

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modernisasi sekarang ini perkembangan hidup manusia semakin meningkat, maka zaman pun ikut berkembang secara dinamis dan pesat. Hal ini menjadikan penggunaan *Stainless* dan logam paduan di dunia industri terus berkembang, menuntut manusia untuk melakukan rekayasa guna memenuhi kebutuhan yang semakin kompleks. Jika diperhatikan, peralatan yang sering digunakan sehari-hari seperti pesawat terbang, kapal, mobil, sepeda, senter, dan suku cadang otomotif banyak yang menggunakan bahan dasar *Stainless* (Surdia dan Shinroku, 1999).

Stainless pada umumnya banyak digunakan pada dunia industri seperti industri makanan, pupuk, dan industri tenaga listrik. Penggunaan *Stainless* yang luas dikarenakan *Stainless* memiliki jangka waktu umur pemakaian yang lama dan ketahanan terhadap korosi yang bagus (Yuan *et al.*, 2015). *Stainless* memiliki kombinasi sifat mekanik yang bagus dan ketahanan terhadap korosi. Sifat seperti itu dikarenakan memiliki kandungan *molybdenum* untuk mencegah korosi karena unsur klorida. Selain itu kandungan karbon yang rendah dapat meningkatkan ketahanan pada korosi batas butir (*intergranular corrosion*) (Desu *et al.*, 2016).

Dalam sebuah komponen material, selain dipersyaratkan aman dengan dimensi yang sesuai, juga harus dipertimbangkan tentang pembuatan, pemasangan, perbaikan dan perawatannya. Oleh karena itu, sebuah konstruksi harus tersusun dari beberapa komponen mekanik yang digabungkan secara

kompak melalui sistem sambungan, misalnya paku keling atau sering disebut keling saja.

Salah satu jenis kegagalan yang terjadi pada komponen material diakibatkan oleh adanya beban dinamis (pembebanan berulang-ulang dan berubah-ubah), kegagalan ini tidak diinginkan karena ciri-ciri akan terjadi kegagalan atau patahnya tidak dapat diketahui secara langsung. Kegagalan ini dimulai dari *crack* terus berkembang hingga terjadi perambatan *crack* sampai kemudian menjadi patah. Diperkirakan 50%-90% kegagalan mekanis disebabkan oleh kelelahan (Tawaf, *et al.*, 2014).

Untuk mengetahui karakteristik material yang dihasilkan maka diperlukan pengujian-pengujian. Salah satu pengujian yang dapat dilakukan yaitu uji daya tarik. Pengujian ini diharapkan dapat memperkirakan kekuatan dan memperoleh data yang dapat digunakan untuk memprediksi ketahanan sebuah material.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah pengelingan yang sering terjadi adalah nilai kekuatan hasil pengelingan yang masih rendah. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu adanya pengujian pengaruh pengelingan dengan variasi rivet yang tepat, guna meningkatkan nilai kekuatan setelah proses pengelingan pada baja Stainless.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah yaitu:

1. Material yang digunakan adalah plat stainless.
2. Variasi pemakuan adalah 3 rivet, 2 rivet dan 1 rivet

3. Pengujian untuk mengetahui kekuatan hasil pengelasan dalam penelitian ini menggunakan uji tarik pada sambungan paku keling.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan uji tarik pada stainless dengan menggunakan paku keeling

1.5 Manfaat Penelitian

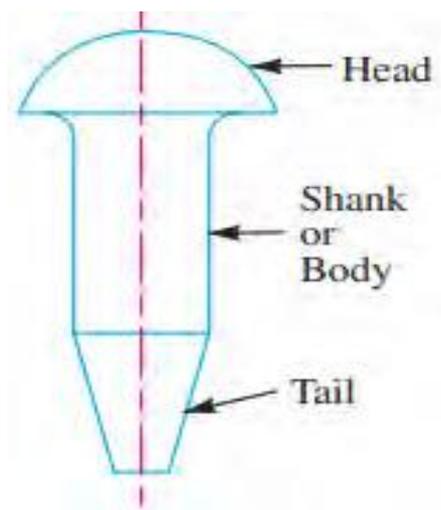
1. Penelitian ini diharapkan bisa dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.
2. Untuk mengetahui langkah-langkah pengujian analisa kekuatan uji tarik pada stainless dengan menggunakan paku keeling.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Paku Keling

Paku keling adalah sebuah batang silindrikal pendek yang memiliki sebuah kepala (*head*) yang menyatu padanya. Bagian silindrikal pada *rivet* disebut dengan *shank* atau *body* dan bagian bawah atau ujungnya disebut dengan *tail*, *Rivet* digunakan untuk menciptakan sambungan permanen antara dua buah pelat. Sambungan *rivet* penggunaannya sangat luas dalam bidang penyambungan metal.



Gambar 2.1 Bagian – bagian paku keling
(Sumber: Khurmi & Gupta, 2005)

Sambungan sendiri dapat diklasifikasikan menjadi 2 kelompok sebagai berikut :

1. Sambungan permanen. Sambungan ini adalah sambungan yang tidak dapat dibongkar tanpa merusak koneksi dari komponen-komponenya. Contoh dari sambungan permanen adalah solder, las, dan sambungan *rivet*.

2. Sambungan sementara atau sambungan dapat dilepas. Sambungan permanen atau sambungan sementara adalah sambungan yang dapat dibongkar tanpa harus merusak komponen-komponen sambungan. Contohnya adalah sambungan mur baut, *cotters*, dan sambungan *splined*.

2.2 Metode Sambungan Paku Keling (*Reveting*)

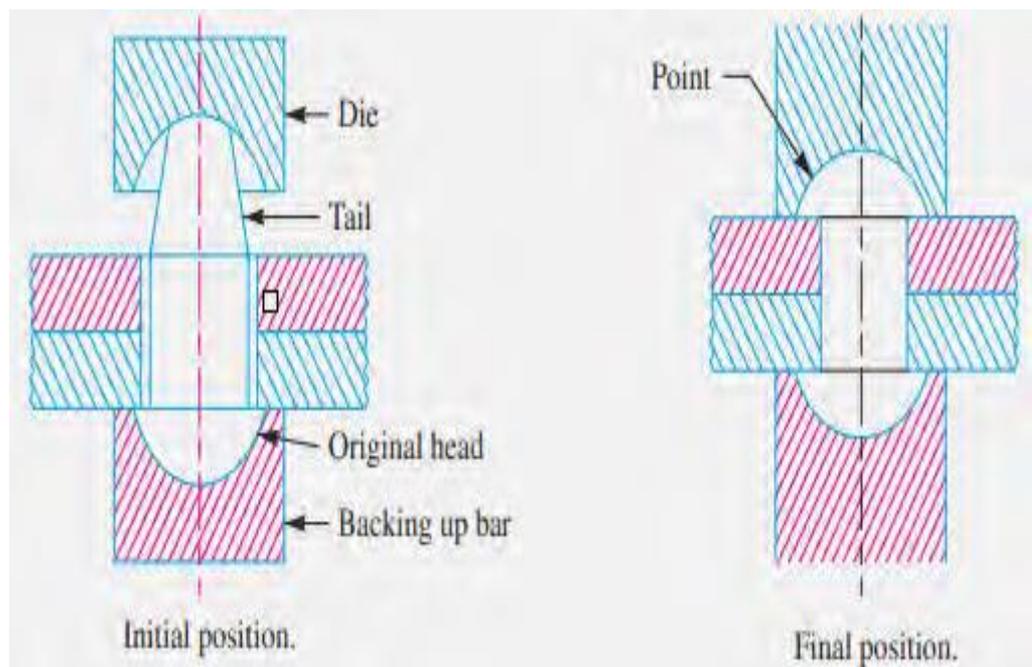
Fungsi dari sambungan *rivet* adalah untuk menciptakan koneksi yang mempunyai kekuatan dan keketatan. Kekuatan dibutuhkan untuk mencegah kegagalan pada sambungan. Keketatan dibutuhkan untuk mencegah kebocoran dan juga sebagai kontribusi terhadap nilai kekuatan sambungan.

Ketika dua buah pelat akan disambung menjadi satu menggunakan *rivet*, dibutuhkan lubang pada pelat yang dibuat dengan cara melubangi dengan cara dipukul secara langsung (*punching*), di-*reamer*, atau dibor. Dalam bidang struktural dan bejana tekan, diameter lubang *rivet* biasanya 1.5 mm lebih besar dibandingkan dengan diameter nominal *rivet*.

Dua pelat yang telah dilubangi bersama dipastikan agar tidak terdapat chips atau *burry* agar nantinya dapat tercipta sambungan yang ketat antara dua pelat. Sebuah *cold rivet* atau pun *hot rivet* kemudian dimasukkan kedalam lubang pelat untuk kemudian dibentuk atau di pres pada bagian *head* dan *tail*. Ketika *rivet* yang digunakan adalah jenis *cold rivet* maka prosesnya disebut dengan pemasangan paku keling dingin dan ketika *hot rivet* yang digunakan maka prosesnya disebut dengan pemasangan paku keling panas. Biasanya pemasangan paku keling dingin digunakan pada sambungan struktural sedangkan *hot rivet* digunakan untuk membuat sambungan anti bocor.

Proses pemasangan paku keling dapat dilakukan dengan tangan secara langsung maupun menggunakan mesin pemasangan paku keling. Pada proses pemasangan paku keling menggunakan tangan, bagian kepala *rivet* ditahan menggunakan palu atau balok yang berat, kemudian *die* diposisikan berlawanan dengan kepala *rivet* kemudian sebuah pukulan keras dilakukan menggunakan palu. Hal ini menyebabkan *shank* akan memuai dan mengisi lubang dan *tail* berubah menjadi *point*.

Pada mesin pemasangan paku keling, *die* adalah bagian yang berperan sebagai palu yang dioperasikan menggunakan udara, hidrolis, atau tekanan uap.



Gambar 2.2 Proses pemasangan paku keling (*riveting*)
(Sumber: Khurmi & Gupta, 2005)

2.3 Material Paku Keling (*Rivet*)

Material yang digunakan pada *rivet* haruslah kuat dan ulet. Biasanya material yang digunakan adalah jenis baja (baja karbon rendah atau paduan nikel dan baja), tembaga, aluminium dan kuningan, namun jika kekuatan dan keketatan terhadap fluida yang dibutuhkan, maka *rivet* haruslah terbuat dari material jenis baja.

Rivet untuk tujuan aplikasi secara umum haruslah terbuat dari baja dan harus memenuhi standard khusus yang disyaratkan. Biasanya paku keling terbuat dari baja karbon rendah SWCH 15A (JIS G3539) yang merupakan baja karbon tempa dingin dengan kandungan karbon 0.13 sampai 0.18%. Sifat mekanik dari baja karbon ini memiliki kesamaan regulasi dengan jenis 12A dengan kandungan karbon yang sedikit lebih rendah. Huruf A pada bagian akhir mengindikasikan, baja karbon ini terbuat dari *aluminium killed steel*. Spesifikasi bahan mengacu kepada tipe material SWRCH 15A (JIS G3539) sebagai berikut :

Tabel 2.1 Komponen SWRCH 15A (JIS G3539)

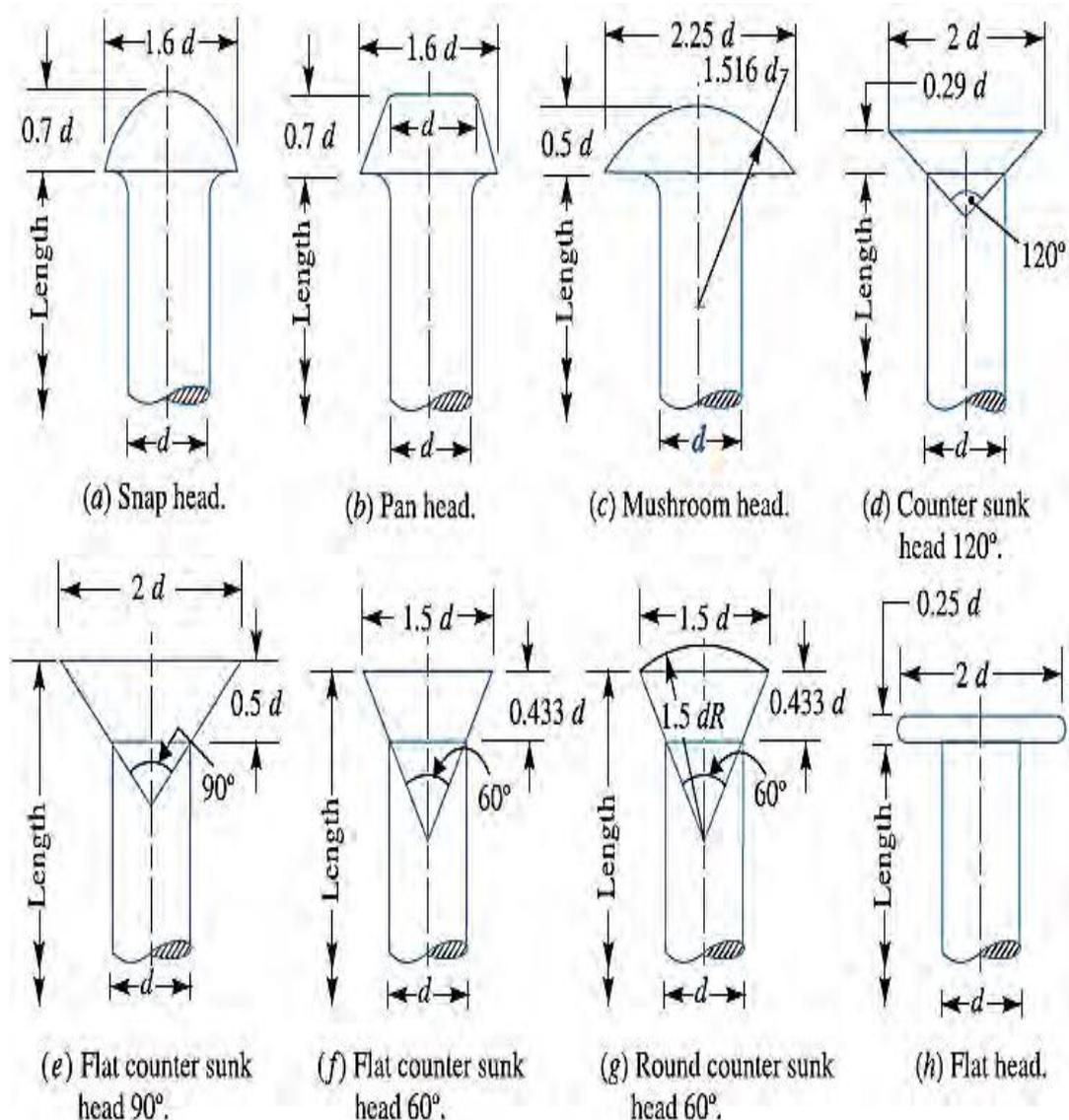
Type	C	Si	Mn	P	S	Al
SWRCH 15A	0.13-0.18	0.10 or less	0.30-0.60	0.03 or less	0.035 or less	0.02 or more

Berat jenis dari SWCH 15A adalah sekitar 7.8 g/cm³, tapi untuk mendapatkan nilai yang lebih teliti, maka berat jenisnya dapat diketahui dengan kalkulasi dari kandungan karbonnya. Berat jenis = 7.876 – 0.030 x nilai karbon tertinggi dalam persen (0.18%), dihasilkan nilai sebesar 7.871 g/cm³.

2.4 Jenis – Jenis Kepala Paku Keling (*Rivet*)

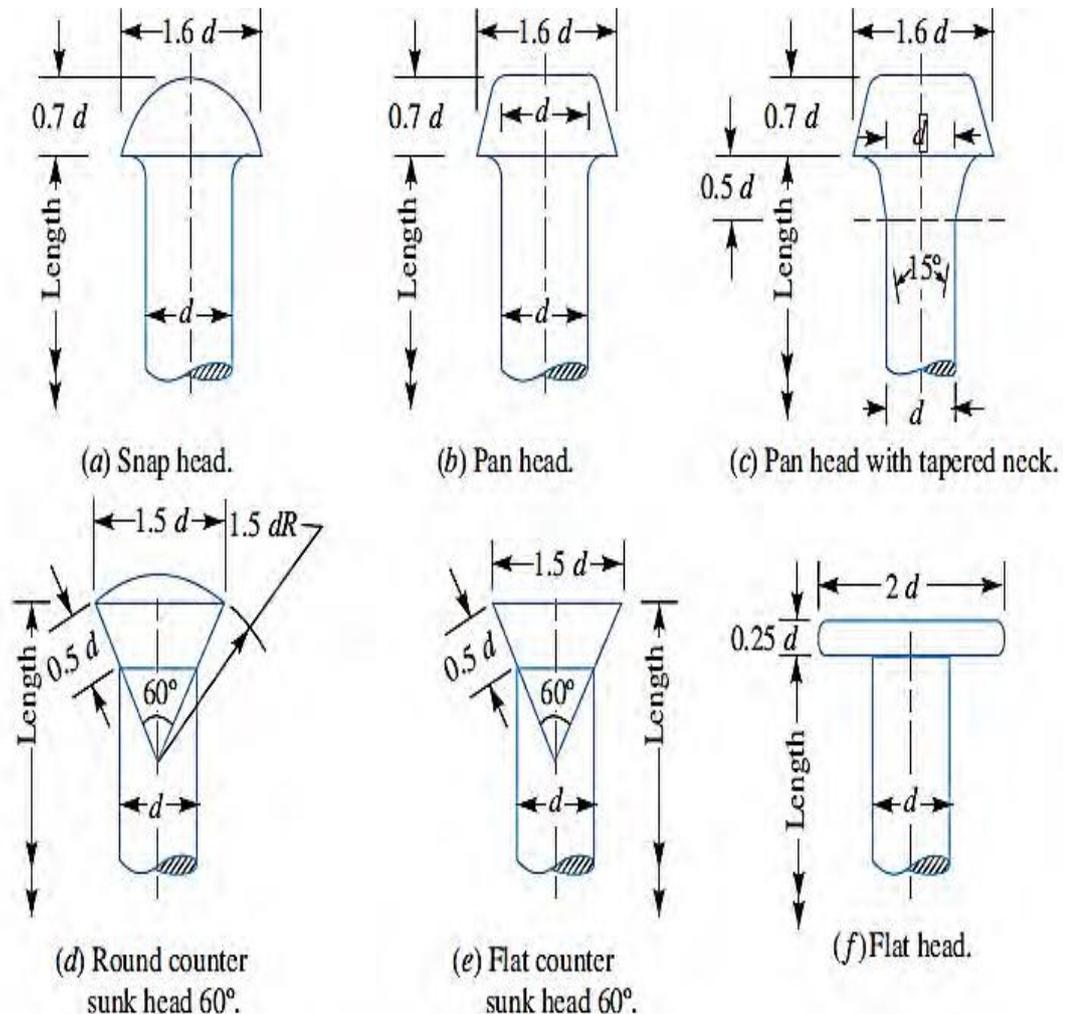
Berdasarkan standard ketentuan, kepala *rivet* dikelompokkan menjadi 3, yaitu :

1. Kepala *rivet* untuk tujuan aplikasi umum (diameter kurang dari 12mm), berdasarkan IS : 2155 – 1982 (Reaffirmed 1996).



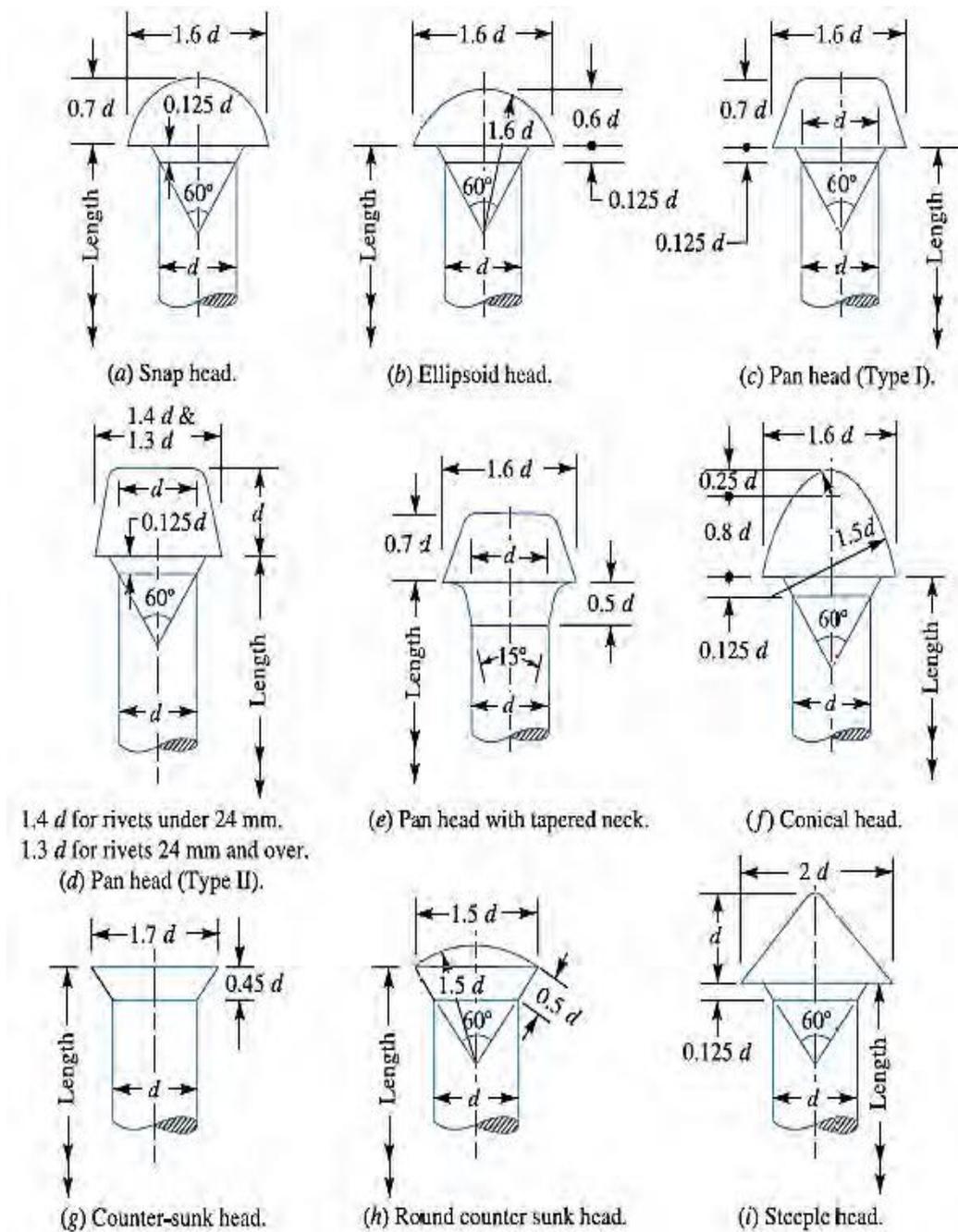
Gambar 2.3 Kepala *Rivet* Tujuan Aplikasi Umum (diameter kurang dari 12mm)
(Sumber: Khurmi & Gupta, 2005)

2. Kepala *rivet* untuk tujuan aplikasi umum (diameter 12 mm sampai 48 mm), berdasarkan IS : 1929 – 1982 (Reffirmed 1996).



Gambar 2.4 Kepala *Rivet* Tujuan Aplikasi Umum (diameter 12 mm sampai 48 mm) (Sumber: Khurmi & Gupta, 2005)

3. Kepala *rivet* untuk keperluan pengerjaan boiler (diameter 12 mm sampai 48mm), berdasarkan IS : 1929 – 1982 (Reffirmed 1996).



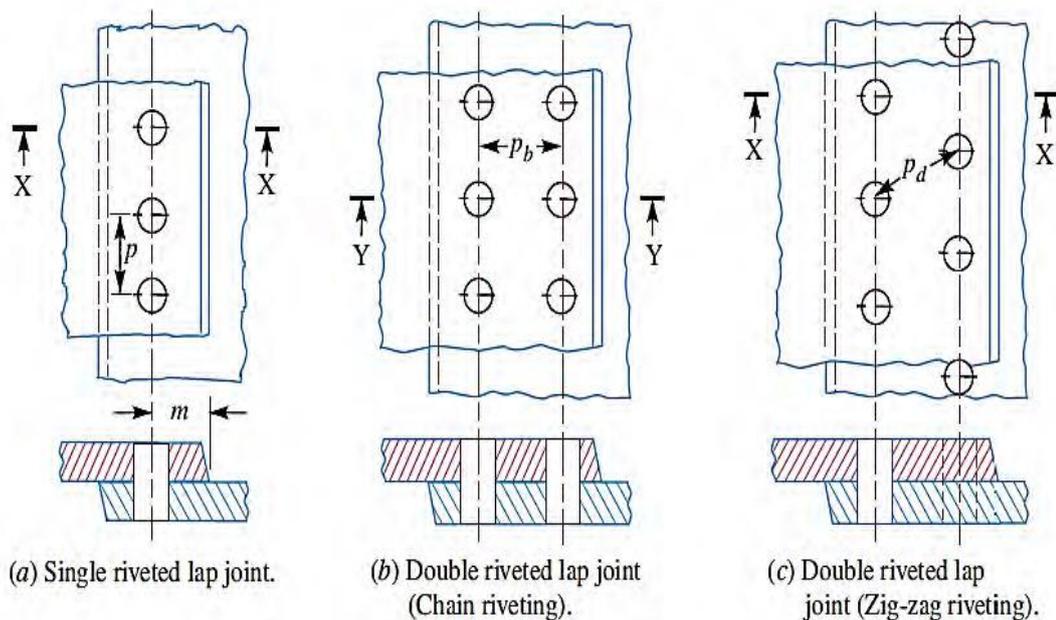
Gambar 2.5 Kepala *Rivet* Keperluan Pekerjaan Boiler (Diameter 12mm-48 mm)
 (Sumber: Khurmi dan Gupta, 2005)

2.5 Jenis – Jenis Sambungan Paku Keling (*Rivet*)

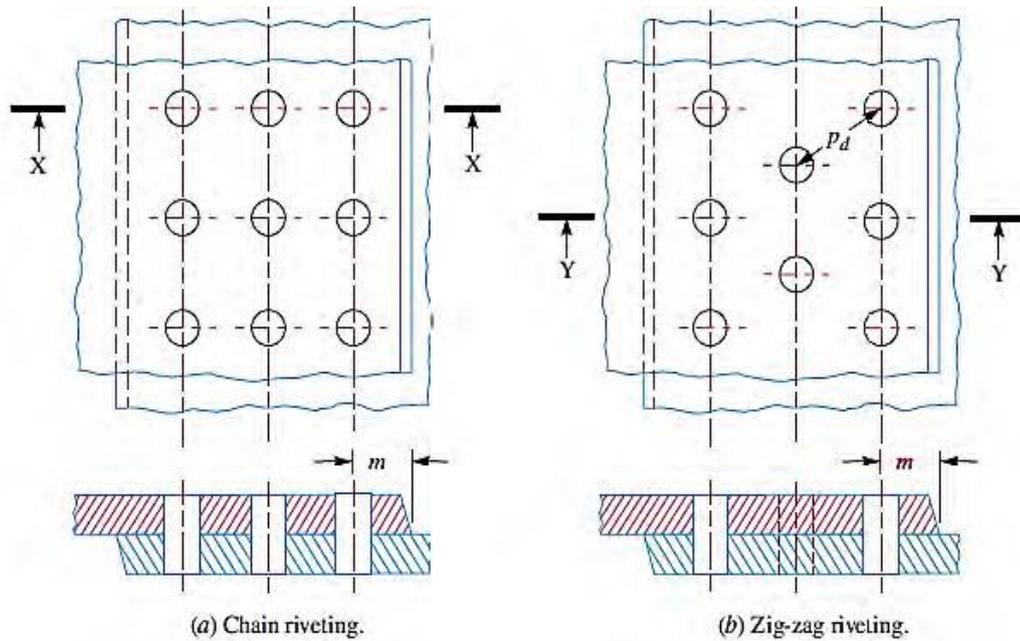
Ada dua jenis sambungan *rivet*, yang dibagi berdasarkan bagian pelat mana yang disambung, yaitu : sambungan pangku (*lap joint*) dan sambungan pertemuan (*butt joint*).

2.5.1 Sambungan Pangku (*Lap Joint*)

Sambungan pangku adalah sambungan dimana pelat yang satu menindih pelat yang lain kemudian kedua pelat tersebut di *rivet* bersama. Ada beberapa jenis sambungan pangku seperti yang terlihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.



Gambar 2.6 Sambungan Pangku *Rivet* Tunggal dan Ganda
(Sumber: Khurmi dan Gupta, 2005)

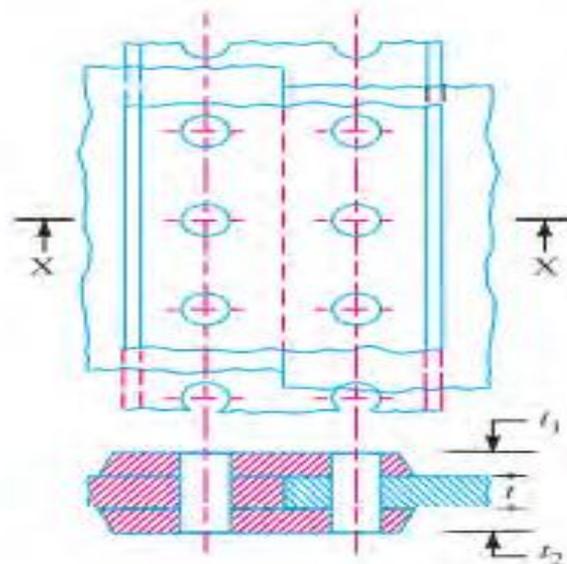


Gambar 2.7 Sambungan Pangku Tiga Rivet
(Sumber: Khurmi dan Gupta, 2005)

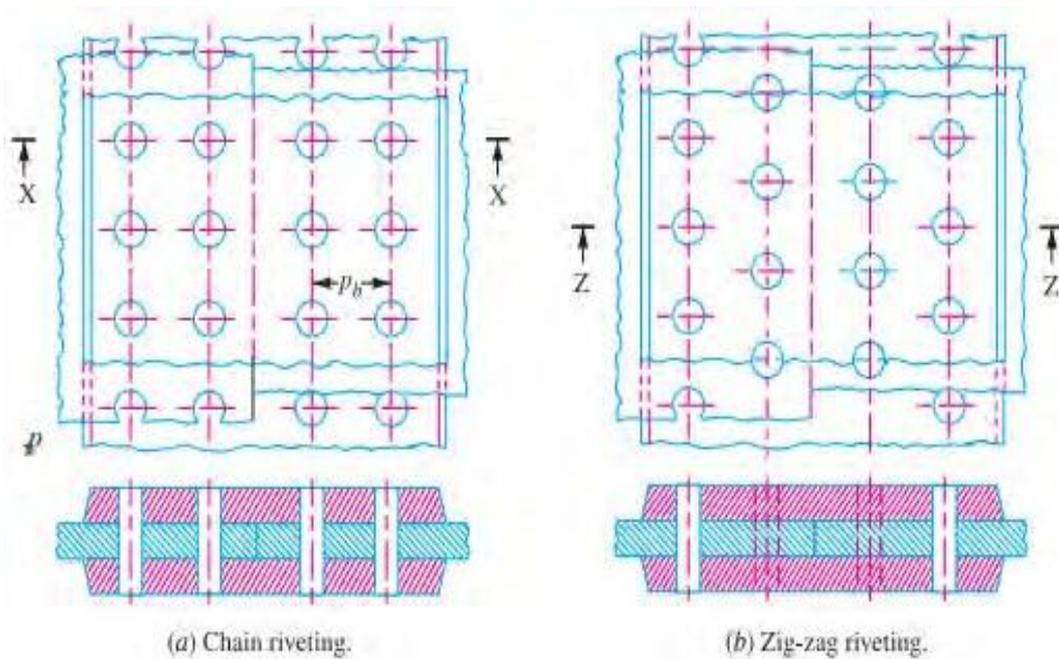
2.5.2 Sambungan Pertemuan (*Butt Joint*)

Sambungan pertemuan adalah sambungan dimana pelat utama dijaga agar tetap berada pada batas barisan masing-masing, dan pelat penutup diletakan baik pada satu maupun kedua sisi pelat utama. Pelat penutup kemudin di *rivet* secara bersama dengan pelat utama. Terdapat dua jenis sambungan pertemuan, yaitu:

1. Pada sambungan pertemuan pengikat tunggal, tepi pelat utama pertemuan menghadap satu sama lain dan hanya satu pelat penutup yang diletakan pada satu sisi pelat utama kemudian keduanya di *rivet* secara bersama.
2. Pada sambungan pertemuan pengikat ganda, pelat utama sambungan pertemuan menghadap satu sama lain dan dua pelat penutup diletakan pada kedua sisi pelat utama kemudian di *rivet* secara bersama.



Gambar 2.8 Sambungan Pertemuan Pengikat Ganda *Rivet* Tunggal
(Sumber: Khurmi dan Gupta, 2005)

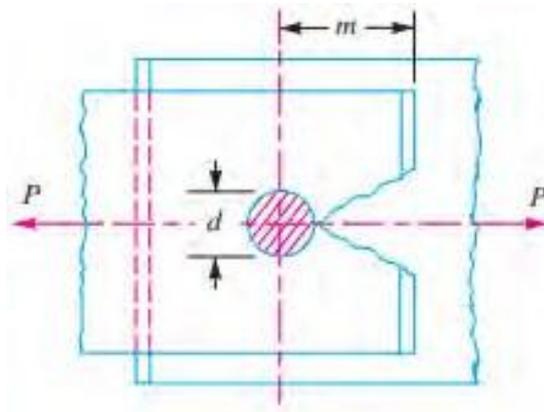


Gambar 2.9 Sambungan Pertemuan Pengikat Ganda (sejajar) *Rivet* Ganda
(Sumber: Khurmi dan Gupta, 2005)

2.6 Kegagalan pada Sambungan Paku Keling (*Rivet*)

a. Retak Pada Satu Tepi Pelat

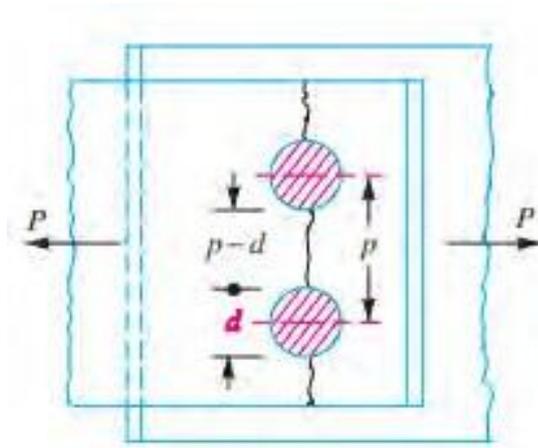
Kegagalan dapat terjadi pada sambungan pelat yang disebabkan oleh retak pada satu tepi bagian pelat seperti terlihat pada Gambar 2.10. Hal ini dapat dihindari dengan menjaga jarak *rivet* kegaris tepi, $m = 1.5d$, dimana d adalah diameter lubang *rivet*.



Gambar 2.10 Retak Pada Satu Tepi Pelat
(Sumber: Khurmi dan Gupta, 2005)

b. Retak Pada Pelat Disepanjang Baris Paku Keling (*Rivet*)

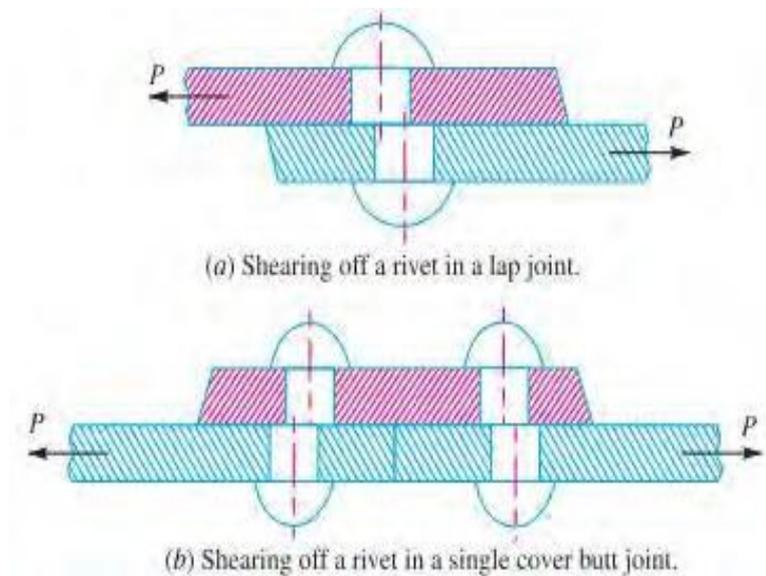
Hal ini dikarenakan tegangan tarik yang terjadi pada pelat utama, pelat utama ataupun pelat penutup bisa menjadi retak seperti terlihat pada Gambar 2.11. Pada kasus seperti ini, biasanya disebabkan karena pertimbangan jarak *pitch* yang tidak baik.



Gambar 2.11 Retak pada Pelat Disepanjang Baris Rivet
(Sumber: Khurmi dan Gupta, 2005)

c. Paku Keling (*Rivet*) Bergeser

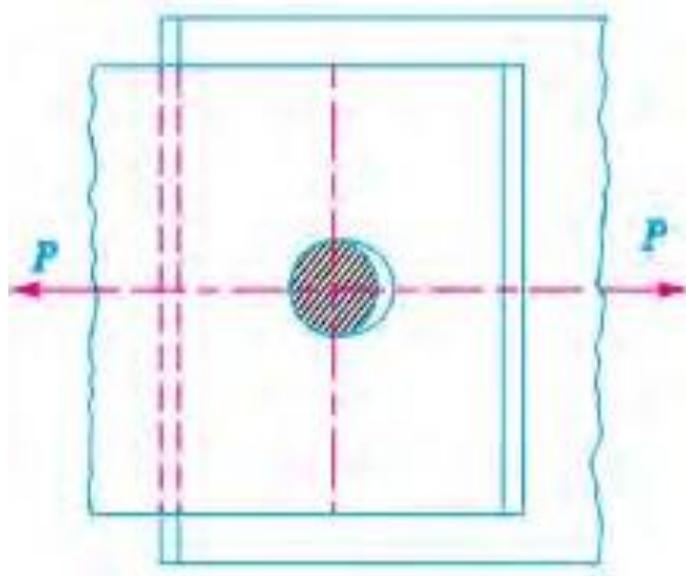
Pelat yang disambung menggunakan *rivet* akan menghasilkan tegangan tarik pada *rivet* itu sendiri, dan bila *rivet* tidak dapat menahan tegangan tersebut, maka *rivet* akan bergeser seperti terlihat pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 *Rivet* Bergeser
(Sumber: Khurmi & Gupta, 2005)

d. Pelat atau Paku Keling (*Rivet*) Terkikis

Terkadang, *rivet* tidak benar-benar bergeser di bawah tegangan tarik, namun terkikis seperti terlihat pada Gambar 2.13. Karena hal ini, lubang *rivet* menjadi berbentuk oval dan sambungan menjadi kendur. Kegagalan *rivet* semacam ini disebut juga dengan *bearing failure*.



Gambar 2.13 *Rivet* Terkikis
(Sumber: Khurmi dan Gupta, 2005)

2.7 Stainless Steel

Stainless steel adalah baja (paduan berbasis besi) yang mengandung kromium kira-kira 10,5% berat (kadang-kadang diklasifikasikan mengandung kromium kurang dari 12 wt.%). Dengan jumlah lebih dari jumlah kromium ini, *stainless steel* sangat tahan terhadap korosi dan oksidasi di lingkungan tertentu. Baja ini benar-benar disebut baja tahan korosi, atau *corrosionresistant steels*

(*CRES*), seperti yang diminta pada beberapa gambar dan daftar material yang lebih lama (Nindha, 2017).

Sama seperti pelapis kromium memberikan perlindungan untuk baja, kromium dalam *stainless steel* memberikan ketahanan terhadap korosi. Kromium ini menyebabkan lapisan oksida kaya kromium "*passive*" terbentuk di permukaan baja. Ini adalah lapisan tak terlihat yang melekat pada permukaan baja. Tidak seperti baja berlapis atau dilukis, jika *stainless steel* tergores, oksidasi kromium oksida pasif di udara, sehingga melindungi baja dari korosi atau oksidasi.

2.8 Jenis Stainless Steel

2.8.1 Austenitik *Stainless Steel*

Mayoritas *stainless steel* yang digunakan adalah *stainless steel* austenitik, yang mengandung kira-kira 16-25 wt.% Chromium dan 7-35 wt.% Nikel. Seri 300 austenitik adalah paduan besi-kromium-nikel, sedangkan seri 200 juga mengandung mangan dan nitrogen untuk menggantikan beberapa nikel.. Baja ini diberi nama untuk struktur kubik berpusat muka (*facecentered cubic / FCC*) yang hadir pada suhu kamar, yang disebut austenite (Nindha, 2017).

Beberapa sifat *stainless steel* ini (dengan beberapa pengecualian) meliputi:

- a. Nonmagnetik.
- b. ketahanan korosi baik.
- c. Tidak dapat diberikan perlakuan panas (tidak diproses dengan panas untuk meningkatkan kekuatan atau kekerasan).
- d. Bisa diperkuat hanya dengan proses pendininan.

- e. Daktilitas dan ketangguhan yang baik pada suhu rendah dan tinggi (nikel memberikan sifat kriogenik yang baik).
- f. Kemampuan kurang baik terhadap: Stress korosi retak, Korosi pitting dan *Crevice corrosion*

Stainless steel yang paling umum digunakan adalah austenitik tempa Tipe 302 yang merupakan paduan austenitik 18Cr-8Ni dasar. Tipe 304 memiliki kandungan kromium dan nikel yang lebih tinggi untuk meningkatkan ketahanan korosi. Meskipun Tipe 316 memiliki kromium yang lebih rendah, kandungan nikel yang lebih tinggi, ditambah penambahan molibdenum memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap korosi pitting, korosi celah, dan retak korosi (terutama pada lingkungan chlo-ride).

Nilai "L" (mis., 304L dan 316L) mengandung kandungan karbon rendah, sehingga cenderung tidak peka atau menghasilkan korosi intergranular. Nilai "H" (mis., 304H dan 316H) memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi untuk kekuatan yang lebih besar pada suhu tinggi.

Ada banyak *stainless steel* austenitik dengan komposisi yang serupa dengan *stainless steel* tempa. Sebagai contoh, paduan penunjukan CF-8 adalah setara cor Tipe 304 dan CF-3M adalah setara cor Jenis 316L. "C" menunjukkan tahan korosi, 8 menunjukkan karbon maksimum 0,08%, yang 3 menunjukkan 0,03% mobil maksimum, dan M menunjukkan molibdenum.

Stainless steel super austenitik mengandung kadar kromium, nikel, dan molibdenum yang lebih tinggi, dengan kadar karbon dan nitrogen yang jauh lebih rendah (seperti Tipe 904L). Ini memberikan ketahanan korosi yang lebih baik

pada lingkungan tertentu, seperti ketahanan pitting dan stress - korosi retak yang meningkat pada klorida.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia jenis Baja Austenitik Tempa pada *stainless steel*.

Type	UNS Number	Composition, wt.% ¹							
		C	Mn	Si	Cr	Nb	P	S	Other
201	S20100	0.15	5.5-7.5	1.00	16.0-18.0	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
202	S20200	0.15	7.5-10.0	1.00	17.0-19.0	4.0-6.0	0.06	0.03	0.25 N
301	S30100	0.15	2.00	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	0.045	0.03	—
302	S30200	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	—
302B	S30215	0.15	2.00	2.0-3.0	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	—
303	S30300	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.15 min	0-0.6 Mo
303Se	S30323	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.06	0.15 Se min
304	S30400	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	—
304H	S30409	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-11.0	0.045	0.03	—
304L	S30403	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.045	0.03	—
304LN	S30453	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.045	0.03	0.10-0.16 N
304N	S30451	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.16 N
305	S30500	0.12	2.00	1.00	17.0-19.0	10.0-13.0	0.045	0.03	—
308	S30800	0.08	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	—
309	S30900	0.20	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	—
309S	S30908	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	—
310	S31000	0.25	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	—
310S	S31008	0.08	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	—
314	S31400	0.25	2.00	1.5-3.0	23.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	—
316	S31600	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316H	S31609	0.04-0.10	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.040	0.03	2.0-3.0 Mo
316L	S31603	0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
317	S31700	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo
317L	S31703	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo
321	S32100	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	5 × %C Ti min
329	S32900	0.08	1.00	0.75	23.0-28.0	2.5-5.0	0.045	0.03	1.0-2.0 Mo
330	N08330	0.08	2.00	0.75-1.5	17.0-20.0	34.0-37.0	0.04	0.03	—
347	S34700	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	Note c
348	S34800	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	0.20 Co ^{c,d}
384	S38400	0.08	2.00	1.00	15.0-17.0	17.0-19.0	0.045	0.03	—

Catatan:

1. Nilai tunggal adalah persentase maksimum kecuali jika dinyatakan lain.
2. Persentase yang lebih tinggi diperlukan untuk proses pembuatan tabung tertentu.
3. 10 × % C (Nb + Ta) min.
4. 0,10% Ta maks.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia jenis Baja Austenitik pada *stainless steel*.

Alloy Designation	UNS Number	Similar Wrought Type ^b	Composition, wt.% ^a					
			C	Si	Cr	Ni	Mo	Other
CE-30	J93423	312	0.30	2.0	26-30	8-11	—	—
CF-3	J92700	304L	0.03	2.0	17-21	8-12	—	—
CF-3M	J92800	316L	0.03	1.5	17-21	9-13	2.0-3.0	—
CF-8	J92600	304	0.08	2.0	18-21	8-11	—	—
CF-8C	J92710	347	0.08	2.0	18-21	9-12	—	Note c
CF-8M	J92900	316	0.08	1.5	18-21	9-12	2.0-3.0	—
CF-12M	—	316	0.12	1.5	18-21	9-12	2.0-3.0	—
CF-16F	J92701	303	0.16	2.0	18-21	9-12	1.5	0.20-0.35 Se
CF-20	J92602	302	0.20	2.0	18-21	8-11	—	—
CG-8M	—	317	0.08	1.5	18-21	9-13	3.0-4.0	—
CH-20	J93402	309	0.20	2.0	22-26	12-15	—	—
CK-20	J94202	310	0.20	2.0	23-27	19-22	—	—
CN-7M	J95150	—	0.07	1.5	18-22	27.5-30.5	2.0-3.0	3-4 Cu
HE	J93403	—	0.2-0.5	2.0	26-30	8-11	0.5	—
HF	J92603	304	0.2-0.4	2.0	19-23	9-12	0.5	—
HH	J93503	309	0.2	—	—	—	0.5	—
HI	J94003	—	0.2-0.5	2.0	26-30	14-18	0.5	—
HK	J94224	310	0.2-0.6	2.0	24-28	18-22	0.5	—
HL	J94604	—	0.2-0.6	2.0	28-32	18-22	0.5	—
HN	J94213	—	0.2-0.5	2.0	19-23	23-27	0.5	—
HP	—	—	0.35-0.75	2.0	24-28	33-37	0.5	—
HT	J94605	330	0.35-0.75	2.5	15-19	33-37	0.5	—
HU	—	—	0.35-0.75	2.5	17-21	37-41	0.5	—

Catatan:

1. Nilai tunggal adalah persentase maksimum. 1,50% Mn max untuk tipe CX-XX. 2,0%
2. Mn max untuk tipe HX. 0,04% P max (terkecuali: CF-16F memiliki P max 0,17%).
3. 0,04% S maks.
4. Komposisi serupa tapi tidak persis sama dengan jenis cor.
5. $8 \times \% C Nb$, 1,0% Nb max, atau $9 \times \% C (Nb + Ta)$, 1,1% (Nb + Ta) maks.

2.8.2 Feritik *Stainless Steel*

Stainless steel feritik adalah paduan besi-kromium yang mengandung kira-kira 11-30 wt.% Kromium dan kadar karbon rendah. Nama mengacu pada struktur cubic (BCC) berpusat pada tubuh yang hadir pada suhu kamar, yang disebut ferit. Beberapa sifat dari *stainless steel* ini meliputi:

- a. Ferromagnetik.
- b. Ketahanan korosi umum menengah.
- c. Ketahanan retak korosi yang lebih baik daripada austenitik.
- d. Ketahanan korosi pitting dan celah yang baik.
- e. Tidak diberikan perlakuan panas (dengan pendinginan dan tempering).
- f. Menurunkan kekuatan dan ketangguhan dari pada austenitik.
- g. Daktilitas yang baik.

Stainless steel feritik mencakup campuran tempa dan tempa. Paduan ini pada dasarnya tidak mengandung nikel, namun memiliki kandungan chromium dari tingkat terendah yang diijinkan pada *stainless steel* (Tipe 409) sampai tingkat yang sangat tinggi (29-4-2). Beberapa paduan ini mengandung kadar karbon moderat (Tipe 430) dan bisa membentuk martensit, meski kebanyakan hanya berbentuk ferit.

Stainless steel superferitik yang memiliki kadar kromium yang lebih tinggi, dengan beberapa molibdenum dan secara signifikan menurunkan bobot mobil. Paduan ini memberikan ketahanan korosi yang jauh lebih baik, terutama di lingkungan klorida.

Tabel 2.4 Komposisi Kimia jenis Feritik pada *Stainless steel*.

Type	UNS Number	Composition, wt.% ^a							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Others
Wrought Alloys									
405	S40500	0.08	1.00	1.00	11.5–14.5	—	0.04	0.03	0.10–0.30 Al
409	S40900	0.08 ^b	1.00	1.00	10.5–11.75	—	0.045	0.045	Ti, 6 × %C min
429	S42900	0.12	1.00	1.00	14.0–16.0	—	0.04	0.03	—
430	S43000	0.12	1.00	1.00	16.0–18.0	—	0.04	0.03	—
430Ti	S43036	0.10	1.00	1.00	16.0–19.5	0.75	0.04	0.03	Ti, 5 × %C min, 0.75 max
434	S43400	0.12	1.00	1.00	16.0–18.0	—	0.04	0.03	0.75–1.25 Mo
436	S43600	0.12	1.00	1.00	16.0–18.0	—	0.04	0.03	0.75–1.25 Mo; (Nb+Ta), 5 × %C min
439	S43035	0.07	1.00	1.00	17.0–19.0	0.50	0.04	0.03	0.15 Al max; 0.04 N max; Ti, 0.20 + 4(%C + %N) min, 1.10 max
442	S44200	0.20	1.00	1.00	18.0–23.0	—	0.04	0.03	Ti, 0.20 + 4(%C + %N)
444	S44400	0.025	1.00	1.00	17.5–19.5	1.00	0.04	0.03	1.75–2.5 Mo; 0.035 N max; (Nb+Ta), 0.2 + 4 (%C + %N) min
446	S44600	0.20	1.50	1.00	23.0–27.0	—	0.04	0.03	0.25 N
26-1	S44626	0.006	0.75	0.75	25.0–27.0	0.50	0.04	0.020	0.75–1.50 Mo; 0.20–1.0 Ti; 0.04 N; 0.2 Cu
29-4	S44700	0.010	0.20	0.30	28.0–30.0	0.15	0.025	0.020	3.5–4.2 Mo; 0.020 Ni; 0.15 Cu
29-4-2	S44800	0.010	0.20	0.30	28.0–30.0	2.0–2.5	0.025	0.020	3.5–4.2 Mo; 0.020 Ni, 0.15 Cu
Casting Alloys									
CB-30	J91803	0.30	1.50	1.00	18.0–21.0	2.0	0.04	0.04	—
CC-50	J92616	0.50	1.50	1.00	26.0–30.0	4.0	0.04	0.04	—

Catatan:

1. Nilai tunggal adalah maksimum.
2. Sebagian besar produsen sekarang dapat membuat karbon rendah dengan karbon 0,02%

Tabel 2.5 Komposisi Kimia jenis Super Feritik pada *Stainless steel*.

Alloy ^a	UNS Number	Nominal Composition, wt.% ^b						
		C	Cr	Mo	Ni	N	Mn	Other Elements
E-BRITE [®]	S44726	0.010	25–27	0.75–1.5	0.30	0.015	0.4	0.05–0.20 Nb
MONIT [™]	S44635	0.025	24.5–26	3.5–4.5	3.5–4.5	0.035	1.0	$[0.20 + 4(C + N)] \leq (Nb + Ti) \leq 0.80$
SEA-CURE [®]	S44660	0.025	25–27	2.5–3.5	1.5–3.5	0.035	1.0	$[0.20 + 4(C + N)] \leq (Nb + Ti) \leq 0.80$
AL 29-4 [®]	S44700	0.010	28–30	3.5–4.2	0.15	0.020	0.3	
AL 29-4C [®]	S44735	0.030	28–30	3.6–4.2	1.0	0.045	1.0	$6(C + N) \leq (Nb + Ti) \leq 1.0$
AL 29-4-2 [®]	S44800	0.010	28–30	3.5–4.2	2.0–2.5	0.020	0.3	
SHOMAC [®] 30-2	—	0.003 ^c	30 ^c	2.0 ^c	0.2 ^c	0.007 ^c	0.05 ^c	

Catatan:

1. E-BRITE, AL 29-4, AL 29-4-2, dan AL 29-4C adalah merek dagang terdaftar dari *Allegheny Ludlum Corporation*; SEA-CURE adalah merek dagang terdaftar dari *Crucible Materials Corporation*; SHOMAC adalah merek dagang terdaftar dari *Showa Denko KK*. Monit adalah merek dagang *Nyby Uddeholm AB*.
2. Nilai tunggal adalah persentase maksimum; keseimbangan adalah Fe.
3. Nilai tipe.

2.8.3 Martensitik *Stainless steel*

Stainless steel martensitik adalah paduan besi-kromium dengan kromium 11-17 wt% dan cukup banyak karbon (0,1-1,2 wt.%) Untuk menghasilkan beberapa martensit pada pendinginan. Martensit ini adalah struktur tetragonal (BCT) berpusat pada tubuh yang terbentuk saat *stainless steel* ini dipadamkan (didinginkan dengan cepat), seringkali bila didinginkan di udara. Beberapa sifat dari *stainless steel* ini meliputi:

- a. Ferromagnetik.
- b. Ketahanan korosi terendah.
- c. Dapat diberlakukanaskan (bisa diperkuat dengan pendinginan).
- d. Kekuatan tinggi.
- e. Duktilitas dan ketangguhan terendah.
- f. Resistansi oksidasi suhu tinggi.

Ketika baja ini dipadamkan dari suhu tinggi, martensit diproduksi, yang member kekuatan dan kekerasan tinggi pada baja. Karena baja juga menjadi

sangat rapuh dan terkena retak dingin (atau hidrogen), mereka sering marah setelah pendinginan. Proses ini meningkatkan keuletan (mengurangi kerapuhan), meskipun kekuatan dan kekerasan agak berkurang.

Tabel 2.6 Komposisi Kimia jenis Martensitik pada *Stainless steel*.

Type	UNS Number	Composition, wt.% ^a							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Other
Wrought Alloys									
403	S40300	0.15	1.00	0.50	11.5–13.0	—	0.04	0.03	—
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5–13.0	—	0.04	0.03	—
414	S41400	0.15	1.00	1.00	11.5–13.5	1.25–2.50	0.04	0.03	—
416	S41600	0.15	1.25	1.00	12.0–14.0	—	0.04	0.15 min	—
420	S42000	0.15 min	1.00	1.00	12.0–14.0	—	0.04	0.03	—
422	S42200	0.20–0.25	1.00	0.75	11.0–13.0	0.5–1.0	0.025	0.025	0.75–1.25 Mo; 0.75–1.25 W; 0.15–0.3 V
431	S43100	0.20	1.00	1.00	15.0–17.0	1.25–2.50	0.04	0.03	—
440A	S44002	0.60–0.75	1.00	1.00	16.0–18.0	—	0.04	0.03	0.75 Mo
440B	S44003	0.75–0.95	1.00	1.00	16.0–18.0	—	0.04	0.03	0.75 Mo
440C	S44004	0.95–1.20	1.00	1.00	16.0–18.0	—	0.04	0.03	0.75 Mo
Casting Alloys									
CA-6NM	J91540	0.06	1.00	1.00	11.5–14.0	3.5–4.5	0.04	0.03	0.40–1.0 Mo
CA-15	J91150	0.15	1.00	1.50	11.5–14.0	1.0	0.04	0.03	0.5 Mo
CA-40	J91153	0.20–0.40	1.00	1.50	11.5–14.0	1.0	0.04	0.03	0.5 Mo

2.8.4 Duplex *Stainless Steels*

Baja anti karat dupleks adalah paduan besi-kromium-nikel yang mengandung 23-30 wt.% Chromium dan 2-7 wt.% Nikel, ditambah unsur lainnya. Karena *stainless steel* ini memiliki dua fase yang ada pada suhu kamar, ferit dan austenit, keduanya disebut dupleks. Beberapa sifat baja tahan-noda ini meliputi:

- a. Sebagian bersifat magnetis.
- b. Ketahanan korosi umum yang baik.
- c. Ketahanan retak korosi yang lebih baik daripada austenitik.
- d. Ketahanan korosi pitting lebih baik daripada austenitik.
- e. Ketahanan korosi intergranular yang lebih baik daripada austenitik.

f. Kekuatan lebih tinggi dari pada austenitik.

Tabel 2.7 Komposisi Kimia jenis Duplex pada *Stainless steel*.

Alloy	UNS Number	Composition, wt.% ^{a,b,c}					
		C	Cr	Ni	Mo	N	Other Elements
329	S32900	0.08	23.0-28.0	2.5-5.0	1.0-2.0	—	—
44LN	S31200	0.030	24.0-26.0	5.5-6.5	1.2-2.0	0.14-0.20	—
DP3	S31260	0.030	23.0-28.0	2.5-5.0	2.5-3.5	0.10-0.30	0.20-0.80 Cu; 0.10-0.50 W
2205	S31803	0.030	21.0-23.0	4.5-6.5	2.5-3.5	0.08-0.20	—
2304	S32304	0.030	21.5-24.5	3.0-5.5	0.05-0.6	0.05-0.20	—
255	S32550	0.04	24.0-27.0	4.5-6.5	2.9-3.9	0.10-0.25	1.5-2.0 Cu
2507	S32750	0.030	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-4.0	0.24-0.32	—
Z100 ^d	S32760	0.030	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-4.0	0.2-0.3	0.5-1.0 Cu; 0.5-1.0 W
3RE60	S31500	0.030	18.0-19.0	4.25-5.25	2.5-3.0	—	—
U50 ^d	S32404	0.04	20.5-22.5	5.5-8.5	2.0-3.0	0.20	1.0-2.0 Cu
7MoPLUS	S32950	0.03	26.0-29.0	3.5-5.2	1.0-2.5	0.15-0.35	—
DP3W	S39274	0.03	24.0-26.0	6.0-8.0	2.5-3.5	0.24-0.32	0.2-0.8 Cu; 1.5-2.5 W

Catatan:

1. Nilai tunggal adalah persentase maksimum.
2. 2,5 Mn maks.
3. 0,70-1,0 Si maks.
4. Z100-Zeron 100; U50-Uranus 50.

2.9 Penempaan Spesimen (*Forging*)

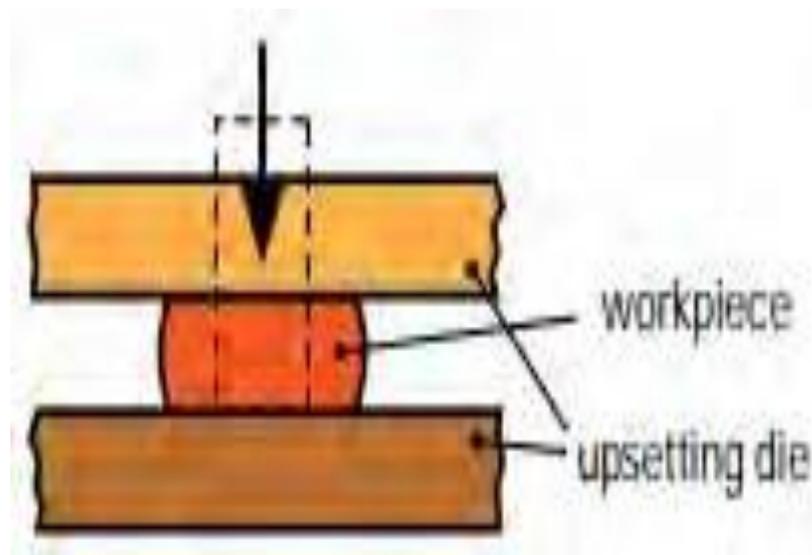
Penempaan atau *forging* adalah proses manufaktur yang melibatkan pembentukan logam menggunakan gaya tekan pada logam yang dibentuk. Gaya tekan yang diberikan bisa secara manual maupun mekanis. Tekanan yang diberikan bisa dilakukan menggunakan palu maupun *dies*. *Forging* sering diklasifikasikan berdasarkan pada temperatur pengerjaannya, yaitu : penempaan dingin (*cold forging*), penempaan hangat (*warm forging*), dan penempaan panas (*hot forging*). Komponen penempaan memiliki jangkauan berat dari mulai dibawah satu kilogram hingga ratusan ton. Saat ini penempaan merupakan

industri skala utama diseluruh dunia. Ada banyak macam proses penempaan yang biasa dilakukan, salah satunya adalah :

1. Penempaan Palu
2. Penempaan Tekan
3. Penempaan Timpa
4. Penempaan Rol
5. Penempaan *Upset*

2.9.1 Penempaan *Upset*

Penempaan *upset* adalah penempaan yang memperbesar diameter benda kerja dengan cara memampatkan panjang benda kerja. Berdasarkan dari jumlah komponen yang dihasilkan, penempaan ini merupakan jenis yang paling luas digunakan untuk proses penempaan.



Gambar 2.14 Penempaan *upset*
(Sumber: Schuler, 1998)

Beberapa contoh komponen yang dihasilkan dengan proses penempaan *upset* adalah katup engine, baut, screw, dan berbagai macam komponen penyambung.

2.9.2 Metode Penekanan Dalam Proses Penempaan (*Forging*)

Metode tekan pada proses penempaan yang paling tepat dipilih berdasarkan pada faktor-faktor berikut :

1. Bentuk benda kerja dan materialnya
2. Ukuran benda kerja

Berdasar pada informasi diatas, engineer dapat menentukan metode mana yang paling ekonomis dan cocok untuk proses penempaan. Secara garis besar, ada dua macam metode penekanan dalam proses tempa, yaitu :

1. Penekanan mekanis yaitu penekanan yang direkomendasikan untuk produksi dalam jumlah yang banyak dan dengan benda kerja yang memiliki ukuran besar.
2. Penekanan hidrolis. Metode penekanan secara substansial memiliki kecepatan yang lebih rendah bila dibanding dengan penekanan mekanis. Namun metode penekanan hidrolis memiliki *stroke* yang lebih panjang dan kapasitas tekan yang lebih besar. Metode ini digunakan untuk benda kerja yang memiliki ukuran kecil.

2.10 Mesin Tempa Paku Keling

Mesin ini merupakan suatu mesin *riveting* atau mesin penempaan paku keling (*rivet*) yang di buat dan didesain secara khusus untuk melakukan proses penempaan *rivet* rotor assy untuk komponen *Alternating Current Generator*

Starter. Mesin ini bekerja dengan memanfaatkan tenaga pompa hidrolik untuk menghasilkan gaya yang nantinya digunakan untuk menggerakkan piston yang terhubung dengan *dies*. *Dies* akan berkontak langsung dengan benda kerja berupa paku keling atau *rivet* dan selanjutnya dengan bantuan piston hidrolik, *dies* akan menekan *rivet* tersebut hingga terjadi deformasi pada *rivet* dan terbentuklah dimensi kepala *rivet* yang diinginkan. Prinsip kerja mesin ini adalah *end peressure*, dimana mesin akan berhenti bekerja apabila *pressure* atau tekanan yang di setting telah tercapai.

Mesin ini dapat beroperasi dengan baik pada temperatur 20-40°C dengan kelembaban udara maksimal 90%. Sumber listrik yang dibutuhkan adalah listrik 3 fasa 220V \pm 10 % , 50Hz. Selain itu mesin ini juga membutuhkan pasokan tekanan udara untuk menggerakkan katup-katup *pneumatic* dengan kriteria udara bertekanan 0.4 MPa.

2.11 Uji Tarik

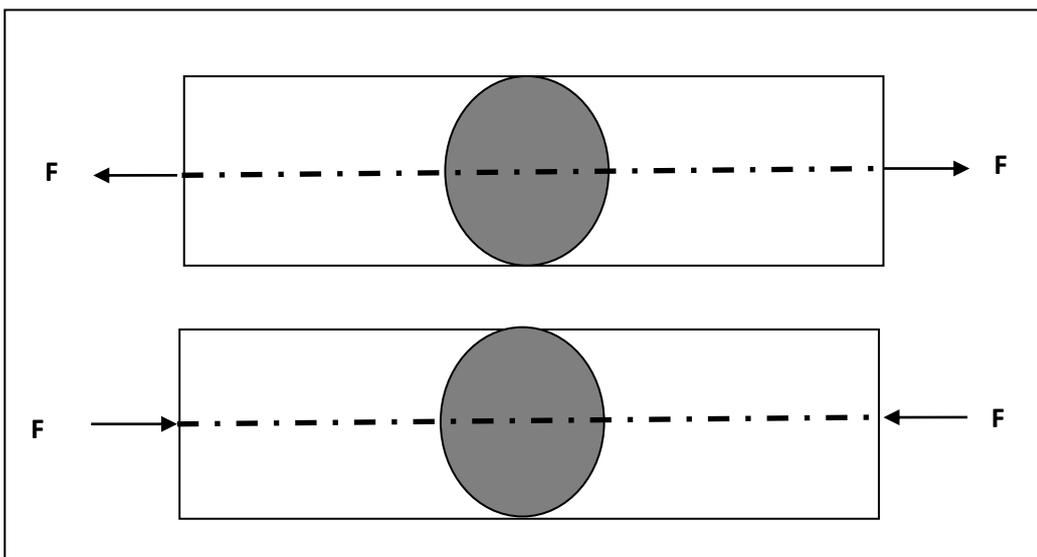
Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dan perubahan-perubahannya dari suatu logam terhadap pembebanan tarik seperti tegangan, regangan, dan modulus elastisitas. Pengujian tarik merupakan jenis pengujian yang paling banyak dilakukan karena mampu memberikan informasi perilaku mekanis material. Pengujian ini umumnya diperuntukan bagi pengujian beban-beban statik.

Beban tarik tersebut dimulai dari nol dan berhenti pada beban atau tegangan patah tarik (Ultimate Strenght) dari logam yang bersangkutan. Beban uji yang telah dinormalisasikan ukurannya dipasang pada mesin uji tarik, kemudian

diberi beban (gaya tarik) secara perlahan-lahan dari nol hingga maksimum. Pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji tarik atau dengan Universal Testing Machine (UTM).

Pada proses pengujian tarik terdapat sebuah siklus yang terjadi pada material yaitu yang pertama adalah proses elastisitas dimana material masih dapat kembali pada posisinya saat mengalami perubahan, yang kedua material berubah menjadi plastis yang mana pada proses ini jika material mengalami perubahan maka tidak akan kembali pada posisi semula, yang ketiga merupakan nilai kekuatan tarik tertinggi (batas maksimal) pada material yang biasanya menyebabkan Necking pada baja lunak, yang terakhir adalah material putus.

Sesuai dengan nama yang diberikan, tegangan tarik bila gaya menarik benda, sedangkan tegangan tekan bila gaya menekan benda sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.14. Besarnya tegangan tarik (σ_t) dan tegangan tekan (σ_c) yang terjadi dapat dinyatakan dengan persamaan (2-1) dan (2-2).



Gambar 2.15. Tegangan Tarik dan Tegangan Tekan

$$\sigma_t = \frac{F}{A}, \sigma_t = \frac{4F}{\pi d^2}, \quad (F = \text{ gaya tarik})$$

$$\sigma_t = \frac{F}{A}, \sigma_t = \frac{4F}{\pi d^2}, \quad (F = \text{ gaya tekan})$$

Dimana

F = besarnya gaya yang bekerja, sering memakai satuan : N, lbf, kgf

A = luas penampang, satuan yang sering dipakai : cm², in², mm²

d = diameter batang, sering memakai satuan : cm, in, mm

Tegangan akan mempunyai satuan yang berbeda-beda, mengikuti satuan F dan satuan A. Bila F bersatuan N dan A bersatuan m², maka tegangan mempunyai satuan N/m² yang disebut Pascal (Pa). Bila F bersatuan lbf dan A bersatuan in², maka tegangan mempunyai satuan lbf/in² yang sering disingkat “psi” (*pound per square in*). Bila F bersatuan kgf dan A bersatuan cm², maka tegangan mempunyai satuan kgf/cm² yang sering disebut Bar.

persamaan “syarat-syarat” yang menyatakan bahwa : ***tegangan yang terjadi harus lebih kecil atau sama dengan tegangan ijin***, secara matematis untuk tegangan tarik dapat dinyatakan dengan persamaan berikut : (suhariyanto,2018)

$$\sigma_t = \frac{4.F}{\pi.d^2} \leq [\sigma_l] \text{ atau } \frac{4.F}{\pi.d^2} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4.F.s_f}{\pi.\sigma_{yp}}}$$

Regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula-mula benda uji.

$$\text{Regangan : } e = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana : e = Regangan (%)

L = Panjang akhir (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

Pembebanan tarik dilakukan terus-menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan dan akan mengakibatkan kepatahan pada beban. Persentase pengecilan yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

dimana : q = Reduksi Penampang (%)

A_1 = Luas Penampang akhir (mm²)

A_0 = Luas penampang awal (mm²)