

## BAB 5 SAMBUNGAN BAUT

Sambungan mur baut (Bolt) banyak digunakan pada berbagai komponen mesin. Sambungan mur baut **bukan merupakan sambungan tetap**, melainkan **dapat dibongkar pasang dengan mudah**.

Beberapa keuntungan penggunaan sambungan mur baut :

- Mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menerima beban.
- Kemudahan dalam pemasangan
- Dapat digunakan untuk berbagai kondisi operasi
- Dibuat dalam standarisasi
- Efisiensi tinggi dalam proses manufaktur

Kerugian utama sambungan mur baut adalah **mempunyai konsentrasi tegangan yang tinggi di daerah ulir**.

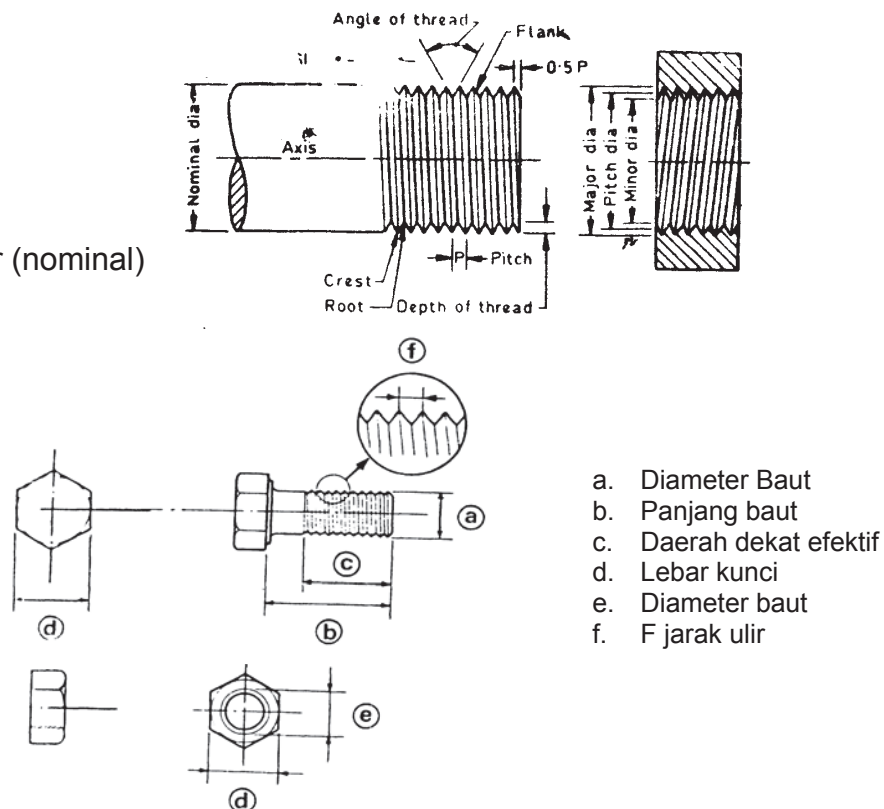
### 1. Tata Nama Baut

- a. Diameter mayor adalah diameter luar baik untuk ulir luar maupun dalam.
- b. Diameter minor adalah diameter ulir terkecil atau bagian dalam dari ulir.
- c. Diameter *pitch* adalah diameter dari lingkaran imajiner atau diameter efektif dari baut
- d. *Pitch* adalah jarak yang diambil dari satu titik pada ulir ke titik berikutnya dengan posisi yang sama.

$$Pitch = \frac{1}{\text{jumlah ulir per panjang baut}} \quad (1)$$

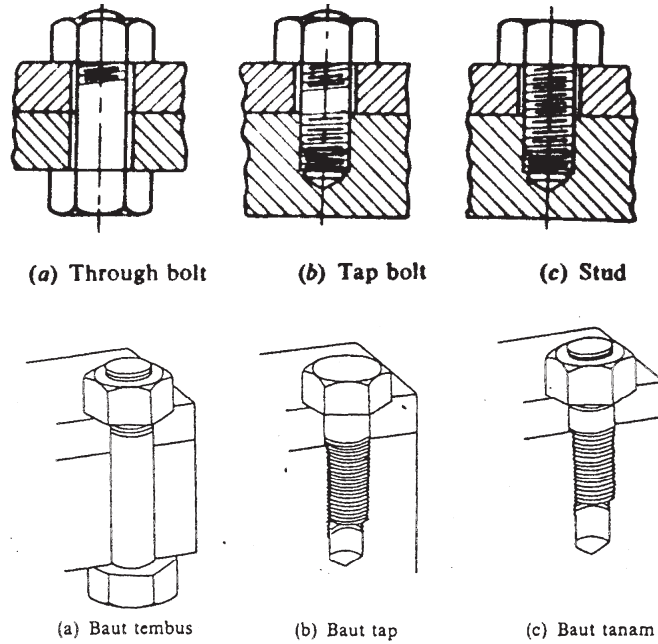
- e. *Lead* adalah jarak antara dua titik pada kemiringan yang sama atau jarak lilitan.

$d_o$  : diameter mayor (nominal)  
 $d_i$  : diameter minor  
 $d_p$  : diameter *pitch*



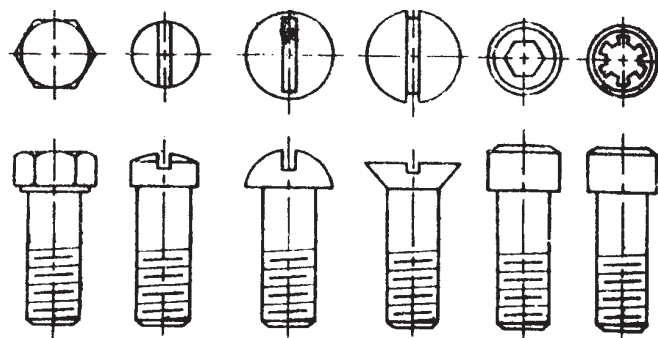
**Gambar 1. Bagian-Bagian Baut**

Jenis-jenis baut yang biasa digunakan sebagai berikut :

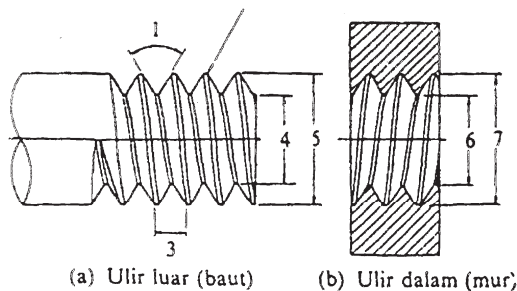


**Gambar 2. Jenis Baut**

Jenis-jenis sekrup yang biasa digunakan sebagai berikut :



**Gambar 3. Jenis Sekrup**



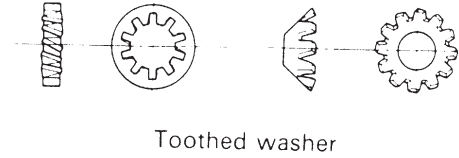
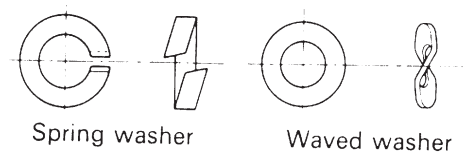
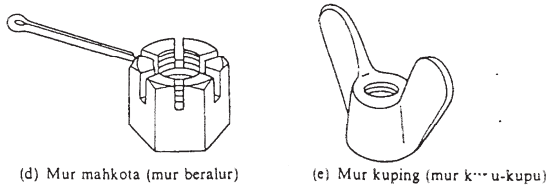
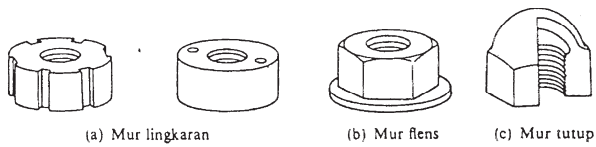
**Gbr. 7.2 Nama bagian-bagian ulir.**

1. Sudut ulir
2. Puncak ulir luar
3. Jarak bagi
4. Diameter inti dari ulir luar
5. Diameter luar dari ulir luar
6. Diameter dalam dari ulir dalam
7. Diameter luar dari ulir dalam

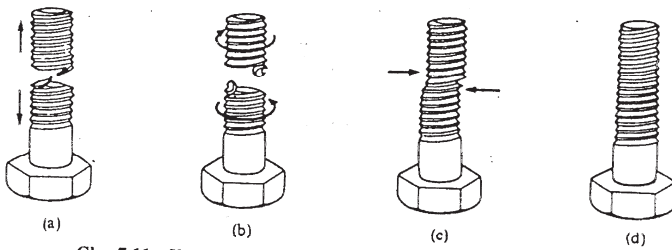
**Gambar 4. Tata Nama Ulir**

## JENIS-JENIS MUR

*Diktat-elmes-agustinus purna irawan-tm.ft.untar*



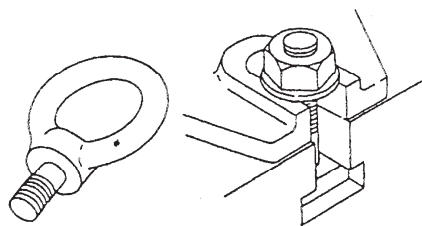
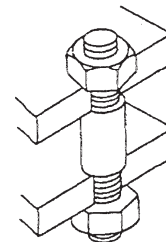
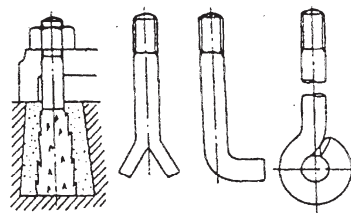
## KERUSAKAN BAUT



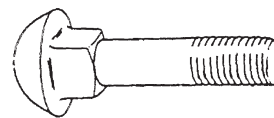
Gbr. 7.11 Kerusakan pada baut.  
(a) putus karena tarikan  
(b) putus karena puntiran

(c) tergeser  
(d) ulir lumur (dol)

## Baut dengan pemakaian khusus



(c) Baut mata

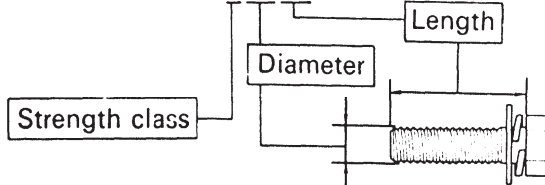


## Contoh Pengkodean Baut

Klas pengerasan, diameter dan panjang baut yang digunakan pada kendaraan **TOYOTA** dapat diketahui dari nomer partnya.

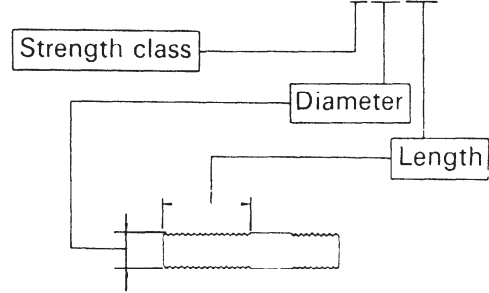
- Kepala baut segi enam (hexagonal head bolt)

Part No. 91111-40620











- Baut tanam (stud bolt)

Part No. 92132-40620



## Torsi Pengencangan Baut

	Tanda	Klas Pengerasan
Baut kepala segi enam	 No. kepala baut 4- 5- 6- 7-	4T 5T 6T 7T
	 Tanpa tanda	4T
Baut segi enam dengan plat Baut segi enam dengan washer	 Tanpa garis menonjol	4T
Baut kepala segi enam	 Dua garis menonjol	5T
Baut segi enam dengan plat Baut segi enam dengan washer	 Dua garis menonjol	6T
Baut kepala segi enam	 Tiga garis menonjol	7T
Baut tanam	Tanpa tanda 	4T
	Beralur 	6T

### Besar Torsi Pengencangan Baut

Klas pengerasan	Diameter (mm)	Jarak ulir (mm)	Momen Spesifikasi					
			Baut segi enam			Baut Segi Enam Dengan Plat		
			kg-cm	ft-lb	N·m	kg-cm	ft-lb	N·m
4T	6	1	55	48 in.-lb	5.4	60	52 in.-lb	5.9
	8	1.25	130	9	13	145	10	14
	10	1.25	260	19	25	290	21	28
	12	1.25	480	35	47	540	39	53
	14	1.5	760	55	75	850	61	83
	16	1.5	1,150	83	113	–	–	–
5T	6	1	65	56 in.-lb	6.4	–	–	–
	8	1.25	160	12	16	–	–	–
	10	1.25	330	24	32	–	–	–
	12	1.25	600	43	59	–	–	–
	14	1.5	930	67	91	–	–	–
	16	1.5	1,400	101	137	–	–	–
6T	6	1	80	69 in.-lb	7.8	90	78 in.-lb	8.8
	8	1.25	195	14	19	215	16	21
	10	1.25	400	29	39	440	32	43
	12	1.25	730	53	72	810	59	79
	14	1.5	–	–	–	1,250	90	123
7T	6	1	110	8	11	120	9	12
	8	1.25	260	19	25	290	21	28
	10	1.25	530	38	52	590	43	58
	12	1.25	970	70	95	1,050	76	103
	14	1.5	1,500	108	147	1,700	123	167
	16	1.5	2,300	166	226	–	–	–

## 2. Tegangan Pada Baut

Tegangan yang terjadi pada baut dibedakan menjadi tiga kelompok berdasarkan gaya yang mempengaruhinya. Tegangan tersebut adalah sebagai berikut :

- Tegangan dalam akibat gaya kerja
- Tegangan akibat gaya luar
- Tegangan kombinasi

### 2.1 Tegangan dalam

Tegangan akibat gaya yang berasal dari dalam baut sendiri meliputi tegangan-tegangan sebagai berikut :

#### a. Tegangan tarik

- Gaya awal pada baut :

$$F_c = 284 d \text{ (kg)}$$

(2)

$$F_c = 2840 d \text{ (N) untuk Sistem Internasional (3)}$$

Dengan :

$F_i$  : *initial tension* / gaya awal

$d$  : diameter nominal/mayor (mm)

## b. Tegangan geser torsional

Jika :  $T$  : torsi  
 $J$  : momen inersia *polar*  
 $\tau$  : tegangan geser  
 $r$  : jari – jari

maka berlaku hubungan :

$$\frac{T}{J} = \frac{\tau}{r} \text{ maka } \tau = \frac{T}{J} \times r$$

Momen inersia *polar* untuk baut :

$$J = \frac{\pi}{32} \cdot d_i^4$$

$$r = \frac{d_i}{2}$$

- Tegangan geser torsional adalah :

$$\tau = \frac{T}{\frac{\pi}{32} d_i^4} \cdot \frac{d_i}{2} \text{ maka } \tau = \frac{16 T}{\pi d_i^3} \quad (4)$$

- Tegangan geser pada ulir :

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d_i \cdot b \cdot n} \quad (\text{tegangan geser pada baut}) \quad (5)$$

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d_o \cdot b \cdot n} \quad (\text{tegangan geser pada mur}) \quad (6)$$

dengan :  $d_i$  : diameter minor  
 $d_o$  : diameter mayor  
 $b$  : lebar ulir pada arah melintang  
 $n$  : jumlah ulir

- Tegangan *crushing* pada ulir :

$$\sigma_c = \frac{F}{\pi \cdot (d_o^2 - d_i^2) n} \quad (7)$$

- Tegangan lentur :

$$\sigma_b = \frac{x \cdot E}{2 \cdot L} \quad (8)$$

dengan :

$x$  : perbedaan tinggi sudut ekstrem mur atau kepala.  
 $E$  : modulus elastisitas bahan baut  
 $L$  : panjang baut

## 2.2. Tegangan akibat gaya luar

Tegangan pada baut akibat gaya luar yang bekerja pada baut tersebut sebagai berikut :

### a. Tegangan tarik

$F$  : gaya luar yang dikerjakan  
 $d_i$  : diameter minor  
 $\sigma_t$  : tegangan tarik ijin bahan baut

$$F = \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot \sigma_t \text{ maka } d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \sigma_t}} \quad (9)$$

Catatan :

- Jika jumlah baut lebih dari satu, maka :

$$F = \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot \sigma_e \cdot n, \quad \text{dengan } n : \text{jumlah baut} \quad (10)$$

- Jika pada tabel standar baut tidak tersedia maka digunakan :

$$d_i = 0,84 d_o \quad \text{dengan } d_o : \text{diameter mayor} \quad (11)$$

### b. Tegangan geser

$F_s$  : gaya geser

$d_o$  : diameter mayor (nominal)

$n$  : jumlah baut

$$F_s = \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot \tau \cdot n \quad \text{maka} \quad d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot \tau \cdot n}} \quad (12)$$

### c. Tegangan kombinasi

- Tegangan geser maksimum :

$$\tau_{\max} = \sqrt{\tau^2 + \left(\frac{\sigma_t}{2}\right)^2} \quad (13)$$

- Tegangan tarik maksimum :

$$\sigma_{t(\max)} = \frac{\sigma_t}{2} + \sqrt{\tau^2 + \left(\frac{\sigma_t}{2}\right)^2} \quad (14)$$

### d. Tegangan dengan kombinasi beban.

- Gaya awal pada baut,  $F_1$
- Gaya luar pada baut,  $F_2$
- Gaya resultan baut,  $F$
- Perbandingan elastisitas bahan baut dan bahan komponen,  $a$
- Gaya resultan yang harus diperhitungkan pada baut :

$$F = F_1 + \left(\frac{a}{1+a}\right) F_2$$

$$\text{Jika : } \left(\frac{a}{1+a}\right) = k$$

$$F = F_1 + k F_2 \quad (15)$$

**Tabel 1. Harga k Untuk Beberapa Sambungan Baut**

No.	Tipe Sambungan	$k = \frac{a}{1+a}$
1.	Metal dengan metal, baut dan mur	0,00 - 0,10
2.	<i>Gasket hard copper</i> , mur baut panjang	0,25 - 0,50
3.	<i>Gasket soft copper</i> , mur baut panjang	0,50 - 0,75
4.	<i>Soft packing</i> (lembut / lunak), mur baut	0,75 - 1,00
5.	<i>Soft packing</i> dengan baut ulir penuh / <i>studs</i>	1,00

**Tabel 2. Daftar Ukuran Baut – Mur Standar**

Designation	Pitch mm	Major or nominal diameter Nut and Bolt ( $d = D$ ) mm (3)	Effective or pitch diameter Nut and Bolt ( $d_p$ ) mm (4)	Minor or core diameter ( $d_c$ ) mm		Depth of thread (bolt) mm (7)	Stress area mm <sup>2</sup> (8)
				Bolt (5)	Nut (6)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Coarse series							
M 0.4	0.1	0.400	0.335	0.277	0.292	0.061	0.074
M 0.6	0.15	0.600	0.503	0.416	0.438	0.092	0.166
M 0.8	0.2	0.800	0.670	0.555	0.584	0.123	0.295
M 1	0.25	1.000	0.838	0.693	0.729	0.153	0.460
M 1.2	0.25	1.200	1.038	0.893	0.929	0.158	0.732
M 1.4	0.3	1.400	1.205	1.032	1.075	0.184	0.983
M 1.6	0.35	1.600	1.373	1.171	1.221	0.215	1.27
M 1.8	0.35	1.800	1.573	1.371	1.421	0.215	1.70
M 2	0.4	2.000	1.740	1.509	1.567	0.245	2.07
M 2.2	0.45	2.200	1.908	1.648	1.713	0.276	2.48
M 2.5	0.45	2.500	2.208	1.948	2.013	0.276	3.39
M 3	0.5	3.000	2.675	2.387	2.459	0.307	5.03
M 3.5	0.6	3.500	3.110	2.764	2.850	0.368	6.78
M 4	0.7	4.000	3.545	3.141	3.242	0.429	8.78
M 4.5	0.75	4.500	4.013	3.580	3.688	0.460	11.3
M 5	0.8	5.000	4.480	4.019	4.134	0.491	14.2
M 6	1	6.000	5.350	4.773	4.918	0.613	20.1
M 7	1	7.000	6.350	5.773	5.918	0.613	28.9
M 8	1.25	8.000	7.188	6.466	6.647	0.767	36.6
M 10	1.5	10.000	9.026	8.160	8.876	0.920	58.3
M 12	1.75	12.000	10.863	9.858	10.106	1.074	84.0
M 14	2	14.000	12.701	11.546	11.835	1.227	115
M 16	2	16.000	14.701	13.546	13.835	1.227	157
M 18	2.5	18.000	16.376	14.933	15.294	1.534	192
M 20	2.5	20.000	18.376	16.933	17.294	1.534	245
M 22	2.5	22.000	20.376	18.933	19.294	1.534	303
M 24	3	24.000	22.051	20.320	20.752	1.840	353
M 27	3	27.000	25.051	23.320	23.752	1.840	459
M 30	3.5	30.000	27.727	25.706	26.211	2.147	561
M 33	3.5	33.000	30.727	28.706	29.211	2.147	694
M 36	4	36.000	33.402	31.093	31.670	2.454	817
M 39	4	39.000	36.402	34.093	34.670	2.454	976
M 42	4.5	42.000	39.077	36.416	37.129	2.760	1104
M 45	4.5	45.000	42.077	39.416	40.129	2.760	1300
M 48	5	48.000	44.752	41.795	42.587	3.067	1465
M 52	5	52.000	48.752	45.795	46.587	3.067	1755



### 3. Contoh Soal

1. Dua komponen mesin akan disambung dengan baut tipe *tap bolt* diameter nominal : 24 mm. Hitung tegangan tarik dari baut.

**Jawab :**

$$d_o = 24 \text{ mm} \quad (\text{M 24})$$

$$\text{Dari tabel baut diperoleh } d_i = 20,32 \text{ mm} = 2,032 \text{ cm}$$

- Gaya awal baut :

$$\begin{aligned} F &= 284 \cdot d_o \\ &= 284 \cdot (24) = 6816 \text{ kg} \\ &= 68160 \text{ N} \end{aligned}$$

- Beban aksial pada baut :

$$F = \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot \sigma_t$$

$$68160 = \frac{\pi}{4} (2,032)^2 \cdot \sigma_t$$

$$\sigma_t = 21000 \text{ N/cm}^2 \quad (\text{tegangan tarik baut})$$

2. Sebuah baut digunakan untuk mengangkat beban 60 kN. Tentukan ukuran baut yang digunakan jika tegangan tarik ijin : 100 N/mm<sup>2</sup>. Asumsikan ulir kasar (lihat toleransi desain baut).

**Jawab :**

$$F = 60 \text{ kN} = 60000 \text{ N}$$

$$\sigma_t = 100 \text{ N/mm}^2$$

- Hubungan gaya dengan tegangan tarik dari baut :

$$F = \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot \sigma_t$$

$$d_i = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot \sigma_t}} = \sqrt{\frac{4 \times 60000}{\pi \cdot 100}}$$

$$d_i = 27,64 \text{ mm}$$

- Dari tabel baut diperoleh baut standar adalah M33 dengan  $d_i = 28,706 \text{ mm}$ ,  $d_o = 33 \text{ mm}$

3. Dua poros dihubungkan dengan kopling dengan torsi 2500 Ncm. Kopling flens disambung dengan baut sebanyak 4 buah, dengan bahan sama dan jari-jari 3 cm. Hitung ukuran baut, jika tegangan geser ijin material baut : 3000 N/cm<sup>2</sup>.

**Jawab :**

$$T = 2500 \text{ Ncm}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$R = 3 \text{ cm}$$

$$\tau = 3000 \text{ N/cm}^2$$

- Gaya geser yang terjadi :

$$T = F_s \cdot R$$

$$F_s = \frac{T}{R} = \frac{2500}{3} = 833,3 \text{ N}$$

- Diameter baut dengan beban geser :

$$F_s = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \cdot \tau \cdot n$$

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot \tau \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 833,3}{\pi \cdot 3000 \cdot 4}} = 0,298 \text{ cm}$$

$$d_i = 2,98 \text{ mm}$$

- Baut standard : M 4 dengan  $d_i = 3,141 \text{ mm}$  dan  $d_o = 4 \text{ mm}$

4. *Cylinder head* dari sebuah *steam engine* diikat dengan 14 baut. Diameter efektif dari silinder 35 cm dan tekanan uap  $85 \text{ N/cm}^2$ . Diasumsikan baut tidak mengalami tegangan awal. Hitung ukuran baut jika tegangan tarik ijin :  $2000 \text{ N/cm}^2$

**Jawab :**

Diketahui :

$$n = 14$$

$$D_1 = 35 \text{ cm (diameter efektif silinder)}$$

$$p = 85 \text{ N/cm}^2 \text{ (tekanan uap)}$$

$$\sigma_t = 2000 \text{ N/cm}^2$$

- Gaya total akibat tekanan uap dalam silinder :

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = p \cdot A$$

$$= p \cdot \frac{\pi}{4} D_1^2$$

$$= 85 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 35^2$$

$$= 81780 \text{ N}$$

- Ukuran baut :

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \cdot \sigma_t \cdot n$$

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \sigma_t \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 81780}{\pi \cdot 2000 \cdot 14}}$$

$$= 1,93 \text{ cm} = 19,3 \text{ mm}$$

- Diperoleh baut standard M 24 dengan  $d_i = 20,32 \text{ mm}$  dan  $d_o = 24 \text{ mm}$

5. *Cylinder head* dari mesin uap menerima tekanan uap  $0,7 \text{ N/mm}^2$ , dibaut dengan 12 baut. *Soft copper gasket/gasket* dari bahan tembaga lunak digunakan untuk melapisi *cylinder head* tersebut. Diameter efektif silinder 300 mm, hitung ukuran baut jika tegangan baut tidak boleh melebihi  $100 \text{ N/mm}^2$ .

**Jawab :**

$$p = 0,7 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 12$$

$$D_1 = 300 \text{ mm}$$

$$\sigma_t = 100 \text{ N/mm}^2$$

- Gaya total pada *cylinder head* akibat tekanan uap :

$$p = \frac{F}{A}$$

$$F = p \cdot A = p \cdot \frac{\pi}{4} D_1^2$$

$$= 0,7 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 300^2 = 49500 \text{ N}$$

- Gaya eksternal untuk tiap baut :

$$F_2 = \frac{F}{n} = \frac{49500}{12} = 4125 \text{ N}$$

- Ukuran baut :

$$F_1 = 2840 \text{ d (N) dengan d dalam mm.}$$

$$F_{\text{total}} = F_1 + k \cdot F_2$$

k untuk *soft copper gasket* (tabel 1)

k = 0,5 (diambil harga minimum)

$$F_{\text{total}} = 2840 \cdot d + 0,5 \cdot 4125$$

$$= 2840 \cdot d + 2062,5$$

$$F = \frac{\pi}{4} d_i^2 \sigma_t$$

$$2840 \cdot d + 2062,5 = \frac{\pi}{4} d_i^2 100$$

$$78,55 d_i^2 - 2840 d = 2062,5$$

$$d_i = 0,84 d$$

(karena tidak tersedia dalam tabel, di soal tidak diketahui)

$$78,55 (0,84 d)^2 - 2840 d = 2062,5$$

$$d = 51,9 \text{ mm}$$

- Diambil baut M52 dengan  $d_i = 45,795 \text{ mm}$  dan  $d_o = 52 \text{ mm}$

**Soal Latihan**

1. Hitunglah besar gaya tarik maksimum yang diijinkan pada baut ukuran M 20 dan M 36, jika diasumsikan baut tidak mempunyai gaya awal dan tegangan tarik ijin bahan baut sebesar 200 MPa.

**Jawaban : 49 kN dan 16,43 kN**

2. Sebuah baut digunakan untuk membawa beban sebesar 20 kN. Hitung ukuran baut standar yang sesuai untuk beban tersebut jika tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melebihi 100 MPa.

**Jawaban : M 20**

3. Sebuah cylinder head dari steam engine menerima tekanan sebesar  $1 \text{ N/mm}^2$  diikat dengan 12 buah baut. Diameter efektif kepala silinder tersebut adalah 300 mm. Sebuah soft copper gasket digunakan sebagai penahan kebocoran antara silinder dan kepala silinder. Hitung dimensi baut standar yang digunakan jika tegangan pada baut tidak boleh melebihi 100 MPa.

**Jawaban : M 36**

\*\*\*\*\*