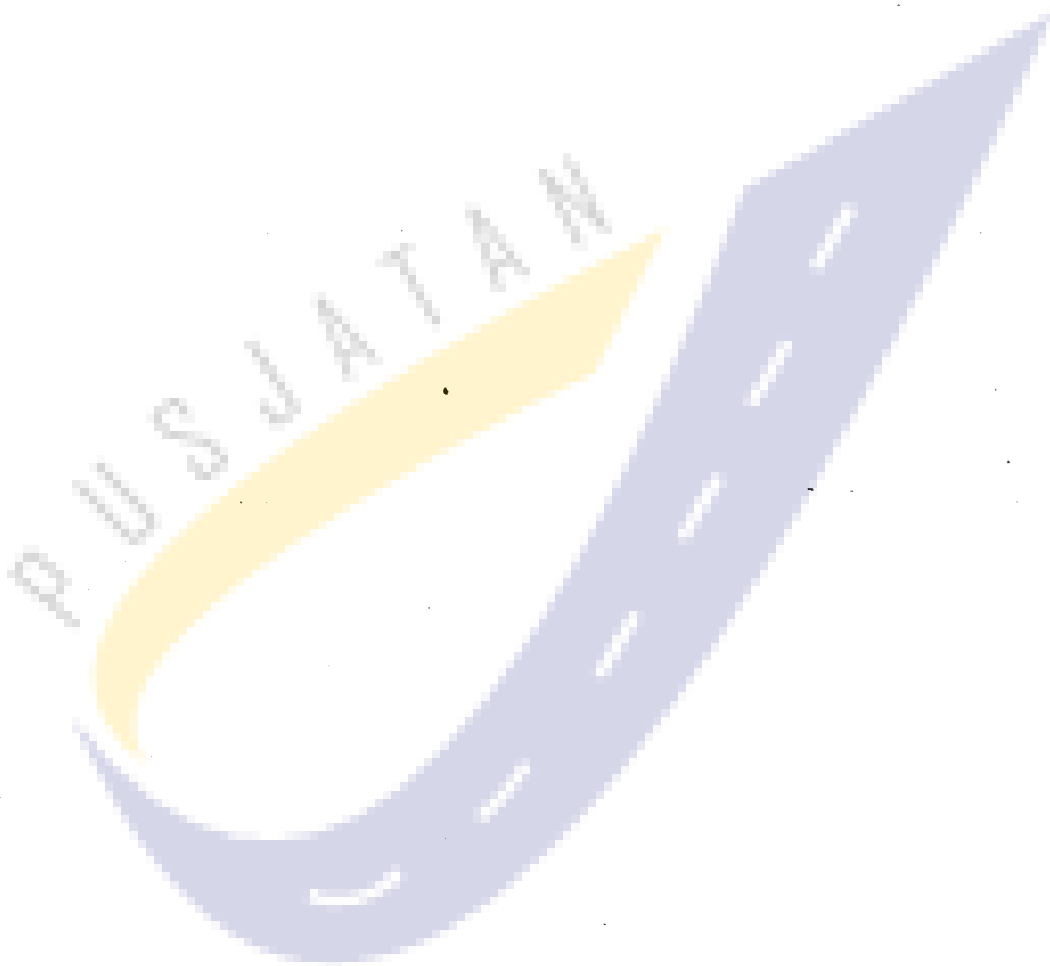


**SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN UMUM  
DAN PERUMAHAN RAKYAT  
NOMOR : 14/SE/M/2015  
TANGGAL 23 APRIL 2015**

**TENTANG**

**PEDOMAN PEMASANGAN BAUT JEMBATAN**



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM  
DAN PERUMAHAN RAKYAT**



MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT  
REPUBLIK INDONESIA

Kepada Yth.:

Para Pejabat Eselon I di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

SURAT EDARAN  
NOMOR : 14 /SE/M/2015

TENTANG

PEDOMAN PEMASANGAN BAUT JEMBATAN

**A. Umum**

Struktur jembatan merupakan bangunan yang menerima beban dinamis sehingga rentan terhadap fatik. Oleh karena itu, sambungan-sambungan pada jembatan umumnya menggunakan *High Strength Friction Grip Bolts* (HSFG) atau baut mutu tinggi dengan cengkeraman friksi. Prinsip kerja sambungan baut HSFG pada struktur jembatan berupa gaya jepit akibat gaya tarik (*tension*) baut sehingga gaya friksi antara pelat yang dijepit berfungsi sebagai penahan beban yang bekerja. Sambungan pada jembatan disebut sambungan slip kritis (*critical slip joint*) yang mengandalkan friksi pada permukaan pelat akibat gaya jepit (*clamping force*). Dengan demikian, tingkat kekencangan baut akan menentukan besarnya gaya friksi yang diberikan oleh baut pada sambungan. Pada pedoman ini menjelaskan beberapa metode pengencangan baut sehingga tercapai gaya friksi pada permukaan pelat sambungan untuk pemasangan baut jembatan baru dan penggantian baut jembatan eksisting.

**B. Dasar Pembentukan**

- 1) Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
- 2) Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan antara Pemerintah, Pemerintahan Provinsi, Pemerintahan Daerah Kabupaten/Kota (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 82, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4737);

- 3) Peraturan Presiden Nomor 7 Tahun 2015 tentang Organisasi Kementerian Negara;
- 4) Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015 tentang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 16);
- 5) Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 121/P Tahun 2014 tentang Pembentukan Kementerian dan Pengangkatan Menteri Kabinet Kerja Periode Tahun 2014-2019;
- 6) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 07/PRT/M/2012 tentang Penyelenggaraan Penelitian dan Pengembangan di Bidang Jalan.

### **C. Maksud dan Tujuan**

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan bagi Pejabat Eselon I di Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, perencana, pelaksana dan pengawas dalam memberikan panduan dalam melaksanakan pemasangan baut pada sambungan baja jembatan.

### **D. Ruang Lingkup**

Pedoman ini menetapkan metode pemasangan baut pada jembatan yang meliputi tahapan persiapan, prosedur dan metode pengencangan baut, serta pemeriksaan kekencangan baut. Metode pemasangan baut dapat digunakan untuk pemasangan baut jembatan baru dan penggantian baut jembatan eksisting.

### **E. Penutup**

Ketentuan lebih rinci mengenai Pedoman Pemasangan Baut Jembatan ini tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran Menteri ini.

Demikian atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

**Ditetapkan di Jakarta  
pada tanggal 23 April 2015**

**MENTERI PEKERJAAN UMUM  
DAN PERUMAHAN RAKYAT,**

  
**M. BASUKI HADIMULJONO**

**Tembusan disampaikan kepada Yth.:**

**Plt. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.**

## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata .....	ii
Pendahuluan .....	iii
1 Ruang lingkup .....	1
2 Acuan normatif .....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Ketentuan umum .....	2
4.1 Keamanan dan keselamatan .....	2
4.2 Penggunaan baut .....	2
4.3 Baut digalvanis .....	2
4.4 Homogenitas kualitas baut .....	2
5 Ketentuan teknis .....	2
5.1 Kinerja baut mutu tinggi pada sambungan .....	2
5.2 Tahap persiapan .....	3
5.3 Prosedur pengencangan baut .....	4
5.4 Metode pengencangan baut .....	4
5.5 Perhitungan torsi menggunakan kunci torsi .....	9
5.6 Pemeriksaan kekencangan baut .....	10
6 Prosedur pengencangan baut .....	11
Lampiran A (informatif) Spesifikasi baut mutu tinggi .....	12
Lampiran B (informatif) Contoh perhitungan torsi baut mutu tinggi .....	15
Bibliografi .....	16
Gambar 1 - Mekanisme sambungan slip kritis .....	3
Gambar 2 – Urutan pengencangan baut mutu tinggi .....	4
Gambar 3 - Ring runcing ( <i>taper washer</i> ) .....	5
Gambar 4 - Ring indikator tarik .....	6
Gambar 5 - Cara kerja ring indikator tarik .....	6
Gambar 6 - Ring indikator tarik karet .....	6
Gambar 7 - Pemeriksaan ring indikator tarik .....	7
Gambar 8 - Contoh warna baut indikator tarik .....	7
Gambar 9 - Baut kontrol gaya tarik .....	9
Gambar 10 - Prinsip kerja baut kontrol gaya tarik .....	9
Gambar 11 - Pengencangan baut dengan <i>shear wrench</i> .....	9
Gambar 12 - Prosedur pengencangan baut .....	11
Tabel 1 Putaran terakhir mur setelah kondisi kekencangan sedang .....	5
Tabel 2 Gaya tarik maksimum dan minimum baut A325 dan Grade 8.8 .....	8
Tabel 3 Gaya tarik maksimum dan minimum baut A490 dan Grade 10.9 .....	8
Tabel 4 Nilai K berdasarkan jenis material baut .....	10

## Prakata

Pedoman pemasangan baut pada jembatan menjelaskan metode pengencangan baut pada sambungan konstruksi jembatan. Pedoman ini merupakan hasil kajian yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Pedoman ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi semua pihak yang terlibat dalam pembangunan jembatan.

Pedoman ini dipersiapkan oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subpanitia Teknis 91-01/S2 Rekayasa Jalan dan Jembatan melalui Gugus Kerja Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007 dan dibahas dalam rapat teknis yang diselenggarakan pada tanggal 3 Maret 2014 di Bandung oleh Subpanitia Teknis, yang melibatkan para narasumber, pakar, dan lembaga terkait.



## Pendahuluan

Struktur jembatan merupakan bangunan yang menerima beban dinamis sehingga rentan terhadap fatik. Oleh karena itu, sambungan-sambungan pada jembatan umumnya menggunakan *High Strength Friction Grip Bolts* (HSFG) atau baut mutu tinggi dengan cengkeraman friksi. Prinsip kerja sambungan baut HSFG pada struktur jembatan berupa gaya jepit akibat gaya tarik (*tension*) baut sehingga gaya friksi antara pelat yang dijepit berfungsi sebagai penahan beban yang bekerja. Sambungan pada jembatan disebut sambungan slip kritis (*critical slip joint*) yang mengandalkan friksi pada permukaan pelat akibat gaya jepit (*clamping force*). Dengan demikian, tingkat kekencangan baut akan menentukan besarnya gaya friksi yang diberikan oleh baut pada sambungan.

Pedoman ini menjelaskan beberapa metode pengencangan baut sehingga tercapai gaya friksi pada permukaan pelat sambungan untuk pemasangan baut jembatan baru dan penggantian baut jembatan eksisting. Pedoman ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan bagi para perencana, pelaksana, pengawas, dan inspektor dalam melaksanakan kegiatan pengencangan baut mutu tinggi pada jembatan.

# Pemasangan baut jembatan

## 1 Ruang lingkup

Pedoman ini menjelaskan metode pemasangan baut pada jembatan yang meliputi tahapan persiapan, prosedur dan metode pengencangan baut, serta pemeriksaan kekencangan baut. Metode pemasangan baut dapat digunakan untuk pemasangan baut jembatan baru dan penggantian baut jembatan eksisting.

## 2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini.

ASTM A325M-04, *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated 830 MPa Minimum Tensile Strength (Metric)*

ASTM A490M-04, *Standard Specification for High-Strength Bolts, Classes 10.9 and 10.9.3 for Structural Steel Joints (Metric)*

ISO 898-1: 2009 (E), *Mechanical Properties of Fasteners Made of Carbon Steel and Alloy Steel, Switzerland*

## 3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan dalam pedoman ini, istilah dan definisi berikut ini digunakan.

### 3.1

**baut mutu tinggi dengan cengkeraman friksi (*high strength friction grip bolts*)**  
baut mutu tinggi yang digunakan untuk sambungan struktur yang mengandalkan gaya friksi antar elemen yang disambung, yang dihasilkan dari gaya tarik yang tinggi

### 3.2

**gaya tarik leleh (*yield load*)**  
besarnya gaya tarik baut pada saat terjadi pertambahan panjang tanpa mengalami peningkatan gaya

### 3.3

**gaya tarik putus (*tensile load*)**  
besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut hingga putus

### 3.4

***Internal hydrogen imbrittlement***  
proses yang terjadi pada baja mutu tinggi saat temperatur tinggi sehingga material menjadi getas dan retak akibat tekanan hidrogen yang terjadi dalam skala molekul

### 3.5

**kondisi kekencangan sedang (*snug tight condition*)**  
kondisi baut dikencangkan dengan usaha penuh tenaga manusia dengan menggunakan kunci pas secara manual dengan tujuan agar baut tidak berputar pada saat dikencangkan

### 3.6

#### luas penampang tegangan (*stress area*)

luas penampang baut yang mengalami gaya tarik

### 3.7

#### *proof load*

besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut tanpa mengalami deformasi permanen. *Proof load* untuk setiap kelas baut dapat diperoleh dari pabrikan.

## 4 Ketentuan umum

### 4.1 Keamanan dan keselamatan

Setiap personil yang melaksanakan kegiatan *pemasangan* baut wajib menggunakan peralatan keselamatan diri atau alat pelindung diri (APD) yang bertujuan untuk memberikan rasa aman dan menghindari kecelakaan kerja personil. Peralatan keselamatan yang wajib dimiliki oleh personil adalah tali pengaman, helm, dan sarung tangan.

### 4.2 Penggunaan baut

Baut mutu tinggi yang telah digunakan tidak boleh digunakan kembali. Pengencangan kembali baut yang longgar tidak diizinkan. Pada saat pemasangan, pengencangan ulang baut yang longgar akibat pengencangan baut di sebelumnya tidak dianggap sebagai penggunaan kembali (*reuse*).

### 4.3 Baut digalvanis

Baut yang telah digalvanis (baik dengan cara *hot dip* maupun mekanikal) akan meningkatkan friksi ulir antara baut dan mur sehingga dapat mempengaruhi besarnya nilai torsi dibandingkan baut hitam. Baut yang digalvanis mengakibatkan nilai torsi menjadi lebih besar dan bervariasi untuk memperoleh gaya pratarik yang diinginkan. Penggunaan pelumas pada mur diwajibkan untuk menghasilkan nilai torsi yang lebih kecil dan lebih konsisten. Pengujian pada baut dan mur yang digalvanis dan diberi pelumas wajib dilakukan sebelum pengiriman untuk menjamin bahwa baut dan mur dapat diputar dari kondisi kekencangan sedang hingga kekencangan pratarik tanpa terjadi aus pada ulir (*stripping*). Baut dengan nilai kekerasan lebih besar dari 35 HRC tidak boleh digalvanis untuk menghindari terjadinya *internal hydrogen imbrittlement*.

### 4.4 Homogenitas kualitas baut

Pemasangan baut mutu tinggi pada pembuatan jembatan yang baru untuk satu struktur harus berasal dari pabrik yang sama dan tidak boleh dicampur dari beberapa pabrikan untuk menjaga homogenitas kualitas baut. Baut, mur, dan *ring* harus berasal dari pabrik yang sama. Disarankan untuk menggunakan baut yang mencantumkan nilai torsi pada setiap kemasan. Penggantian baut mutu tinggi untuk jembatan eksisting harus memiliki mutu yang sama.

## 5 Ketentuan teknis

### 5.1 Kinerja baut mutu tinggi pada sambungan

Baut yang digunakan pada konstruksi jembatan sering disebut *High Strength Friction Grip Bolts* (HSFG) atau baut mutu tinggi dengan cengkraman friksi. Baut mutu tinggi dengan

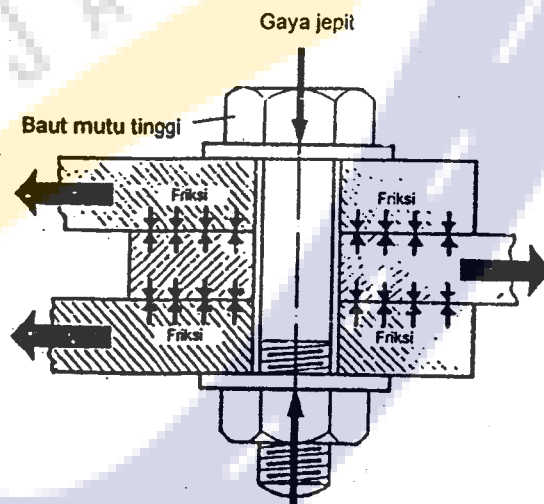


cengkaman friksi memberikan efisiensi yang signifikan pada sambungan dan andal terhadap beban dinamis atau kondisi beban fatik. Baut mutu tinggi memiliki kuat tarik putus minimum 800 MPa. Baut mutu tinggi yang digunakan untuk cengkaman friksi memiliki kepala baut heksagon yang lebar.

Prinsip kerja baut mutu tinggi pada sambungan struktur jembatan menggunakan mekanisme slip kritis akibat gaya jepit pada permukaan sambungan. Gaya jepit (*clamping force*) merupakan gaya akibat baut dalam kondisi tarik hasil dari putaran mur pada ulir baut. Jika baut tidak dalam kondisi tarik maka tidak terdapat gaya jepit. Setelah baut tertarik dan terpasang kokoh pada sambungan, baut secara elastis meregang sebanding dengan perputaran mur. Pada saat mur diputar lebih kencang maka akan menimbulkan tekanan yang besar yang menghasilkan friksi diantara pelat yang diikat dan menghasilkan pula puntiran tarik pada badan baut yang terletak di antara permukaan yang dijepit. Baut mengalami gaya tarik dan gaya torsi pada saat bersamaan. Mekanisme tersebut disebut sambungan slip kritis (*critical slip joint*). Sketsa dari mekanisme sambungan slip kritis dapat dilihat pada Gambar 1.

Kinerja sambungan slip kritis yang melibatkan gaya geser atau gaya geser kombinasi dengan gaya tarik diperlukan pada penggunaan berikut:

- Sambungan yang menerima beban fatik dengan pengulangan gaya;
- Sambungan yang mengakomodasi lubang yang melebihi ukuran;
- Sambungan yang mengakomodasi lubang memanjang (*slotted holes*), kecuali beban yang bekerja normal ( $80^\circ$  hingga  $100^\circ$ ) arah memanjang dari lubang;
- Sambungan dengan slip pada permukaan kontak yang akan merugikan performa dari struktur.



Gambar 1 - Mekanisme sambungan slip kritis

## 5.2 Tahap persiapan

### 5.2.1 Penyediaan alat verifikasi gaya tarik

Alat verifikasi gaya tarik adalah alat yang menunjukkan gaya tarik yang timbul akibat torsi pada saat baut dikencangkan. Pengencangan baut pada sambungan pratarik (*pretension joints*) dan sambungan slip kritis harus menggunakan alat verifikasi gaya tarik. Alat verifikasi harus dikalibrasi setiap tahun untuk menjamin keakuratan. Alat verifikasi gaya tarik digunakan untuk:

- Verifikasi sebelum pemasangan baut untuk memastikan kesesuaian kekuatan tarik baut dengan susunan baut yang lengkap (termasuk penggunaan pelumas) sehingga dapat menentukan gaya tarik minimum;
- Memastikan prosedur pemasangan telah benar;

- c. Verifikasi terhadap kecukupan dan kelayakan metode pratarik yang digunakan;
- d. Menentukan nilai torsi apabila menggunakan metode pengencangan dengan kunci torsi;
- e. Sebagai penengah dalam menentukan nilai torsi jika diperlukan untuk menyelesaikan perselisihan.

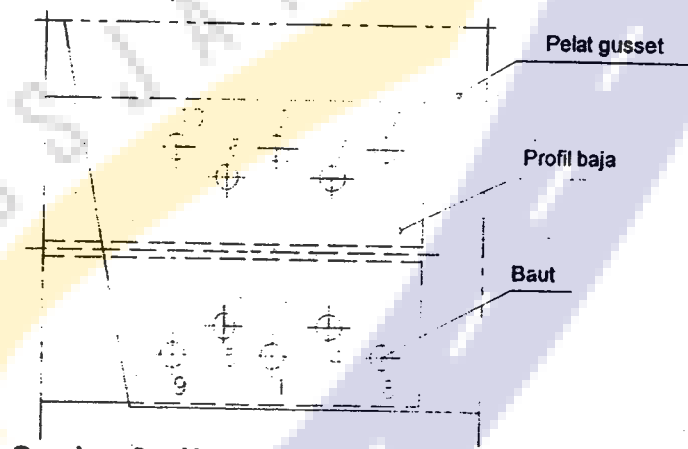
Alat verifikasi gaya tarik harus memiliki kekuatan 5% lebih besar dari gaya tarik baut yang direncanakan.

## 5.2.2 Pengujian kekencangan baut

Sebelum pemasangan baut, pengujian di lapangan harus dilakukan dengan menggunakan alat verifikasi gaya tarik pada minimum tiga buah baut dengan susunan lengkap untuk setiap kombinasi diameter, panjang, mutu, dan jumlah lot. Pengujian dilakukan untuk memverifikasi gaya tarik baut sehingga memiliki nilai yang sama atau lebih besar dari rencana. Apabila gaya tarik baut memiliki nilai lebih kecil dari rencana, maka harus diketahui penyebabnya dan diselesaikan sebelum pemasangan. Gaya tarik baut dapat ditingkatkan dengan membersihkan atau memberi pelumas pada mur.

## 5.3 Prosedur pemasangan baut

Pemasangan baut harus dilakukan dengan prosedur yang benar untuk menghindari terjadinya longgar pada baut yang telah dikencangkan. Urutan *pemasangan* baut mutu tinggi yang benar dilakukan dari bagian tengah menuju tepi secara menyilang. Urutan *pemasangan* baut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 – Urutan *pemasangan* baut mutu tinggi

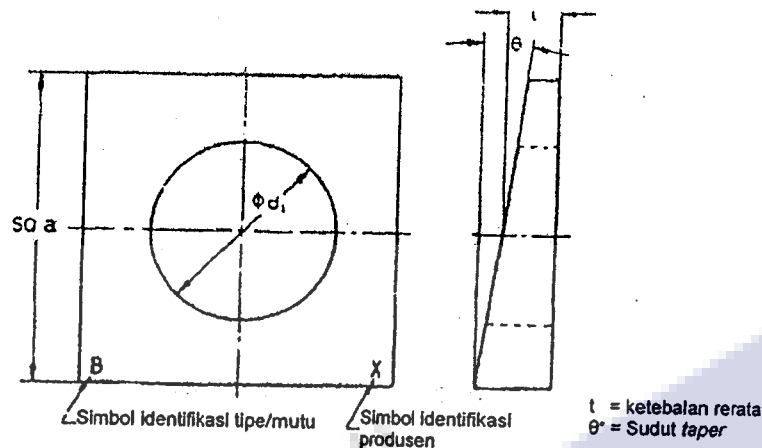
## 5.4 Metode pengencangan baut

Pemasangan baut memiliki beberapa metode pengencangan. Setiap metode memiliki tingkat akurasi gaya pratarik pada baut yang berbeda sesuai nomor urut dimulai dengan tingkat akurasi yang rendah.

### 5.4.1 Metode putaran mur (*turn of nut*)

Ring diletakkan pada bagian yang berputar atau yang dikencangkan untuk menghindari kerusakan pada pelat yang akan disambung. Apabila kondisi pelat yang akan disambung memiliki kemiringan lebih dari  $3^\circ$  atau lebih dari 1:20, maka harus menggunakan *ring runcing* (*taper washer*) seperti ditunjukkan pada Gambar 3, dan sedapat mungkin diletakkan pada bagian yang tidak berputar. Seluruh mur dikencangkan dengan usaha penuh tenaga manusia dengan menggunakan kunci pas secara manual. Kondisi ini disebut kondisi kekencangan sedang (*snug tight condition*). Setiap mur diberi tanda hingga mengenai pelat yang akan disambung untuk mengontrol putaran baut yang terakhir. Tanda pada mur dan pelat sebaiknya permanen untuk kepentingan pemeriksaan. Putaran terakhir pada mur harus

dapat dipastikan telah mencapai kekencangan tertentu sehingga tercapai gaya tarik tertentu pada baut. Putaran mur untuk mencapai gaya tarik minimum dapat dilihat pada Tabel 1. Putaran terakhir dapat diamati dengan akurat apabila menggunakan kunci yang telah diberi tanda. Apabila baut telah mencapai gaya tarik yang telah ditentukan, maka baut tidak akan berputar.



Gambar 3 - Ring runcing (taper washer)

Tabel 1 Putaran terakhir mur setelah kondisi kekencangan sedang

Panjang baut (dari bagian bawah kepala baut hingga ujung baut)	Penempatan sisi baut terluar (1, 2, 3, 4)		
	Kedua sisi pada sumbu normal	Satu sisi pada sumbu normal dan sisi yang lain miring	Kedua sisi miring
$p \leq 4 \phi$	$\frac{1}{3}$ putaran	$\frac{1}{2}$ putaran	$\frac{2}{3}$ putaran
$4 \phi < p < 8 \phi$	$\frac{1}{2}$ putaran	$\frac{2}{3}$ putaran	$\frac{5}{6}$ putaran
$8 \phi \leq p < 12 \phi^{(5)}$	$\frac{2}{3}$ putaran	$\frac{5}{6}$ putaran	1 putaran

Catatan: (1) Toleransi untuk  $\frac{1}{2}$  putaran atau kurang adalah  $\frac{1}{12}$  putaran ( $30^\circ$ ) dan untuk  $\frac{2}{3}$  putaran atau lebih adalah  $\frac{1}{8}$  putaran ( $45^\circ$ ).

- (2) Gaya tarik pada baut yang tercapai berdasarkan putaran mur sesuai Tabel 1 merupakan gaya tarik minimum pada baut yang besarnya sesuai dengan *proof load*.
- (3) Putaran mur merupakan putaran relatif terhadap baut, tanpa memperhatikan komponen yang berputar.
- (4) Putaran baut secara spesifik hanya dapat digunakan pada sambungan dengan seluruh bahan yang diikat oleh baut adalah baja.
- (5) Belum ada penelitian yang dapat digunakan untuk memastikan metode putaran mur dengan panjang baut lebih dari 12 kali diameter. Oleh sebab itu, putaran yang diperlukan harus ditentukan berdasarkan pengujian menggunakan alat ukur tarik yang sesuai untuk mensimulasikan kondisi rangkaian baja.

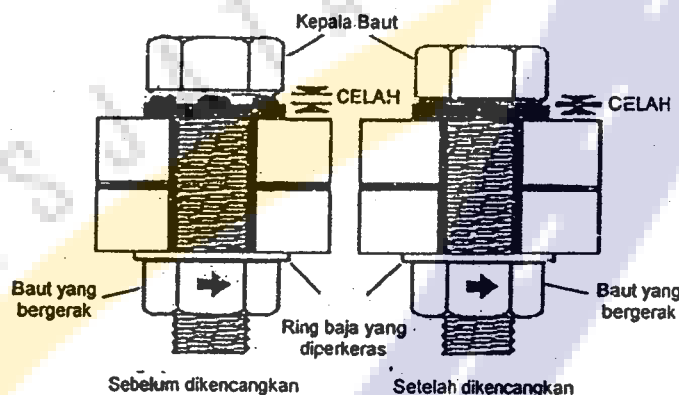
#### 5.4.2 Metode ring indikator tarik (direct tension indicators washer)

Ring indikator tarik merupakan ring mutu tinggi khusus yang memiliki lekukan yang akan tertekan pada saat terjadi tarik pada baut, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Metode ring indikator tarik merupakan metode yang mudah dalam memastikan baut telah dikencangkan

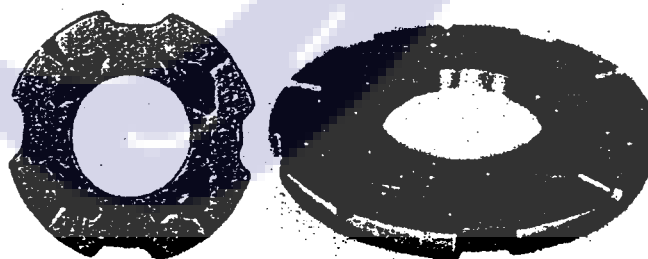
secara benar sesuai dengan gaya tarik yang disyaratkan dan merupakan pilihan yang lebih baik dari pada metode *ring* datar. *Ring* indikator dengan lapisan *zinc phosphate* lebih disukai, tetapi *ring* indikator juga dapat dilapisi dengan pelindung korosi yang lain tergantung pada pabrikan. Pengukuran celah lekukan yang tertekan pada baut yang telah dikencangkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5, memberikan indikasi besarnya gaya tarik pada baut. *Ring* indikator yang digunakan harus memiliki mutu yang sama dan berasal dari produsen yang sama dengan baut dan mur yang digunakan untuk memastikan kualitas yang seragam. *Ring* indikator tidak boleh dipasang bersentuhan langsung dengan bagian yang diputar. Dengan perkembangan teknologi saat ini, terdapat pula *ring* indikator tarik yang terbuat dari bahan karet (lihat Gambar 6). Pada umumnya *ring* indikator tarik berwarna cerah seperti jingga sehingga kekencangan baut dapat diamati secara visual tanpa menggunakan alat ukur. Untuk menjamin ketelitian dan keakurasian gaya tarik baut, *ring* indikator tarik harus diuji terlebih dahulu.



Gambar 4 - *Ring* indikator tarik



Gambar 5 - Cara kerja *ring* indikator tarik

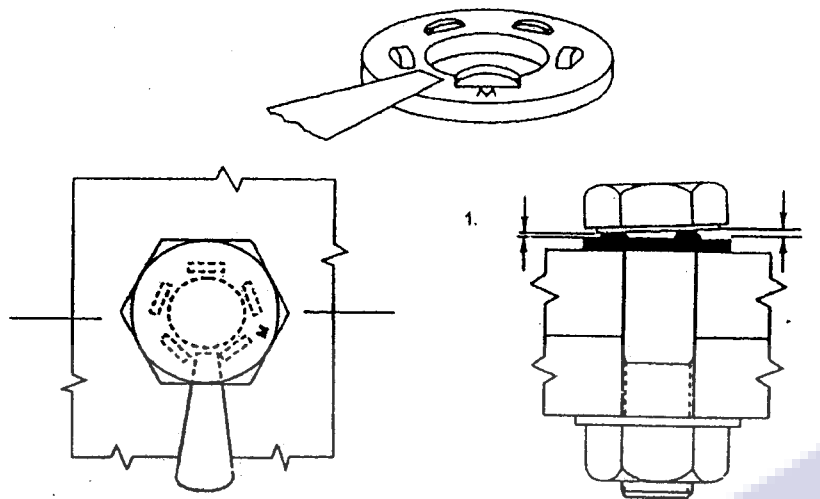


Gambar 6 - *Ring* indikator tarik karet

Prosedur pengencangan dengan menggunakan *ring* indikator tarik logam adalah sebagai berikut:

1. Tahap pertama: seluruh baut harus dalam kondisi kekencangan sedang. Periksa lapisan pada sambungan sehingga tidak terdapat celah pada setiap lapisnya.
2. Tahap kedua: pengencangan kedua dilakukan dengan kunci torsi (*torque wrench*) hingga lekukan pada *ring* indikator menunjukkan kekencangan penuh. Periksa kekencangan 100% dengan menggunakan *feeler* yang memiliki ketebalan 0,40 mm (lihat Gambar 7).

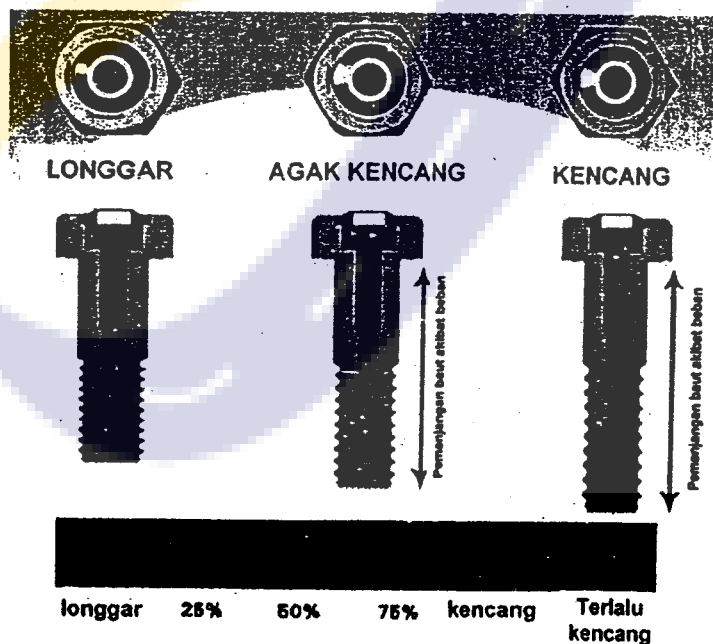
Apabila masih terdapat celah lebih dari 0,4 mm, maka baut belum mencapai kekencangan 100%.



Gambar 7 - Pemeriksaan ring indikator tarik

#### 5.4.3 Metode baut indikator tarik (*direct tension indicators bolt*)

Baut indikator tarik merupakan salah satu baut mutu tinggi (grade 8.8 dan grade 10.9) dengan indikator tarik pada bagian tengah kepala baut. Indikator pada kepala baut berupa perubahan warna dari warna yang terang menjadi warna yang gelap, seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Baut indikator tarik lebih mudah dalam mengidentifikasi terjadinya gaya tarik pada baut dengan akurasi sampai dengan 90 % terhadap gaya tarik.



Gambar 8 - Contoh warna baut indikator tarik

#### 5.4.4 Metode kontrol torsi dengan kunci torsi (*torque wrench*)

Metode kunci torsi yang sering disebut kontrol gaya tarik sangat banyak digunakan karena mudah untuk dilaksanakan di lapangan dan memiliki akurasi yang cukup tinggi. Sebelum

digunakan, kunci torsi terlebih dahulu harus diverifikasi untuk menentukan besarnya torsi. Sebelum dikencangkan dengan menggunakan kunci torsi, seluruh baut harus dalam kondisi kekencangan sedang. Seluruh baut dikencangkan dengan nilai torsi yang telah ditentukan berdasarkan jenis dan diameter baut. Hasil gaya tarik pada baut dengan menggunakan metode ini sangat bervariasi meskipun prosedur pelaksanaan dilakukan dengan benar. Nilai *proof load* digunakan sebagai batas gaya tarik maksimum yang mampu diterima oleh baut dan gaya tarik minimum yang diijinkan sebesar 0,7 dari gaya tarik putus. Nilai *proof load* untuk setiap mutu baut dan gaya tarik minimum dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 2 - Gaya tarik maksimum dan minimum baut A325 dan Grade 8.8**

Ukuran nominal	Proof load/gaya tarik maksimum (kN)		Gaya tarik minimum (kN)
	ASTM A325	ISO Grade 8.8	
M16	94,2	91,1	91
M20	147	147	142
M22	182	181,8	176
M24	212	211,8	205
M27	275	275,4	267
M30	337	336,6	326
M36	490	490,2	475

Sumber: ASTM A325M-04, Maryland Metrics, USA dan ISO898-1:2009

**Tabel 3 - Gaya tarik maksimum dan minimum baut A490 dan Grade 10.9**

Ukuran nominal	Proof load/gaya tarik maksimum (kN)		Gaya tarik minimum (kN)
	ASTM A490	ISO Grade 10.9	
M16	130	130,3	114
M20	203	203,4	179
M22	251	251,5	221
M24	293	293	257
M27	381	381	334
M30	466	465,6	408
M36	678	678,1	595

Sumber: ASTM A325M-04, Maryland Metrics, USA dan ISO898-1:2009

Penggunaan metode kunci torsi harus dilakukan dengan teliti dan memerlukan perhatian yang lebih detail. Verifikasi kunci torsi di lapangan harus dilakukan setiap hari atau :

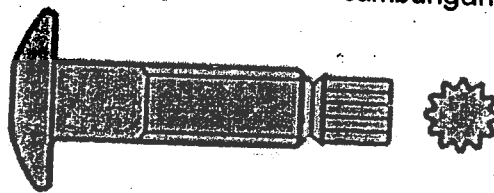
- Ketika lot dari komponen rangkaian baut (baut, *ring* dan mur) diganti;
- Ketika lot dari komponen rangkaian baut (baut, *ring* dan mur) diberi pelumas kembali;
- Ketika terdapat perbedaan yang signifikan pada permukaan baut, ulir, mur, atau ring;
- Ketika mengganti kunci torsi atau komponen utama dari kunci torsi diubah (diberi pelumas).

Baut standar JIS mutu F10T dapat digunakan apabila diketahui data kekuatan material dari pabrik terutama *proof load* dan gaya tarik putus.

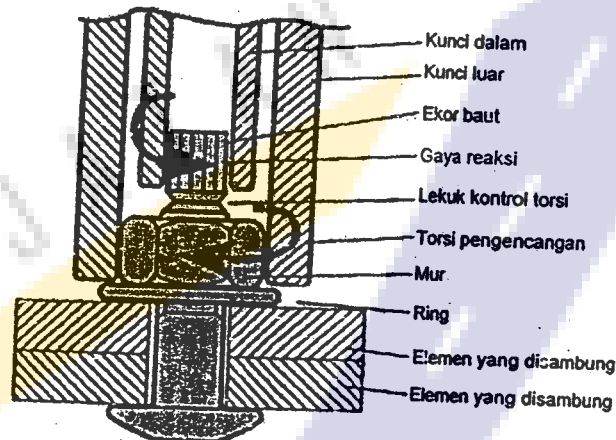


#### 5.4.5 Metode putaran dengan baut kontrol gaya tarik (*twist-off type tension control bolt/TC Bolt*)

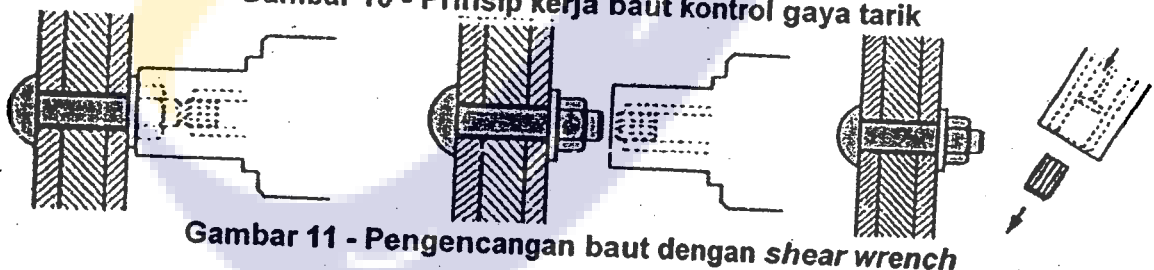
Baut kontrol gaya tarik adalah baut yang menggunakan putaran torsi sebagai pengatur gaya tarik baut. Bentuk baut kontrol gaya tarik dapat dilihat pada Gambar 9. Baut kontrol gaya tarik memiliki kekuatan setara A490, Grade 10.9 dan F10T. Proses pengencangan baut dilakukan dengan menggunakan alat khusus berupa *shear wrench* seperti terlihat pada Gambar 10. Putaran mur berlawanan arah terhadap putaran ekor baut. Putusnya ekor baut merupakan tanda bahwa baut telah kencang seperti terlihat pada Gambar 11. Nilai gaya tarik pada baut tidak dapat diukur sehingga setiap pabrik wajib menyertakan nilai gaya tarik yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan sambungan.



Gambar 9 - Baut kontrol gaya tarik



Gambar 10 - Prinsip kerja baut kontrol gaya tarik



Gambar 11 - Pengencangan baut dengan *shear wrench*

#### 5.5 Perhitungan torsi menggunakan kunci torsi

Pengencangan baut pada umumnya memberikan torsi pada mur atau kepala baut. Hubungan torsi terhadap gaya pratarik baut adalah linier, sehingga nilai dari kunci torsi dapat digunakan untuk mengukur gaya tarik baut.

$$T = \frac{K F_t d}{1000}$$

(1)

Keterangan:

- T adalah nilai torsi (Nm)
- K adalah konstanta friksi antara baut dan mur
- $F_t$  adalah gaya tarik baut (N)
- d adalah diameter baut (mm)

Nilai konstanta friksi antara baut dan mur, K, tergantung pada material dan ukuran baut. Nilai K dapat dicari dengan melakukan pengujian menggunakan mesin. Apabila tidak terdapat data, maka nilai K sesuai dengan Tabel 4.

**Tabel 4 - Nilai K berdasarkan jenis material baut**

Material baut	Nilai K
Baut baja dengan karbon rendah/ <i>Mild steel bolts</i>	0,2
Baut baja hitam tanpa lapisan/ <i>Non-plated black finish steel bolt</i>	0,3
Baut baja dengan lapisan seng/ <i>Zinc plated steel bolts</i>	0,16 - 0,2
Baut baja diberi pelumas/ <i>Lubricated steel bolts</i>	0,18
Baut baja dengan lapisan cadmium/ <i>Cadmium plated steel bolts</i>	0,16

## 5.6 Pemeriksaan kekencangan baut

Pemeriksaan kekencangan baut dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Pada konstruksi jembatan baru, pelaksana harus dapat memastikan pemasangan dan pengencangan baut telah sesuai dengan prosedur yang ditentukan. Baut dan mur yang menunjukkan kerusakan fisik berdasarkan hasil pemeriksaan secara visual harus diganti;
2. Jumlah sampel baut yang diperiksa minimum 10 % dari seluruh baut pada satu sambungan tetapi tidak boleh kurang dari dua buah baut;
3. Pemeriksaan terhadap gaya tarik baut menggunakan kunci torsi yang terkalibrasi.

### 5.6.1 Pemeriksaan kekencangan baut pada metode putaran mur

Inspektor harus mengawasi pengujian dengan alat verifikasi gaya tarik sebelum pemasangan untuk verifikasi besarnya gaya tarik terhadap besarnya putaran mur atau baut. Pengawasan rutin harus dilakukan untuk memastikan personil telah melakukan pemutaran baut dengan benar sesuai dengan Tabel 1. Pengawasan rutin secara visual harus dilakukan untuk mengamati perputaran mur melalui tanda pada mur. Tanda pada mur dibuat setelah baut mencapai kondisi kekencangan sedang. Apabila putaran mur lebih besar dari yang telah ditentukan, maka pekerjaan dapat diterima dan tidak boleh ditolak.

Penggunaan pelumas yang sesuai dapat memudahkan pengencangan sehingga untuk mencapai gaya tarik baut yang diinginkan cukup dengan menggunakan kunci pas. Oleh karena itu pengujian harus dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan pelumas pada mur atau baut. Pelumas harus dihilangkan dari baut menggunakan air sabun bertekanan setelah pemasangan baut selesai dilaksanakan. Semakin banyak pelumas yang digunakan maka semakin besar usaha untuk membersihkan baut setelah dipasang.

### 5.6.2 Pemeriksaan kekencangan baut pada metode ring indikator tarik

Inspektor harus mengawasi pengujian dengan alat verifikasi gaya tarik sebelum pemasangan untuk verifikasi besarnya gaya tarik terhadap kerusakan ring dengan menggunakan *feeler gage* yang telah ditentukan. Apabila pada saat pengujian *feeler gage* yang telah ditentukan tidak dapat masuk pada celah tonjolan (*protrusions*) dan gaya tarik baut yang diinginkan tidak terpenuhi, maka ring indikator tarik tidak memenuhi spesifikasi sehingga harus diganti. Pengawasan rutin dilakukan untuk memastikan setengah dari *feeler gage* minimal masuk setengah bagian dari jarak antar tonjolan. Pengencangan baut dengan ring indikator tarik tidak boleh dilakukan dalam satu siklus yang menerus, sehingga baut terlebih dahulu harus dalam kondisi kekencangan sedang untuk memastikan pelat yang disambung dalam kondisi kokoh.



### 5.6.3 Pemeriksaan kekencangan baut pada metode kontrol torsi dengan kunci torsi

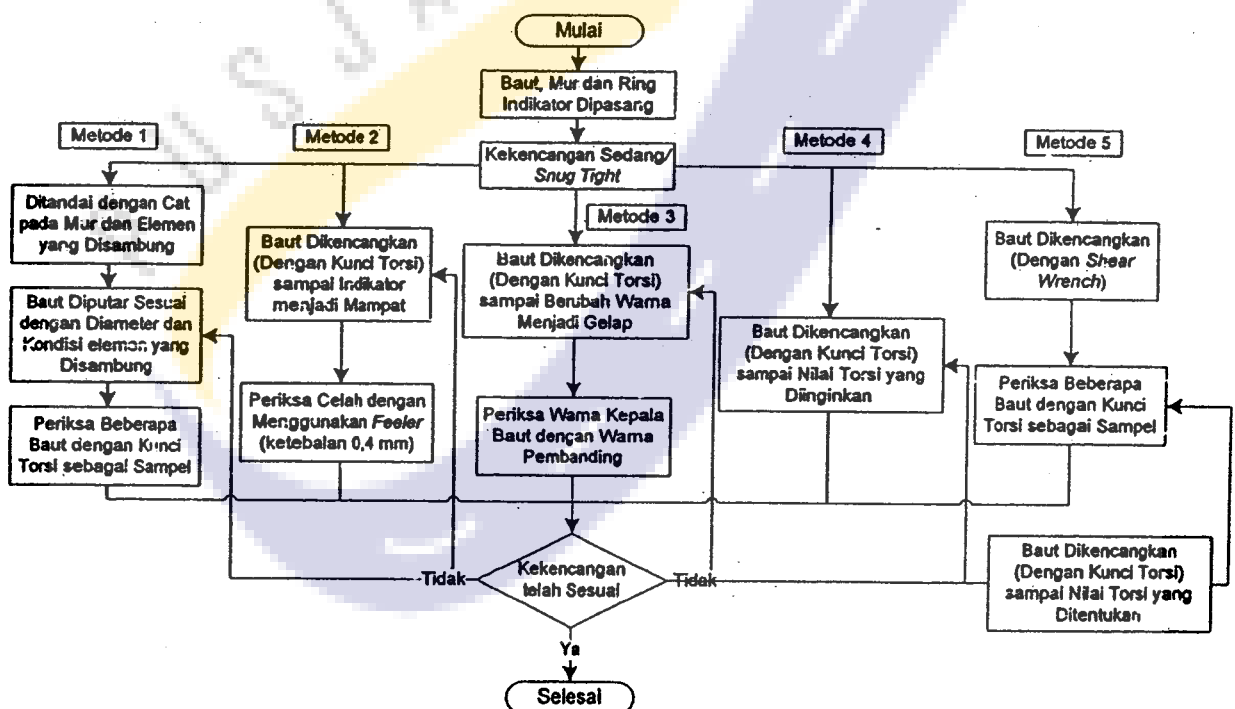
Inspektor harus mengawasi pengujian dengan alat verifikasi gaya tarik sebelum pemasangan untuk verifikasi besarnya gaya tarik terhadap nilai torsi. Pengawasan rutin harus dilakukan untuk memastikan personil telah melakukan pemutaran baut pada elemen yang harus diputar. Apabila nilai torsi lebih besar dari yang telah ditentukan, maka pekerjaan dapat diterima dan tidak boleh ditolak.

### 5.6.4 Pemeriksaan kekencangan baut pada metode putaran dengan kontrol gaya tarik

Inspektor harus mengawasi pengujian dengan alat verifikasi gaya tarik sebelum pemasangan untuk verifikasi besarnya gaya tarik terhadap ujung baut yang putus. Pengawasan dilakukan untuk memastikan baut telah dalam kondisi kekencangan sedang sebelum dikencangkan dengan menggunakan mesin. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari kekencangan baut lebih kecil dari gaya tarik yang telah ditentukan. Pengawasan rutin harus dilakukan untuk memastikan personil telah memutuskan ujung baut dengan tepat pada saat pengencangan.

## 6 Prosedur pemasangan baut

Langkah-langkah pelaksanaan pengencangan baut dengan beberapa metode dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 - Prosedur pemasangan baut

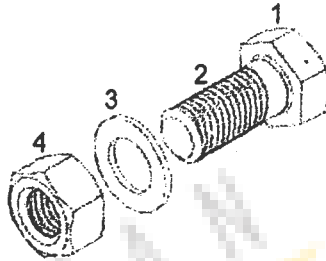
## Lampiran A (informatif) Spesifikasi baut mutu tinggi

### A.1 Baut

Baut dikategorikan berdasarkan diameter baut. Semakin besar diameter baut maka semakin besar pula gaya yang dapat bekerja.

Baut memiliki beberapa bagian, seperti ditunjukkan pada Gambar A.1, yaitu:

1. Kepala baut,
2. Ulir,
3. Ring,
4. Mur.



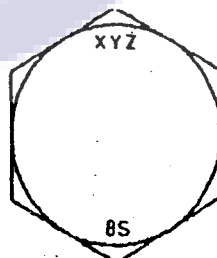
**Gambar A.1 - Bagian baut**

#### A.1.1. Kelas baut

Kelas baut dengan standar ISO 898-1 memiliki tanda dalam bentuk x.y. Tanda x menunjukkan kekuatan tarik putus/ultimit baut yang dibagi 100 dengan satuan  $\text{N/mm}^2$ . Tanda y menunjukkan kekuatan leleh baut dalam persen terhadap kekuatan tarik putus/ultimit dibagi 10. Sebagai contoh baut kelas/grade 8.8 memiliki arti baut memiliki kekuatan tarik putus/ultimit sebesar  $800 \text{ N/mm}^2$  dan memiliki kekuatan leleh sebesar 80% dari  $800 \text{ N/mm}^2$  yaitu  $640 \text{ N/mm}^2$ .

#### A.1.2. Identifikasi baut

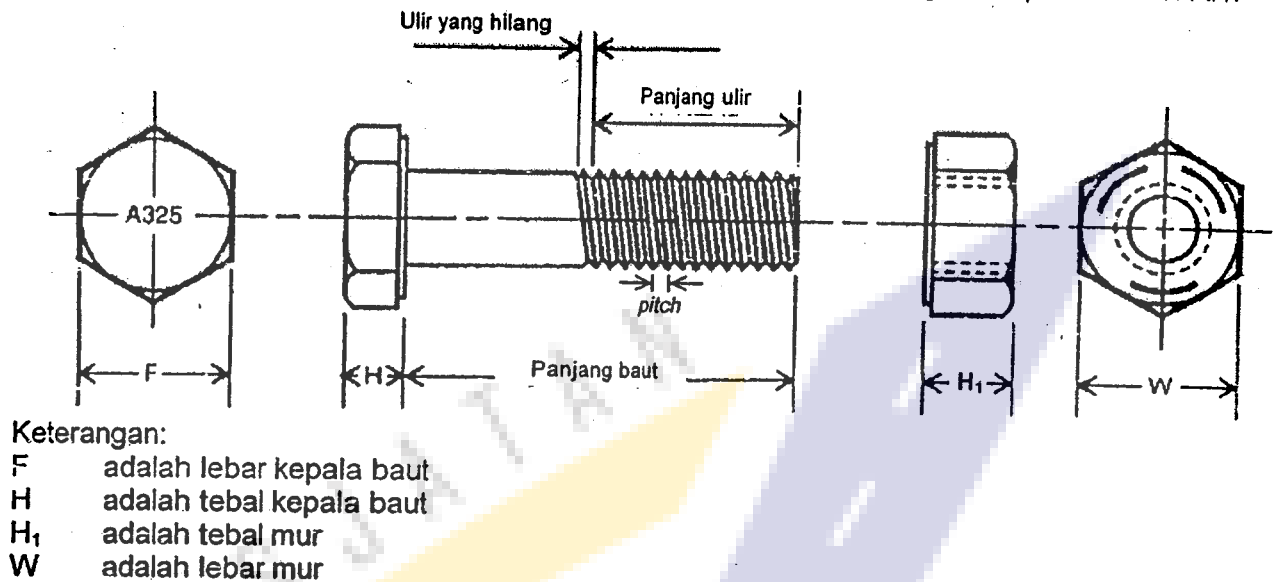
Kelas baut harus teridentifikasi pada kepala baut sebagai simbol identifikasi pabrikan 'XYZ'. Pada sebagian pabrikan menggunakan simbol 'S' yang memiliki arti baut struktur mutu tinggi dengan kepala baut hexagon yang lebar. Contoh penulisan kelas baut dapat berupa '8.8', '8.8 S' atau '8 S', seperti ditunjukkan pada Gambar A.2. Untuk baut dengan standar ASTM tertulis mutu baut pada kepala baut dengan simbol 'A' dan kode mutu sesuai nomor ASTM contohnya 'A325' atau 'A490'.



**Gambar A.2 - Tanda tiptikal pada kepala baut**

### A.1.3. Diameter dan panjang baut

Baut mutu tinggi memiliki berbagai macam ukuran mulai dari ½ inci sampai dengan 1½ inci. Panjang baut harus dipilih untuk dapat mengikat struktur ditambah tebal mur dan ring. Panjang ulir baut juga harus diperhatikan dengan menyisakan empat ulir penuh yang diukur dari ujung mur bagian dalam sampai dengan batas ulir baut. Panjang ulir sisa antara tepi mur dan ujung baut minimal sama dengan diameter baut. Diameter baut minimum sepuluh kali tebal seluruh lapisan pelat baja ditambah mur dan ring. Pada Gambar A.3 ditunjukkan dimensi baut, sedangkan diameter baut standar ASTM dan ISO ditunjukkan pada Tabel A.1.



Gambar A.3 - Dimensi baut

Tabel A.1 - Diameter baut standar ASTM dan ISO pada jembatan

Ukuran nominal	Diameter nominal (mm)	Pitch (mm)	Luas area tegangan (mm <sup>2</sup> )
M16	16	2,0	157
M20	20	2,5	245
M22	22	2,5	303
M24	24	3,0	353
M27	27	3,0	459
M30	30	3,5	561
M36	36	4,0	817

### A.1.4. Ring baut

Seluruh *ring* baut harus rata dengan deviasi ketebalan maksimum 0,25 mm, diukur pada lubang *ring* yang diletakkan pada permukaan yang datar.

### A.2 Karakteristik baut

Jembatan-jembatan di Indonesia umumnya menggunakan baut standar ASTM (yaitu A325 dan A490), standar ISO 898-1 (yaitu grade 8.8 dan grade 10.9), dan standar JIS (F10T). Baut ASTM A325 memiliki kekuatan leleh (*yield strength*) dan kekuatan tarik (*tensile*

*strength*) hampir sama dengan baut ISO grade 8.8. Sedangkan baut ASTM A490 memiliki kekuatan leleh dan kekuatan tarik hampir sama dengan ISO grade 10.9 dan JIS F10T.

### A.2.1. Kekerasan baja

Material baja memiliki tingkat kekerasan tertentu dengan parameter ukur yang bermacam-macam antara lain *Hardness Rockwell C Number* (HRC) dan *Vicker Hardness Number* (HV). Pada Tabel A.2 disajikan perbandingan kekerasan baja berdasarkan *Hardness Rockwell C Number* (HRC) merujuk pada standar ASTM, standar ISO, dan standar JIS.

**Tabel A.2 - Kekerasan baja**

Standar	A325	Grade 8.8	A490	Grade 10.9	F10T
HRC	25 – 34 <sup>(1)</sup> 19 – 30 <sup>(2)</sup>	22 – 32 <sup>(3)</sup> 23 – 34 <sup>(4)</sup>	33 – 39	32 – 39	27 – 38

Catatan: (1) Diameter baut ≤ M24

(2) Diameter baut > M24

(3) Diameter baut ≤ M16

(4) Diameter baut > M16

### A.2.2. Sifat mekanik baut

Sebagai salah satu material baja, baut memiliki sifat mekanik berupa tegangan leleh dan tegangan tarik putus. Selain kedua sifat mekanik tersebut, baut harus diuji terlebih dahulu untuk mengetahui *proof load*. Desain sambungan struktur dapat menggunakan *proof load* sebagai pengganti tegangan leleh. Pada umumnya produsen telah memiliki data *proof load* untuk setiap baut yang diproduksi tetapi apabila pengguna menginginkan data primer, maka dapat dilakukan pengujian. Pada Tabel A.3 disajikan sifat mekanik baut merujuk pada standar ASTM, standar ISO, dan standar JIS.

**Tabel A.3- Sifat mekanik baut**

	A325	Grade 8.8	A490	Grade 10.9	F10T
Tegangan leleh (MPa)	660	640 <sup>(1)</sup> 660 <sup>(2)</sup>	940	940	900
Tegangan tarik putus (MPa)	830	800 <sup>(1)</sup> 830 <sup>(2)</sup>	1040 – 1210	1040	1000 – 1200
Tegangan <i>proof load</i> (MPa)	600	580 <sup>(1)</sup> 600 <sup>(2)</sup>	830	830	-

Catatan: (1) Diameter baut ≤ M16

(2) Diameter baut > M16

**Lampiran B**  
(informatif)

**Contoh perhitungan torsi baut mutu tinggi**

Pembangunan struktur jembatan rangka menggunakan baut galvanis mutu A325 M24. Nilai *proof load* dari pabrikan sebesar 212 kN. Hitung besarnya nilai torsi yang dibutuhkan untuk mengencangkan baut apabila tidak menggunakan pelumas.

Diketahui:

Jenis sambungan *High Strength Friction Grip* (HSFG)

Mutu baut = A325

Diameter baut = 24 mm

Luas = 353 mm<sup>2</sup>

*Proof load* = 212 kN

Gaya tarik minimum = 205 kN

1. Hitung besar gaya tarik yang dibutuhkan:

Gaya tarik minimum

$$F_i = 205\,000\text{ N}$$

Gaya tarik maksimum

$$F_i = 212\,000\text{ N}$$

2. Hitung nilai torsi

Nilai torsi minimum

$$T = \frac{K F_i d}{1000}$$

$$T = \frac{0,2 \cdot 205\,000 \cdot 24}{1000}$$

$$T = 984\text{ Nm}$$

Nilai torsi maksimum

$$T = \frac{K F_i d}{1000}$$

$$T = \frac{0,2 \cdot 212\,000 \cdot 24}{1000}$$

$$T = 1\,018\text{ Nm}$$

Nilai torsi yang dibutuhkan untuk mengencangkan baut galvanis dengan mutu A325 M24 sebesar 984 Nm sampai dengan 1 018 Nm.

## Bibliografi

CBH Operations PTY LTD, *Technical Specification "TS 3 – Tightening Procedure for High Strength Steel Bolts Part Turn Method"*, Australia

*Guidelines for Use of High Strength Friction Grip (HSFG) Bolts on Bridges on Indian Railways*, India

Kulak, Geoffrey L, et all, 1987, 2nd edition: "*Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints*", AISC, Illinois, USA.

Manual preservasi (UPR.3) Pemeliharaan rutin jalan dan jembatan, "*Petunjuk praktis pemeliharaan jalan dan jembatan*"

Research Council on Structural Connections (RCSC), 2004, "*Specification for Structural Joints Using ASTM A325 dan A490 Bolts*", USA



## Daftar nama dan lembaga

### 1) Pemrakarsa

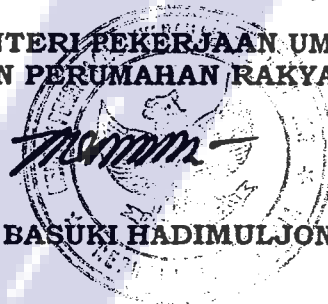
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

### 2) Penyusun

Nama	Lembaga
Bagus Aditya, ST., M.Eng	Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Ditetapkan di Jakarta  
pada tanggal 23 April 2015

MENTERI PEKERJAAN UMUM  
DAN PERUMAHAN RAKYAT,



M. BASUKI HADIMULJONO