

**DESAIN PERANGKAT KAIT OVERHEAD TRAVELLING CRANE
DENGAN KAPASITAS ANGKAT 25 TON PADA
PABRIK ELEMEN BAKAR NUKLIR**

Syamsurrijal Ramdja, Petrus Zacharias
PRFN-BATAN, Kawasan Puspiptek Gd 71, Tangerang Selatan - 15310
samramja @batan.go.id, petza@batan.go.id

ABSTRAK

DESAIN PERANGKAT KAIT OVERHEAD TRAVELLING CRANE DENGAN KAPASITAS ANGKAT 25 TON PADA PABRIK ELEMEN BAKAR NUKLIR. Telah dilakukan desain perangkat Kait Overhead Traveling Crane dengan kapasitas angkat 25 ton yang digunakan pada pabrik elemen bakar nuklir. Kait digunakan untuk memegang bahan/material yang akan diangkat atau dipindahkan. Perancangan perangkat kait dilakukan dengan memperhatikan keamanan suatu data ukuran dan dimensi yang dipakai serta beban operasi apakah masih aman digunakan dalam kegiatan pengoperasian. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat kait masih berada pada batas dimensi dan kekuatan bahan yang diizinkan. Desain ini berdasarkan pada standar ASME B30.2 yang berlaku dan dengan faktor keamanan yang konservatif, terhadap : kait, bantalan aksial, pemikul kait dan sackle. Setelah dilakukan desain dan perhitungan, didapatkan bahwa perangkat kait yang terdiri dari kait, bantalan aksial, pemikul kait dan shackle dalam keadaan aman.

Kata kunci : kait, kekuatan bahan, crane, schakle, bantalan

ABSTRACT

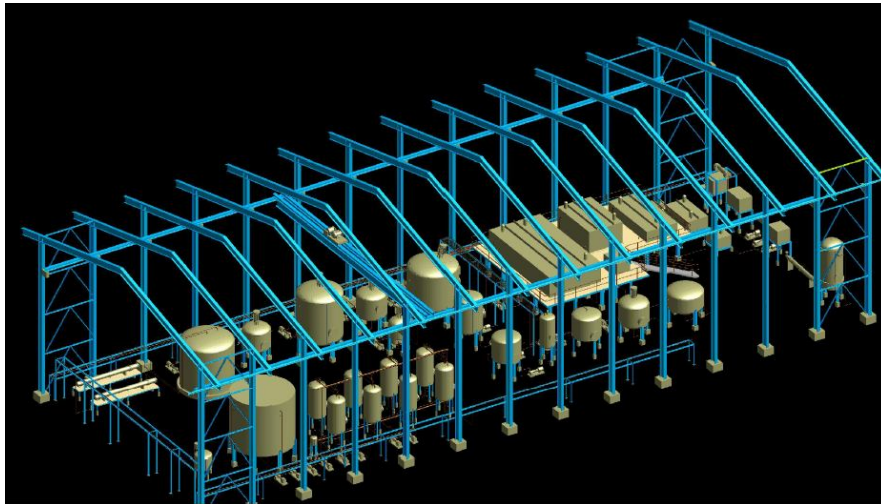
DESIGN OF HOOKS OF THE OVERHEAD TRAVELLING CRANE 25 TONS CAPACITY USED IN NUCLEAR FUEL ELEMENTS PLANT. It has been design a hook overhead traveling crane with a lift capacity of 25 tons which is used in nuclear fuel elements plant. The hooks are used to hold the material to be removed or relocated. The design of hooks is conducted by considering to the safety factor of data and size dimensions to be used as well as its operational load whether still safe in its operating activities. This is done to determine whether the device is still in the material strength limit allowed. The design is based on the standards applicable of ASME B30.2 and with a conservative safety factors towards : hooks, axial bearings, latches and schackle bearers . After the design and calculations have been conducted, it was found that the hook consisting of hooks, axial bearings, bearer hook and shackle are in a safe condition.

Keywords : hook, strength of materials, kran, schakle, bearings

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka melaksanakan tugas dan pekerjaan serta kegiatan sehari-hari pada pabrik elemen bakar nuklir, diupayakan untuk dapat bekerja dengan cara yang efektif dan seefisien mungkin. Biasanya dalam kegiatan pekerjaan sehari-hari seringkali mendapatkan bahan/material yang tidak dapat diangkat oleh perseorangan maupun beberapa orang. Apabila beban bahan/material pekerjaan yang diangkat sangat berat, maka harus dipakai alat bantu untuk memperingan beban pekerjaan tersebut. Alat bantu yang dapat digunakan untuk mengangkat dan memindahkan beban dari suatu tempat ke tempat yang lain adalah pesawat angkat (*materials handling equipment*). Pesawat angkat adalah suatu alat atau seperangkat alat yang berfungsi untuk memindahkan benda atau barang dari suatu tempat ke tempat yang lain dalam jarak yang relatif dekat.

Pada makalah ini yang akan didesain adalah perangkat kait yang terdapat pada salah satu kelompok *hoisting equipment* pada *crane*, khususnya *overhead travelling crane (OHT)*. Perangkat kait terdiri atas : kait, bantalan aksial, pemikul kait, dan *schakle*.



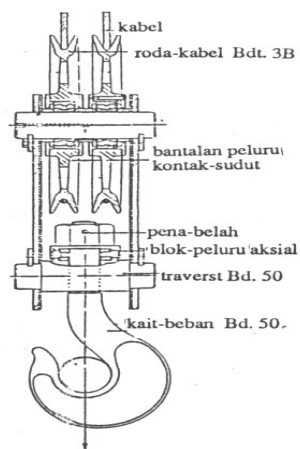
Gambar 1. Pabrik Elemen Bakar Nuklir dengan *OHT Crane*

Adapun spesifikasi *crane* yang diperlukan adalah *OHT type double girder* dengan lebar *span* (bentangan) sebesar 12 meter, panjang area operasional 30 meter, tinggi 8 meter. Kapasitas angkat sebesar 25 ton. *Crane* beroperasi dalam ruangan, sehingga terlindungi dari panas dan hujan.

Desain/perancangan ini bertujuan untuk memastikan tentang keamanan suatu data ukuran dan dimensi serta material yang digunakan apakah masih aman untuk kegiatan pengoperasian. Perancangan ini juga mengacu kepada standart ASME B30.2: *Safety Requirements for Overhead and Gantry Cranes*.

2. DASAR TEORI

Overhead travelling crane adalah jenis *crane* yang digunakan pada lingkungan industri (pabrik). *Crane* dengan *hoist* yang bergerak di sepanjang bentangan di antara landasan rel yang paralel.



Gambar 2. Perangkat Kait tunggal^[1]

Kait (*hook*) merupakan salah satu elemen *hoisting* yang sangat penting dalam operasional penggunaan *crane*. Yang dimaksud kait adalah suatu peralatan pada pesawat angkat yang digunakan untuk memegang material yang akan diangkat atau dipindahkan. Seperti telah diketahui bahwa kait dipergunakan untuk memegang atau menggantung beban, terdiri dari dua jenis, yaitu : kait tunggal (*single hook*) dan kait ganda (*double hook*).

Kait yang didesain adalah jenis kait tunggal. Adapun ukuran-ukurannya ditentukan dengan Normalisasi 661 (N-661) untuk beban lebih kecil atau sama dengan 25 ton. Material kait yang digunakan adalah St-C 25 dengan kekuatan tarik 41 kg/mm².

Desain/perancangan dilakukan pada penampang yang paling berbahaya/kritis yaitu pemeriksaan tegangan tarik pada penampang yang terkecil. Tegangan tarik yang diizinkan σ_i adalah sebagai berikut^[1]:

$$\sigma_i = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (1)$$

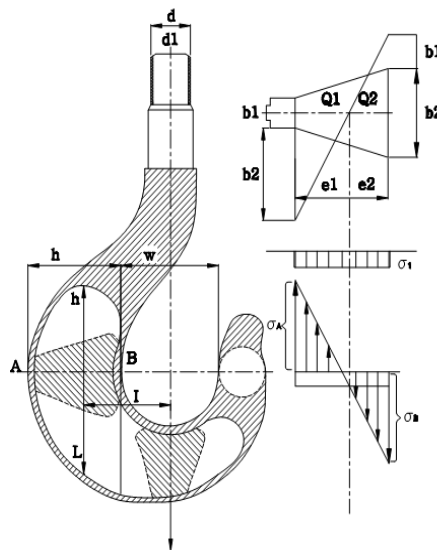
Bila $\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = A$, maka :

$$\sigma_i = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} \dots\dots\dots (2)$$

dimana : Q = Beban
 A = Luas penampang
 d_1 = Diameter tangkai kait

Momen bengkok diasumsikan menjadi positif bila menyebabkan lengkungan kait mengecil. Bila beban bertendensi untuk membuka kait, maka momen adalah negatif, sehingga^[2] :

$$M = -Q \cdot r = -Q(0,5 + l_1) \dots\dots\dots (3)$$



Gambar 3. Titik berat dan Penampang Kait

Titik berat dan penampang kritis ditentukan secara grafis seperti dapat dilihat pada Gambar 3 secara geometris e_1 dapat dinyatakan sebagai berikut^[2] :

$$\frac{e_1}{h} = \frac{b_1 + \frac{1}{2}b_1}{1\frac{1}{2}(b_2 + b_1)}$$

$$e_1 = \frac{h}{3} \frac{b_2 + 2b_1}{b_1 + b_2} \dots\dots\dots (4)$$

e_1 = Jarak titik berat penampang A-B ke titik A

Sedangkan e_2 didapatkan dari rumus :

$$\frac{e_2}{h} = \frac{b_1 + \frac{1}{2}b_1}{1\frac{1}{2}(b_1 + b_2)}$$

$$e_2 = \frac{h}{3} \frac{2b_2 + b_1}{b_1 + b_2} \dots\dots\dots (5)$$

e_2 = Jarak titik berat penampang A-B ke titik B

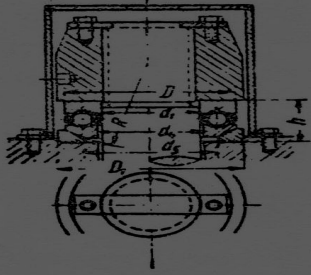
Luas penampang berbentuk trapesium^[2] :

$$A = \frac{h}{2} (b_1 + b_2) \dots\dots\dots (6)$$

Tegangan tekan yang dialami ulir trapesium pada mur kait adalah sebagai berikut^[1] :

$$\sigma_p = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_i^2) \frac{H}{h}} \dots\dots\dots (7)$$

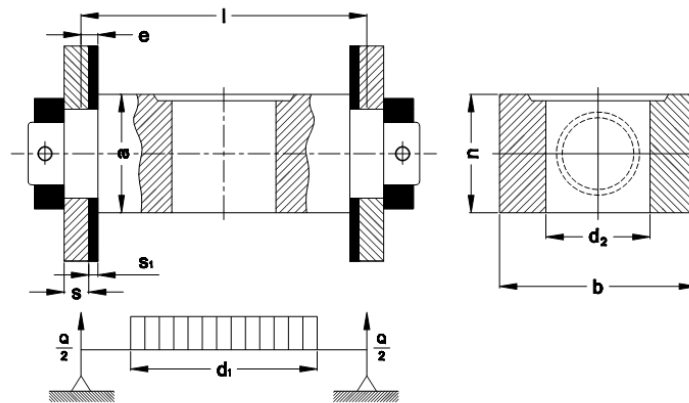
Bantalan yang digunakan adalah bantalan aksial (bantalan peluru), yang memungkinkan kait yang sedang dibebani dapat bergerak dengan mudah dalam menangani beban berat. Bantalan yang terpasang pada gantungan kait, menyokong mur kait. Perancangan yang baik adalah bantalan dengan peletakan khusus dengan gelang dudukan (*setting ring*) berbentuk bola sehingga tidak memerlukan suatu permukaan berbentuk bola pada gantungan kait (*crosspiece*). Ceruk (alur) pada gelang dudukan dalamnya 3 s/d 10 mm tergantung pada ukuran bantalan . Bantalan tertutup dalam suatu rumah yang melindunginya dari debu dan kelembaban.



Lifting capacity <i>Q</i> , tons	d_1	d_a	d_2	D	D_1	h	R	r	Limiting working load, tons
5	50	52	75	92	100	36	75	1.5	7.5
7.5	60	62	85	106	115	41	85	2	9.0
10	70	72	95	120	130	44	95	2	11.6
15	80	82	110	136	145	50	110	2	15.8
20	90	93	125	155	165	57	125	2	20.6
25	100	103	140	172	185	64	140	2	26.0
30	115	120	160	200	215	74	160	3	35.5
40	125	130	175	220	220	79	175	3	41.5
50	130	135	185	240	250	101	185	3.5	58.0
60	150	155	205	260	270	106	205	4	67.4
75	170	175	230	285	300	111	230	4	77.5

Gambar 4. Bantalan peluru aksial^[3]

Gantungan kait dipasang pada plat casing dan biasanya diperkuat dengan plat dari baja. Hal ini memungkinkan kait berputar dalam dua arah yang saling tegak lurus satu sama lain. Gantungan kait dibuat dari baja tempa dan dilengkapi dengan penahan yang berputar pada kedua sisinya.



Gambar 5. Gantungan kait^[3]

Momen lengkung maksimum^[2]:

$$M_{l_{maks}} = \frac{1}{2}Q \cdot \frac{1}{2}l - \frac{1}{2}Q \cdot \frac{1}{4}d_1$$

$$M_{l_{maks}} = \frac{1}{4}Q(l - \frac{1}{2}d_1) \dots\dots\dots (8)$$

Momen tahanan (perlawanan lengkung)^[2]:

$$W = \frac{1}{6}(b - d_1).h^2 \dots\dots\dots (9)$$

Dalam perhitungan kekuatan *schakle* persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Penampang A₁ – B₁ pada Gambar 6^[2] :

$$\sigma_t = \frac{Q}{2.bs} \dots\dots\dots (10)$$

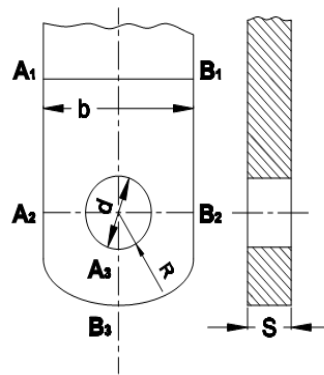
σ_t = tegangan tarik

Penampang A₂ – B₂ pada gambar^[2] :

$$\sigma_t = \frac{Q}{2.(b-d)s} \dots\dots\dots (11)$$

Penampang A₃ – B₃, dengan rumus *Lame*'^[2] :

$$P = \frac{Q}{2.d.s} \dots\dots\dots (12)$$



Gambar 6. *Schakle*^[2]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Disain/perancangan digunakan untuk mengetahui letak dari daerah kritis tegangan yang terdapat pada *hook* (kait) akibat adanya beban atau gaya yang bekerja. Gaya-gaya tersebut antara lain beban akibat berat sendiri maupun akibat *internal forces*. Dengan demikian dapat diketahui kemampuan dari *hook* (kait) dalam menerima beban yang bekerja dan ketebalan bahan yang dibutuhkan apakah sesuai atau tidak (terdeformasi terlalu besar).

Untuk penampang mendatar A – B pada Gambar 3:

Dari Normalisasi 661 (lihat Lampiran), didapatkan :

- h = r₁ = 190 mm
- p = b₁ = 65 mm
- o = b₂ = 160 mm
- a = w = 180 mm

Luas penampang^[2] :

$$F = 0,5.h(b_1 + b_2) \dots\dots\dots (13)$$

$$= 213,75 \text{ cm}^2$$

Momen inersia terhadap penampang A – B^[2] :

$$I = \frac{h^3}{36} \cdot \frac{(b_1 + b_2)^2 + 2.b_1.b_2}{b_1 + b_2} \dots\dots\dots (14)$$

$$= 4655 \text{ cm}^4$$

Jarak titik berat penampang A - B ke titik A^[2] :

$$e_1 = \frac{b_1 + 2.b_2}{b_1 + b_2} \cdot \frac{h}{3} = 10,83 \text{ cm}$$

Jarak titik berat penampang A - B ke titik B :

$$e_2 = \frac{2.b_1 + b_2}{b_1 + b_2} \cdot \frac{h}{3} \text{ (cm)} = 12,67 \text{ cm}$$

Momen lengkung pada penampang A – B^[2] :

$$M_b = Q.z \text{ (kg-cm)} \dots\dots\dots (15)$$

$$z = \frac{w}{2} + e_2 = 114,03$$

$$Mb = 25000 \cdot 114,03$$

$$= 285075 \text{ kg-cm}$$

Tegangan tekan maksimum di titik A^[3] :

$$\sigma_c A = \frac{Q}{F} - \frac{M_b \cdot e_1}{I} \dots\dots\dots (16)$$

$$= -546,26 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik maksimum di titik B^[1] :

$$\sigma_t B = \frac{Q}{F} - \frac{M_b \cdot e_2}{I} \dots\dots\dots (17)$$

$$= 658.96 \text{ kg/cm}^2$$

Bahan kait adalah S45C dengan^[4] :

$$\sigma_{t.maks} = 70 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_t = \frac{\sigma_{t.maks}}{F_s}$$

Dengan F_s : faktor keamanan, untuk beban dinamik = 6

$$\sigma_t = \frac{7000}{6} = 1166,67 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga $\sigma_t A < \sigma_t$ dan $\sigma_t B < \sigma_t$, maka kekuatan kait pada daerah kritis, aman.

Untuk penampang tegak :

Dari Normalisasi 661 (lihat Lampiran), didapatkan :

$$r1 = h = 165 \text{ mm}$$

$$p = b_1 = 65 \text{ mm}$$

$$o = b_2 = 160 \text{ mm}$$

Luas rata-rata penampang tegak^[2] :

$$A = \frac{h.(b_1 + b_2)}{2} \text{ (cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (18)$$

$$= 185.63 \text{ cm}^2$$

Tegangan geser yang terjadi^[2] :

$$\tau = \frac{Q}{A} = 138,68 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan geser izin^[6] :

$$\tau_i = 0,6.\sigma_i \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$= 0,6 . 683,3 = 410 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga didapatkan hasil $\tau < \tau_i$, dengan demikian beban tegangan geser, aman.

Mur untuk kait menggunakan ulir trapesium. Ukuran dasar untuk batang kait berdasarkan pada^[6] :

$$w = 0,25.d_1$$

dimana w = Diameter mulut kait = 180 mm

$$d_1 = \text{Diameter inti ulir} = \frac{18}{2,5} = 7,2 \text{ cm}$$

Menurut N336, (lihat Lampiran) didapatkan ukuran-ukuran utama ulir trapesium adalah:

- d_1 = Diameter inti ulir = 61,5 mm
- d_2 = Diameter luar ulir = 72,5 mm
- h = *pitch ulir* = 10 mm
- α = kemiringan ulir = 30°

Tegangan tarik yang terjadi pada mur kait adalah^[2] :

$$\sigma_t = \frac{4.Q}{\pi.d^2} = \frac{4.25000}{\pi.(7,2)^2} \text{ kg/cm}^2 = 614,34 \text{ kg/cm}^2$$

$Q = 25$ ton, perhitungan awal, berat maks. peralatan pabrik elemen bakar nuklir
Didapatkan $\sigma_t < \sigma_i$ sehingga mur kait yang digunakan aman.

Tinggi minimum ulir tangkai kait^[2] :

$$H = \frac{4.Q.h}{\pi.(d_1^2 - d_2^2).p} = \frac{4.25000.1}{\pi.(7,2^2 - 6,15^2).350} = 6,491 \text{ cm}$$

Dari ketentuan $H = (0,8 \div 1,0).d_2$

Diambil $H = 7$ cm

Agar kait dapat bergerak dengan bebas terhadap benda lintang (*cross-piece*), maka digunakan bantalan tekan (*thrust bearing*).

Dari Gambar 4, kita dapatkan ukuran-ukuran utama bantalan tersebut^[3] :

- $d_1 = 100$ mm
- $D = 172$ mm
- $H = 64$ mm

Pemikul kait dipasang pada dua buah plat pendukung (*shackle*) seperti yang terdapat pada Gambar 5.

Besar beban lengkung maksimum ialah^[2] :

$$\begin{aligned}
 M_{maks} &= \frac{Q}{4}(l - 0,5d_1) \dots\dots\dots (19) \\
 &= \frac{25000}{4}(30 - 0,5(17,5)) \\
 &= 316125 \text{ kg-cm}
 \end{aligned}$$

Besar momen perlawanan lengkung ialah^[2] :

$$\begin{aligned}
 Wb &= \frac{(b - d_1).h^2}{6} \dots\dots\dots (20) \\
 &= \frac{(24 - 17,2).7^2}{6} \\
 &= 293,2 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Tegangan lengkung yang terjadi ialah^[2] :

$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= \frac{M_{maks}}{W_b} \\
 &= \frac{317125}{263,2} \\
 &= 1204,882 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Bahan pemikul kait adalah St-60 dengan tegangan tarik maksimum $\sigma_t = 6000 \text{ kg/cm}^2$

Tegangan tarik izin^[2] :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ii} &= \frac{\sigma_t}{F_s} = \frac{6000}{5} = 1200 \text{ kg/cm}^2 \\
 F_s &: \text{Faktor keamanan}
 \end{aligned}$$

Tegangan lengkung izin^[2] :

$$\sigma_{bi} = 0.81.\sigma_{ii} \dots\dots\dots (21)$$

Didapatkan hasil bahwa, $\sigma_b < \sigma_{bi}$

Perhitungan *Schakle* :

Schakle (Gambar 6) berfungsi sebagai penumpu kait, pemikul kait dan *pulley* pembawa beban. Pada *schakle* ini terdapat terdapat beberapa daerah kritis yang perlu diperhatikan terhadap adanya tegangan.

Ukuran – ukuran yang direncanakan/asumsi adalah sebagai berikut :

- d = Diameter poros pemikul kait = 120 mm
- s = tebal sakel = 75 mm
- b = lebar sakel = 200 mm.

Q = 25 ton, perhitungan awal, berat maksimal peralatan pabrik elemen bakar nuklir.

Pemeriksaan tegangan :

- Pada penampang A₁ - B₁^[2] :

$$\begin{aligned}
 \sigma_t &= \frac{Q}{2.b.s} \text{ (kg/cm}^2) \dots\dots\dots (22) \\
 &= \frac{25000}{2.20.7,5} = 83,34 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Pada penampang $A_2 - B_2$ ^[2] :

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{Q}{2.(b-d).s} \quad (\text{kg/cm}^2) \dots\dots\dots (23) \\ &= \frac{25000}{2.(20-12).7,5} = 208,34 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

- Pada penampang $A_3 - B_3$:

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{Q}{2.d.s} \quad (\text{kg/cm}^2) \dots\dots\dots (24) \\ &= \frac{25000}{2.12.7,5} = 138,89 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Bahan sakel adalah St-37 dengan kekuatan tegangan tarik = 37 kg per mm².
Tegangan tarik izinnnya adalah^[6] :

$$\sigma_{ii} = \frac{\sigma_t}{f_s} = \frac{3700}{6} = 616,67 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa $\sigma_t < \sigma_{ii}$, maka kekuatan sakel adalah aman.

4. KESIMPULAN.

Dari pembahasan desain rancangan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa perangkat kait yang terdiri atas kait, bantalan aksial, pemikul kait dan *schakle* masih dalam batas aman untuk digunakan dengan beban maksimum 25 ton, yang merupakan beban maksimal yang terdapat pada pabrik elemen bakar nuklir.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Timoshenko S, 2010, *Strength of Material Part I dan II*, Kreiger Publishing Co. Inc. New York.
- [2] Syamsir A. Muin, 1991, *Pesawat-pesawat Pengangkat*, Rajawali Press Jakarta.
- [3] N. Rudenko, 1982, *Material Handling Equipment* Mir Publisher, Moscow.
- [4] Mohd, Taib Sutan S, 1999, *Buku Polyteknik*, Sumur Bandung.
- [5] SKF, *Ball and Roller Bearing*, Catalogue No. 241 E
- [6] Sularso, 2004, *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*, Penerbit Pradnya Paramitha, Jakarta,
- [7] Bambang Galung S, Dkk, 2011, *Program Manual "Design Pabrik Elemen Bakar Nuklir Tipe PWR untuk PLTN di Indonesia"*.

LAMPIRAN UKURAN-UKURAN UTAMA KAIT TUNGGAL

