

PERENCANAAN PESAWAT ANGKAT HIDROLIK KAPASITAS ANGKAT 20 TON DI PT. SINARTECH MULTI PERKASA

Oleh:

Rinto Pardomuan Harahap ¹⁾

Zunedi Marbun ²⁾

T. Hasballah ³⁾

Enzo W.B Siahaan ⁴⁾

Universitas Darma Agung ^{1,2,3,4)}

E-mail:

rinto.pardomuan05@icloud.com ¹⁾

zunedimarbun225@gmail.com ²⁾

t.hasballah@gmail.com ³⁾

enzow.bsiahaan@gmail.com ⁴⁾

ABSTRACT

The rapid progress of science and technology (IPTEK) goes hand in hand with the development process that is increasingly improved in every region of Indonesia. And this is because Indonesia is a developing country. The development includes all aspects of the region, both rural and urban areas, all of this is inseparable from the means of supporting the development process, and one of these means is development equipment. To accelerate this development process, a tool is needed that can help the development process, so a lifting aircraft tool is chosen that is easy to operate and accelerates the development process. On this occasion, the author took the title of Planning a 20 Tonne Hydraulic Lift Capacity, which is used to lift heavy building materials from one place to another. In planning this hydraulic faucet is planned to lift a load of 20 tonnes (20,000 kg) where the motor power is 80 Hp with a large rotation of 1600 rpm.

Keywords: Mobile Faucet, Hook, Steel Rope

ABSTRAK

Pesatnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) berjalan beriring pada proses pembangunan yang semakin ditingkatkan pada setiap kawasan Negara Indonesia. Dan ini dikarenakan Indonesia merupakan Negara yang sedang berkembang. Pembangunan tersebut meliputi seluruh aspek kawasan, baik itu kawasan pedesaan maupun perkotaan, semua ini tidak terlepas dari sarana pendukung proses pembangunan tersebut, dan salah satu sarana tersebut adalah peralatan pembangunan. Untuk mempercepat proses pembangunan ini diperlukan suatu alat yang dapat membantu proses pembangunan, maka dengan itu dipilih suatu alat pesawat pengangkat yang mudah untuk dioperasikan dan mempercepat proses pembangunan. Pada kesempatan ini, penulis mengambil judul **Perencanaan pesawat Angkat Hidrolik Kapasitas Angkat 20 Ton**, yang dipergunakan untuk mengangkat bahan-bahan bangunan berat dari satu tempat ke tempat lain. Dalam perencanaan hidrolik kran ini direncanakan akan mengangkat beban sebesar 20 ton (20.000 kg) dimana daya motor ini sebesar 80 Hp dengan besar putaran 1600 rpm.

Kata Kunci: Mobile Kran, Kait, Tali Baja

1. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Pesatnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK)

berjalan beriring pada proses pembangunan yang semakin ditingkatkan pada setiap kawasan Negara Indonesia. Dan ini dikarenakan Indonesia merupakan

Negara yang sedang berkembang. Pembangunan tersebut meliputi seluruh aspek kawasan, baik itu kawasan pedesaan maupun perkotaan, semua ini tidak terlepas dari sarana pendukung proses pembangunan tersebut, dan salah satu sarana tersebut adalah peralatan pembangunan. Untuk mempercepat proses pembangunan ini diperlukan suatu alat yang dapat membantu proses pembangunan, maka dengan itu dipilih suatu alat pesawat pengangkat yang mudah untuk dioperasikan dan mempercepat proses pembangunan.

Secara spesifik alat ini digunakan pada daerah pembangunan dan pelabuhan besar untuk mengangkat Barang-barang pada pembangunan Gedung, seperti : Pipa baja, Plat baja, Kayu dll. Pada masa sekarang ini, tenaga manusia mungkin tidak efisien lagi untuk melaksanakan proses pengangkatan dan pemindahan beban dari suatu tempat ketempat yang lain, sedangkan pada kenyataannya beban yang akan diangkat untuk proses pembangunan pada masa sekarang ini cukup besar dan melebihi kemampuan manusia itu sendiri. Untuk itu penggunaan pesawat angkat adalah merupakan salah satu pemecahan persoalan ini.

Penulis telah melakukan survey di PT. Sinartech Multi Perkasa dimana penulis dapat melihat jenis – jenis mobil kran dan mendapatkan data yang diperlukan untuk merencanakan sebuah hidrolik kran. Penulis akan ”Merencanakan Sebuah pesawat angkat Hidrolik Kapasitas Angkat 20 ton” yang digunakan untuk mengangkat Barang-barang pada pembangunan Gedung, seperti : Pipa baja, Plat baja, Kayu dll.

Dasar pemilihan pesawat angkat jenis Mobil Crane adalah karena penggunaannya lebih fleksibel, mempunyai daya angkat yang besar, menggunakan lengan (boom), dan disamping itu sistem yang digunakan pada saat pengoperasiannya menggunakan sistem hidrolik.

2. Tujuan Perencanaan

Adapun yang menjadi tujuan dari perencanaan ini adalah :

1. Menentukan sistem pengangkat
2. Menentukan dimensi komponen utama
3. Menentukan daya penggerak

2. TINJAUAN PUSTAKA

1. Boom (lengan)

Boom (lengan) adalah salah satu bagian (komponen) dari mobile crane yang berfungsi untuk mengangkat atau memindahkan suatu benda dari tempat yang satu ke tempat yang lain.

Pada bagian boom digantungkan suatu sistem pengangkat, misalnya sistem puli tetap (fixed pulley) atau sistem puli bergerak (movable pulley). Berikut ini adalah gambar sebuah pesawat pengangkat Mobile Crane



Gambar 1. Mobile Crane

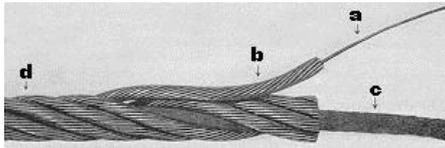
(Sumber

:<https://pixabay.com/id/images/search/truck%20crane>)

Dapat dilihat dari gambar diatas bahwa boom merupakan tangan dari sebuah pesawat pengangkat. Bila dalam keadaan mendatar maka jangkauannya akan jauh tetapi bila meninggi jangkauannya menjadi lebih pendek.

2. Komponen

Tali baja adalah tali yang dikonstruksikan dari kumpulan kawat-kawat baja yang dipintal menjadi satu. Anyaman tali baja terdiri dari: wayar (wire), untaian (strand), inti (core), dan anyaman (rope), seperti yang terlihat pada gambar 2.6. dibawah ini:



Gambar 2. bagian-bagian tali baja
Sumber : Rudenko, N. (1996)

Keterangan gambar:

- a. wayar (wire)
- b. untaian (strand)
- c. inti (core)
- d. anyaman (rope)

Tali baja digunakan secara luas pada mesin-mesin pengangkat dibanding dengan rantai. Adapun keuntungan dari tali baja ini adalah:

1. Lebih ringan
2. Lebih tahan terhadap sentakan
3. Bila akan putus, biasanya tali baja akan memperlihatkan tandanya seperti : serat-serat ada yang putus.

Tali baja terbuat dari kawat biasa dengan kekuatan tarik (σ_b) nya antara 130 Kg/mm² sampai dengan 200 Kg/mm². Didalam pembuatannya kawat baja diberi perlakuan panas tertentu dan digabung dengan penarikan dingin sehingga menghasilkan sifat mekanis kawat baja yang tinggi.

Tali baja terdiri dari berbagai tipe, antara lain:

1. Tipe 6 x 19 + 1FC, yang artinya sebuah tali baja yang terdiri dari 6 buah strand, 19 steel wire, dengan 1 inti serat (fiber core)
2. Tipe 6 x 37 + 1FC, yang artinya sebuah tali baja yang terdiri dari 6 buah strand, 37 steel wire, dengan 1 inti serat (fiber core)

Tali baja dibuat dengan mesin khusus, pertama-tama kawat dililitkan menjadi untaian dan kemudian dianyam kembali menjadi tali bulat. Kedua proses berlangsung secara bersamaan. Kemudian untaian dililitkan pada inti yang terbuat dari rami, asbes atau kawat baja yang lunak. Alasannya agar tali baja nantinya bisa dibengkokkan. Inti asbes dan kawat

baja yang lunak digunakan untuk tali yang beroperasi pada suhu tinggi misalnya dekat dapur pengecoran. Akan tetapi inti kawat akan mengurangi kefleksibelan tali dan biasanya digulung beberapa lapis dalam drum.

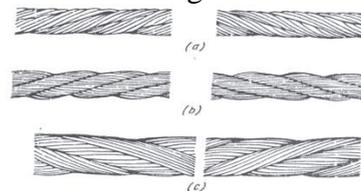
3. METODE PENELITIAN

1. Tempat Pelaksanaan

Tempat pelaksanaan perencanaan pesawat angkat hidrolik dilakawsnakan di PT. SAINartech Multi Perkasa.

2 Bahan.

Bahan yang digunakan tali Baja. Tali baja merupakan komponen yang sangat penting, agar proses pekerjaan dapat dilakukan dengan lancer dan aman ;



Gambar 1. Tali Baja
(Sumber : N. Rudenko, Pesawa Pengangkat, 1996, hal 66)

3. Spesifikasi

Dimana sifat dari bahan baja tersebut adalah sebagai berikut :

1. Type crane : Mobile crane teleskopis
2. Kapasitas angkat : 20 ton (maksimal)
3. Batas mulur : 8500 kg/cm²
4. Kekuatan tarik : 10000 kg/cm²
5. Kekerasan : 285 – 340 → (Syamsir A.M)
6. Massa jenis baja : 7830 kg/m → (Syamsir A.M)

4. Metode Perencanaan

Metode yang digunakan dengan standar perancangan yang sudah ada serta pemilihan dan perencanaan konstruksi boom dan sistem pengangkat pada kran. Metode-metode dalam yang dilakukan dalam perencanaan ini dengan melakukan study literatur tentang teori-teori pendukung yang nantinya dipakai dalam perencanaan sebuah hidrolik kran dan

melakukan peninjauan langsung dari lapangan dan mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam merencanakan sebuah pesawat angkat hidrolik kran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemilihan dan Perencanaan Konstruksi Boom

Boom adalah bagian (komponen) dari pesawat angkat, seperti kran . pada boom digantung suatu sistem pengangkat, yaitu system pully . boom merupakan tangan dari pesawat angkat, bila keadaan mendatar maka jangkauan boom akan jauh, sebaliknya bila meninggi jangkauannya menjadi pendek. ini tergantung dari sudut elevasi.

- a. Tergantung pada cara kerja boom, terdiri dari
 1. Boom dengan radius tetap
 2. Boom sebagai suspensi (guyed boom)
 3. Boom elevasi (luring boom)
- b. Tergantung pada konstruksinya, boom dibagi atas
 1. Boom dengan lengan tetap (fixed radius boom)
 2. Boom dengan lengan yang dapat memanjang dan memendek (telescopic boom)

3. Puli (Sheave)

Puli (sheave) adalah merupakan kepingan bundar yang disebut juga discus atau, terbuat dari logam, misalnya besi tuang, kayu. Pinggiran puli diberi alur (groove) yang berfungsi untuk laluan tali seperti terlihat pada gambar 3.7. berikut ini:

Puli dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Puli tetap (fixed pulley)
Puli tetap terdiri dari sebuah cakera dan seutas tali atau rantai yang dilingkarkan pada alur (groove) bagian atasnya yang salah satu ujungnya digantungi beban Q, sedangkan ujung yang lainnya ditahan atau ditarik ke bawah sehingga dengan demikian beban Q terangkat keatas.
2. Puli bergerak (movable pulley)

Puli bergerak mempunyai cakera yang bebas dan poros yang bebas pula. Tali atau rantai dilingkarkan pada alur bagian bawah. Salah satu ujung tali diikatkan tetap dan ujung lainnya ditahan atau ditarik pada waktu pengangkatan. Beban digantung pada kait (hook) yang tergantung pada poros.

Ukuran diameter puli minimum adalah 414 mm, namun dapat juga diambil lebih besar dari 414 mm. Ukuran-ukuran alur puli dapat ditentukan berdasarkan diameter tali baja. Untuk ukuran tali 23 mm, maka yang dipakai 24 mm (lampiran 11) karena mendekati ukuran puli atau cakera berdasarkan tabel yang tertera pada lampiran 11.

Agar puli dapat berputar, maka dipasang bantalan luncur pada poros untuk mendukung puli agar berputar dengan bebas.

Bahan yang dipergunakan dalam kondisi aman, dimana dapat dibuktikan bahwa :

$$\sigma_b \text{ izin} > \sigma_b \text{ terjadi} \quad 1166 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > 222 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Perencanaan Pemilihan Drum Penggulung Tali

Pada operasi pengangkatan drum digunakan untuk menggulung tali baja, menurut cara penggunaannya drum dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) bagian, yaitu :

- a. Drum beralur.
- b. Drum bersarang rantai.
- c. Drum licin (Plain type).

Drum beralur dipakai untuk keperluan yang memakai motor penggerak dan tali yang dipakai adalah tali baja. Alur membuat gulungan tali akan merata dan juga dapat mengurangi gesekan terhadap drum. Drum untuk tali baja dibuat dari bahan licin dengan flans tinggi untuk memungkinkan menggulung tali baja dalam beberapa gulungan dan biasanya terbuat dari besi tuang.

Maka diameter luar drum adalah :

$$D = D_1 + d$$

$$= 414 + 23$$

$$= 437 \text{ mm}$$

Alur drum dipilih jenis alur standard, ukuran alur dapat dipilih berdasarkan diameter tali baja. Untuk diameter 23 mm (lampiran), maka diperoleh ukuran-ukuran alur drum sebagai berikut :

1. Diameter tali (d) : 24 mm
2. Jari-jari alur dalam (r₁) : 13,5 mm
3. Kisar (S₁) : 27 mm
4. Jarak antara (C₁) : 6 mm

Perhitungan Roda Gigi Transmisi Drum

Sistem Transmisi

Motor penggerak hidrolik bergerak karena adanya sumbu energi yang berasal dari pompa roda gigi (gear pump), dimana pompa tersebut memompakan fluida (oil) melalui selang (hose) yang dapat digerakkan oleh motor hidrolik.

Pada perencanaan ini transmisi drum menggunakan roda gigi lurus, karena lebih baik bila dibandingkan dengan sabuk atau rantai. Roda gigi ini mempunyai keunggulan yang lebih efektif, ringkas dan putaran lebih tinggi serta daya yang ditransmisikan lebih besar.

Perencanaan sistem transmisi

Untuk putaran drum dapat ditentukan dengan persamaan :

$$nd = \frac{60 \times C}{\pi \times d}$$

Daya yang diperlukan untuk silinder I (N₁) adalah :

$$nd = \frac{60 \times 1,6}{3,14 \times 0,437}$$

$$= 70 \text{ rpm}$$

Reduksi transmisi (i) adalah :

$$i = \frac{1600}{70}$$

$$= 22,8$$

Reduksi transmisi rasio total yang terjadi pada transmisi adalah :

$$I_{\text{total}} = i_1 \times i_2 \times i_3$$

$$= 2 \times 3,8 \times 3$$

$$= 22,8$$

Dengan demikian perbandingan rasio tiap roda gigi adalah :

1. Jumlah gigi pada roda gigi II (Z₂) :

$$Z_2 = i_1 \times Z_1$$

$$Z_2 = 2 \times 10$$

$$= 20 \text{ gigi}$$

2. Jumlah gigi pada roda gigi IV (Z₄) :

$$Z_4 = i_2 \times Z_3$$

$$Z_4 = 3,8 \times 8$$

$$= 30 \text{ gigi}$$

3. Jumlah gigi pada roda gigi V (Z₅) :

$$Z_5 = i_3 \times Z_4$$

$$Z_5 = 3 \times 30$$

$$= 90 \text{ gigi}$$

4.6. Perhitungan Daya untuk Teleskopis Boom

Ukuran-ukuran utama dari kedua silinder boom ini adalah sebagai berikut :

	Silinder I	Silinder II
Tekanan kerja (P)	140 <i>kg/cm₂</i>	140 <i>kg/cm₂</i>
Langkah kerja (S)	7 m	7 m
Gaya dorong (F)	18500 kg	14500 kg
Kecepatan (V)	0,155 <i>m/s</i>	0,155 <i>m/s</i>
Tipe boom	Double acting	Double acting

4.7. Perhitungan Daya untuk Elevating Silinder

Dalam perencanaan elevating silinder, jenis yang digunakan adalah double silinder guna untuk menstabilkan gerakan silinder. Adapun ukuran-ukuran utama dari elevating silinder, yaitu :

1. Panjang langkah (s) = 2,26 m
2. Diameter piston (d) = 22,5 = 0,225 m
3. Kecepatan angkat (V) = 2,26 *m/menit*
4. Tekanan fluida kerja (P) = 140 *kg/cm²*

Daya Penggerak Motor

Untuk mengangkat beban di butuhkan daya di mana pada motor crane daya yang digunakan bersumber dari mesin penggerak utama yang di transmisikan melalui system mekanisme pengangkatan.

Untuk itu dirancang kecepatan pengangkutan adalah tetap. Bila putaran – putaran motor tetap maka daya motor dapat di hitung dengan rumus :

$$N = \frac{S_{max} \times C}{\eta_{transmisi} \times 75} \text{ (HP)}$$

Dimana :

$$S_{max} = \text{Daya angkat total} \\ = 3535 \text{ kg}$$

C = kecepatan pengangkatan pada drum

$$= 96 \text{ m/menit} \\ = 1.6 \text{ m/s}$$

$$\eta_{transmisi} = 0,95 \text{ (diambil)}$$

η = efisiensi mekanis pengangkatan di asumsikan sebesar 0.814 dengan 4 pasangan roda gigi

maka :

$$N = \frac{3535 \times 1.6}{0.95 \times 75} \\ = 79.39 \text{ Hp}$$

Dari perhitungan di atas daya motor penggerak di butuhkan pesawat pengangkatan ini adalah 80 Hp.

Gangguan Dan Pemeliharaan Boom

Berbicara mengenai gangguan boom serta pemeliharaan untuk boom tidaklah berdiri sendiri, akan tetapi mencakup kran serta keseluruhan sistemnya. Apabila terjadi gangguan pada boom, maka harus dilakukan pemeriksaan (inspection) dan melakukan perbaikan (repair) atau apabila dianggap perlu, maka harus dilakukan penggantian suku cadang (spare part).

Selanjutnya petunjuk ini dapat dijadikan sebagai acuan mengatasi gangguan dalam melakukan pemeliharaan terhadap boom yang digunakan pada mobile crane.

Bagian	Gangguan	Penyebab	Perbaikan
Boom	Gerak lambat	1. Ada kebocoran dalam control valve 2. Kerusakan jaringan sistem listrik	1. Rep arasi 2. Rep arasi
	Boom tidak mau keluar	1. Sistem listrik rusak 2. Kebocoran dalam silinder 3. Control valve rusak 4. Jack switch rusak	1. Perbaiki 2. Perbaiki 3. Perbaiki 4. Perbaiki
	Boom tidak mau masuk kembali	1. Control valve rusak 4. Jack switch tidak pada posisi netral	1. Per baiki 2. Atu r
	Boom masuk mendadak	1. Kebocoran dalam selinder 2. Kebocoran luar dari selinder	1. Perbaiki 2. Perbaiki
Electric al	Lamp u punca k boom tidak menyal a	1. Bola lampu putus 2. Switch rusak 3. Wire putus	1. Ganti 2. Perbaiki 3. Perbaiki

5. SIMPULAN

1. Simpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Adapun karakteristik utama yang menjadi pedoman dalam perencanaan ini sesuai dengan hasil survey yang dilaksanakan penulis adalah:

1. Jenis kran : Hidrolik kran
2. Kapasitas angkat : 20 ton
3. Boom : 8,4 meter
4. Tinggi angkat : 14,3 meter
5. Panjang kran : 10,4 meter
6. Lebar kran : 2,49 meter
7. Tinggi kran : 3,47 meter
8. Berat total kran : 22810 kg
9. Bobot penyeimbang : 780 kg
10. Kecepatan maksimum : 40 km / jam

Sistem pengangkat

Sistem puli yang dipergunakan pada perencanaan ini adalah system yang menguntungkan pada gaya, yakni system puli dengan tali penarik dari arah puli tetap (fixed pulley system) dari hasil perhitungan diperoleh ukuran-ukuran sebagai berikut :

1. Tali baja ($6 \times 37 + 1$ fc)
 - a. Diameter tali (d) : 23 mm
 - b. Diameter wayar (δ) : 1 mm
 - c. Berat permeter (W) : 1,750 kg/m
 - d. Tegangan patah (pb) : 29300 kg
2. Puli
 - a. Diameter puli : 414 mm
 - b. Panjang bantalan : 256
3. Drum
 - a. Diameter tali (d) : 23 mm
 - b. Jari – jari alur dalam (r_1) : 13,5 mm
 - c. Kisar (s_1) : 27 mm
 - d. Jarak antara (c_1) : 6 mm
4. Ulir pada kait
 - a. Diameter dalam (d_1) : 56,627 mm
 - b. Diameter efektif (d_2) : 59,375 mm
 - c. Diameter luar (d_0): 63,500 mm
 - d. Tinggi ulir (H_1) : 3,437 mm
 - e. Jarak bagi (P) : 6,350 mm
 - f. Jumlah ulir tiap 25,4 mm : 4 ulir
5. Boom teleskopis
 - a. Tekanan kerja (P) : 140 kg/cm²

- b. Langkah kerja (S) : 7 m
 - c. Gaya dorong silinder I : 18500 kg
 - d. Gaya dorong silinder II : 14500 kg
 - e. Kecepatan (V) : 0,155 m/s
 - f. Tipe boom Boom Teleskopis
6. Elevating silinder
 - a. Jenis silinder : double acting hidrolik Cylinder
 - b. Tekanan kerja fluida : 140 kg/cm²
 - c. Daya Motor : 28 HP
 - d. Kecepatan angkat 2,26 m/menit
 - e. Diameter piston : 22,5 cm
 - f. Volume silinder : 0,089 m³

Petunjuk pengoperasian hidrolik kran

Pada proses pengoperasian kran ini sangatlah perlu diperhatikan batasan maksimum operasi dari kran tersebut. Memastikan pengaman apakah dapat difungsikan dengan baik, untuk menghindari hal – hal yang tidak diinginkan, dan menghindari tindakan – tindakan yang cenderung membuat peralatan tersebut rusak. Karena hal ini disamping membahayakan operator, juga membahayakan orang-orang yang berada di sekitar lapangan kerja.

2. Saran :

- a. Sebaiknya beban yang diangkat tidak melebihi kapasitas angkat maksimal yang diperbolehkan pada mobil crane tersebut.
- b. Sebelum melakukan pengangkatan, ada baiknya sesuaikan panjang dan sudut kemiringan boom pada saat pengangkatan dengan kapasitas beban yang akan diangkat.
- c. Sebaiknya melakukan pemeriksaan pada komponen – komponen dari mobil kran yang digunakan.
- d. Sesuaikan sudut kemiringan boom (teleskopis) pada saat pengangkatan dengan tinggi pengangkatan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- D.H. Gulo.S. Timoshenko (1986). *Dasar-Dasar Perhitungan Kekuatan Bahan*. Ratu Agung. Jakarta
- E.P. Povov. (1983). *Mekanika Teknik Edisi Kedua*. Ed : Zainul Astamar Tanisan, M.Sc. Erlangga. Jakarta
- Ferdinan L. Singer. *Kekuatan Bahan*. Ed : Ir. Darwin Sebayang. Erlangga. Jakarta
- Gere dan Timoshenko. (1996). *Mekanika Bahan Edisi Kedua Jilid 1*. Ed : Drs. Hans. J. Wospokrik. Erlangga. Jakarta
- Ir. Sularso dan Kiyokatsu Suga. (1997). *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta
- Ir. Syamsir A. Muin. (1995). *Pesawat-Pesawat Pengangkat*. PT. Rajawali Grafindo Persada. Jakarta
- Joseph E. Shigley dan Larry D. Mitchell. (1984). *Perencanaan Teknik Mesin Edisi Keempat Jilid 1*. Ed : Ir. Gandhi Harahap, M.eng. Erlangga. Jakarta
- Kurt M. Marshek. 1987 “Design of Machine and Structural Parts”, Penerbit John Wiley & Sons, USA
- Rudenko. N. (1994). *Mesin Pengangkat*. Ed : Ir. Purnomo Wahyu Indarto. Erlangga. Jakarta
- S. Timoshenko dan D. H. Young. (1996). *Mekanika Teknik*. Ed : Ir. Cendy Prapto. Erlangga. Jakarta
- Suratman M. (2000). *Menggambar Teknik Mesin*. Pustaka Grafika. Bandung