

BAB 3 SAMBUNGAN PAKU KELING

Paku keling (rivet) digunakan untuk sambungan tetap antara 2 plat atau lebih misalnya pada tangki dan boiler.

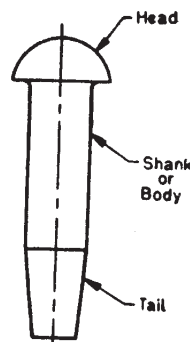
Paku keling dalam ukuran yang kecil dapat digunakan untuk menyambung dua komponen yang tidak membutuhkan kekuatan yang besar, misalnya peralatan rumah tangga, furnitur, alat-alat elektronika, dll.

Sambungan dengan paku keling sangat kuat dan tidak dapat dilepas kembali dan jika dilepas maka akan terjadi kerusakan pada sambungan tersebut.

Karena sifatnya yang permanen, maka sambungan paku keling harus dibuat sekuat mungkin untuk menghindari kerusakan/patah.

Bagian utama paku keling adalah :

- Kepala
- Badan
- Ekor
- Kepala lepas



Gambar 1. Skema Paku Keling

Jenis kepala paku keling antara lain adalah sebagai berikut :

- a. Kepala paku keling untuk penggunaan umum dengan diameter kurang dari 12 mm
- b. Kepala paku keling untuk penggunaan umum dengan diameter antara (12 – 48) mm
- c. Kepala paku keling untuk boiler atau ketel uap /bejana tekan : diameter (12 – 48) mm

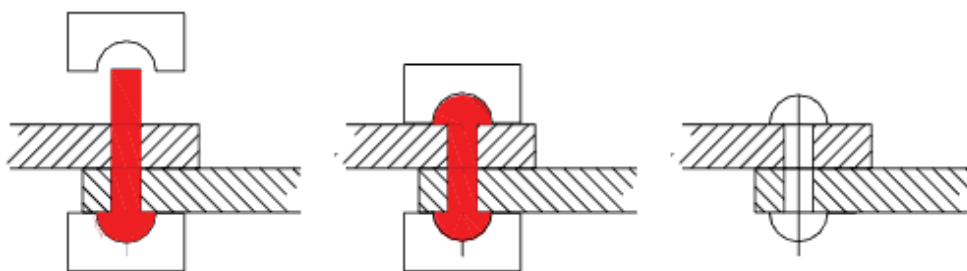
Bahan paku keling

yang biasa digunakan antara lain adalah **baja, brass, aluminium, dan tembaga** tergantung jenis sambungan/beban yang harus diterima oleh sambungan.

Penggunaan umum bidang mesin : ductile (low carbon), steel, wrought iron.

Penggunaan khusus : weight, corrosion, or material constraints apply : copper (+alloys) aluminium (+alloys), monel, dll.

1. Cara Pemasangan



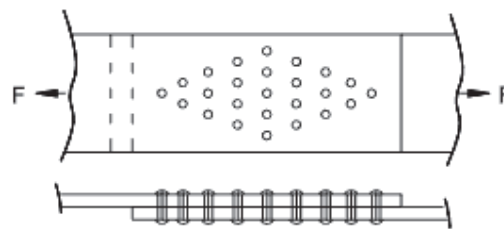
Gambar 2. Cara Pemasangan Paku Keling

- Plat yang akan disambung dibuat lubang, sesuai diameter paku keling yang akan digunakan. Biasanya diameter lubang dibuat 1,5 mm lebih besar dari diameter paku keling.
- Paku keling dimasukkan ke dalam lubang plat yang akan disambung.
- Bagian kepala lepas dimasukkan ke bagian ekor dari paku keling.
- Dengan menggunakan alat/mesin penekan atau palu, tekan bagian kepala lepas masuk ke bagian ekor paku keling dengan suaian paksa.
- Setelah rapat/kuat, bagian ekor sisa kemudian dipotong dan dirapikan/ratakan
- Mesin/alat pemasang paku keling dapat digerakkan dengan udara, hidrolik atau tekanan uap tergantung jenis dan besar paku keling yang akan dipasang.

2. Tipe Pemasangan Paku Keling

a. Lap joint

Pemasangan tipe *lap joint* biasanya digunakan pada plat yang *overlaps* satu dengan yang lainnya.

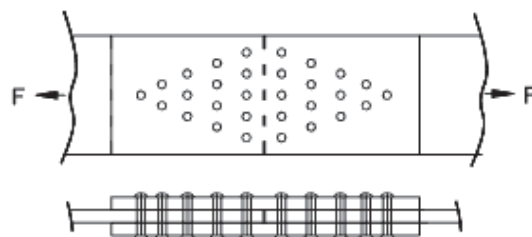


- single riveted lap joint*
- double riveted lap joint*
- zig zag riveted lap joint.*

Gambar 3. Cara Pemasangan Lap Joint

b. Butt joint

Tipe *butt joint* digunakan untuk menyambung dua plat utama, dengan menjepit menggunakan 2 plat lain, sebagai penahan (*cover*), di mana plat penahan ikut dikeling dengan plat utama. Tipe ini meliputi *single strap butt joint* dan *double strap butt joint*.



Gambar 4. Cara Pemasangan Butt Joint

3. Terminologi Sambungan Paku Keling

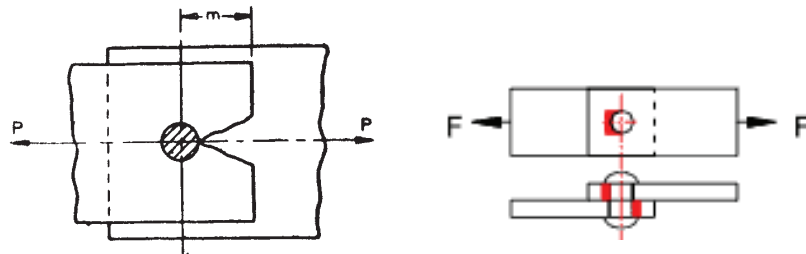
- Pitch (p)** : jarak antara pusat satu paku keling ke pusat berikutnya diukur secara paralel.
- Diagonal pitch (p_d)** : jarak antara pusat paku keling (antar sumbu lubang paku keling) pada pemasangan secara zig – zag dilihat dari lajur/baris/row.
- Back pitch (p_b)** : jarak antara sumbu lubang kolom dengan sumbu lubang kolom berikutnya.
- Margin (m)** : jarak terdekat antara lubang paku keling dengan sisi plat terluar.

4. Kerusakan Sambungan Paku Keling

Kerusakan yang dapat terjadi pada sambungan paku keling akibat menerima beban adalah sebagai berikut :

a. *Tearing of the plate at an edge*

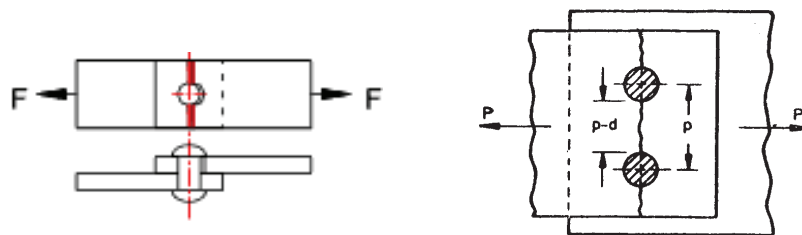
Robek pada bagian pinggir dari plat yang dapat terjadi jika margin (m) kurang dari $1,5 d$, dengan d : diameter paku keling.



Gambar 5. Kerusakan *Tearing* Sejajar Garis Gaya

b. *Tearing of the plate a cross a row of rivets*

Robek pada garis sumbu lubang paku keling dan bersilangan dengan garis gaya.



Gambar 6. Kerusakan *Tearing* Bersilangan Garis Gaya

Jika :

p adalah *pitch*

d : diameter paku keling,

t : tebal plat

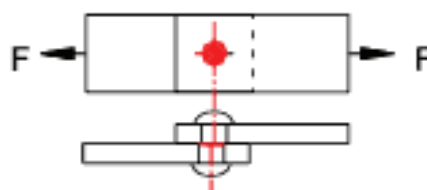
σ_t : tegangan tarik ijin bahan, maka :

- A_t : luas bidang *tearing* = $(p - d) \cdot t$
- *Tearing resistance per pitch length* :

$$F_t = \bar{\sigma}_t \cdot A_t = \bar{\sigma}_t (p - d) t$$

c. *Shearing of the rivets*

Kerusakan sambungan paku keling karena beban geser.



Gambar 7. Kerusakan *Shearing* Sambungan Paku Keling

Jika :

d : diameter paku keling,

$\bar{\tau}$: tegangan geser ijin bahan paku keling

n : jumlah paku keling per panjang *pitch*,

1. *Single shear* (geseran tunggal)

- Luas permukaan geser $A = \pi/4 \cdot d^2$
- Gaya geser maksimum $F_s = \pi/4 \cdot d^2 \cdot \bar{\tau} \cdot n$

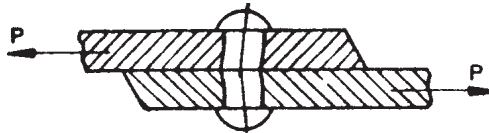
2. *Double shear theoretically* (geseran ganda teoritis)

- $A = 2 \cdot \pi/4 \cdot d^2$
- $F_s = 2 \cdot \pi/4 \cdot d^2 \cdot \bar{\tau} \cdot n$

3. *Double shear actual*

- $A = 1.875 \times \pi/4 \cdot d^2$
- $F_s = 1.875 \times \pi/4 \cdot d^2 \cdot \bar{\tau} \cdot n$

d. Crushing of the rivets



Gambar 8. Kerusakan *Crushing* Sambungan Paku Keling

Jika

d : diameter paku keling,

t : tebal plat,

$\bar{\sigma}_c$: tegangan geser ijin bahan paku keling

n : jumlah paku keling per *pitch length* :

- Luas permukaan *crushing* per paku keling $A_c = d \cdot t$
- Total *crushing* area $A_{c \text{ tot}} = n \cdot d \cdot t$
- Tahanan *crushing* maksimum $F_c = n \cdot d \cdot t \cdot \bar{\sigma}_c$

5. Efisiensi Paku Keling

Efisiensi dihitung berdasarkan perbandingan kekuatan sambungan dengan kekuatan *unriveted*. Kekuatan sambungan paku keling tergantung pada F_t , F_s , F_c dan diambil harga yang terkecil.

- ❖ Kekuatan *unriveted*, $F = p \cdot t \cdot \bar{\sigma}_t$
- ❖ Efisiensi sambungan paku keling

$$\eta = \frac{\text{least of } F_t, F_s, F_c}{p \cdot t \cdot \bar{\sigma}_t}$$

dengan F_t , F_s , F_c diambil yang terkecil

p : *pitch*

t : tebal plat

$\bar{\sigma}_t$: tegangan tarik ijin bahan plat

Tabel 1. Harga Efisiensi Sambungan Paku Keling

No.	Lap Joint	η (%)	Butt Joint	η (%)
1.	Single riveted	45 - 60	Single	55 - 60
2.	Double riveted	63 - 70	Double	70 - 83
3.	Triple riveted	72 - 80	Triple Quadruple	80 - 90 85 - 94

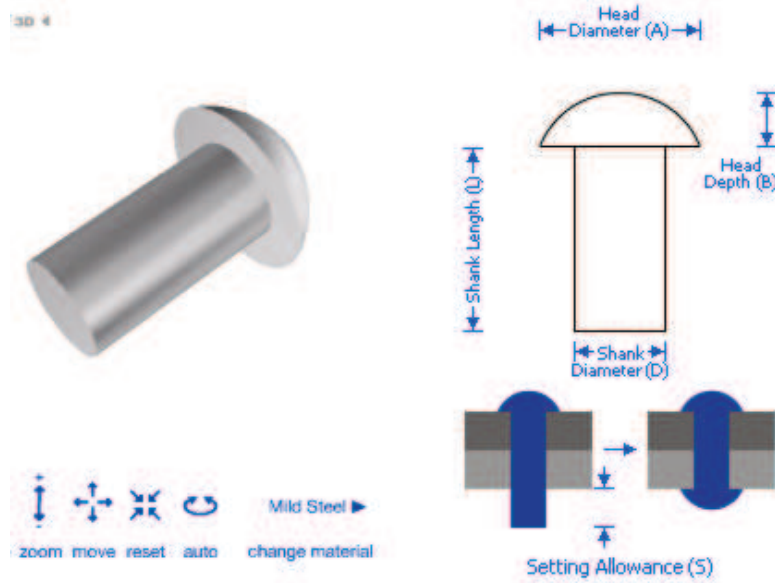
Tabel 2. Diameter Paku Keling Standard

Diameter Paku Keling (mm)	Diameter Lubang Paku Keling (mm)
12	13
14	15
16	17
18	19
20	21
22	23
24	25
27	28,5
30	31,5
33	34,5
36	37,5
39	41
42	44
48	50

Contoh bentuk-bentuk paku keling



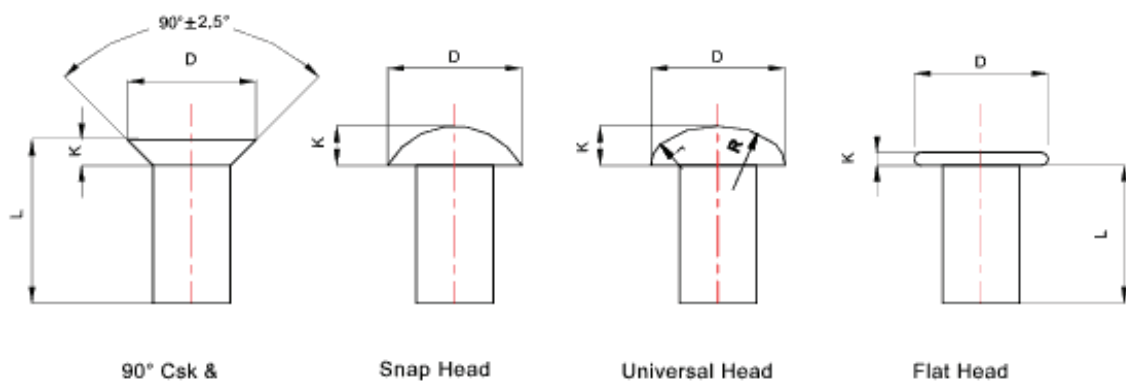
Contoh standar paku keling



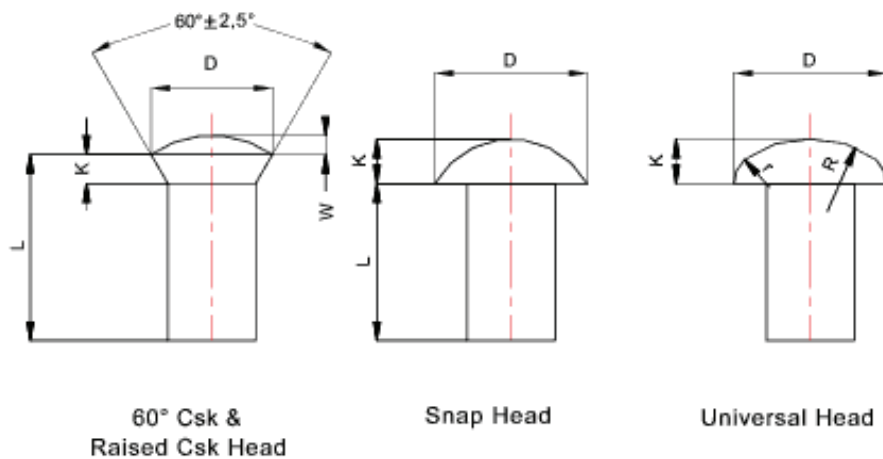
Shank Diameter		Head Diameter		Head Depth		Length	Setting Allowance
Nominal D	Tolerance	Nominal A=1.75D	Tolerance	Nominal B=0.6D	Tolerance	Tolerance L	S=1.063D
1	0.93 / 1.07	1.8	1.60 / 2.00	0.6	0.60 / 0.80	+0.5	1.06
1.2	1.13 / 1.27	2.1	1.90 / 2.30	0.7	0.70 / 0.90	+0.5	1.28
1.6	1.53 / 1.67	2.8	2.60 / 3.00	1.0	1.00 / 1.20	+0.5	1.70
2	1.93 / 2.07	3.5	3.26 / 3.74	1.2	1.20 / 1.44	+0.5	2.13
2.5	2.43 / 2.57	4.4	4.16 / 4.64	1.5	1.50 / 1.74	+0.5	2.66
3	2.93 / 3.07	5.3	5.06 / 5.54	1.8	1.80 / 2.04	+0.5	3.19
3.5	3.41 / 3.59	6.1	5.81 / 6.39	2.1	2.10 / 2.39	+0.5	3.72
4	3.91 / 4.09	7.0	6.71 / 7.29	2.4	2.40 / 2.69	+0.5	4.25
5	4.91 / 5.09	8.8	8.51 / 9.09	3.0	3.00 / 3.29	+0.5	5.32
6	5.91 / 6.09	10.5	10.15 / 10.85	3.6	3.60 / 3.95	+0.5	6.38
7	6.89 / 7.11	12.3	11.95 / 12.65	4.2	4.20 / 4.55	+0.8	7.44
8	7.89 / 8.11	14.0	13.65 / 14.35	4.8	4.80 / 5.15	+0.8	8.50
10	9.89 / 10.11	18.0	17.58 / 18.42	6.0	6.00 / 6.42	+0.8	10.63
12	11.86 / 12.14	21.0	20.58 / 21.42	7.2	7.20 / 7.62	+0.8	12.76
14	13.86 / 14.14	25.0	24.58 / 25.42	8.4	8.40 / 8.82	+1.0	14.88
16	15.86 / 16.14	28.0	27.58 / 28.42	9.6	9.60 / 10.02	+1.0	17.01

There is no negative tolerance on Head Depth and Shank Length.
It is normal to have a radius under the head, but no dimensions are specified.

Dimensi paku keling



Nominal Shank dia	Dia Tol	90 Deg Csk	Snap Hd		Universal Hd				Flat Head	
		Nom dia	Nom dia	Nom Depth	Nom dia	Nom Depth	Rad	Rad	Nom dia	Nom Depth
		D	D	K	D	K	R	r	D	K
1	+/- 0,07	2	1,8	0,6	2	0,4	3,0	0,6	2	0,25
1,2	+/- 0,07	2,4	2,1	0,7	2,4	0,5	3,6	0,7	2,4	0,3
1,6	+/- 0,07	3,2	2,8	1,0	3,2	0,6	4,8	1,0	3,2	0,4
2,0	+/- 0,07	4	3,5	1,2	4	0,8	6,0	1,2	4	0,6
2,5	+/- 0,07	5	4,4	1,5	5	1	7,5	1,5	5	0,8
3	+/- 0,07	6	5,3	1,8	6	1,2	9,0	1,8	6	0,9
3,5	+/- 0,09	7	6,1	2,1	7	1,4	10,5	2,1	7	1,0
4	+/- 0,09	8	7	2,4	8	1,6	12	2,4	8	1,3
5	+/- 0,09	10	8,8	3,0	10	2,0	15	3,0	9	1,5
6	+/- 0,09	12	10,5	3,6	12	2,4	18	3,6	10	1,8
7	+/- 0,11	14	12,3	4,2	14	2,8	21	4,2	14	2,0
8	+/- 0,11	16	14	4,8	16	3,2	24	4,8	16	2,5
10	+/- 0,11	20	18	6,0	20	4,0	30	6,0	20	
12	+/- 0,14	24	21	7,2	24	4,8	36	7,2		
14	+/- 0,14		25	8,4	28	5,6	42	8,4		
16	+/- 0,14		28	9,6	32	6,4	48	9,6		



Nom Shank dia	Dia Tol	60 Deg Csk & Raised Csk		Snap Hd		Universal Hd			
		Nom dia	Raise Ht	Nom dia	Nom Depth	Nom dia	Nom Depth	Rad	Rad
		D	W	D	K	D	K	R	r
14	+/- 0,43	21	2,8	22	9	28	5,6	42	8,4
16	+/- 0,43	24	3,2	25	10	32	6,4	48	9,6
18	+/- 0,43	27	3,6	28	11,5	36	7,2	54	11,0
20	+/- 0,52	30	4,0	32	13	40	8,0	60	12,0
24	+/- 0,52	33	4,4	36	14	44	8,8	66	13,0
24	+/- 0,52	36	4,8	40	16	48	9,6	72	14,0
27	+/- 0,62	40	5,4	43	17	54	10,8	81	16,0
30	+/- 0,62	45	6,0	48	19	60	12,0	90	18,0
33	+/- 0,62	50	6,6	53	21	66	13,2	99	20
36	+/- 0,62	55	7,2	58	23	72	14,4	108	22
39	+/- 0,62	59	7,8	62	25	78	15,6	117	23

6. Contoh Soal

1. Hitung efisiensi sambungan paku keling jenis *single riveted lap joint* pada plat dengan tebal 6 mm dengan diameter lubang / diameter paku keling 2 cm dan pitch 5 cm dengan asumsi :

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_t &= 1200 \text{ kg/cm}^2 \text{ (bahan plat)} \\ \bar{\tau} &= 900 \text{ kg/cm}^2 \text{ (bahan paku keling)} \\ \bar{\sigma}_C &= 1800 \text{ kg/cm}^2 \text{ (bahan paku keling)}\end{aligned}$$

Jawab :

$$t = 6 \text{ mm} = 0,6 \text{ cm}$$

$$d = 2 \text{ cm}$$

$$\bar{\sigma}_t = 1200 \text{ kg/cm}^2 = 12\,000 \text{ N/cm}^2 \text{ (bahan plat)}$$

$$\bar{\tau} = 900 \text{ kg/cm}^2 = 9\,000 \text{ N/cm}^2 \text{ (bahan paku keling)}$$

$$\bar{\sigma}_C = 1800 \text{ kg/cm}^2 = 18\,000 \text{ N/cm}^2 \text{ (bahan paku keling)}$$

Ketahanan plat terhadap robekan (*tearing*) :

$$\begin{aligned}F_t &= (p - d) \cdot t \cdot \bar{\sigma}_t \\ &= (5 - 2) \cdot 0,6 \cdot 12\,000 = 21\,600 \text{ N}\end{aligned}$$

Shearing resistance of the rivet

$$\begin{aligned}F_s &= \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \bar{\tau} \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (2)^2 \cdot 9000 = 28\,270 \text{ N}\end{aligned}$$

Crushing resistance of the rivet

$$\begin{aligned}F_c &= d \cdot t \cdot \bar{\sigma}_C \\ &= 2 \cdot (0,6) \cdot 18\,000 = 21\,600 \text{ N}\end{aligned}$$

Efisiensi dihitung dari ketahanan yang paling kecil, yaitu ketahanan terhadap *tearing*, F_t atau F_c .

$$F_t = 21\,600 \text{ N}$$

$$F_s = 28\,270 \text{ N}$$

$$F_c = 21\,600 \text{ N}$$

Beban maksimum yang boleh diterima plat :

$$\begin{aligned}F_{\max} &= p \cdot t \cdot \bar{\sigma}_t \\ &= 5 \cdot (0,6) \cdot 12\,000 = 36\,000 \text{ N}\end{aligned}$$

Efisiensi sambungan paku keling :

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{beban terkecil } (F_t, F_s, F_c)}{F_{\max}} = \frac{F_t \text{ atau } F_c}{p \cdot t \cdot \bar{\sigma}_t} \\ &= \frac{21600}{36000} = 0,6 \rightarrow 60\%\end{aligned}$$

2. Hitung efisiensi tipe *double riveted double cover butt joint* pada plat setebal 20 mm, dengan menggunakan paku keling berdiameter 25 mm dan pitch 100 mm.

$$\bar{\sigma}_t = 120 \text{ MPa (bahan plat)}$$

$$\bar{\tau} = 100 \text{ MPa (bahan paku keling)}$$

$$\bar{\sigma}_C = 150 \text{ MPa (bahan paku keling)}$$

Ketahanan plat terhadap robekan (*tearing*) :

$$F_t = (p - d) \cdot t \cdot \bar{\sigma}_t \\ = (100 - 25) (20) (120) = 180\,000 \text{ N}$$

Shearing resistance of the rivet

$$F_s = n \times 2 \times \pi/4 \cdot d^2 \cdot \bar{\tau} \\ = 2 \times 2 \times \pi/4 \cdot (2)^2 (100) = 196\,375 \text{ N}$$

Crushing resistance of the rivet

$$F_c = n \cdot d \cdot t \cdot \bar{\sigma}_c \\ = 2 \times 25 \times 20 \times 150 = 150\,000 \text{ N}$$

Efisiensi dihitung dari ketahanan yang paling kecil, yaitu ketahanan terhadap *tearing*, F_t atau F_c .

$$F_t = 180\,000 \text{ N}$$

$$F_s = 196\,375 \text{ N}$$

$$F_c = 150\,000 \text{ N}$$

Beban maksimum yang boleh diterima plat :

$$F_{\max} = p \cdot t \cdot \sigma_t \\ = 100 \times 20 \times 120 = 240\,000 \text{ N}$$

Efisiensi sambungan paku keling :

$$\eta = \frac{\text{beban terkecil } (F_t, F_s, F_c)}{F_{\max}} \\ = \frac{150\,000}{240\,000} = 0,625 \rightarrow 62,5\%$$

7. Soal Latihan

1. Dua plat dengan tebal 16 mm disambung dengan *double riveted lap joint*. *Pitch* tiap baris paku keling 9 cm. Paku keling dengan diameter 2,5 cm. Tegangan ijin diasumsikan sebagai berikut :

$$\bar{\sigma}_t = 14000 \text{ N/cm}^2 \text{ (bahan plat)}$$

$$\bar{\tau} = 11000 \text{ N/cm}^2 \text{ (bahan paku keling)}$$

$$\bar{\sigma}_c = 24000 \text{ N/cm}^2 \text{ (bahan paku keling)}$$

Hitunglah : efisiensi sambungan paku keling

2. A *Single riveted double cover but joint* digunakan untuk menyambung plat tebal 18 mm. Diameter paku keling 20 mm dan *pitch* 60 mm. Hitung efisiensi sambungan jika:

$$\bar{\sigma}_t = 100 \text{ N/mm}^2 \text{ (bahan plat)}$$

$$\bar{\tau} = 80 \text{ N/mm}^2 \text{ (bahan paku keling)}$$

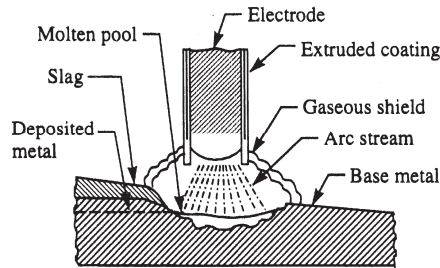
$$\bar{\sigma}_c = 160 \text{ N/mm}^2 \text{ (bahan paku keling)}$$

BAB 4 SAMBUNGAN LAS

Sambungan las (*welding joint*) merupakan jenis sambungan tetap. Sambungan las menghasilkan kekuatan sambungan yang besar.

Proses pengelasan secara umum dibedakan menjadi dua kelompok besar yaitu :

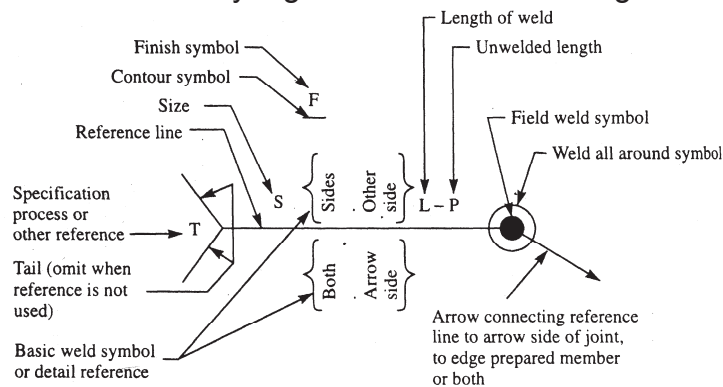
- Las dengan menggunakan panas saja atau *Fusion Welding* (cair/lebur) yang meliputi *thermit welding*, *gas welding* atau las karbit/las asitelin dan *electric welding* (las listrik).
- Las dengan menggunakan panas dan tekanan atau *Forge Welding* (tempa).



Gambar 1. Skema Pengelasan

Cara kerja pengelasan :

- Benda kerja yang akan disambung disiapkan terlebih dahulu mengikuti bentuk sambungan yang diinginkan.
- Pengelasan dilakukan dengan memanaskan material pengisi (penyambung) sampai melebur (mencair).
- Material pengisi berupa material tersendiri (las asitelin) atau berupa elektroda (las listrik).
- Setelah didinginkan maka material yang dilas akan tersambung oleh material pengisi.



Gambar 2. Simbol Pengelasan

S. No.	Desired weld	Representation on drawing
2.	Single V-butt weld – machining finish	
3.	Double V-butt weld	
4.	Plug weld – 30° Groove angle-flush contour	

Gambar 3. Contoh Simbol Pengelasan