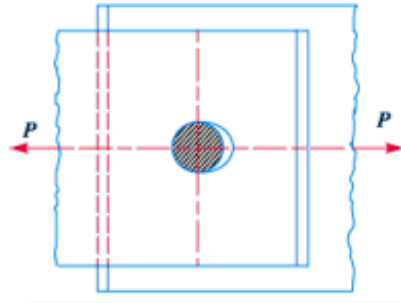
= $n \cdot 2 \cdot \pi / 4 \cdot d^2 \cdot \tau$ (secara teoritis, dalam geser double)

= $n \cdot 1,875 \cdot \pi / 4 \cdot d^2 \cdot \tau$ (dalam geser double, terjadi untuk ketel India)

Ketika ketahanan pergeseran P_s lebih besar dari pada beban yang diterapkan (P) per panjang pitch, maka tipe ini akan terjadi kegagalan/kerusakan.

- c. Perubahan bentuk (*crushing*) pada plat atau keeling

Kadang-kadang paku keling tidak mengalami geseran di bawah tegangan tarik, tetapi bisa rusak (berubah bentuk). Akibat ini, lubang keeling menjadi berbentuk oval dan sambungan menjadi longgar. Kerusakan keeling yang demikian juga dinamakan sebagai kerusakan bantalan (*bearing failure*). Ketahanan yang diberikan oleh keeling terhadap perubahan bentuk dinamakan ketahanan perubahan bentuk (*crushing resistance*) atau kekuatan perubahan bentuk (*crushing strength*) atau nilai perubahan bentuk (*bearing value*).



Gambar 1.14 Perubahan bentuk pada keling

Dimana:

d = Diameter lubang keeling

t = Ketebalan plat

σ_c = Tegangan crushing yang diijinkan untuk material keling atau plat

n = Jumlah keling per panjang pitch akibat crushing.

Kita mengetahui bahwa luas crushing per keling adalah: $A_c = d.t$

Total luas crushing = $n.d.t$ dan ketahanan crushing yang dibutuhkan untuk merusak keling per panjang pitch adalah: $P_c = n.d.t.\sigma_c$. Ketika ketahanan crushing P_c lebih besar dari pada beban yang diterapkan (P) per panjang pitch, maka tipe ini akan terjadi kegagalan/kerusakan.

f. Kekuatan dan Efisiensi Sambungan Keling

Kekuatan sambungan keling didefinisikan sebagai gaya maksimum yang dapat diteruskan tanpa mengakibatkan kegagalan. Kita dapat melihat bahwa P_t , P_s dan P_c adalah tarikan yang diperlukan untuk meretakkan pelat, menggeser keling dan merusakkan keling. Efisiensi sambungan keling didefinisikan sebagai rasio kekuatan sambungan keling dengan kekuatan tanpa keling atau plat padat. Kita sudah membahas bahwa kekuatan sambungan keling adalah P_t , P_s dan P_c . Kekuatan tanpa keling per panjang pitch adalah: $P = p.t.\sigma_t$. Efisiensi sambungan keling η dapat diketahui dengan:

$$\eta = \frac{p_t, p_s, \text{ dan } p_c}{p.t.\sigma_t}$$

dimana:

p = Pitch keeling

t = Ketebalan plat

σ_t = Tegangan tarik yang diijinkan dari material plat.

Tabel 1.1. Efisiensi

Lap Joint	Efisiensi	Butt Joint	Efisiensi
Single riveted	45 – 60	Single riveted	55 - 60
Double	63 - 70	Double riveted	73 - 83
Triple riveted	72 - 80	Triple riveted	80 - 90
		Quatriple riveted	85 - 94

Contoh Soal 1

Sebuah lap joint double keling disambungkan antara plat dengan ketebalan 15 mm. Diameter keling 25 mm dan pitch 75 mm. Jika tegangan tarik ultimate adalah 400 MPa, tegangan geser ultimate 320 MPa dan tegangan crushing ultimate 640 MPa, tentukan gaya minimum per pitch yang akan memutuskan sambungan. Jika sambungan di atas diberi beban yang mempunyai angka keamanan 4, tentukan tegangan aktual yang terjadi pada plat dan keling.

Penyelesaian.

Diketahui: $t = 15 \text{ mm}$

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$p = 75 \text{ mm}$$

$$\sigma_{tu} = 400 \text{ MPa} = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_u = 320 \text{ Mpa} = 320 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{cu} = 640 \text{ MPa} = 640 \text{ N/mm}^2$$

Gaya minimum per pitch yang akan memutuskan sambungan. Ketika tegangan ultimate diberikan, kita akan menentukan nilai ultimate dari tahanan sambungan. Kita mengetahui bahwa tahanan retak ultimate dari plat per pitch, $P_{tu} = (p - d).t. \sigma_{tu} = (75 - 25)15.400 = 300000 \text{ N}$. Tahanan geser ultimate dari keling per pitch, $P_{su} = n.\pi/4.d^2.\tau_u = 2. \pi/4.(25)^2 \times 320 = 314200 \text{ N}$ ($n = 2$) dan tahanan crushing ultimate dari keling per pitch, $P_{cu} = n.d.t. \sigma_{cu} = 2 \times 25 \times 15 \times 640 = 480000 \text{ N}$.

Dari di atas kita melihat bahwa gaya minimum per pitch yang akan memutus sambungan adalah 300000 N atau 300 kN.

Tegangan aktual yang dihasilkan dalam plat dan keling Karena faktor keamanan adalah 4, oleh karena itu beban aman per panjang pitch dari sambungan adalah $300.000/4 = 75.000$ N. Misalkan σ_{ta} , τ_a , dan σ_{ca} adalah tegangan retak aktual, tegangan geser aktual dan tegangan crushing aktual yang dihasilkan dengan beban aman 75.000 N pada keretakan, geseran dan crushing. Kita mengetahui bahwa tahanan retak aktual dari plat (P_{ta}) sebagai berikut:

$$P_{ta} = (p - d).t. \sigma_{ta}$$

$$75.000 = (75 - 25)15. \sigma_{ta} = 750. \sigma_{ta}$$

$$\sigma_{ta} = 75.000/750 = 100 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ MPa}$$

Tahanan Geser Aktual Dari Keling (P_{sa})

$$P_{sa} = n.\Pi/4.d2 . \tau_a$$

$$75.000 = 2. \Pi/4.(25)^2 . \tau_a = 982. \tau_a$$

$$\tau_a = 75000/982 = 76,4 \text{ N/mm}^2 = 76,4 \text{ MPa}$$

tahanan crushing aktual dari keling (P_{ca})

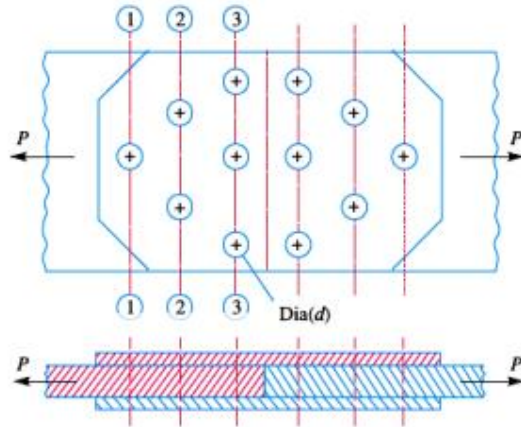
$$P_{ca} = n.d.t. \sigma_{ca}$$

$$75000 = 2.25.15. \sigma_{ca} = 750 \sigma_{ca}$$

$$\sigma_{ca} = 75000/750 = 100 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ MPa}$$

g. Sambungan Keling untuk Struktur

Sambungan keling bisa juga digunakan untuk atap, jembatan atau balok penopang dan lain-lain, dimana lebar dari plat (b), Ketebalan plat (t), dan Diameter dari lubang keling (d). seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 1.15 Sambungan keling untuk struktur

Dalam perancangannya prosedur yang harus diikuti adalah sebagai berikut:

1. Diameter keling. Diameter lubang keling diperoleh dengan menggunakan rumus Unwin's, yaitu: $d = 6\sqrt{t}$

Tabel 1.2 Ukuran keling untuk sambungan umum,
menurut IS: 1929 – 1982

diameter of rivet hole (mm)	13,5	15,5	17,5	19,5	21,5	23,5	25,5	29	32	35	38	41	44	50
diameter of rivet (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	42	48

2. Jumlah keling

Jumlah keling yang diperlukan untuk sambungan dapat diperoleh dengan tahanan geseran atau tahanan crushing dari keling.

Dimana:

P_t = Aksi tarik maksimum pada sambungan. ini adalah tahanan retak dari plat pada bagian luar yang hanya satu keling.

n = Jumlah keling

Karena sambungan adalah double strap butt joint, oleh karena itu dalam double shear (geser). Itu diasumsikan bahwa tahanan sebuah keling pada double shear adalah 1,75 kali dari pada single shear.

Tahanan geser untuk 1 keling $P_s = 1,75 \cdot \pi/4 \cdot d^2 \cdot \tau$

Tahanan crushing untuk 1 keling $P_c = d \cdot t \cdot \sigma_c$

Jumlah keling untuk sambungan: $\eta = \frac{P_t}{P_s \text{ atau } P_c}$

3. Ketebalan butt strap (plat pengikat ujung/penutup)

Ketebalan butt strap adalah

$$t_1 = 1,25.t, \text{ untuk cover strap tunggal}$$

$$= 0,75.t, \text{ untuk cover strap ganda (double)}$$

4. Efisiensi sambungan Hitung tahanan-tahanan sepanjang potongan 1-1, 2-2, dan 3-3. Pada potongan 1-1, di sini hanya 1 lubang keling. Jadi tahanan retak dari sambungan sepanjang 1-1 adalah: $P_{t1} = (b - d).t.\sigma_t$

Tahanan retak dari sambungan sepanjang 2-2 adalah: $P_{t2} = (b - 2d).t.\sigma_t + \text{kekuatan satu keling di depan potongan 2-2. (Untuk keretakan plat pada potongan 2-2, keling di bagian depan potongan 2-2 yaitu pada potongan 1-1 harus yang pertama patah) Dengan cara yang sama pada potongan 3-3 di isni ada 3 lubang keling. Tahanan retak dari sambungan sepanjang 3-3 adalah: } P_{t3} = (b - 3d).t.\sigma_t + \text{kekuatan satu keling di depan potongan 3-3.}$

Nilai dari P_{t1} , P_{t2} , P_{t3} , P_s atau P_c adalah kekuatan sambungan. Kita mengetahui bahwa kekuatan plat tanpa keling adalah: $P = b.t.\sigma_t$.

$$\text{Efisiensi sambungan: } \eta = \frac{P_{t1}, P_{t2}, P_{t3}, P_s \text{ atau } P_c}{P}$$

Keterangan:

Tegangan yang diijinkan dalam sambungan struktur adalah lebih besar dari pada yang digunakan dalam desain pressure vessel. Nilai berikut biasa dipakai.

Untuk plat dalam tarikan = 140 Mpa

Untuk keling dalam geser = 105 Mpa

Untuk crushing dari keling dan plat Geser tunggal = 224 Mpa

Geser ganda = 280 Mpa

5. Pitch dari keling diperoleh dengan menyamakan kekuatan tarik sambungan dan kekuatan geser keling. Tabel berikut menunjukkan nilai pitch menurut Rotscher.

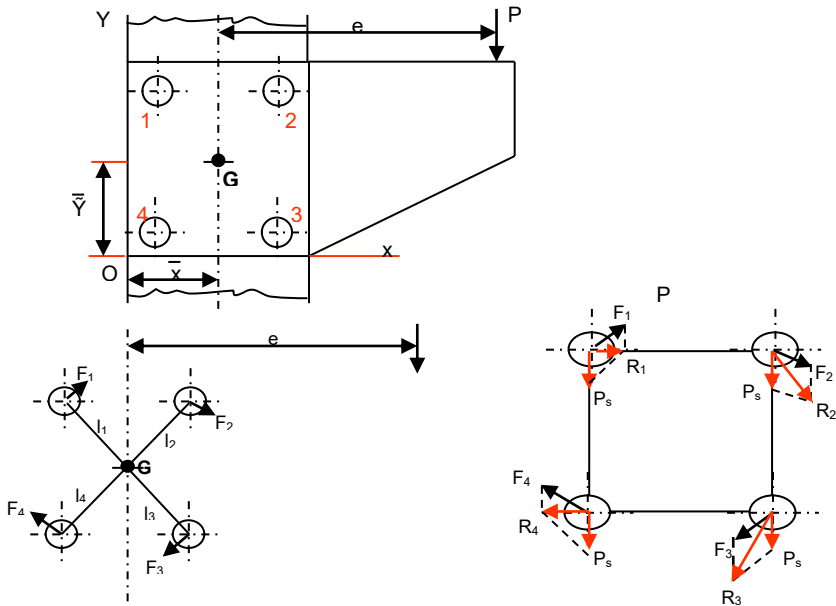
Tabel 1.3 Pitch dari keling untuk sambungan struktur

<i>Thickness of plate (mm)</i>	<i>Diameter of rivet hole (mm)</i>	<i>Diameter of rivet (mm)</i>	<i>Pitch of rivet $p = 3d + 5mm$</i>	<i>Marginal pitch (mm)</i>
2	8.4	8	29	16
3	9.5	9	32	17
4	11	10	35	17
5-6	13	12	38	18
6-8	15	14	47	21
8-12	17	16	56	25
11-15	21	20	65	30

6. Pitch terkecil (m) harus lebih besar dari pada $1,5.d$

7. Jarak antara baris dari keling adalah $2,5d - 3d$

h. Beban Eksentrik Sambungan Paku Keling



Gambar 1.16 Sambungan keling beban eksentris

Langkah-langkah yang harus diperhatikan dalam merancang sambungan keling dengan beban eksentris adalah sebagai berikut:

1. Tentukan pusat gravitasi G dari sistem keeling, dimana:

P = Beban eksentrik

e = Jarak beban eksentrik thd garis OY

$x_1, x_2, x_3, \dots$ = Jarak paku keling thd garis OY

$y_1, y_2, y_3, \dots$ = Jarak paku keling thd garis OX

A = Luas penampang melintang masing-masing paku

$$\begin{aligned}\text{Maka berlaku: } \bar{X} &= \frac{A_1.X_1 + A_2.X_2 + A_3.X_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots} \\ &= \frac{A.X_1 + A.X_2 + A.X_3 + \dots}{n.A}\end{aligned}$$

Dimana: n = jumlah paku keling

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots}{n} \quad \bar{Y} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots}{n}$$

2. Masukkan dua gaya P_1 dan P_2 pada pusat gravitasi G dari sistem keling. Gaya-gaya ini adalah sama dan berlawanan arah dengan P.
3. Asumsikan bahwa seluruh keling adalah sama ukurannya, pengaruh $P_1 = P$ adalah untuk menghasilkan beban geser langsung pada setiap keling yang sama besarnya. Oleh karena itu beban geser langsung setiap keling adalah:
4. Pengaruh $P_2 = P$ adalah untuk menghasilkan momen putar yang besarnya P.e yang cenderung memutar sambungan terhadap pusat gravitasi G dari sistem keling searah jarum jam. Akibat momen putar, dihasilkan beban geser sekunder. untuk menentukan beban geser sekunder, dibuat asumsi sebagai berikut:
 - a. Beban geser sekunder adalah sama dengan jarak radial keling dari pusat gravitasi sistem keling.

- b. Arah beban geser sekunder adalah tegak lurus dengan garis pusat keling terhadap pusat gravitasi sistem keling.

Apabila

$F_1, F_2, F_3, \dots$ = Beban geser sekunder pada keling 1, 2, 3 ... dst.

$l_1, l_2, l_3, \dots$ = Jarak radial keling 1, 2, 3, dst dari pusat gravitasi sistem keling.

Dari asumsi (a),

$$F_1 \propto l_1; F_2 \propto l_2$$

$$F_2 = F_1 \frac{l_2}{l_1} \text{ dan } F_3 = F_1 \frac{l_3}{l_1}$$

Kita mengetahui bahwa jumlah momen putar eksternal akibat beban eksentris dan momen tahanan internal dari keling harus sama dengan nol.

$$\begin{aligned} P.e &= F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3 + \dots \\ &= F_1 \cdot l_1 + F_1 \frac{l_2}{l_1} \cdot l_2 + F_1 \frac{l_3}{l_1} \cdot l_3 + \dots \\ &= \frac{F_1}{l_1} [(l_1)^2 + (l_2)^2 + (l_3)^2 + \dots] \end{aligned}$$

5. Beban geser utama dan sekunder dapat ditambahkan untuk menentukan resultan beban geser (R) pada setiap keling sehingga besarnya R menjadi: $R = \sqrt{(P_s)^2 + F^2 + 2P_s \cdot F \cdot \cos \theta}$

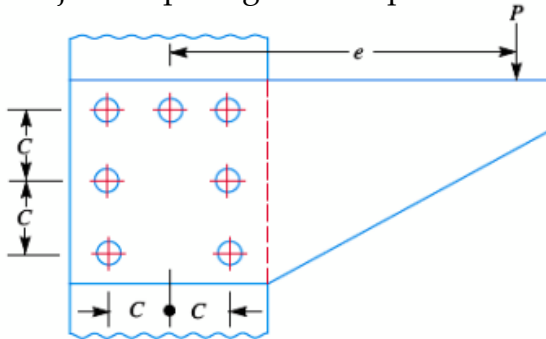
Dengan θ = Sudut antara beban geser utama (P_s) dan beban geser sekunder (F) Ketika beban geser sekunder pada setiap keling adalah sama, kemudian keling menerima beban yang besar

yang mana sudut antara beban geser utama dan beban geser sekunder menjadi minimum. Jika tegangan geser yang diijinkan (τ), diameter lubang keling dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut: Resultan gaya geser maksimum:

$$R = \pi/4.d^2 . \tau$$

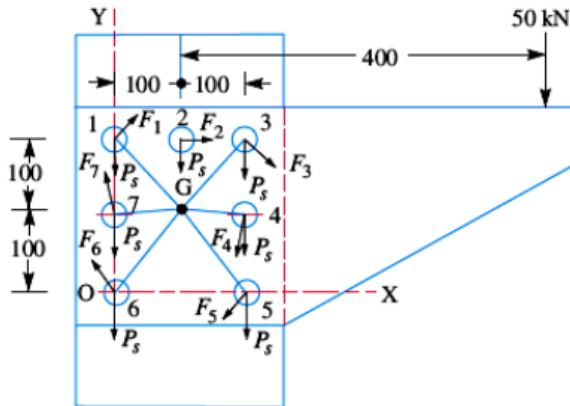
Contoh Soal 2.

Sebuah bracket dari baja dirancang dengan sambungan paku keling lap joint yang diberi beban secara eksentris, yang ditunjukkan pada gambar seperti dibawah ini.



Diketahui data-data sebagai berikut: Tebal plat bracket adalah 25 mm. Seluruh keling mempunyai ukuran yang sama. Beban bracket $P = 50$ kN; spasi keling, $C = 100$ mm; lengan (arm) beban, $e = 400$ mm. Beban geser yang diijinkan 65 MPa dan tegangan crushing adalah 120 MPa. Tentukan ukuran keling yang digunakan untuk sambungan.

Penyelesaian.



Pertama adalah menentukan pusat gravitasi dari sistem keling x dan y.

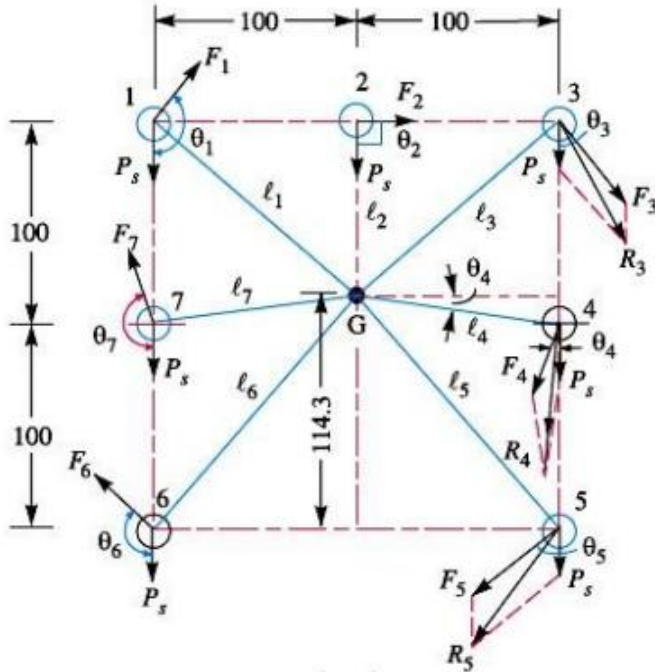
$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7}{n} = \frac{100 + 200 + 200 + 200}{7} = 100 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7}{n} = \frac{200 + 200 + 200 + 100 + 100}{7} = 114,3 \text{ mm}$$

Pusat gravitasi G dari sistem keling pada jarak 100 mm dari OY dan 114,3 mm dari OX. Kita mengetahui bahwa beban geser utama pada setiap keling adalah:

$$P_s = \frac{P}{n} = \frac{50 \cdot 10^3}{7} = 7143 \text{ N}$$

Beban geser utama sejajar dengan arah beban P sehingga momen putar dihasilkan oleh beban P akibat eksentrisitas (e). Momen putar = $P \cdot e = 50 \cdot 10^3 \times 400 = 20 \times 10^6 \text{ N-mm}$. Momen putar ini ditahan oleh 7 paku keeling yang ditunjukkan seperti gambar ini.



Jika F_1 , F_2 , F_3 , F_4 , F_5 , F_6 dan F_7 adalah beban geser sekunder keling 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 ditempatkan pada jarak l_1 , l_2 , l_3 , l_4 , l_5 , l_6 dan l_7 dari pusat gravitasi sistem keling yang ditunjukkan pada gambar diatas, maka kita dapat tentukan bahwa:

$$l_1 = l_3 = \sqrt{(1000)^2 + (200 - (114,3))^2} = 131,7 \text{ mm}$$

$$l_2 = 200 - 114,3 = 85,7 \text{ mm}$$

$$l_4 = l_7 = \sqrt{(100)^2 + (114,3 - 100)^2} = 101 \text{ mm}$$

$$l_5 = l_6 = \sqrt{(100)^2 + (114,3)^2} = 152 \text{ mm}$$

Momen puntir akibat eksentrisitas beban adalah:

$$\begin{aligned}
 P \cdot e &= \frac{F_1}{l_1} [(l_1)^2 + (l_2)^2 + (l_3)^2 + (l_4)^2 + (l_5)^2 + (l_6)^2 + (l_7)^2] \\
 &= \frac{F_1}{l_1} [(l_1)^2 + (l_2)^2 + (l_3)^2 + (l_4)^2 + (l_5)^2] \dots (l_1 = l_3 ; l_4 = l_7 ; l_5 = l_6) \\
 50.10^3.400 &= F_1 [2.(131,7)^2 + (85,7)^2 + 2 (101)^2 + 2 (152)^2]. 131,7 \\
 20.10^6.131,7 &= 108645. F_1 \\
 F_1 &= 24222 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Ketika beban geser sekunder seimbang dengan jarak radial dari pusat gravitasi, oleh karena itu:

$$\begin{aligned}
 F_2 &= F_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right) = 24244 \cdot \left(\frac{85,7}{131,7} \right) = 15766 \text{ N} \\
 F_3 &= F_1 \left(\frac{l_3}{l_1} \right) = F_1 = 15766 \text{ N} \\
 F_4 &= F_1 \left(\frac{l_4}{l_1} \right) = 24244 \cdot \left(\frac{101}{131,7} \right) = 18593 \text{ N} \\
 F_5 &= F_1 \left(\frac{l_5}{l_1} \right) = 24244 \cdot \left(\frac{152}{131,7} \right) = 27981 \text{ N} \\
 F_6 &= F_1 \left(\frac{l_6}{l_1} \right) = F_5 = 27981 \text{ N} \\
 F_7 &= F_1 \left(\frac{l_7}{l_1} \right) = F_4 = 18593 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dengan menggambar beban geser utama dan beban geser sekunder setiap keling, kita melihat bahwa keling 3, 4, dan 5 mendapat beban yang terbesar. Sekarang kita menentukan sudut antara beban geser utama dan beban geser sekunder untuk 3 keling ini.

$$\cos \theta_3 = \frac{100}{13} = \frac{100}{131,7} = 0,76$$

$$\cos \theta_4 = \frac{100}{14} = \frac{100}{101} = 0,99$$

$$\cos \theta_5 = \frac{100}{15} = \frac{100}{152} = 0,658$$

Resultan beban geser pada keling 3:

$$\begin{aligned} R_3 &= \sqrt{(Ps)^2 + (F3)^2 + 2 \cdot Ps \cdot F3 \cdot \cos \theta_3} \\ &= \sqrt{(7143)^2 + (24244)^2 + 2 \times 7143 \cdot 24244 \cdot 0,76} = 3033 \text{ N} \end{aligned}$$

Resultan beban geser pada keling 4:

$$\begin{aligned} R_4 &= \sqrt{(Ps)^2 + (F4)^2 + 2 \cdot Ps \cdot F4 \cdot \cos \theta_4} \\ &= \sqrt{(7143)^2 + (18593)^2 + 2 \times 7143 \times 18593 \cdot 0,99} = 25684 \text{ N} \end{aligned}$$

Resultan beban geser pada keling 5:

$$\begin{aligned} R_5 &= \sqrt{(Ps)^2 + (F5)^2 + 2 \cdot Ps \cdot F5 \cdot \cos \theta_5} \\ &= \sqrt{(7143)^2 + (27981)^2 + 2 \times 7143 \times 27981 \cdot 0,658} = 33121 \text{ N} \end{aligned}$$

Resultan beban geser dapat ditentukan bahwa resultan beban geser maksimum adalah pada keling ke 5. Jika d adalah diameter lubang keling, maka resultan beban geser maksimum (R5)

$$33121 = \pi/4 \times d^2 \times \tau = \pi/4 \times d^2 \times 65 = 51 d^2$$

$$d^2 = 33121/51 = 649,4 \text{ atau } d = 25,5 \text{ mm}$$

Dari diameter standar lubang keling (d) adalah 25,5 mm dan dihubungkan diameter keling adalah 24 mm. Cek sambungan untuk tegangan crushing.

Tegangan Crushing

$$\frac{\text{Beban maksimum}}{\text{Penampang crushing}} = \frac{R5}{d \cdot t} = \frac{33121}{25,5 \times 25} = 51,95 \text{ N/mm}^2 = 51,95 \text{ MPa}$$

Ketika tegangan ini di bawah tegangan crushing sebesar 120 MPa, maka desain adalah aman.

SOAL LATIHAN

1. Sepasang dua plat dengan tebal 15 mm disambung dengan double riveted lap joint. Pitch setiap baris keling 70 mm. Diameter keling 20 mm. Tegangan yang diijinkan adalah: $\sigma_t = 140 \text{ MPa}$; $\tau = 110 \text{ MPa}$; $\sigma_c = 240 \text{ MPa}$.
2. Sebuah konstruksi jembatan dengan menggunakan sambungan paku keling, dimana dalam perencanaanya menggunakan single riveted double cover butt joint dan double riveted double cover butt joint. Jika diketahui data-data seperti dibawah ini, hitunglah efisiensi sambungan paku keling

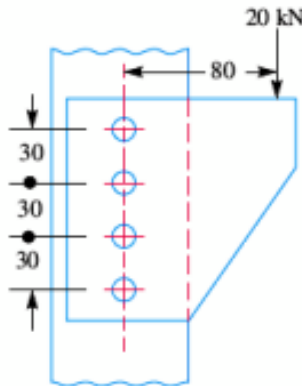
a. Single riveted double cover butt joint:

- + Ketebalan pelat: 10 mm
- + Diameter paku : 20 mm
- + Jarak antara paku: 60 mm
- + Tensile stress: 100 N/mm^2
- + Shear stress : 80 N/mm^2
- + Crushing stress: 100 N/mm^2

b. Double riveted double cover butt joint:

- + Ketebalan pelat: 20 mm
- + Diameter paku : 25 mm
- + Jarak antara paku: 100 mm
- + Tensile stress: 120 N/mm^2
- + Shear stress : 100 N/mm^2
- + Crushing stress: 150 N/mm^2

3. Double riveted lap joint (chain riveting) untuk menyambung 2 plat dengan tebal 10 mm. Tegangan yang diijinkan adalah $\sigma_t = 60$ MPa; $\tau = 50$ MPa; dan $\sigma_c = 80$ MPa. Tentukan diameter keling, pitch keling dan jarak antara baris keling.
4. Sebuah bracket didukung oleh 4 keling yang sama ukurannya, seperti ditunjukkan pada Gambar dibawah ini. Tentukan diameter keling jika tegangan geser maksimum adalah 140 Mpa.



BAB 2

SAMBUNGAN LAS

2.1. Pendahuluan

Penyambungan logam adalah suatu proses yang dilakukan untuk menyambung 2 (dua) bagian logam atau lebih baik logam yang sejenis maupun tidak sejenis. Penyambungan bagian-bagian logam ini dapat dilakukan dengan berbagai macam metoda sesuai dengan kondisi dan bahan yang digunakan. Setiap metoda penyambungan yang digunakan mempunyai kelebihan dan kekurangan tersendiri dibandingkan dengan metoda lainnya, sebab metoda penyambungan yang digunakan pada suatu konstruksi sambungan harus disesuaikan dengan kondisi yang ada, hal ini mengingat efisiensi sambungan.

Pemilihan metoda penyambungan yang tepat dalam suatu konstruksi harus dipertimbangkan efisiensi sambungannya, beberapa faktor diantaranya adalah: jenis logam yang disambung, faktor proses pengerjaan sambungan, kekuatan sambungan yang diharapkan, kerapatan sambungan, penggunaan konstruksi sambungan dan faktor ekonomis. Salah satunya adalah proses penyambungan dengan proses pengelasan.

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi

ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas. Cara lain yang paling utama digunakan untuk memanasi logam yang dilas adalah arus listrik. Arus listrik dibangkitkan oleh generator dan dialirkan melalui kabel ke sebuah alat yang menjepit elektroda diujungnya, yaitu suatu logam batangan yang dapat menghantarkan listrik dengan baik. Ketika arus listrik dialirkan, elektroda disentuhkan ke benda kerja dan kemudian ditarik ke belakang sedikit, arus listrik tetap mengalir melalui celah sempit antara ujung elektroda dengan benda kerja.

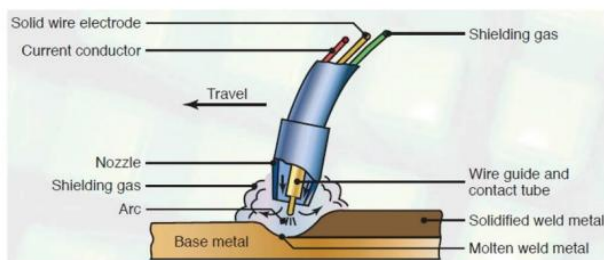
Arus yang mengalir ini dinamakan busur (arc) yang dapat mencairkan logam. Las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair dalam proses menyambung logam secara permanen dengan memanaskan logam tersebut sampai mencapai titik cair, dengan atau tanpa pemakaian tekanan, dan dengan atau tanpa penggunaan bahan pengisi. Panas yang dibutuhkan untuk peleburan bahan diperoleh dengan pembakaran gas (untuk pengelasan gas) atau bunga api listrik (untuk las listrik). Pengelasan secara intensif digunakan dalam fabrikasi sebagai metode alternatif untuk pengecoran atau forging (tempa) dan sebagai pengganti sambungan baut dan keling.

2.2. Jenis-jenis Pengelasan

Dalam bidang manufaktur terdapat beberapa jenis pengelasan yang berbeda dan menyesuaikan dengan jenis dan hasil pekerjaan. Masing-masing jenis pengelasan tersebut tentunya memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut ini merupakan jenis-jenis proses pengelasan beserta aplikasinya pada industri:

a. Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Pengelasan GMAW menggunakan kawat las yang digulung dalam suatu roll yang diumpankan terus menerus melalui pelatuk pada welding gun. Pada pengelasan ini memerlukan gas yang berfungsi sebagai pelindung hasil pengelasan yang diberikan secara eksternal. Pada pengelasan GMAW perlunya menyesuaikan pengaturan daya dengan ketebalan material. Kecepatan pengelasan juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi penetrasi lasan.



Gambar 2.1 Skema Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Pengelasan ini mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam penggunaannya, yaitu:

- ✚ Kotoran atau terak yang dihasilkan lebih sedikit karena efisiensi elektroda yang lebih tinggi.
- ✚ Hasil pengelasan yang lebih bersih.
- ✚ Input panas yang lebih rendah.
- ✚ Asap hasil pengelasan yang lebih sedikit.

Sedangkan kekurangan pada pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) yaitu:

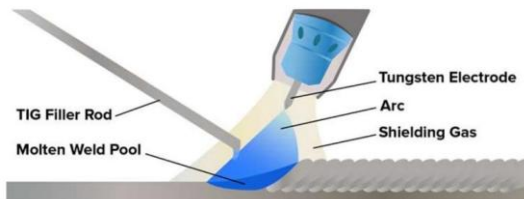
- ✚ Kebutuhan tambahan berupa gas pelindung eksternal.
- ✚ Biaya operasional yang lebih tinggi untuk welder dan peralatan lain yang diperlukan.
- ✚ Posisi pengelasan yang terbatas, karena tidak dapat dilakukan posisi pengelasan vertikal dan overhead.
- ✚ Tidak bisa digunakan mengelas bahan yang tebal.
- ✚ Selain itu, agar dapat menggunakan teknik pengelasan ini dengan sukses, semua bahan harus bebas dari kotoran dan karat.

Aplikasi Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) dan Kegunaan Las GMAW adalah Pengelasan GMAW atau MIG umumnya digunakan pada industri otomotif karena dapat

memberikan hasil pengelasan yang kuat dan serbaguna. Aplikasi dan penggunaan las GMAW secara umum digunakan pada konstruksi, robotika dan industri perkapalan.

b. Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) / TIG

Pengelasan Arc Tungsten Gas (GTAW) / TIG atau seringkali dikenal sebagai pengelasan Heliarc adalah proses pengelasan yang menggunakan elektroda tungsten yang tidak mencair, sedangkan logam pengisi menggunakan kawat pengisi eksternal (filler rod). Pengelasan GTAW membutuhkan gas eksternal campuran gas argon dan atau helium. Oleh karena itu proses pengelasan GTAW dikenal dengan Las Argon. Pengelasan GTAW dianggap sebagai salah satu teknik pengelasan yang banyak digunakan saat ini, karena hasil pengelasan yang bersih dan tingkat kemurnian tinggi yang hampir tidak mungkin dilakukan pada metode pengelasan lain.



Gambar 2.2 Skema Pengelasan Tungsten Arc Welding (GTAW)

Kelebihan pada pengelasan GTAW yaitu:

- ✚ Kemampuan untuk mengelas bahan yang sangat tipis
- ✚ Hasil lasan bersih dan berkualitas tinggi
- ✚ Alur hasil pengelasan las yang sangat estetika.
- ✚ Dapat digunakan untuk mengelas berbagai macam paduan
- ✚ Tidak menghasilkan percikan api.

Kekurangan pada pengelasan GTAW yaitu:

- ✚ Biaya peralatan yang relatif tinggi
- ✚ Tingkat deposisi yang lebih rendah.
- ✚ Membutuhkan gas pelindung eksternal
- ✚ Memerlukan keterampilan operator las yang sangat untuk mendapatkan hasil pengelasan yang diinginkan.

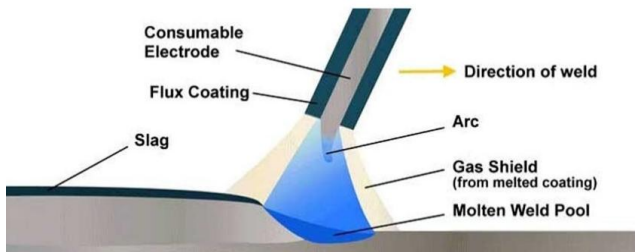
Aplikasi dan Kegunaan Las GTAW / TIG

Metode pengelasan GTAW paling umum digunakan pada pengelasan material stainless steel, meskipun merupakan pilihan yang cocok untuk beberapa logam lain seperti magnesium, aluminium, nikel, dan tembaga. Beberapa industri yang menggunakan pengelasan GTAW mencakup industri pada logam nonferrous dan sejenisnya. Berdasarkan aplikasinya metode pengelasan GTAW digunakan pada proses manufaktur pipa, industri otomotif, sepeda, serta perbaikan berbagai jenis komponen yang terbuat

dari aluminium, magnesium, dan stainless steel. Beberapa aplikasi dan kegunaan paling umum pada pengelasan GTAW atau TIG yaitu sistem perpipaan, pengelasan aerospace, dan industri otomotif.

c. Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Pengelasan SMAW atau seringkali dikenal dengan las stick atau las busur listrik adalah proses pengelasan yang memanfaatkan panas hasil percikan bunga api pada ujung elektroda untuk mencairkan logam. Kawat Elektroda pada pengelasan SMAW terdiri dari kawat inti dan lapisan flux yang berfungsi untuk melindungi logam dari pengaruh lingkungan selama proses pengelasan.



Gambar 2.3 Skema Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Jenis logam inti dan lapisan flux pada elektroda ditentukan berdasarkan jenis dan kodefikasi yang

terdapat pada elektroda yang menyesuaikan aplikasi pada proses pengelasan.

Kelebihan pada pengelasan SMAW yaitu:

- ✚ Biaya peralatan yang diperlukan lebih rendah.
- ✚ Tidak menggunakan gas pelindung seperti pada teknik pengelasan GMAW dan GTAW.
- ✚ Dapat digunakan pada logam yang kotor dan berkarat sehingga merupakan alternatif yang cocok untuk pengelasan di mana tidak bisa menggunakan teknik GMAW atau GTAW.

Kekurangan pada pengelasan SMAW yaitu:

- ✚ Cukup banyak limbah yang dihasilkan sehingga Efisiensi konsumsi yang lebih rendah.
- ✚ Membutuhkan keterampilan welder yang baik.
- ✚ Cukup sulit digunakan pada bahan yang tipis.

Aplikasi dan Kegunaan Las SMAW

Metode pengelasan SMAW sringkali digunakan karena tidak selalu memungkinkan untuk menggunakan metode pengelasan GMAW atau GTAW karena posisi pengelasan, jenis material, dan keterampilan welder. Metode pengelasan

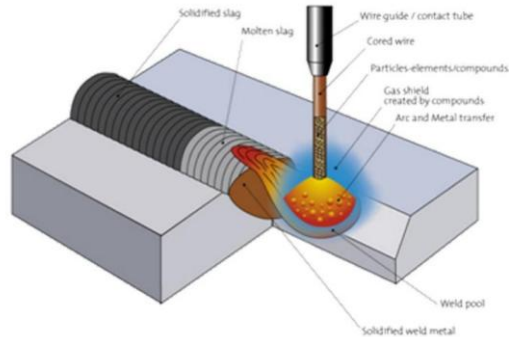
SMAW umumnya digunakan pada pengelasan pipa, konstruksi, dan perbaikan alat berat.

d. Pengelasan Flux-Cored Arc Welding (FCAW)

Flux-cored arc welding (FCAW) adalah jenis metode pengelasan dengan menggunakan panas busur listrik antara elektroda dan benda kerja logam dasar. Elektroda pada pengelasan FCAW berbentuk wire roll dan diumpkan secara terus menerus. Pada pengelasan FCAW pelindung yang digunakan berupa fluks yang terdapat pada elektroda dan tambahan gas pelindung eksternal. Teknik pengelasan FCAW hampir serupa dengan pengelasan GMAW, karena sama-sama membutuhkan elektroda yang diumpkan terus menerus tanpa terputus, namun pada pengelasan FCAW elektroda yang digunakan mengandung fluks.

Kelebihan pada pengelasan FCAW yaitu:

- + Efisiensi elektroda yang lebih tinggi yang menghasilkan lebih sedikit limbah.
- + Input yang lebih rendah.
- + Proses pengelasan lebih cepat karena elektroda sudah dalam bentuk wire roll yang panjang dan tidak perlu sering diganti.



Gambar 2.4 Skema Pengelasan Flux-cored arc welding (FCAW)

Kekurangan pada pengelasan FCAW yaitu:

- ✚ Menghasilkan lebih banyak asap.
- ✚ Biaya peralatan las FCAW yang mahal.
- ✚ Tidak disarankan pada pengelasan bahan tipis.

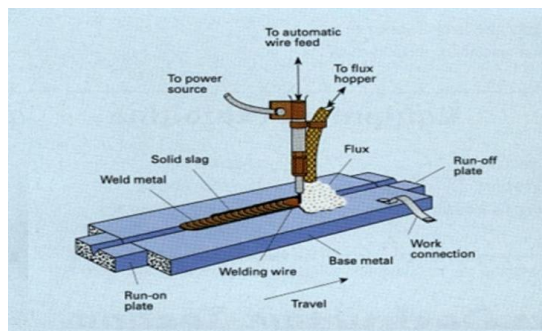
Aplikasi dan Kegunaan Las FCAW

Dalam beberapa kasus mungkin opsi pengelasan lain yang lebih sesuai dengan kebutuhan daripada pengelasan FCAW. Namun, terdapat beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan sebelum memilih jenis pengelasan yang tepat. Pada pengelasan baja struktural atau besi paduan, pengelasan FCAW memiliki kualitas pengelasan dan produktivitas yang lebih tinggi.

e. Pengelasan Electron Beam Welding (EBW)

Pengelasan EBW adalah proses pengelasan yang memanfaatkan elektron dihasilkan oleh pistol elektron kecepatan tinggi menggunakan medan listrik. Aliran elektron berkecepatan tinggi ini terfokus menggunakan medan magnet dan diterapkan pada material yang akan dilakukan pengelasan. Pada jenis pengelasan EBW memungkinkan penyatuan logam yang berbeda jenis yang memiliki konduktivitas termal dan titik lebur yang berbeda. Hal tersebut cukup sulit dicapai dengan metode pengelasan lainnya. Selain itu pengelasan ini juga dapat digunakan untuk mengelas bahan berukuran tebal hingga tipis. Jenis pengelasan ini digunakan di banyak aplikasi dan industri, seperti produksi inline otomotif hingga industri mesin pesawat terbang. Beberapa komponen yang dibuat dengan proses pengelasan Electron Beam Welding meliputi komponen aerospace, rakitan transmisi, dan bilah gergaji bimetal.

f. Submerged Arc Welding (SAW)



Gambar 2.5 Skema Pengelasan Submerged Arc Welding (SAW)

SAW adalah salah satu jenis las listrik dengan proses memadukan material yang dilas dengan cara memanaskan dan mencairkan metal induk dan elektroda oleh busur listrik yang terletak diantara metal induk dan elektroda. Arus dan busur lelehan metal diselimuti (ditimbun) dengan butiran flux di atas daerah yang dilas. SAW tidak membutuhkan tekanan dan bahan pengisi (filler metal) dipasok secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk diantara ujung filler elektroda dan metal induk yang ditimbun oleh fluks. Elektroda pada proses SAW terbuat dari metal padat (solid). Prinsip pada pengelasan ini hampir sama dengan pengelasan pada SMAW. Bedanya dengan SMAW adalah pada SAW flux tidak di bungkus ke elektroda, menggunakan elektroda kontinu, arus lebih tinggi sehingga dapat digunakan untuk mengelas benda yang lebih tebal hanya dengan langkah yang sedikit. Faktor yang perlu diperhatikan sebelum pengelasan SAW:

- ✚ Komposisi kimia dan properti mekanikal lasan yang diharapkan

- ✚ Ketebalan material yang akan dilas
- ✚ Cara pengelasan
- ✚ Posisi pengelasan yang dibuat
- ✚ Frekuensi atau volume pengelasan yang diinginkan

2.3. Jenis-jenis Elektroda

Kawat las atau yang sering disebut dengan elektroda adalah suatu material yang digunakan untuk melakukan pengelasan listrik yang berfungsi sebagai pembakar yang akan menimbulkan busur nyala. Elektroda adalah kawat logam yang dilapisi dengan flux dan terbuat dari bahan yang sama dengan materi yang ingin dilas. Jenis elektroda yang digunakan akan sangat menentukan hasil pengelasan. Elektroda dapat dikelompokkan dan diklasifikasikan sebagai elektroda telanjang atau elektroda berlapis tipis dan elektroda berpelindung atau berlapis tebal. Elektroda berpelindung merupakan jenis logam pengisi yang umum digunakan dalam pengelasan busur. Menurut American Welding Society (AWS), Industri las mengadopsi nomor klasifikasi untuk penomoran pada elektroda.

1. E - menunjukan elektroda untuk pengelasan busur
2. Dua digit pertama - menunjukan kekuatan tarikan dalam Ksi (kilopound-square-inch).
3. Digit ketiga - menunjukan posisi pengelasan. Angka 0 tidak digunakan dalam klasifikasi, 1

untuk semua posisi pengelasan, 2 untuk datar dan horizontal, 3 hanya untuk posisi datar

4. Digit keempat – menunjukkan jenis lapisan pada elektroda dan tipe arus yang digunakan; arus alternatif atau alur langsung, polaritas lurus atau kebalikan.
5. Jenis pelapis, arus las, polaritas yang ditunjukkan pada klasifikasi digit keempat tercantum pada tabel dibawah.

Digit	Lapisan	Arus las
0	*	*
1	Kalium Selulosa	Ac, dcrp, dcsp
2	Natrium Titania	Ac, dcsp
3	Kalium Titania	Ac, dcsp, dcrp
4	Serbuk Besi Titania	Ac, dcsp, dcrp
5	Natrium Hidrogen Rendah	dcrp
6	Kalium Hidrogen Rendah	Ac, dcrp
7	Serbuk Besi Oksida	Ac, dcrp
8	Serbuk Besi Hidrogen Rendah	Ac, dcrp, dcsp

Tabel 2.1 Jenis pelapis, arus las, polaritas
Sistem identifikasi elektroda untuk pengelasan stainless steel diatur sebagai berikut:

1. E - menunjukkan elektroda untuk pengelasan busur.
2. Tiga digit pertama - menunjukkan tipe besi dan baja tahan karat.
3. Dua digit terakhir - menunjukkan arus dan posisi yang digunakan.
4. Sebagai contoh nomor E-308-16, menunjukkan elektroda cocok untuk stainless steel dengan tipe 308, dapat digunakan pada semua posisi, dan menggunakan arus alternatif atau dengan polaritas langsung.

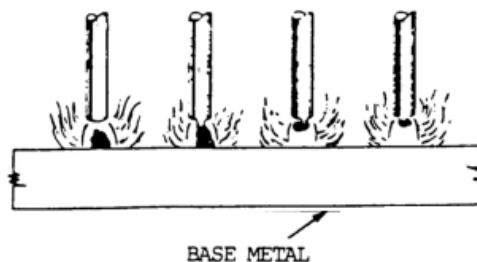
Tabel 2.2 Elektroda standar untuk pengelasan baja ringan

Karakteristik Elektroda					
Elektroda	Lapisan	Posisi	Arus	Penetrasi	Kekuatan Tarik
E-6010	Natrium selulosa tinggi	Semua posisi	DCEP	Dalam	60.000 PSI
E-6011	Kalium selulosa tinggi	Semua posisi	DCEP, AC	Dalam	60.000 PSI
E-6012	Natrium titania tinggi	Semua posisi	DCEN, AC	Sedang	60.000 PSI
E-6013	Kalium titania tinggi	Semua posisi	DCEP, DCEN, AC	Dangkal	60.000 PSI
E-7018	Serbuk Besi Hidrogen Rendah	Semua posisi	DCEP, AC	Dangkal ke sedang	70.000 PSI
E-7024	Serbuk Besi Hidrogen Rendah	Posisi horizontal	DCEN, AC	Dangkal ke sedang	70.000 PSI

Menurut American Welding Society (AWS) jenis-jenis elektroda yang digunakan ada beberapa seperti:

a. Bare elektroda

Elektroda ini tidak memiliki lapisan tambahan selain lapisan yang ada pada elektroda itu sendiri. Lapisan ini memiliki sedikit efek untuk menstabilkan busur. Bare elektroda ini digunakan untuk mengelas baja mangan.

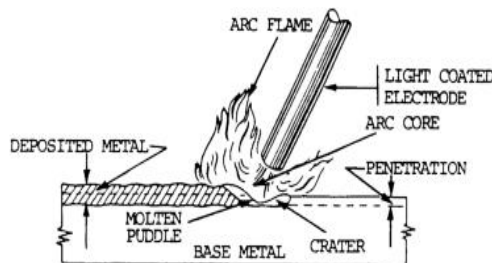


Gambar 2.6 Bare elektroda

b. Elektroda dengan lapisan tipis

Elektroda ini biasanya terdaftar dengan seri E45, lapisan ini biasanya diaplikasikan dengan proses pencelupan, penyemprotan, penyikatan, pencucian, dan lain-lain. Lapisan tipis ini memiliki fungsi sebagai berikut:

- ✚ Untuk mengurangi kotoran seperti oksida, belerang dan fosfor.
- ✚ Merubah permukaan logam cair menjadi butiran logam dan membantu menghasilkan lasan yang lebih seragam.
- ✚ Meningkatkan stabilitas busur dengan menambahkan bahan yang mudah terionisasi (dapat berubah menjadi partikel kecil dengan muatan listrik) kedalam aliran busur.
- ✚ Beberapa lapisan ini bisa menghasilkan slag yang cukup tipis tapi tidak memiliki fungsi yang sama seperti pada elektroda berpelingdung.



Gambar 2.7 Elektroda dengan lapisan tipis

c. Elektroda berpelindung atau elektroda dengan lapisan tebal

Elektroda berpelindung memiliki komposisi tertentu pada lapisannya yang diterapkan dengan metode pencelupan atau ekstrusi. Ada tiga jenis lapisan yang umum digunakan, yaitu:

 Lapisan selulosa

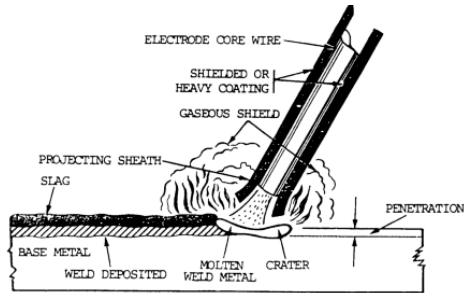
Terdiri dari kapas larut yang sebagian kecil terdiri dari kalium, natrium, dan titanium. Elektroda dengan lapisan selulosa bekerja dengan menciptakan zona gas di sekitar busur dan area las.

 Lapisan mineral

Terdiri dari natrium silikat, oksida logam, tanah liat, dan zat atau kombinasi anorganik lainnya. Elektroda dengan mineral bekerja dengan membentuk slag pada hasil akhir las.

 Lapisan kombinasi selulosa dan mineral

Elektroda berpelindung dapat digunakan untuk mengelas baja, besi tuang, dan permukaan keras.



Gambar 2.8 Elektroda dengan lapisan tebal

Berbeda dengan jenis pengelasan tungsten, elektroda GTAW merupakan penghubung terakhir antara sumber tenaga listrik dan benda kerja melalui proses busur listrik. Elektroda ini diklasifikasikan tidak terumpan. Penggunaan elektroda untuk pengelasan GTAW berbeda dengan pengelasan SMAW maupun MIG. Pengelasan ini mampu membangkitkan temperatur tinggi (30000 F atau 16648,9C) Pemilihan elektroda tungsten untuk pengelasan GTAW didasarkan karakteristiknya, titik cair tungsten adalah 6000 F atau 3370 C dan titik leburnya 11000 F atau 6135 C. Untuk elektroda tungsten dibedakan pada kode warna tungsten murni dan paduan.

Tabel 2.3 Kode warna elektroda tungsten murni dan paduan

General use	Composition %	DIN	Colour
AC	Tungsten, pure	W	Green
AC & DC	Tungsten + 1 thorium	WT 10	Yellow
DC	Tungsten + 2 thorium	WT 20	Red
DC	Tungsten + 3 thorium	WT 30	Lilac
DC	Tungsten + 4 thorium	WT 40	Orange
AC	Tungsten + 0,8 zirconium	W 28	White
DC	Tungsten + 1,0 lanthanum	WL 10	Black
DC	Tungsten + 1,0 cerium	WC 10	Pink
DC	Tungsten + 2,0 cerium	WC 20	Grey

Jenis-jenis untuk pengelasan tungsten dibedakan menjadi:

a. Thoriated tungsten

Thoriated tungsten merupakan elektroda yang sangat umum digunakan di amerika dan negara lainnya. Untuk paduan thorium 2% diberi kode

warna merah. Kelebihannya adalah memberi keuntungan pada saat mulainya penyalaan busur dan menghasilkan kapasitas arus listrik yang kuat, bila dibandingkan dengan tungsten murni. Thorium akan menambah emisi electron pada elektroda, dapat digunakan pada ukuran diameter elektroda yang kecil. Dapat digunakan untuk pengelasan arus DC pada material baja karbon, Stainless Steels, paduan nikel dan titanium.



Gambar 2.9 Elektroda Thoriated Tungsten

b. Tungsten + 0,8 zirconium

Paduan zirkonium dengan tungsten, biasanya digunakan pada pengelasan AC. Memiliki busur yang lebih stabil dibandingkan tungsten murni dan memberikan tahanan yang tinggi bila terjadi kontaminasi dalam pengelasan dengan menggunakan AC, paduan ini juga memberikan awal penyalaan busur yang

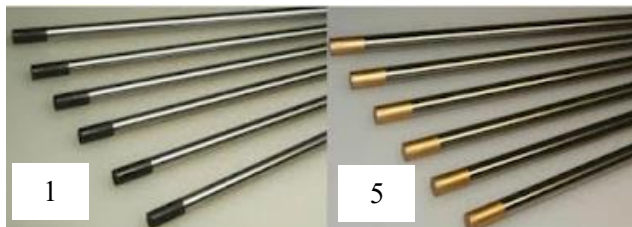
baik. Digunakan untuk pengelasan alumunium dan paduan magnesium.



Gambar 2.10 Elektroda Zirconium Dengan Tungsten

c. Lanthanated tungsten

Lanthanated tungsten bersifat non-radioactive, mempunyai konduktivitas yang sama dengan 2% thoriated tungsten, sehingga weder dapat mengganti 2% thoriated tungsten dengan lanthanated tungsten tanpa mengubah parameter lasnya. Sehingga di Eropa dan Jepang elektroda ini sangat populer sebagai pengganti 2% thoriated tungsten. Lanthanated tungsten baik untuk pengelasan DC tetapi dapat juga digunakan untuk pengelasan AC.



Gambar 2.11 Elektroda Lanthanated tungsten 1% dan 5%

d. Ceriated tungsten

Ceriated tungsten mempunyai karakteristik bahan non-radioaktif. Digunakan untuk pengelasan DC dengan arus rendah, sangat mudah dinyalakan. Biasanya membutuhkan arus 10% dari arus yang biasa digunakan untuk thoriated tungsten. Biasa digunakan untuk pengelasan pipa, komponen yang kecil dan siklus pengelasan yang pendek.



Gambar 2.12 Elektroda Ceriated tungsten 2%

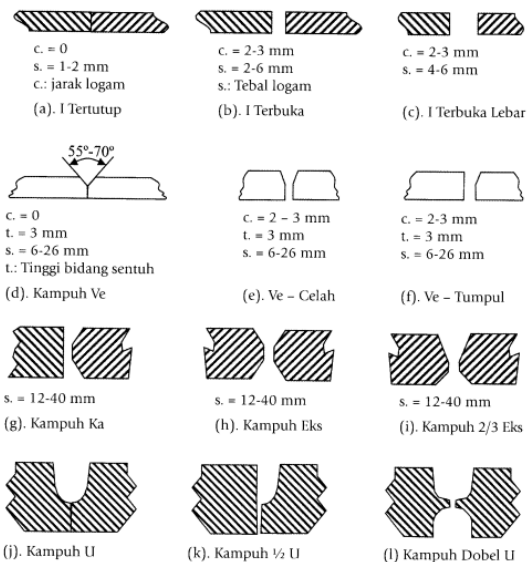
Berikut ini adalah Tabel 2.4 Penggunaan Elektroda Tungsten untuk mengelas baja Karbon

Electroda Diameter (in)	Tebal pelat yang dilas (mm)	DCSP (amp)	Diameter filler (mm)	Kecepatan pengelasan (iPm)
0,25	0,25 - 0,30	15	0,5	12 - 18

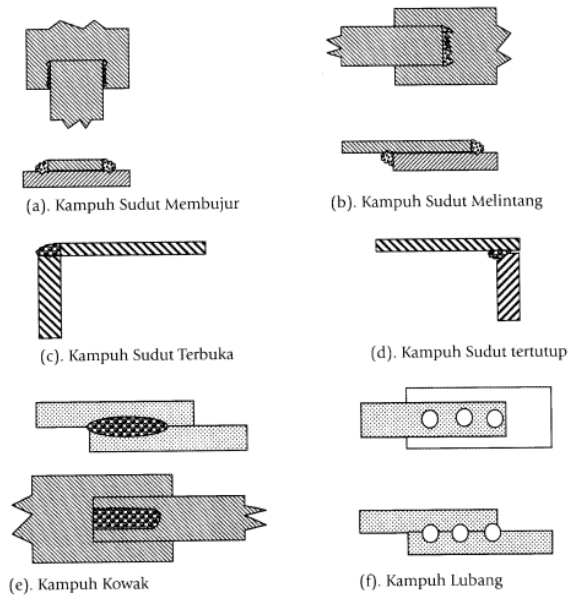
0,50	0,31 - 0,50	5 - 20	0,5	12 - 18
1	0,50 - 0,8	15 - 80	1	12 - 18
1,60	0,90 - 1,5	100 - 140	1,6	12- 18
2,40	1,6 - 3,20	140 -170	2,4	12 - 18
3,2	3,2	150 - 200	3,2	10 - 12

2.4. Macam-macam Sambungan Pengelasan

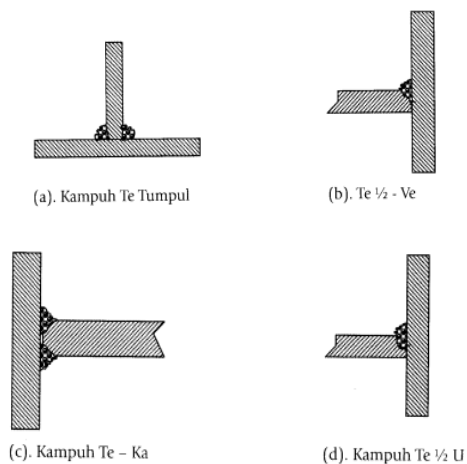
Pada rancang bangun suatu konstruksi ada berbagai bentuk kampuh sambungan las. Dalam uraian ini dibedakan menjadi tiga kelompok kampuh sambungan las, yakni kampuh lurus, kampuh sudut, dan kampuh Te.



Gambar 2.13 Kampuh sambungan las bentuk lurus



Gambar 2.14 Macam-macam kampuh sambungan sudut



Gambar 2.15 Macam-macam kampuh sambungan Te.

2.5. Parameter Pengelasan

Parameter pengelasan adalah variabel yang mempengaruhi dari hasil pengelasan, baik dari hasil pengujian mekanik maupun uji visual. Jika pemilihan parameter las kurang tepat maka dapat mengakibatkan terjadinya cacat las dan sifat mekanik hasil pengelasan kurang. Adapun parameter pengelasan dijelaskan sebagai berikut:

a. Arus Pengelasan.

Merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi hasil pengelasan mulai dari kedalaman penetrasi atau *fusi weld metal* dengan benda kerja. Sebagai catatan semakin besar arus yang digunakan maka penetrasi akan semakin dalam dan sebaliknya jika arus semakin kecil maka penetrasi semakin dangkal. Pemilihan besar arus ini harus diperhatikan dengan baik apalagi proses pengelasan pada material yang berbeda. Karena dengan material yang berbeda akan mempunyai titik lebur yang berbeda sehingga mempengaruhi tingkat mencairnya logam induk. Hal hal yang diperhatikan dalam menentukan besar arus pengelasan:

1. Diameter Elektroda.

Semakin besar diameter elektroda maka semakin besar arus yang digunakan.

2. Tebal material.

Semakin tebal material yang akan dilakukan pengelasan maka semakin besar arus yang digunakan.

3. Jenis Material.

Setiap material mempunyai titik lebur yang berbeda, semakin rendah titik lebur material tersebut maka arus yang digunakan semakin kecil.

4. Posisi Pengelasan.

Setiap posisi pengelasan mempunyai rekomendasi arus yang berbeda beda. Untuk posisi datar biasanya menggunakan arus yang lebih besar dibandingkan dengan posisi horisontal, vertikal dan overhead.

5. Bagian Las.

Dalam mengelas suatu produk terdapat tiga daerah yaitu root atau akar las, hot pass atau pengisian dan reinforcement atau mahkota las. Untuk daerah akar mempunyai ukuran arus yang paling kecil, kemudian pengisian mempunyai ukuran arus paling besar dan saat melakukan finishing arus sedikit dikecilkan lagi untuk

mengurangi terjadinya undercut pada permukaan benda kerja.

Akibat Arus Las terlalu Kecil:

- a. Dapat menyebabkan cacat las porosity.
- b. Penetrasi pengelasan kurang.
- c. Dapat menyebabkan cacat incomplete fusion.
- d. Dapat menyebabkan terjadinya Slag Inclusion.

Akibat Arus Las terlalu Besar:

- a. Menyebabkan terjadinya Undercut.
- b. Dapat terjadi over spatter.
- c. Menyebabkan material lubang, jika mengelas material tipis.
- d. Dapat terjadi cacat las Burn Through.
- e. Penetrasi pengelasan terlalu besar.

b. Arc Voltage.

Arc Voltage atau tegangan busur ini sangat erat kaitannya dengan panjang busur las atau jarak elektroda dengan benda kerja saat proses pengelasan berlangsung. Untuk proses pengelasan seperti GMAW, SAW dan FCAW ini dipengaruhi oleh power source dan dapat divariasikan tersendiri oleh arus. Saat melakukan pengaturan pada voltase maka

dapat mempengaruhi hasil dari pengelasan baik kedalaman atau lebarnya. Pada proses Gas Metal Arc Welding, arc voltage sangat mempengaruhi besarnya filler metal yang mencair ke benda kerja.

c. Polaritas.

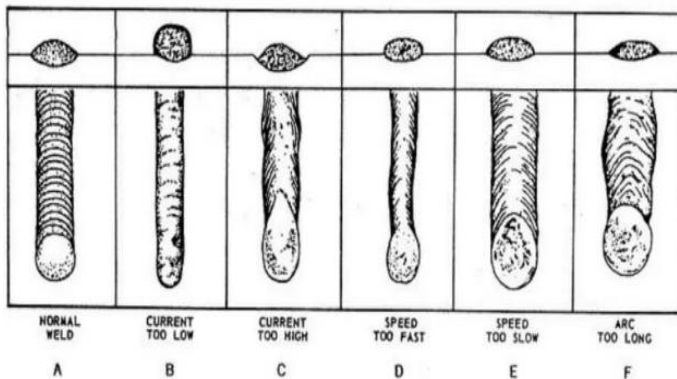
Pemilihan polaritas ini berpengaruh terhadap konsentrasi panas yang dihasilkan yang lebih besar terjadi pada elektroda atau pada benda kerja. Untuk konsentrasi panas setiap proses pengelasan mempunyai hasil dan karakteristik yang berbeda beda.

d. Kecepatan Pengelasan (Travel Speed).

Kecepatan dalam mengelas juga sangat berpengaruh terhadap hasil, dalam menentukan kecepatan kita harus menyesuaikan dengan besar arus yang digunakan. Arus dan kecepatan harus seimbang agar didapat profil pengelasan yang baik, penetrasi, serta sambungan las yang sesuai acceptance criteria. Semakin tinggi arus las maka kecepatan las juga meningkat, karena arus yang tinggi akan menyebabkan elektroda juga semakin cepat mencair sehingga travel speed juga ditingkatkan agar lebar lasan tidak berlebih.

Fungsi Parameter Las:

Parameter las mempunyai fungsi sebagai penentu kualitas pengelasan secara visual, kekuatan atau uji mekanik. Dengan parameter yang benar maka akan diperoleh hasil yang sesuai dengan syarat yang ditentukan oleh standar dan code.



Gambar 2.16 Hasil Pemilihan Parameter Las

- **Parameter las yang sesuai (A)**

Pada gambar A menunjukkan parameter pengelasan yang digunakan sudah sesuai baik dari besar arus, voltase dan kecepatan las. Hal tersebut dapat dilihat dari ketinggian dan lebar lasan yang rata dan seimbang.

- **Ampere terlalu rendah (B)**

Gambar B menunjukkan hasil las yang menggunakan arus terlalu rendah, hasilnya menyebabkan lebar lasan kurang sedangkan

tinggi atau tebal lasan berlebih. Biasanya lebar lasan sangat kecil dan tidak sesuai dengan ketinggian lasan.

- **Arus las terlalu tinggi (C).**

Gambar C menunjukkan hasil pengelasan dengan arus terlalu tinggi, hasilnya lebar lasan berlebih sedangkan ketinggian atau tebal lasan kurang. Biasanya juga terdapat beberapa cacat las undercut pada daerah base metal.

- **Travel speed terlalu cepat (D).**

Kecepatan pengelasan yang berlebih mengakibatkan fusion dan penetrasinya kurang, pada gambar D pengelasan rigi rigi terlihat jika lebar lasan sangat kecil dan tidak berimbang dengan ketebalan lasannya.

- **Kecepatan las terlalu rendah (E).**

Pengelasan yang terlalu lambat mengakibatkan hasilnya terlalu tinggi dan terlalu lebar. Karena terlalu lambat ini mengakibatkan filler metal mencair menumpuk.

- **Busur las terlalu panjang (F).**

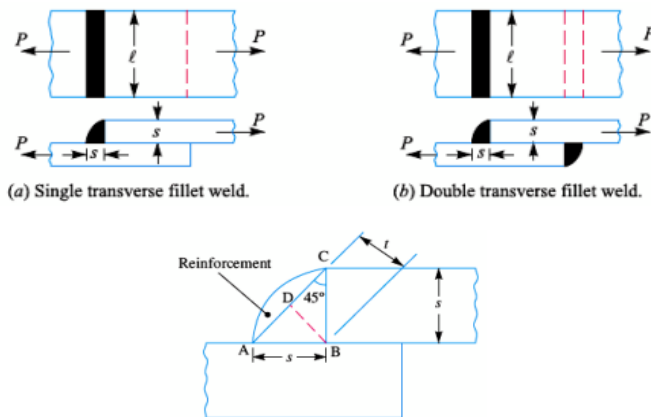
Jarak elektroda dengan benda kerja yang terlalu jauh saat proses pengelasan

menyebabkan panjang busur terlalu panjang. Hal ini mengakibatkan panas pengelasan juga meningkat dan konsentrasi dari busur kurang terfokus, sehingga hasil pengelasan akan lebih lebar dan biasanya terjadi banyak spatter.

2.6. Analisa Kekuatan Las

2.6.1. Kekuatan sambungan las fillet melintang

Sambungan las fillet melintang dirancang untuk mengetahui kekuatan tarik, yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.17 Skema dan dimensi bagian sambungan las

Untuk menentukan kekuatan sambungan las, diasumsikan bahwa bagian fillet adalah segitiga ABC dengan sisi miring AC. Panjang setiap sisi diketahui sebagai ukuran las dan jarak tegak lurus kemiringan BD

adalah tebal leher. Luas minimum las diperoleh pada leher BD, yang diberikan dengan hasil dari tebal leher dan panjang las.

Misalkan t = Tebal leher (BD)

s = Ukuran las = Tebal plat

l = Panjang las

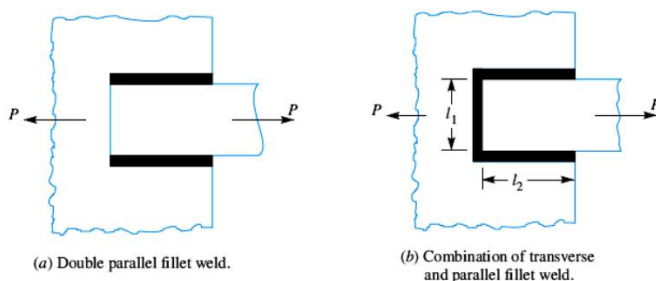
Ketebalan leher adalah: $t = s \cdot \sin 45^\circ = 0,707 \cdot s$

Luas minimum las atau luas leher adalah: $A = t \cdot l = 0,707 \cdot s \cdot l$

Jika σ_t adalah tegangan tarik yang diijinkan untuk las logam, kemudian kekuatan tarik sambungan untuk las fillet tunggal (single fillet weld) adalah: $P = 0,707 \cdot s \cdot l \cdot \sigma_t$ dan kekuatan tarik sambungan las fillet ganda (double fillet weld) adalah: $P = 2 \times 0,707 \times s \times l \times \sigma_t = 1,414 \cdot s \cdot l \cdot \sigma_t$

2.6.2. Kekuatan sambungan las fillet sejajar

Sambungan las fillet sejajar dirancang untuk kekuatan geser seperti terlihat pada Gambar. Luas minimum las atau luas leher: $A = 0,707 \cdot s \cdot l$



Gambar 2.18 Sambungan las fillet sejajar dan kombinasi

Jika τ adalah tegangan geser yang diijinkan untuk logam las, kemudian kekuatan geser dari sambungan untuk *single paralel fillet weld* (las fillet sejajar tunggal), $P = 0,707.s.l. \tau$ dan kekuatan geser sambungan untuk *double paralel fillet weld*, $P = 2 \times 0,707.s.l. \tau = 1,414.s.l. \tau$.

Catatan:

1. Jika sambungan las adalah kombinasi dari las fillet sejajar ganda dan melintang tunggal, kemudian kekuatan sambungan las adalah dengan menjumlahkan kedua kekuatan sambungan las, yaitu; $P = 0,707.s.l_1. \sigma_t + 1,414.s.l_2. \tau$
dimana l_1 adalah lebar plat.
2. Untuk memperkuat las fillet, dimensi leher adalah $0,85.t$

Contoh:

Sebuah plat lebar 100 mm dan tebal 10 mm dilas dengan plat lain secara las fillet sejajar ganda (double parallel fillet weld). Pelat dikenai beban statis 80 kN. Tentukan panjang las jika tegangan geser yang diijinkan dalam las tidak melebihi 55 MPa.

Penyelesaian:

Diketahui:

$$\text{Lebar} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal} = 10 \text{ mm}$$

$$P = 80 \text{ kN} = 80 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\tau = 55 \text{ MPa} = 55 \text{ N/mm}^2$$

Misalkan l = Panjang las, dan s = Ukuran las = tebal plat = 10 mm.

Kita mengetahui bahwa beban maksimum yang dibawa plat untuk double parallel fillet weld (P) adalah: $80 \cdot 10^3 = 1,414 \cdot s \cdot l$. $\tau = 1,414 \times 10 \times l \times 55 = 778 \times l$

$l = 80 \times 10^3 / 778 = 103 \text{ mm}$. Tambahan 12,5 mm untuk mengawali dan mengakhiri las, sehingga panjang las total: $l = 103 + 12,5 = 115,5 \text{ mm}$.

2.6.3. Khusus Sambungan Las Fillet

Apabila sambungan las fillet melingkar yang dikenai torsi, seperti pada batang silinder yang

dihubungkan ke plat kaku dengan las fillet yang ditunjukkan pada gambar.

Misalkan:

d = Diameter batang

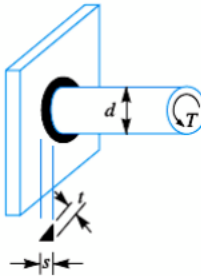
r = Radius batang

T = Torsi yang bekerja pada batang

s = Ukuran las

t = Tebal leher

J = Momen inersia polar dari bagian las = $\frac{\pi \cdot t \cdot d^3}{4}$



Kita mengetahui bahwa tegangan geser untuk material

$$\text{adalah } \tau = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{T \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi \cdot t \cdot d^3}{4}} = \frac{2 \cdot T}{\pi \cdot t \cdot d^2}$$

Tegangan geser terjadi pada bidang horisontal sepanjang las fillet. Geser maksimum terjadi pada leher las dengan sudut 45° dari bidang horisontal. Panjang leher $t = s \cdot \sin 45^\circ = 0,707 \cdot s$

dan tegangan geser maksimum adalah $\tau_{\max} =$

$$\frac{2 \cdot T}{\pi \cdot 0,707 \cdot s \cdot d^2} = \frac{2,83 \cdot T}{\pi \cdot 0,707 \cdot s \cdot d^2}$$

2.6.4. Las fillet melingkar yang dikenai momen bending

Sebuah batang silinder yang dihubungkan ke plat kaku dengan las fillet, seperti gambar dibawah ini.

Misalkan:

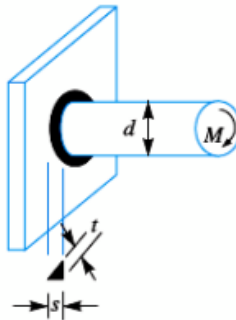
d = Diameter batang

M = Momen bending pada batang

s = Ukuran las

t = Tebal leher

Z = Section modulus dari bagian las $\frac{\pi \cdot t \cdot d^2}{4}$



Kita mengetahui bahwa momen bending adalah $\sigma_b =$

$$\frac{M}{Z} = \frac{M}{\frac{\pi \cdot t \cdot d^2}{4}} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot t \cdot d^2}$$

Tegangan bending terjadi pada bidang horisontal sepanjang las fillet. Tegangan bending maksimum terjadi pada leher las dengan sudut 45° dari bidang horisontal.

Panjang leher $t = s \cdot \sin 45^\circ = 0,707 \cdot s$ dan tegangan bending

$$\text{maksimum adalah } \sigma_{b(\max)} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot 0,707 \cdot s \cdot d^2} = \frac{5,66 M}{\pi \cdot s \cdot d^2}$$

2.6.5. Las fillet memanjang yang dikenai beban torsi

Sebuah Plat vertikal dilas ke plat horisontal dengan dua las fillet seperti pada gambar dibawah ini. Misalkan

l = Panjang las

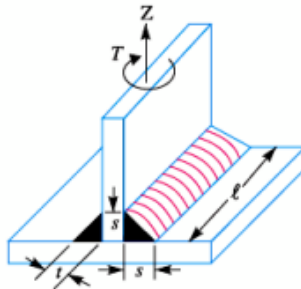
T = Torsi yang bekerja pada plat vertical

s = Ukuran las

t = Tebal leher

J = Momen inersia polar dari bagian las

$$= 2 \times \frac{t.l^3}{12} = \frac{t.l^3}{6} \text{ (untuk 2 sisi las)}$$



Variasi tegangan geser adalah sama dengan variasi tegangan normal sepanjang (l) dari balok yang dikenai

bending murni. Tegangan geser menjadi $\tau = \frac{T.l/2}{t.l^3/6} = \frac{3T}{t.l^2}$

Tegangan geser maksimum terjadi pada leher, yaitu

$$\tau_{max} = \frac{3T}{0,707.s.l^2} = \frac{4,242 \cdot T}{s.l^2}$$

Contoh:

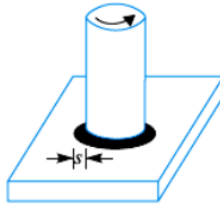
Sebuah poros pejal dengan diameter 50 mm dilas ke plat tipis dengan las fillet 10 mm seperti pada Gambar disamping. Tentukan torsi maksimum yang dapat ditahan sambungan las jika tegangan geser maksimum material las tidak melebihi 80 Mpa.

Penyelesaian:

diketahui:

$d = 50 \text{ mm}$; $s = 10 \text{ mm}$; $\tau_{\max} = 80 \text{ MPa} = 80 \text{ N/mm}^2$

T = Torsi maksimum yang dapat ditahan sambungan las.



Kita mengetahui tegangan geser maksimum

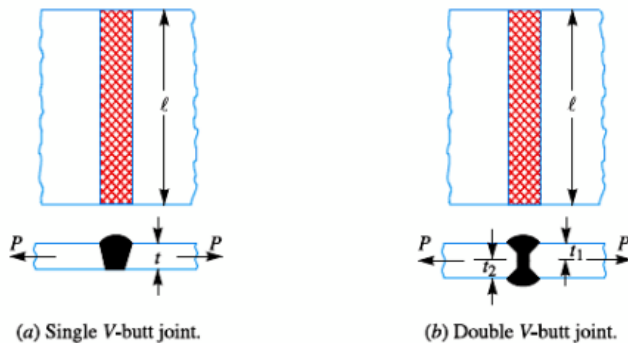
$$\tau_{\max} = \frac{2T}{\pi \cdot 0,707 \cdot s \cdot d^2} = \frac{2,83 \cdot T}{\pi \cdot s \cdot d^2}$$

$$80 = \frac{2,83 \cdot T}{\pi \cdot 10 \cdot (50)^2} = \frac{2,83 \cdot T}{78550}$$

$$T = \frac{80 \times 78550}{2,83} = 2,22 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} = 2,22 \text{ kNm}$$

2.7. Kekuatan But Joint

Sambungan butt dirancang untuk tarik dan tekan. seperti sambungan V-butt tunggal pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.19 Butt joint

Dalam butt joint, panjang ukuran las adalah sama dengan tebal leher yang sama dengan tebal plat. Kekuatan tarik butt joint (single-V atau square butt joint) $P = t.l.\sigma_t$ dimana l = panjang las. Secara umum sama dengan lebar plat dan kekuatan tarik double-V butt joint seperti pada Gambar 2.19 (b) diatas: $P = (t_1 + t_2).l.\sigma_t$. Dimana: t_1 = Tebal leher bagian atas dan t_2 = Tebal leher bagian bawah.

Sebagai catatan bahwa ukuran las bisa lebih besar dari pada ketebalan plat, tetapi dapat juga lebih kecil. Tabel berikut menunjukkan ukuran las minimum yang direkomendasikan.

Tabel 2.5 Ukuran las minimum yang direkomendasikan

Thickness of plate (mm)	3-5	6-8	10-16	18-24	26-55	Over 58
Minimum size of weld (mm)	3	5	6	10	14	20

Contoh

Sebuah plat lebarnya 100 mm dan tebalnya 12,5 mm dilas ke plat lain dengan las fillet sejajar. Plat tersebut mendapat beban 50 kN. Tentukan panjang las jika tegangan maksimum tidak melebihi 56 MPa. Perhatikan bahwa sambungan las dibawah beban statis dan beban fatik/berulang-ulang (fatigue).

Penyelesaian:

Diketahui:

Lebar = 100 mm ; Tebal = 12,5 mm ; $P = 50 \text{ kN} = 50.10^3 \text{ N}$;

$\tau = 56 \text{ MPa} = 56 \text{ N/mm}^2$.

 Panjang las untuk beban statis:

Misalkan l = Panjang las, s = Ukuran las = tebal plat = 12,5 mm. Kita tahu bahwa beban maksimum yang dibawa plat untuk double paralel fillet weld (P) adalah: $P = 1,414.s.l.\tau$ sehingga $50.10^3 = 1,414.12,5.l.56 = 990.l$ $l = 50.10^3 / 990 = 50,5 \text{ mm}$.

Penambahan 12,5 mm untuk awal dan akhir las adalah: $l = 50,5 + 12,5 = 63 \text{ mm}$

🌈 Panjang las untuk beban fatik

Dari tabel 2.6 di bawah ini kita dapat menentukan faktor konsentrasi tegangan untuk parallel fillet welding adalah 2,7. Sehingga Tegangan geser yang diijinkan adalah:

$$\tau = \frac{56}{2,7} = 20,74 \text{ N/mm}^2$$

Tabel 2.6 Faktor konsentrasi tegangan

Type of Joint	Stress Concentration Factor
Reinforced butt welds	1,2
Toe of transverse fillet welds	1,5
End of parallel fillet weld	2,7
T-butt joint with sharp corner	2,0

Kita tahu bahwa beban maksimum yang dibawa plat untuk double parallel fillet weld $P = 1,414.s.l. \tau$.

$$50 \times 10^3 = 1,414.s.l. \tau$$

$$50 \times 10^3 = 1,414.s.l. \tau$$

$$= 1,414 \times 12,5 . l . 20,74 = 367 \times l$$

$$l = \frac{50 \times 10^3}{367} = 136,2 \text{ mm}$$

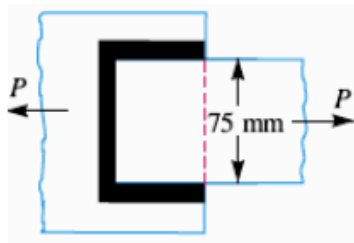
Penambahan 12,5 mm untuk awal dan akhir las adalah $l = 136,2 + 12,5 = 148,7 \text{ mm}$.

Contoh

Sebuah plat lebarnya 75 mm dan tebal 12,5 mm disambung dengan plat lain secara single transverse weld dan double parallel fillet weld. Tegangan tarik maksimum 70 MPa dan tegangan geser maksimum 56 MPa. Tentukan panjang las setiap parallel fillet weld, jika sambungan dikenai beban statis dan fatik.

Penyelesaian:

Diketahui: Lebar = 75 mm ; Tebal = 12,5 mm ; $\sigma_t = 70$ MPa = 70 N/mm² ; $\tau = 56$ MPa = 56 N/mm². Panjang efektif las (l_1) untuk transverse weld diperoleh dengan pengurangan 12,5 mm dari lebar plat. $l_1 = 75 - 12,5 = 62,5$ mm.



- ✚ Panjang setiap fillet paralel untuk beban statis. Misalkan l_2 = Panjang setiap fillet paralel. Kita tahu bahwa beban maksimum yang dapat dibawa plat adalah: $P = \text{luas} \times \text{tegangan} = 75 \times 12,5 \times 70 = 65\,625$ N.

Beban yang dibawa oleh single transverse weld:

$$P_1 = 0,707 \cdot s \cdot l_1 \cdot \sigma_t = 0,707 \cdot 12,5 \cdot 62,5 \cdot 70 = 38664 \text{ N}$$

dan beban yang dibawa oleh double paralel fillet weld: $P_2 = 1,414 \cdot s \cdot l_2 \cdot \tau$

$$= 1,414 \cdot 12,5 \cdot 12,5 \cdot 56 = 990,12$$

Beban yang dibawa oleh sambungan las (P):

$$65625 = P_1 + P_2 = 38664 + 990,12$$

$$l_2 = 27,2 \text{ mm}$$

Penambahan 12,5 mm untuk awal dan akhir las adalah:

$$l_2 = 27,2 + 12,5 = 39,7 \text{ mm} \approx 40 \text{ mm}$$



Panjang setiap fillet paralel untuk beban fatik.

Dari tabel 2.6, kita dapat menentukan faktor konsentrasi tegangan untuk transverse weld adalah 1,5 dan untuk paralel fillet weld adalah 2,7. Tegangan tarik yang diijinkan adalah:

$$\sigma_t = \frac{70}{1,5} = 46,7 \text{ N/mm}^2$$

Dan tegangan geser yang diijinkan adalah

$$\sigma_t = \frac{56}{2,7} = 20,74 \text{ N/mm}^2$$

$$P_1 = 0,707 \cdot s \cdot l_1 \cdot \sigma_t = 0,707 \cdot 12,5 \cdot 62,5 \cdot 46,7 = 25795 \text{ N}$$

Dan beban yang dibawa oleh double paralel fillet weld adalah:

$$P_2 = 1,414 \cdot s \cdot l_2 \cdot \tau = 1,414 \cdot 12,5 \cdot 12,5 \cdot 20,74 = 366,12$$

Beban yang dibawa oleh sambungan las (P):

$$65625 = P_1 + P_2 = 25795 + 366,12$$

$$l_2 = 108,8 \text{ mm}$$

Penambahan 12,5 untuk awal dan akhir adalah:

$$l_2 = 108,8 + 12,5 = 121,3 \text{ mm} \approx 122 \text{ mm}$$

2.8. Beban Eksentris Sambungan Las

Beban eksentris pada sambungan las bisa terjadi dengan berbagai cara. Ketika tegangan geser dan tegangan bending pada sambungan secara simultan terjadi, maka tegangan maksimum menjadi Tegangan normal maksimum adalah: $\sigma_{t(max)} = \frac{\sigma_b}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_b)^2 + 4 \cdot \tau^2}$

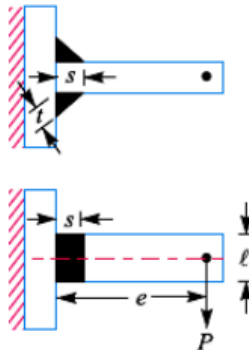
Tegangan geser maksimum adalah:

$$\tau_{(max)} = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_b)^2 + 4 \cdot \tau^2}$$

Dimana:

σ_b = Tegangan Bending

τ = tegangan geser



Gambar 2.20 Beban Eksentris

Beban eksentris pada sambungan las terjadi 2 beban, yaitu:

Jika dua plat yang disambung T (seperti gambar 2.20) yang salah satu ujungnya dikenai beban eksentris P pada jarak e. Maka l = Panjang las, s = Ukuran las, t = Tebal leher

Sambungan mendapat dua jenis tegangan:

1. Tegangan geser langsung akibat gaya geser P pada las.
2. Tegangan bending akibat momen bending $P \times e$.
Jika luas leher las diketahui sebagai berikut: $A =$
Tebal leher $\times$ panjang las

$$\begin{aligned} &= t.l.2 = 2 t l \text{ (untuk double fillet weld)} \\ &= 2,0707.s.l = 1,414.s.l \text{ (} t = s.\cos 45^\circ = 0,707.s \text{)} \end{aligned}$$

Tegangan geser pada las adalah: $\tau = \frac{P}{A} = \frac{P}{1,414.s.l}$

Section modulus dari logam las melalui leher las adalah:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{t.l^2}{6} \times 2 \\ &= \frac{0,707 \times l^2}{6} \times 2 = \frac{s.l^2}{4,242} \end{aligned}$$

Momen bending $M = P.e$

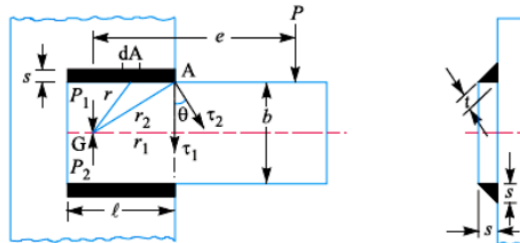
Tegangan bending $\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{P.s.4,242}{s.l^2} = \frac{4,242 P.e}{s.l^2}$

Tegangan normal maksimum adalah

$$\sigma_{t(max)} = \frac{\sigma_b}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_b)^2 + 4.\tau^2}$$

Tegangan geser maksimum adalah sebagai

$$\text{berikut: } \tau_{(max)} = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_b)^2 + 4.\tau^2}$$



Apabila sambungan las dibebani secara eksentris seperti pada gambar 2.21 disamping maka akan terjadi dua jenis tegangan berikut ini:

1. Tegangan geser utama
2. Tegangan geser akibat momen puntir.

Misalkan:

P = Beban eksentris

e = Eksentrisitas yaitu jarak tegak lurus antara garis aksi beban dan pusat gravitasi (G) dari fillet.

l = Panjang las

s = Ukuran las

t = Tebal leher.

Apabila diketahui 2 gaya P_1 dan P_2 adalah pada pusat gravitasi G dari sistem las. Pengaruh beban $P_1 = P$

dan menghasilkan tegangan geser utama yang diasumsikan seragam sepanjang las. Apabila Pengaruh $P_2 = P$ akan menghasilkan momen puntir sebesar $P \times e$ yang memutar sambungan terhadap pusat gravitasi dari sistem las. sehingga momen puntir akan menimbulkan tegangan geser sekunder. Maka tegangan geser utama adalah:

$$\tau_1 = \frac{P}{A} = \frac{P}{2t.l} = \frac{P}{2 \times 0,707 \cdot s \cdot l} = \frac{P}{1,414 \cdot s \cdot l}$$

(luas leher untuk single fillet weld = $t.l = 0,707s.l$).

Ketika tegangan geser akibat momen puntir ($T = P.e$) pada beberapa bagian adalah seimbang untuk jarak radial dari G, sehingga tegangan akibat $P.e$ pada titik A adalah seimbang dengan $AG (r_2)$ dan arahnya memutar ke kanan terhadap AG. Sehingga $\frac{\tau_2}{r_2} = \frac{\tau}{r} = \text{konstan}$ atau

$$\tau = \frac{\tau_2}{r_2} \cdot r$$

Dimana τ_2 adalah tegangan geser pada jarak maksimum (r_2) dan τ adalah tegangan geser pada jarak r . Perhatikan sebuah bagian kecil dari las yang mempunyai luas dA pada jarak r dari G. Gaya geser pada bagian kecil ini adalah $\tau.dA$ dan momen puntir dari gaya geser terhadap G adalah:

$$dT = \tau \cdot dA \cdot r = \frac{\tau_2}{r_2} \cdot dA \cdot r^2$$

Momen punter total seluruh luas las adalah:

$$T = P \cdot e = \int \frac{\tau_2}{r_2} \cdot dA \cdot r^2 = \frac{\tau_2}{r_2} \int dA \cdot r^2$$

$$\frac{\tau_2}{r_2} xJ \quad (J = \int dA x r^2)$$

dimana J = Momen inersia polar dari luas leher terhadap G.

Tegangan geser akibat momen puntir yaitu tegangan geser sekunder adalah: $\tau_2 = \frac{T \cdot r_2}{J} = \frac{P \cdot s \cdot r_2}{J}$

Menentukan resultan tegangan, tegangan geser utama dan sekunder adalah kombinasi secara vektor. Resultan tegangan geser pada A adalah:

$$\tau_A = \sqrt{(\tau_1)^2 + (\tau_2)^2 + 2 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \cos \theta}$$

Dimana θ = sudut antara τ_1 dan τ_2 , dan $\cos \theta = \frac{r_1}{r_2}$

Catatan: Momen inersia polar pada luas leher (A) terhadap pusat gravitasi yang diperoleh dengan teorema sumbu sejajar yaitu: $J = 2[I_{xx} + A \cdot x^2]$

$$= 2 \left[\frac{A \cdot l^2}{12} + A \cdot x^2 \right] = 2A \left(\frac{l^2}{12} + x^2 \right) \quad (\text{double fillet weld})$$

Dimana

A = luas leher = $t \cdot l = 0,707 \cdot s \cdot l$

l = panjang las

x = jarak tegak lurus antara dua sumbu sejajar.

Tabel 2.7 Momen inersia polar dan section modulus dari las

S.No	Type of weld	Polar moment of inertia (J)	Section modulus (Z)
1.		$\frac{t l^3}{12}$	—
2.		$\frac{t b^3}{12}$	$\frac{t b^2}{6}$
3.		$\frac{t l (3b^2 + l^2)}{6}$	$t b l$
4.		$\frac{t b (b^2 + 3l^2)}{6}$	$\frac{t b^2}{3}$
5.		$\frac{t (b + l)^3}{6}$	$t \left(b l + \frac{b^2}{3} \right)$
S.No	Type of weld	Polar moment of inertia (J)	Section modulus (Z)
6.		$t \left[\frac{(b + l)^4 - 6b^2 l^2}{12(l + b)} \right]$	$t \left[\frac{4lb + b^2}{6} \right] \text{ (Top)}$ $t \left[\frac{b^2 (4lb + b)}{6(2l + b)} \right] \text{ (Bottom)}$
7.		$t \left[\frac{(b + 2l)^3}{12} - \frac{l^2 (b + l)^2}{b + 2l} \right]$	$t \left(lb + \frac{b^2}{6} \right)$
8.		$\frac{\pi t d^3}{4}$	$\frac{\pi t d^2}{4}$

Latihan Soal

1. Diketahui sebuah plat dengan lebar 115 mm, tebal 15 mm yang dilas dengan plat lain secara *transverse weld* pada ujungnya. Jika plat dikenai beban 75 kN, tentukan ukuran las untuk beban statis dan beban fatik. Tegangan tarik yang diijinkan tidak melebihi 75 MPa.
2. Sebuah siku yang mempunyai dimensi 20 x 15 x 1 cm dilas pada pelat baja dengan sambungan fillet. Jika siku menerima beban static sebesar 20 ton. Hitung panjang lasan pada bagian atas dan bawah. Jika besar shear stress untuk pembebanan static 150 kg/cm².
3. Sebuah poros pejal persegi mempunyai ukuran 80 mm x 50 mm yang dilas fillet weld 5 mm pada seluruh sisinya ke plat tipis dengan sumbu tegak lurus ke permukaan plat. Tentukan torsi maksimum yang dapat diterapkan poros, jika tegangan geser dalam las tidak melebihi 75 MPa.

BAB 3

SAMBUNGAN ULIR, MUR DAN BAUT

3.1. Pendahuluan

Sambungan merupakan Suatu metode/ cara dalam menggabungkan antara elemen satu dengan elemen yang lain sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh serta dapat melakukan fungsinya masing-masing. Sebagai elemen penyambung pasti akan mengalami suatu pembebanan saat benda yang akan disassembly/ dirakit, walaupun pembebanan itu sangat kecil karena dari elemen yang disambung akan mengakibatkan beban terkonsentrasi dan dampaknya itu yang harus diantisipasi pada saat kita merancang sambungan atau merencanakan sesuatu sehingga jika rancangan kurang tepat akan berakibat rusak.

Sambungan yang digunakan untuk menyatukan atau menghubungkan bagian-bagian dari sebuah konstruksi tadi dapat digunakan beberapa cara (macam-macam dari sambungan), yaitu dengan sambungan tetap dan dengan menggunakan sambungan tidak tetap.

1. Sambungan Tetap (*Permanent Joint*)

Sambungan tetap merupakan salah satu jenis sambungan yang setelah dipasang tidak dapat dilepas kembali, kecuali dengan merusak sambungan itu. Contoh dari sambungan tetap antara lain sambungan las (*welded joint*) dan sambungan paku keling (*rivet joint*).

Sambungan tetap ini mempunyai kelebihan diantaranya: Sambungan lebih kuat dan kokoh karena logam penyambung dan logam sambungan menjadi satu, bentuk sambungan konstruksi lebih rapi, berat sambungan lebih ringan sedangkan kekurangan dari sambungan tetap adalah Sambungan tidak dapat dibongkar pasang, sehingga bila ingin membongkar harus merusak sambungan.

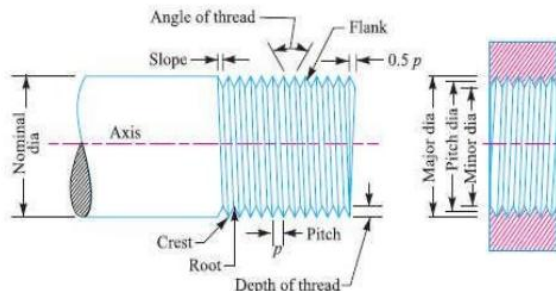
2. Sambungan Tidak Tetap (*Semi Permanent Joint*)

Sambungan tidak tetap merupakan jenis sambungan yang bersifat sementara pada sebuah konstruksi baja, sehingga sambungan tersebut dapat dibongkar pasang dengan mudah dengan catatan kondisi sambungan masih baik (tidak rusak atau berkarat). Contoh sambungan tidak tetap misalnya adalah sambungan pasak (*keys joint*) dan sambungan ulir (*screwed joint*). Sambungan tidak tetap ini mempunyai kelebihan diantaranya: memiliki realibilitas, cocok digunakan untuk komponen yang perlu dibongkar pasang, sambungan ulir lebih murah dan efisien, sedangkan kekurangan yang dimiliki adalah: sambungan harus dirawat terus menerus agar tidak rusak, sambungan lambat laun menjadi agak longgar sehingga perlu dipantau secara berkala.

3.2. Sambungan Ulir

Sambungan ulir adalah sambungan yang menggunakan konstruksi ulir yang berguna untuk

mengikat dua atau lebih komponen mesin. Sambungan ulir ini tergolong ke dalam sambungan tidak tetap karena pada sambungan ini menggunakan baut dan mur dan dapat dengan mudah dibuka. Sambungan ulir terdiri dari 2 bagian yaitu baut yang biasa disebut dengan *bolt* dan mur yang biasa disebut *nut*. Sambungan ini mempunyai keuntungan dan kerugian saat digunakan yaitu: lebih murah dan efisien, memiliki reliabilitas tinggi, cocok untuk perakitan dan pelepasan komponen sedangkan kerugian dari sambungan ulir adalah konsentrasi tegangan yang ada di bagian ulir tidak mampu menahan berbagai kondisi beban.



Gambar 3.1 Bagian-bagian ulir

a. Major diameter

Diameter terbesar pada bagian ulir luar atau bagian ulir dalam dari sebuah sekrup. Sekrup ditentukan oleh diameter ini, juga disebut diameter luar atau diameter nominal.

b. Minor diameter

Bagian terkecil dari bagian ulir dalam atau bagian ulir luar, disebut juga sebagai core atau diameter root.

3.3. Pitch diameter

Disebut juga diameter efektif, merupakan bagian yang berhubungan antara baut dan mur.

3.4. Pitch

Jarak dari satu ujung ulir ke ujung ulir berikutnya. Juga dapat diartikan jarak yang ditempuh ulir dalam satu kali putaran.

3.5. Crest adalah permukaan atas ulir.

3.6. Depth of thread adalah jarak tegak lurus antara permukaan luar dan dalam dari ulir.

3.7. Flank adalah permukaan ulir.

3.8. Angle of thread adalah sudut yang terbentuk dari ulir.

3.9. Slope adalah setengah pitch.

3.10. Tipe Umum Penyambungan Ulir

Secara umum tipe penyambungan ulir terbagi menjadi:

1. **Through bolt**

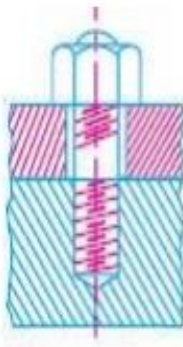
Merupakan jenis penyambungan yang digunakan untuk menyambung dua bagian

atau lebih dengan cara dijepit menggunakan mur dan baut. Lubang material yang akan disambung harus sesuai dengan ukuran baut sehingga beban yang dapat ditahan oleh baut dapat maksimal.

Gambar 3.2 Through bolt

2. Tap Bolt

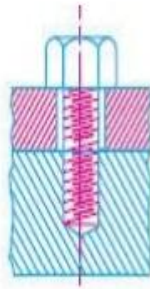
Merupakan jenis penyambungan dua buah material atau lebih dimana salah satu ujung mur mengikat pada material dan ujung lainnya diikat dengan baut.



Gambar 3.3 Tap Bolt

3. Studs

Merupakan jenis penyambungan dua buah material atau lebih dimana mur diikat langsung pada material.

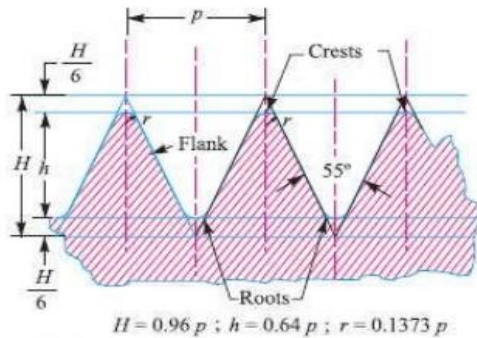


Gambar 3.4 Tap Bolt

3.11. Jenis-Jenis Dan Bentuk Ulir

Jenis dan bentuk ulir terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

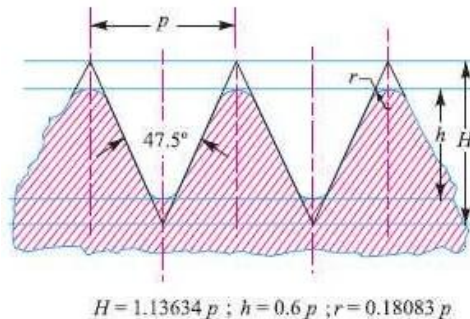
A. British standard whitworth (BSW) threat: Mata Ulir berbentuk segitiga yang diaplikasikan untuk menahan vibrasi, automobile.



Gambar 3.5 British standard whitworth (BSW) threat

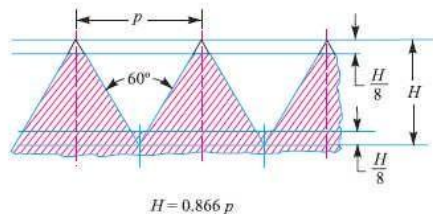
B. British Association (BA) threat

Mata Ulir berbentuk segitiga dengan puncak tumpul dan diaplikasikan untuk mengulir pekerjaan yang presisi.



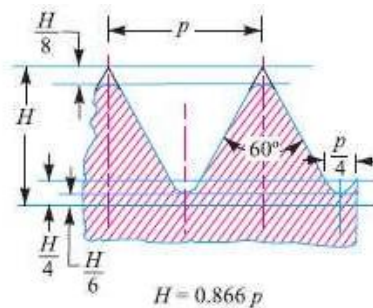
Gambar 3.6 British Association (BA) threat

C. American national standard thread: Standar nasional Amerika dimana memiliki puncak datar. Ulir ini digunakan untuk tujuan umum misalnya pada baut, mur, dan sekrup.



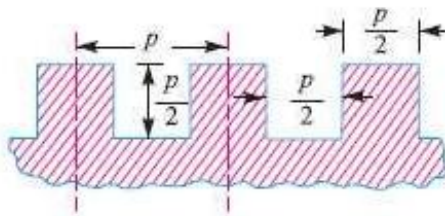
Gambar 3.7 American national standard thread

D. Unified standard thread: Tiga negara yakni, Inggris, Kanada dan Amerika Serikat melakukan perjanjian untuk sistem ulir sekrup yang sama yaitu dengan sudut termasuk 60° , dalam rangka memfasilitasi pertukaran mesin. Ulir ini memiliki puncak dan akar yang bulat.



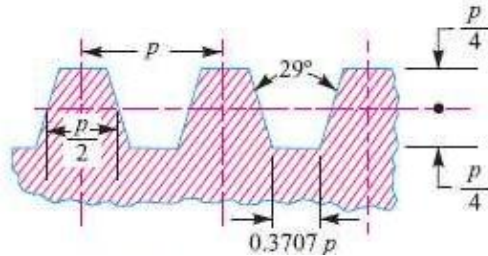
Gambar 3.8 Unified standard thread

D. Square thread: Mata Ulir berbentuk Segiempat. Aplikasi: power transmisi, machine tools, valves.



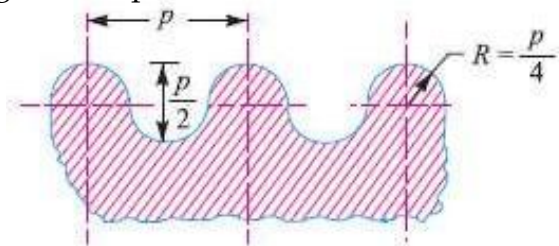
Gambar 3.9 Square thread

F. Acme thread: Mata Ulir berbentuk Trapesium. Aplikasi: cutting lathe, brass valves.



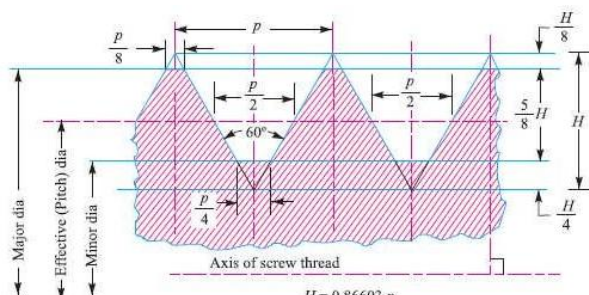
Gambar 3.10 Acme thread

G. Knuckle thread: Mata ulir berbentu bulat, merupakan modifikasi dari ulir persegi. Ulir ini digunakan untuk pekerjaan kasar, biasanya ditemukan di sambungan gerbong kereta api, dan botol kaca.

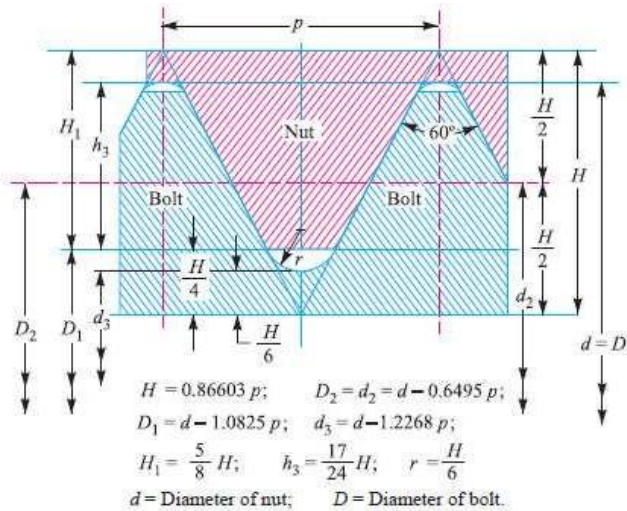


Gambar 3.11 Knuckle thread

H. Ulir Metrics: Merupakan ulir standar India dan mirip dengan ulir BSW. Ini memiliki sudut 60° . Profil desain mur dan baut



Gambar 3.12 Ulir Metrics



Gambar. 3.13 Profil desain mur dan baut

3.12. Standart Dimensi Ulir

Desain dimensi ulir baut dan mur yang sesuai dengan standart yang ada ditunjukkan pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Dimensi ulir baut dan mur

Designation	Pitch mm	Major or nominal diameter Nut and Bolt ($d = D$) mm	Effective or pitch diameter Nut and Bolt (d_p) mm	Minor or core diameter (d_c) mm		Depth of thread (bolt) mm	Stress area mm ²
				Bolt	Nut		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

3.13. Analisa Sambungan Ulir

Tegangan-tegangan yang terjadi pada ulir dapat disebabkan karena:

- a. Tegangan internal (Internal Stress) atau tegangan sisa dikarenakan penambahan gaya pada saat pengencangan ulir. Tegangan internal meliputi tegangan-tegangan sebagai berikut:

- 1. Tegangan tarik dikarenakan pengencangan baut**

Bila sampel diberikan beban awal sehingga cukup tegang tetapi tidak mengalami

kemuluran, maka dapat dikatakan bahwa bahan dalam keadaan '*standard initial tension*'.

Baut dirancang berdasarkan tegangan tarik langsung dengan faktor keamanan yang besar. *Initial Tension* baut berdasarkan eksperimen, dapat ditemukan melalui hubungan:

$$P_i = 2840.d.N$$

Jika baut awalnya pada kondisi tanpa tegangan, maka beban aksial maksimum yang aman yang dapat diterapkan pada baut adalah:

$$P = \text{tegangan ijin} \times \text{luas penampang (area tegangan)}$$

Area tegangan dapat diperoleh dari Tabel 3.1 atau dapat juga dicari dengan menggunakan

hubungan: $StressArea = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_p + d_c}{2} \right)^2$

Dimana:

A = stress area (luas bidang tarik)

σ_t = tegangan ijin (Pa)

d_p = diameter pitch (mm)

d_c = diameter center (mm)

2. Tegangan geser torsional

Tegangan geser torsi selama pengencangan dapat diperoleh dengan menggunakan

persamaan torsi, yaitu: $\tau = \frac{16.T}{\pi(d_c)^3}$ Dimana:

τ = tegangan geser torsi,
T = torsi yang diterapkan
dc = diameter center (mm)

3. Tegangan geser sepanjang ulir

Tegangan geser pada sekrup (τ_s) diperoleh

dengan menggunakan hubungan: $\tau_s = \frac{P}{\pi \cdot d_c \cdot b \cdot n}$

Dimana:

P = beban maksimum

b = lebar ulir

n = jumlah ulir

Tegangan geser pada mur adalah: $\tau_n = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot b \cdot n}$

Dimana: d adalah diameter center

b. Tegangan dikarenakan beban eksternal

Pengaruh beban eksternal menyebabkan timbulnya: tegangan tarik, tegangan geser, atau disebabkan karena Tegangan kombinasi keduanya.

1. Tegangan tarik

Baut biasanya membawa beban searah sumbu baut yang mengakibatkan tegangan tarik pada baut. Jika dc = diameter center, dan σ_t = tegangan tarik yg diijinkan. Beban eksternal

yang diterapkan adalah: $P = \frac{\pi}{4}(d_c)^2 \cdot \sigma_t$ atau

$$d_c = \sqrt{\frac{4P}{\pi \cdot \sigma_t}}$$

Jika sambungan menggunakan n baut, maka:

$$P = \frac{\pi}{4}(d_c)^2 \cdot \sigma_t \cdot n$$

2. Tegangan geser

Kadang-kadang, baut digunakan untuk mencegah gerakan relatif dari dua atau lebih bagian, seperti dalam kasus kopling flens, sehingga menyebabkan tegangan geser pada baut. Tegangan geser ini sedapat mungkin untuk dihindari. Jika d = diameter mayor baut dan n = Jumlah baut.

Beban geser yang dialami oleh baut adalah:

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot d_c^2 \cdot \tau \cdot n \text{ atau } d = \sqrt{\frac{4 \cdot P_s}{\pi \cdot \tau \cdot n}}$$

Dapat juga dicari dengan $P_s = \frac{T}{R_p}$

Dimana T = Torsi

3. Tegangan Kombinasi

Hubungan antara tegangan tarik dengan tegangan geser adalah: Tegangan geser

$$\text{maksimum: } \tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_t)^2 + 4\tau^2}$$

Tegangan tarik maksimum:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_t}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_t)^2 + 4\tau^2}$$

c. Kombinasi Tegangan dan Geser

Apabila terjadi kombinasi beban internal dan eksternal, maka beban tersebut dijumlahkan sesuai dengan arahnya yang menyebabkan terjadinya tegangan masing-masing.

BAB 4
SAMBUNGAN SUSUT

4.1. Pengertian Sambungan Susut

Sambungan susut merupakan sambungan dengan sistem suaian paksa (*Interference fits, Shrink fits, Press fits*) banyak digunakan di Industri dalam perancangan rakitan antar komponen pada mesin dan peralatan serta untuk tindakan perbaikan komponen berputar. Pemakaian sistem suaian paksa bertujuan untuk mentranfer torsi/daya dan menahan gaya aksial.

Sambungan Susut, atau sambungan paksa dibuat untuk mengalihkan tegangan tarik akibat suhu, kelembaban, gesekan sehingga akan mencegah retak. Jika sambungan susut tidak dipasang, maka akan terjadi retak acak pada permukaan sambungan. Prinsip dari sambungan ini adalah dengan cara memperlemah salah satu bidang yang akan disambung. Sambungan ini dilakukan dengan menggunakan sifat logam yaitu dapat diperpanjang dan diperpendek (disusutkan) dengan jalan dipanaskan atau didinginkan. Sambungan susut termasuk sambungan mati atau tidak dapat dilepas lagi tanpa menggunakan alat-alat khususnya, berbeda dengan sambungan-sambungan lainnya, maka sambungan susut tidak menggunakan tambahan benda seperti baut dan paku keling.

4.2. Aplikasi Sambungan Susut

Pemakaian sambungan susutan telah banyak digunakan pada berbagai konstruksi elemen mesin. Pemilihan sambungan susutan pada konstruksi mesin

dipengaruhi oleh beberapa hal misalnya penggunaan sambungan dengan metode pengelasan tidak mungkin diterapkan atau mungkin karena faktor ekonomis.

Sebagai contoh, untuk mendapatkan roda kereta api yang kualitasnya baik harus digunakan bahan yang baik pula. Secara ekonomis dibutuhkan biaya yang sangat besar untuk mendapatkannya. Hal itu bisa ditekan dengan menggunakan dua jenis bahan yang berbeda kualitasnya, di mana bahan untuk roda luar dipakai yang kualitasnya baik (misalnya *steel*) sedang roda bagian dalam dipakai bahan yang kualitasnya tidak sebaik roda luar (misalnya *cast iron*).

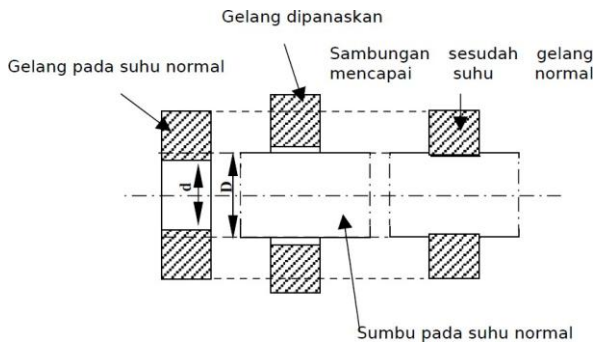
Proses penyambungan kedua bahan menggunakan sambungan susutan di mana roda luar dipanaskan pada suhu tertentu (tidak sampai merusak karakter bahan baik secara fisik maupun struktur mikro) yang biasanya menggunakan oli panas atau pemanasan di dalam gas atau dengan tungku listrik. Setelah pemanasan selesai roda bagian dalam (tidak dipanaskan) dimasukkan pada roda luar, kemudian dibiarkan mendingin bersama-sama. Aplikasi lainnya antara lain: Pemasangan roda gigi, Flens, Pemasangan dinding silinder, Soket pada batang-batang sepeda, dll.

4.3. Jenis Sambungan Susut

Menurut proses pengerjaannya, sambungan susut terbagi menjadi dua macam sambungan penyusutan, yaitu:

4.3.1. Dengan Pemanasan

Perubahan suhu akan mempengaruhi ukuran-ukuran sebuah benda. Seperti sebuah gelang (*ring*) akan dipasang pada sebuah poros dengan cara penyusutan, maka lubang pada gelang harus sedikit lebih kecil dari porosnya. Kemudian gelang dipanasi sehingga lubangnya mencapai diameter sedikit lebih besar dari diameter poros. Dalam keadaan ini gelang lalu dipasang di tempat yang telah ditetapkan. Bila gelang sudah dingin lubangnya akan menjadi lebih kecil menyusut dan mengencet porosnya sehingga terjadilah sambungan yang dikehendaki.

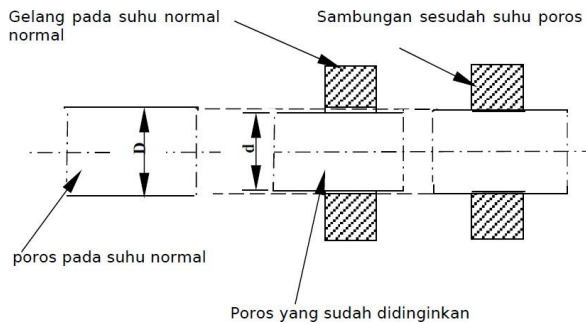


Gambar 4.1. Benda dengan perlakuan panas

4.3.2. Dengan Pendinginan

Poros didinginkan sehingga terjadi penyusutan. Dalam keadaan dingin poros lalu dimasukkan kedalam lubang gelang. Sewaktu suhu poros kembali pada suhu

semula, ia akan kembali membesar dan menghimpit lubang tersebut.



Gambar 4.2 Benda dengan perlakuan dingin

Pada penyusutan dingin, pendinginan itu sering kali dilakukan dalam penangas aseton, dimana dimasukkan asam-arang padat. Aseton adalah zat-cair yang juga tinggal cair pada suhu yang rendah (sampai -94°C). Oleh karena asam-asam ini mempunyai suhu hingga -78°C , benda kerja dapat didinginkan dalam waktu yang tidak terlalu lama sampai kira-kira -65°C . Kerugian penyusutan dingin ini ialah, bahwa beda suhu yang dicapai sangat kecil, sehingga kita tidak selalu mendapat sambungan yang kuat. Kerugian yang kedua dari penyusutan dingin ini ialah, bahwa pada alat bagian yang dingin itu berbentuk es, sebab uap dari sekelilingnya mengembun dan membeku pada bidang yang dingin itu. Kualitas sambungan penyusutan pertama kali tergantung dalam menentukan ukuran penyusutan yang seharusnya. Yang dimaksud dengan

ukuran penyusutan adalah selisih ukuran lubang dengan benda kerja yang akan dimasukkan kedalam lubang itu.

Bila garis tengah poros kita misalkan D , dan garis tengah lubang = d diukur pada suhu yang normal. Maka ukuran penyusutan adalah $= D - d$. Ukuran penyusutan yang terlampau kecil, tidak akan memberikan sambungan yang kuat, sedangkan ukuran penyusutan yang terlampau besar, mengakibatkan tegangan bahan terlalu tinggi hingga mengakibatkan salah satu bagian menjadi patah. Biasanya untuk menentukan ukuran penyusutan, kita gunakan daftar-daftar, dimana terdapat keterangan-keterangan berdasarkan pengalaman.

Daftar I Ukuran penyusutan untuk alat-alat mesin yang dibebani dengan normal disajikan pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Daftar Ukuran penyusutan untuk alat-alat mesin

Garis tengah dalam mm	Besi tuang	Lunak Baja dan Baja tuang	Keras Baja dan Baja tuang	Beda suhu ⁰ C
	Ukuran penyusutan dalam mm			
28 s/d 40	0,10 - 0,12	0,10 - 0,13	0,10 - 0,12	400 ⁰ -
41 s/d 75	0,13 - 0,14	0,15 - 0,18	0,14 - 0,16	360 ⁰
76 s/d 100	0,14 - 0,15	0,19 - 0,20	0,18 - 0,19	300 ⁰ - 250 ⁰
101 s/d				220 ⁰ -

150 151 s/d 175 176 s/d 200				180°
---	--	--	--	------

Bila garis tengah d berukuran lebih dari 200 mm, ukuran penyusutan adalah:

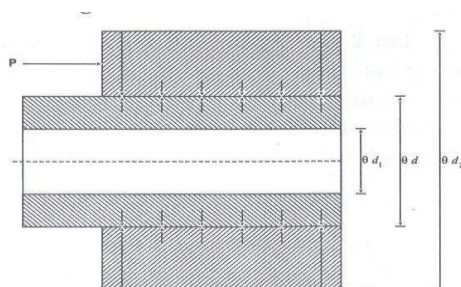
- ❖ Untuk Besi tuang $0,0007.d$
- ❖ Untuk Baja lunak dan Baja tuang $0,00010.d$
- ❖ Untuk Baja keras dan Baja tuang $0,0009.d$

Daftar ini boleh dipakai bila $D \geq 1,6.d$ dan $L = d \text{ s/d } 2d$

4.4. Rumus Sambungan Susut

Pada sambungan susut terjadi beberapa fenomena antara lain tegangan pada benda yang menyusut, panas yang diperlukan, kekuatan sambungan susut dan tahan gesekan.

4.4.1. Tegangan Permukaan



Gambar 4.3 Tegangan permukaan sambungan

Pada permukaan sebuah sambungan paksa atau susut dimana terjadi deformasi plastis, menimbulkan suatu tegangan P , yang besarnya tergantung pada bahan dan ukuran benda yang akan disambung. Adapun rumus regangan adalah: $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$

Dimana:

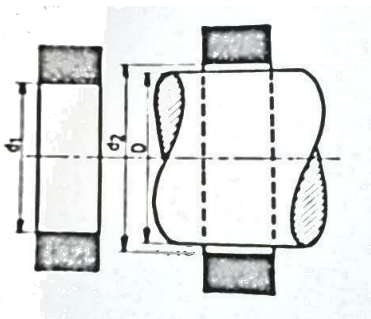
ε = Regangan

σ = Tegangan

E = Elastisitas material

4.4.2. Panas yang Diperlukan

Pada gambar di bawah ini, agar dapat dipasang pada D harus dicapai d_2 , untuk mengubah d_1 menjadi d_2 diperlukan panas. Panas yang diperlukan dihitung sebagai berikut:



Gambar 4.4 Penyambungan sambungan susut

Keliling d_2 = keliling d_1 + perpanjangan

$$\pi d_2 = \pi d_1 + \Delta l$$

$$\begin{aligned}\pi d_2 &= \pi d_1 + \pi d_1 \lambda \cdot t \\ &= \pi (d_1 + d_1 \lambda \cdot t) \\ d_2 &= d_1 + d_1 \lambda \cdot t\end{aligned}$$

$$t = \frac{d_2 - d_1}{d_1 \lambda}$$

Dimana:

Δl = perpanjangan

λ = koefisien perpanjangan $\pm 0.000012 \text{ cm}/^\circ \text{C}$

D = diameter poros

t = suhu tambahan $^\circ \text{C}$

d_1 = dia. Sewaktu panas

d_2 = dia. Sewaktu dingin

4.4.3. Kekuatan Sambungan Susut

Pada sambungan susut pasti akan terjadi tekanan antar bidang yang diakibatkan oleh suaian paksa.

Besarnya tekanan bidang tergantung pada jumlah gaya tegang pada penampang sambungan.

$$N = A \cdot P$$

Dimana:

N = Kekuatan sambungan (Kg)

A = Luas Permukaan Sambungan (cm²)

P = Tekanan pada bidang penyambungan
(kg/cm²)

4.4.4. Tahanan Gesekan

Pada sambungan susut diperlukan gesekan untuk menahan kedua benda berpasangan berpindah dari posisi seharusnya/lepas. Adapun tahanan gesekan itu dapat kita peroleh dengan rumus: $W = N \cdot f$

Dimana:

W = tahanan gesekan

N = tekanan normal antara kedua bidang
gesek

f = koefisien gesekan

4.5. Keuntungan dan Kerugian Sambungan Susut

4.5.1. Keuntungan:

- a. Tidak memerlukan bahan tambah dalam proses penyambungan.
- b. Proses penyambungan dapat dilakukan dengan cepat.
- c. Dapat digunakan untuk menyambung bahan dengan spesifikasi atau jenis yang berbeda
- d. Biaya pengerjaan relatif lebih murah

4.5.2. Kerugian:

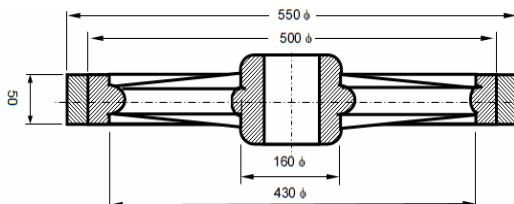
- a. Ukuran permukaan yang akan dilakukan penyambungan harus dibuat seakurat mungkin.
- b. Termasuk sambungan tetap, sehingga membutuhkan usaha yang besar pada saat melepas sambungan.
- c. Tidak dapat digunakan untuk menyambung bahan non logam.
- d. Kerugian sambungan penyusutan dingin:
 - a. Tidak selalu didapat sambungan yang kuat.
Hal ini dikarenakan perubahan yang terjadi pada saat benda didinginkan relatif kecil, sehingga pada saat benda kembali pada temperatur normal perubahan ukuran benda juga kecil sehingga benda tidak dapat menempel dengan kuat pada benda yang akan disambungkan.
 - b. Terdapat lapisan air/uap pada permukaan sambungan.

Pada alat bagian yang dingin itu berbentuk es, sebab uap dari sekelilingnya mengembun dan membeku pada bidang yang dingin.

- e. Kerugian sambungan penyusutan panas:
 - a. Diperlukan ketepatan suhu agar tidak merubah struktur dan bentuk dari material yang dipanaskan.
 - b. Terkadang menimbulkan bekas hasil pemanasan pada benda kerja

Contoh Soal.

Diketahui suatu gelang dipanaskan dan selanjutnya akan dipasangkan disekitar roda dengan cara dipanaskan. Setelah dingin maka gelang itu mengalami penyusutan dan garis tengahnya lebih besar dari garis tengah semula. Ini berarti pada bahan itu mengalami tegangan tarik. Dalam keadaan ini tegangan tarik tidak boleh lebih besar dari $6000 : 3 = 2,000 \text{ Kg/cm}^2$. Jika modulus elastisitasnya adalah $2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$, maka Regangan yang terjadi, Suhu pemanasan jika koefisien baja 60 rata-rata $0,000012$, Kekuatan sambungan penyusutan, Tahanan gesekan.



Penyelesaian:

Setelah gelang itu dipanaskan selanjutnya dipasangkan disekitar roda dan ia akan menyusut. Setelah dingin maka gelang itu mengalami penyusutan dan garis tengahnya lebih besar dari garis tengah semula. Ini berarti pada bahan itu mengalami tegangan tarik. Dalam keadaan ini tegangan tarik tidak boleh lebih besar dari $6000:3 = 2000 \text{ kg/cm}^2$. Untuk mencari nilai regangan gelang yang disusutkan didapatkan dengan rumus:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Dimana:

$$\sigma = 2000 \text{ kg/cm}^2.$$

$$E = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2.$$

Regangan yang terjadi.

Bila kita umpamakan garis tengah sebelah dalam itu adalah 500 mm dalam keadaan regang dan garis tengah asal x mm, maka:

$$500 = X + \frac{1}{1050} \cdot X$$

$$500 = \frac{1050}{1050} \cdot X + \frac{1}{1050} \cdot X$$

$$500 = \frac{1051}{1050} \cdot X \cdot 50$$

$$X = \frac{1050 \times 50}{1051} = 499,52 \text{ mm}$$

Maka, ukuran penyusutan = $500 - 499,52 = 0,48$ mm
 Sekarang bila kita hendak memasukkan ban itu sedemikian rupa, sehingga ia dapat dipasang pada keping itu dengan ruang main sebesar 0,3 mm. Maka dalam keadaan dipanaskan, harus mempunyai garis tengah sebelah dalam 500,3 mm. Maka besarnya pemuaian sebesar: $500,3 - 499,52 = 0,78$ mm.

Suhu pemanasan jika koefisien baja 60 rata-rata 0,000012.

Untuk mencari suhu pemanasan yang dibutuhkan, didapatkan dari: $0,78 = 499,52 \times 0,000012 \times t$, dimana koefisien-muai untuk baja-60 rata-rata adalah 0,000012, diperoleh nilai t sebesar:

$$t = \frac{0,78}{499,52 \times 0,000012} = \pm 130^{\circ} \text{C}$$

Bila roda itu kita lakukan pemasangan pada suhu 25 °C, maka gelang itu harus dipanaskan sampai: ± 155 °C.

Kekuatan sambungan penyusutan.

Oleh karena ban itu dipasang disekitar roda, maka antara ban dan roda terjadi tekanan bidang. Besarnya tekanan bidang tergantung pada jumlah gaya tegang pada penampang ban. Luas penampang A-B ban sama dengan: $2 \times 5 \times 2,5 = 25 \text{ cm}^2$.

Oleh karena pada gelang yang berdinding tipis dapat kita umpamakan bahwa tegangan itu adalah sama seluruh penampang, jadi pada 2000 kg/cm², jumlah gaya pada tiap penampang A-B: $25 \times 2000 = 50.000 \text{ kg}$.

Tekanan bidang p kita dapat dengan:

$$50.000 = D \times p$$

$$50.000 = 50 \times 5 \times p \quad p = 200 \text{ kg/cm}^2$$

Luas seluruh bagian

dalam gelang itu

sama dengan: $A =$

$$\pi \times D \times \text{lebar} = \pi \times$$

$$50 \times 5 = 785 \text{ cm}^2.$$

Jadi jumlah tekanan ban pada roda adalah: $A \cdot p =$

$$785 \times 200 = 157.000 \text{ kg}.$$

Tahanan gesekan.

Untuk dapat menggeser ban itu dan roda, kita harus mengatasi tekanan gesekan antara ban dan roda. Dalam

hal ini gaya normal adalah jumlah tekanan ban pada roda, jadi: $N = 157.000 \text{ kg}$.

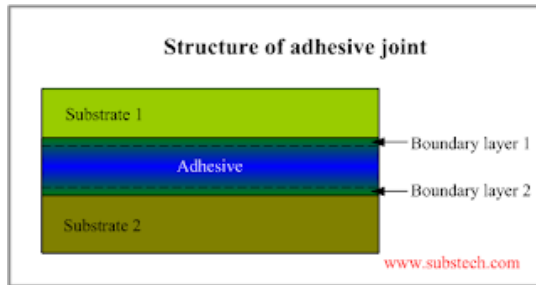
Maka, $W = 157.000 \cdot f$ bila koefisien gesek 0,5 sehingga: $W = 157.000 \cdot 0,5 = 78500 \text{ kg}$.

BAB 5

SAMBUNGAN ADHESIVE

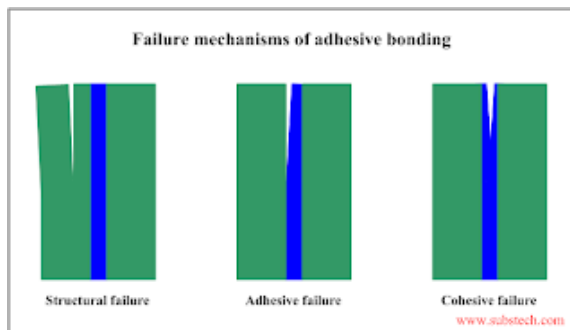
5.1. Pengertian Sambungan Adhesive

Sambungan adhesive atau ikatan perekat adalah proses penyambungan bahan yang sama atau bahan yang berbeda baik logam maupun bukan logam dengan zat perekat, bahan dari bagian yang akan direkat. Bahan lapisan perekat umumnya adalah polimer (alami atau sintesis) dan ketebalan lapisan perekat biasanya tidak melebihi 0,02" atau 0,5 mm. Adhesive adalah suatu bahan yang digunakan untuk menyatukan atau menyambungkan suatu bahan yang sama ataupun berbeda jenis materialnya, baik itu logam dengan logam, logam dengan kayu, logam dengan karet dan sebagainya. Sambungan adhesive adalah penyambungan suatu bahan baik sama maupun berbeda jenis materialnya dengan memanfaatkan kontak permukaan ditambah adhesive (lem) sebagai media penyambungannya. Struktur sambungan perekat menurut Dr. Dimitri Kopeliovich (2014)



Gambar 5.1 Struktur Sambungan Perekat

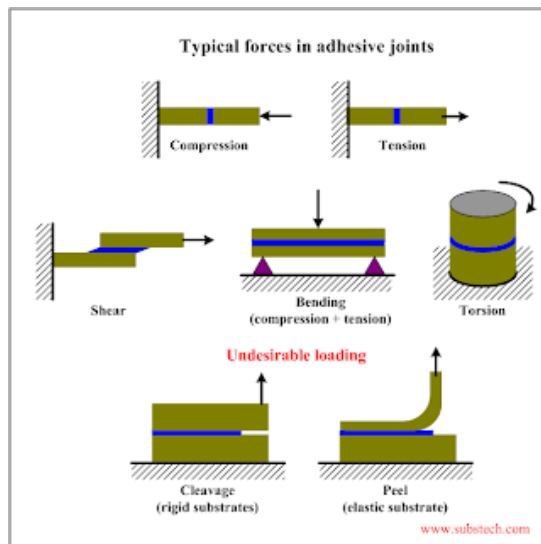
Faktor-faktor yang menentukan kekuatan ikatan perekat adalah faktor mekanis menyediakan ikatan adhesi yang kuat karena muka yang lebih luas dan interlocking bahan pada permukaan micro-void. Sedangkan faktor kimia biasanya ikatan ion dan ikatan kimia. Untuk kegagalan ikatan perekat adalah kegagalan struktur, kegagalan perekat, dan kegagalan kohesive.



Gambar 5.2 Kegagalan Sambungan Perekat

5.2. Tipe Beban Yang Dapat Diterapkan Pada Sambungan Adhesive

Tipe beban yang dapat diterapkan pada sambungan adhesive dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.3 Tipe Beban Pada Sambungan Adhesive

5.3. Keuntungan Sambungan Adhesive

Keuntungan dan kerugian sambungan adhesive dibandingkan dengan sambungan yang lain. Keuntungan sambungan adhesive adalah:

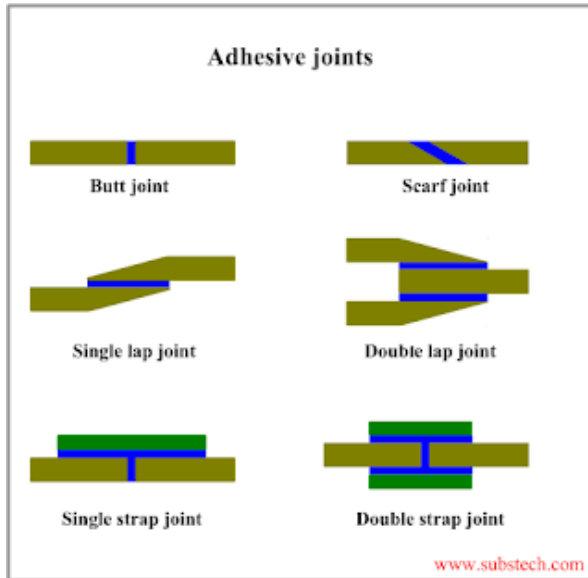
- a. Dapat menyambung bahan yang sejenis maupun berbeda, seperti: logam dengan logam, logam dengan kayu, logam dengan karet dan sebagainya.

- b. beban yang diterima merata.
- c. Tidak mengalami konsentrasi tegangan.
- d. Isolator terhadap panas dan listrik.
- e. Pengerjaan pada suhu rendah.
- f. Pengerjaan tidak merudak permukaan.
- g. Tidak terjadi korosi.
- h. Penyesuaikan diri terhadap pemuaian.
- i. Mudah dan murah.
- j. tidak menambah berat/Volume.terutama untuk perancangan pesawat terbang.
- k. kedap gas dan cairan

Sedangkan kerugian sambungan adhesive dibandingkan sambungan lainnya, adalah:

- a. Kemampuan menahan beban bengkok, kejut dan kupas rendah.
- b. Kemampuan untuk menahan panas terbatas.
- c. Kurang tahan terhadap beban berganti.
- d. Memerlukan penanganan awal untuk benda yang akan direkat.
- e. Waktu pendinginan dan pemanasan memerlukan waktu yang cukup lama hingga adhesive benar benar mengikat,terutama pada suhu yang tergolong panas.
- f. Harus memperhitungkan kontak permukaan yang cukup.
- g. Sukar dalam pengujian non-destruktif (pengujian kerusakan bahan)

5.4. Tipe Tipe Sambungan Adhesive



Gambar 5.4 Tipe Sambungan Adhesive

5.5. Proses Perekatan

Untuk memperoleh hasil sambungan yang optimal diperlukan persiapan dan penanganan yang serius pada bahan yang akan dilem/direkat. Adapun tahap-tahap perekatan yang umum adalah sebagai berikut:

1. Pembersihan:

Bidang kontak harus bebas dari segala macam kotoran, debu, karat, lemak, dan lain-lain. Khusus untuk lemak dapat dihilangkan dengan larutan pembersih seperti: Aceton, Trichlor, Thinner, dan sebagainya atau bahan pencuci seperti larutan alkali.

2. Pengerjaan Permukaan:

Hal ini dilakukan untuk meningkatkan mutu dan kekuatan rekat. Bidang kontak disikat, digerinda, disemprot pasir.

3. Pelapisan/Pemberian Bahan Perekat

Bahan perekat dilapiskan dengan tipis dan merata pada permukaan bahan yang akan direkat. Kemudian kedua permukaan ditempelkan dan tidak diperbolehkan bergeser sedikitpun.

4. Penekanan.

Untuk tahap ini tergantung dari jenis bahan perekatnya. Ada yang langsung ditempel setelah pelapisan, dan ada yang harus menunggu beberapa saat sebelum ditempelkan. Permukaan yang ditempelkan harus mendapat penekanan yang merata untuk memperoleh kekuatan rekat yang baik. Penekanan dapat dilakukan dengan cara: dicekam/diklem dengan ragum atau alat pencekam lainnya.

5. Waktu pendinginan

Pada proses perekatan, semua bahan perekat memerlukan waktu pendinginan tertentu untuk pengikatan. Hal ini juga tergantung jenis bahan perekat. Pada perekatan panas, waktu pendinginan dan pengikatan saling berkaitan. Untuk mendapatkan pengikatan yang kuat diperlukan waktu yang cukup.

5.6. Perhitungan Sambungan Adhesive

5.6.1. Kekuatan Kohesive

Kekuatan kohesive berhubungan dengan gaya yang bekerja dan luas sambungan yang dihitung dengan

$$\text{rumus: } \text{Tegangan} = \frac{\text{gaya}}{\text{luas}} \text{ atau } t_g = \frac{F}{A}$$

Dimana:

T_g = Tegangan geser

F = Gaya

A = luas

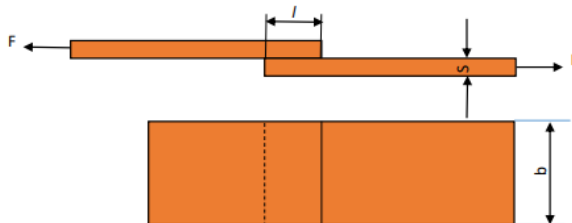
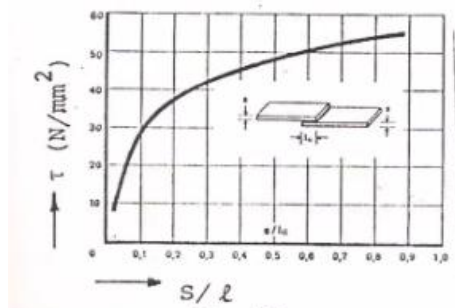


Diagram dibawah ini menunjukkan hubungan antara tegangan kohesi dengan lebar komponen dan panjang sambungan. Dimana : l = panjang sambungan (mm), b = lebar sambungan (mm), F = Gaya (N), S = tebal komponen (mm)



5.6.2. Kekuatan Membuka

Kekuatan membuka pada sambungan menahan gaya yang bekerja. Kekuatan membuka adalah gaya yang bekerja dibagi dengan luas sambungan, yaitu: $\sigma = \frac{F}{A}$

Dimana:

σ = Kekuatan membuka

F = Gaya

A = Luas

DAFTAR PUSTAKA

- Armanto, B. (2014). *Sambungan elemen mesin*. Politeknik Negeri Jakarta.
- Dieter, G. E. (1983). *Engineering design: A materials and processing approach*. McGraw-Hill International Book Company.
- Fitriansyah, A. (2014). *Modul sambungan, teknik mesin produksi*. Politeknik Negeri Jakarta.
- Graham, E. (1990). *Maintenance welding*. Prentice-Hall Inc.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (1982). *Text books of machine design*. Eurasia Publishing House (Pvt) Ltd.
- Kopeliovich, D. (2014, May 3). *Fundamentals of adhesive bonding*. Retrieved April 4, 2015, from http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=fundamentals_of_adhesive_bonding
- Nur, R., & Suyuti, M. A. (2017). *Perancangan mesin-mesin industri*. Deepublish.
- Djamiko, R. D. (2008). *Modul teori pengelasan logam*. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Smith, F. J. M. (1992). *Basic fabrication and welding engineering*. Wing Tai Cheung Printing Co. Ltd.
- Widiyanto, & Yogaswara, E. (2013). *Elemen mesin*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Zainun, A. (2006). *Elemen mesin 1*. PT Refika Aditama.

