



**MODUL: Mesin Pemindah
Bahan**

**UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN
Fakultas Teknik dan Komputer
2021**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Modul mata kuliah Mesin Pemindah Bahan (21-3-09-3-5-06-2) ini berhasil disusun dengan semaksimal mungkin. Modul ini disusun mengacu pada silabus mata kuliah yang diberlakukan untuk program S1 yang disajikan pada tiap semester dengan jumlah SKS 2 (Dua). Modul ini diterbitkan untuk kalangan sendiri pada Program Teknik Mesin FAKULTAS TEKNIK DAN KOMPUTER UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN . Penulis mengucapkan terimakasih atas suport dan masukan yang diberikan teman teman Dosen di Fakultas Teknik dan Komputer Universitas Harapan Medan, selama penyusunan Modul ini.

Modul mata kuliah Mesin Pemindah Bahan ini diharapkan bisa membantu mahasiswa dalam memahami materi yang disampaikan Dosen. Dalam diktat ini menyajikan bermacam-macam contoh soal dan latihan soal dalam setiap BAB, yang mana mahasiswa diharapkan bisa memanfaatkan dengan baik untuk memperkuat pemahaman materi setiap BAB. Namun demikian, mahasiswa sebaiknya juga membaca buku-buku referensi yang lain tentang Mesin Pemindah Bahan ini sehingga diperoleh informasi yang lebih lengkap dalam upaya memahami materi perkuliahan.

Bagaimanapun, diktat ini masih diperlukan perbaikan secara bertahap, oleh karena itu mohon kritik dan saran untuk kesempurnaan diktat ini.

Kami menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang membantu penulisan diktat ini. Semoga bermanfaat bagi pembaca.

Medan, Januari 2021

Penulis

(Ir.Junaidi,M.M.,M.T.)

NIDN :0103036301

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Gambaran Umum Pesawat Pengangkat dan Alat Berat	1
1.2 Klasifikasi dan Karakteristik Material	2
1.3 Klasifikasi Pesawat Pengangkat	3
1.4 Pemilihan Jenis Pesawat Pengangkat dan Alat Berat	6
BAB II. HOISTING EQUIPMENT	10
2.1 Flexible Hoisting Appliance	10
2.2 Pulley dan Sistem Pulley	19
2.3 Alat Bantu Pengangkatan	26
2.4 Sistem Penggerak	27
2.5 Perhitungan Kapasitas	28
2.6 Perhitungan Daya	29
2.7 Kestabilan Pada Crane	38
Daftar Pustaka	43



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Gambaran Umum tentang Pesawat Pengangkat

Pesawat Pengangkat atau handling equipment digunakan untuk memindahkan (beban) barang dalam suatu pabrik (plant), dalam suatu pekerjaan bangunan (kontruksi bangunan), dalam pergudangan untuk menimbun atau membongkar dan lain-lain.

Untuk membedakan dengan apa yang dinamakan dengan long distance transport (alat angkut jarak jauh) misalnya kereta api, mobil, kapal, maka materials handling equipment hanya memindahkan barang (beban) pada jarak yang relative pendek (dekat). Dalam praktek jarak ini dibatasi dari puluhan sampai ratusan meter dan hanya mencapai ribuan meter bila dipakai untuk memindahkan (pengangkutan) beban antara dua atau beberapa stasiun yang berhubungan dengan satu keaktifan produksi.

Dalam suatu pabrik loading dan unloading barang–barang tergantung dari ada tidaknya fasilitas external dan internal transporting. Fasilitas transport luar (external) men-supply pabrik dengan bahan baku, bahan setengah jadi, bahan bakar, bahan pembantu dan lain-lain, dan mengangkut barang-barang jadi ke kapal, dan barang bekas pabrik.

Fasiliatas transport intraplant mendistribusikan barang-barang (beban), yang datang ke seluruh pabrik, pemindahan material antara processing unit yang terlibat langsung dengan produksi dan membawa barang jadi dan geram ke tempat-tempat penyimpanan untuk kemudian diangkut oleh external tranport ke tempat yangdisediakan.

Proses transportasi semacam ini tidak hanya terikat pada pemindahan bahan dari sesuatu tempat ketempat lain, tetapi juga termasuk operasi loading dan unloading; yaitu memberikan beban pada mesin-mesin pengangkut barang, mengambilnya lagi disuatu tempat yang telah di tentukan, menempatkan barang tersebut di dalam gudang danmembawa ke mesin-mesin proses.

Untuk suatu operasi pembongkaran dan pemuatan yang penting beberapa peralatan angkat diberi (diperlengkapi) dengan peralatan pemegang yang spesial yang dijalankan dengan motor pembantu atau secara manual.



Fasilitas transport didalam suatu plant dibagi dalam *interdepartement* dan *intradepartement* facilities. Pada pekerjaan kontruksi fasilitas transport dapat diklasifikasikan sebagai external, intra area dan intrasection facilities.

Interdepartment Transporting Facilities, membawa beban antara department, misalnya pada suatu bengkel mesin, antara blank manufacturing (pengerjaan bahanbaku), dengan departement mesin atau departement pembantu, atau antara departement dengan bagian gudang.

Intradepartment Transforting Facilities, membawa beban antara section, stores (gudang), mesin, dan lain-lain, didalam batas – batas suatu departement. Interoperationaltransporting facilities yang membawa beban dari satu processing unit ke lainnya berhubungan erat dengan manufacturing operation yang diterapkan dalam suatu department atau perusahaan secara keseluruhan merupakan suatu hal yang penting sebagai fasilitas pengangkutan yang beroperasi didalam dan kadang – kadang antara department. Fasilitas ini memegang peranan yang penting dalam mass flow production dimana dia merupakan penghubung antara sebuah mesin dengan sebuah unit dan menolong ketepatan waktu dari department atau perusahaan dalam memenuhischedule yang telah ditetapkan.

1.2. Klasifikasi dan Karakteristik dari Material

Jenis material (beban) yang diangkat dan sifat-sifat fisis dan mekanisnya adalah faktor yang penting dalam menentukan type atau perancangan sebuah pesawat pengangkat. Material pada umumnya dapat diklasifikasikan dalam golongan:

1. Unit loads.
2. Bulk loads.

1. Unit Loads

Unit loads mempunyai bentuk dan berat yang berbeda-beda. Yang termasuk didalamnya adalah :

- Satuan barang, biasanya dihitung dalam jumlah barang (misalnya : onderdil atau assembling mesin mesin).



- Kelompok barang yang mempunyai bentuk yang sama tetapi dari berbagai ukuran (pig iron, batu bata, profil-profil baja, dan lain-lain).

Karakteristik dari unit loads ditentukan oleh :

- ukuran utamanya
- bentuknya.
- Berat setiap beban (barang).
- Cara suspensi yang paling menguntungkan (ditumpuk atau digantung).
- Sifat-sifat fisis yang dipunyai (misalnya : temperatur, barang-barang yang baru dituang, ingot yang panas, sifat mudah dibakar, mudah meledak, rapuh, dan lain-lain).

2. Bulk Loads:

Adalah material yang komponennya terdiri dari partikel- partikel yang homogen, misalnya batu bara, semen, pasir, tanah, batu kerikil, tanah liat dan lain-lain.

Karakteristik dari bulk loads ditentukan oleh :

Sifat-sifat mekanis dan phisis yang dipunyai, seperti lump size (distribusi masing-masing partikel menurut ukurannya), bulk, berat spesifik, kandungan air, sifat abrasif dan sifat-sifat lainnya.

1.3. Pemilihan Jenis Pesawat Pengangkat

Dewasa ini material handling equipment dibuat dan direncanakan dalam berbagaimacam ragam. Oleh sebab itu suatu jenis operasi mempunyai kemungkinan dapat dilayani oleh beberapa jenis metode atau peralatan.

Untuk memilih pesawat pengangkat mana yang paling sesuai untuk suatu pekerjaan, tidak hanya dibutuhkan suatu pengetahuan tentang design dan karakteristik operasinya saja, tetapi juga pengertian yang mendalam tentang cara kerja atau sifat- sifat produksinya suatu pabrik atau perusahaan.

Suatu fasilitas transport harus dapat mampu membawa barang-barang (beban) dalam jumlah yang dibutuhkan oleh suatu departement yang membutuhkannya dandalam waktu yang telah ditentukan.

Disamping itu suatu material handling equipment harus mempunyai sifat-sifat/syarat- syarat :



- Mengusahakan mekanisasi yang setinggi mungkin, sehingga cukup dilayani oleh beberapa operator, maintenance dan pekerja tambahan.
- Peralatan itu tidak akan merusak beban yang diangkat, tidak menghalangi-halangi lalu lintas dalam pabrik atau mengganggu proses dalam produksi.
- Peralatan ini harus aman dalam operasinya.
- Ekonomis dipandang dari sudut investasi modal dan biaya operasinya.

Faktor-faktor teknis yang dapat diambil sebagai pedoman dalam pemilihan type dari material handling equipment bila suatu handling proses bila memerlukan suatu proses mekanisasi :

1. Sifat dari material yang dilayani :

Untuk unit loads, yang perlu diperhatikan adalah bentuk dari beban, beratnya, posisi yang paling baik untuk mengangkat, sifat kerapuhannya, temperatur.

Untuk bulk loads, lump size, volume weight, temperatur, sifat kimiawi, kecendrungan untuk pesok.

Pesawat pengangkat biasanya direncanakan tidak untuk bisa melayani semua sifat-sifat yang ada karena hal ini sukar sekali, jadi pada umumnya suatu pesawat akan baik untuk kondisi tetapi untuk kondisi lainnya dari material akan menurunkan kemampuannya bahkan kadang-kadang sama sekali tidak dapat dipakai.

2. Kapasitas per jam yang dibutuhkan oleh suatu unit :

Dalam prakteknya sekarang ada beberapa peralatan yang dapat dengan mudah melayani kebutuhan dengan kapasitas per jam yang tidak terbatas, misalnya continuous action conveyors. Tetapi disamping itu ada peralatan yang bekerja dengan mengikuti suatu gerakan periodik yang terputus-putus dan dengan suatu saat harus berhenti, hal ini di jumpai pada suatu peralatan misalnya overhead travelling crane, trucks. Peralatan semacam ini untuk melayani kapasitas per jam yang tinggi harus mempunyaikarakteristik angkat yang tinggi (kapasitas) dan kecepatan gerak yang tinggi juga

3. Arah dan panjang lintasan :

Ada jenis – jenis peralatan angkat yang dapat membawa beban pada arah vertikal, horisontal atau membentuk sudut dengan horisontal. Gerakan vertikal atau gerakan yang mendekati vertikal pada umumnya membutuhkan suatu



peralatan hoisting, crane, bucket, atau tray elevator: gerakan horisontal bisa dilayani dengan self propelled atau hand trucks, fixed path facilities, macam- macam conveyors. Beberapa peralatan dengan mudah dapat berjalan melalui lintasan yang berbelok, sedang yang lainnya hanya bisa bergerak secara liniair saja. Panjang lintasan, lokasi dari tempat-tempat supply material dan terpisahnya stasiun penerima beban (loads) juga faktor yang penting untuk memilih peralatan yang sesuai (tepat).

4. Metode penyimpanan beban pada initial, final, dan intermediate point :

Menaikkan beban pada suatu kendaraan dan menurunkannya kembali pada suatu tempat adalah suatu yang berbeda, sebab pada suatu handling machines bisa dijalankan secara mekanis sedang lainnya harus dibantu dengan suatu auxiliary fixture atau cukup secara manual. Jadi misalnya, bulk loads dapat disimpan dalam timbunan atau tumpukan kecil-kecil (pile) dimana pengambilannya dengan cara dikeruk atau dengan cara lain yang sesuai, atau dengan ditaruh dalam suatu bak (bunker) dimana pengambilannya bisa dengan tenaga gravitasi dengan mengalirkannya ke dalam kendaraan yang perlu diisi.

5. Karakteristik dari proses produksi memerlukan pengangkutan :

Faktor ini adalah penting dan paling berpengaruh dalam pemilihan jenis dari fasilitas alat transport. Pada prinsipnya, gerakan dari materials handling equipment biasanya tergantung dan berhubungan erat dengan manufacturing proses; kadang-kadang gerakan ini bisa berlangsung terlibat dalam penyelesaian pekerjaan suatu proses. Misalnya crane-crane yang dipergunakan dalam bengkel cor, tempa dan las, conveyor untuk assembling department.

6 . Kondisi lokal :

Disini termasuk bentuk dan besarnya areal tanah, type dan perencanaan darigedung, datar tidaknya tanah untuk bekerja, kemungkinan pengotoran dari unit- unit yang dipergunakan dalam proses, kelembaman dan debu-debu sekitaar lokasi, adanya gas-gas dan uap-uap, temperatur.

Pemilihan dari peralatan juga dipengaruhi oleh kemungkinan perluasan dari pabrik, permanen tidaknya peralatan yang diperlukan sumber energi yang tersedia, keaman alat tersebut untuk bekerja.



Setelah memilih peralatan berdasarkan pertimbangan teknis, biasanya kemudian diperbandingkan dari sudut engineering dan ekonomi.

Dari evaluasi secara ekonomi dari berbagai jenis peralatan maka capital investment dan operational cost harus diperhitungkan.

Yang termasuk dalam capital investment :

- harga peralatan.
- Ongkos erection dan transport.
- Construction cost termasuk instalation dan operational cost).

Juga perbedaan ongkos dari gedung atau struktur yang dapat dilayani oleh alternative fasilitas transport yang dapat dipakai harus turut diperhitungkan.

Operational cost terdiri dari :

- gaji para operator dan tunjangan sosial.
- Ongkos tenaga listrik.
- Ongkos lubikasi, membersihkan kotoran.
- Ongkos repair dan maintenance.

Juga harus diperhitungkan kerugian depresiasi dari peralatan selama operasi.

Jadi dalam pemilihan suatu pesawat pengangkat harus mempunyai syarat-syarat :memenuhi kebutuhan proses produks, mengusahakan mekanisasi setinggi mungkin, kondisi buruh yang baik, handling cost yang rendah.

1.4. Klasifikasi Materials Handling Equipment

Tujuan dari klasifikasi adalah untuk mempermudah atau membantu suatu organisasi untuk mendapatkan informasi dalam memecahkan persoalan-persoalan (dalam hal ini material handling).

Karena banyaknya jenis-jenis dan type-type yang ada maka untuk mengklasifikasi secara tepat sulit sekali dilaksanakan. Karena kompleksnya persoalan inidalam kenyatannya dapat berdasarkan pada bermacam-macam karakteristik misalnya :design, kegunaan, type dari gerakan, dan lain-lain.

Bila suatu peralatan diklasifikasikan menurut type of movement (kinematic characteristic) maka beban dianggap terkonsentrasi pada titik beratnya dan group dari peralatan tersebut ditetapkan oleh lintasan yang dibuat oleh beban yang berjalan pada bidang horizontal.



Bila peralatan diklasifikasi berdasarkan kegunaan (purpose) maka mesin- mesin tersebut dapat dipandang dalam aplikasinya untuk kondisi operasi tertentu, kran misalnya dapat di subdivided dalam pekerjaan metallurgi, konstruksi, pelabuhan dan lain-lain.

Pada umumnya material handling equipment dapat diklasifikasikan dalam 5 system :

1. Jenis material yang dilayani, seperti bulk, loose boxes, dan lain-lain.
2. Sifat dari service yang dijalankan seperti mengangkat atau untuk transporting.
3. Penggunaan utama dalam industri :seperti pertambangan, manufacturing, transportasi, pekerjaan kontruksi.
4. Relative mobility of equipment : seperti fixed path, travel in limited area, travel over wide areas, dan lain – lain.
5. Classes of aparatus : seperti cranes, hoists, conveyors, lift trucks dan lain – lain.

Untuk mengklasifikasikan hanya berpegang pada satu system akan menimbulkan kebingungan dallam menggolongkan beberapa peralatan. Misalnya klasifikasi peralatan menurut jenis material yang dapat dilayani maka peralatan ini akan di subdivided menjadi :

- a. Package handling.
- b. Bulk materials handling.

Dengan pembagian ini maka beberapa peralatan yang agak sukar untuk memilih dari golongan mana peralatan ini akan dimasukkan. Karena bila bulk materials dimasukkan dalam kantong atau tempat lainnya maka dia akan menjadi jenis package. Dalam beberapa keadaan unit loads dapat dilayani dengan conveyor atau peralatan hopperseperti halnya dengan bulk materials. Dengan demikian maka suatu peralatn dapat dimasukkan dalam kedua jenis golongan ini.

Agar supaya semua jenis peralatan handling dapat diklasifikasikan menurut golongan – golongan yang tertentu, maka pada umumnya klasifikasi tidak menganut satusystem saja, tetapi dengan mengambil satu system sebagai mayor classes dan system lainnya digunakan untuk penggolongan dalam sub classes, dimana sub classes masih dipecah-pecah lagi dalam type-type aflikasinya yang spesifik.



Dengan cara ini maka dengan mudah dapat memasukkan semua jenis peralatan handling kedalam golongan-golongan yang telah ditentukan. Dalam hal ini setiap organisasi akan mendapatkn klasifikasi yang berbeda-beda karena pengambilan mayor, sub classes dan type-type aplikasinya dari sudut yang berbeda, tergantung dari penggunaan klasifikasi terdsebut. Misalnya untuk penerapan dalam plant lay out maka sering dipakai klasifikasi peralatan angkat sebagai berikut :

1. mayor classes :
 - fixed path
 - limited area
 - large area
2. Sub classes:
 - Conveyor
 - Cranes
 - tractors, truck , railway equipment.

System klasifikasi yang dipakai ini cocok untuk pembahasan peralatan handling ditinjau dari cara-cara kerja dan penggunaannya.

Material handling equipment disini digolongkan dalam mayor classes yang terdiri dari :

1. Hoisting equipment
2. Conveying equipment.
3. Survace and overhead equipment.

Mayor classes ini memakai system pembagian bagaimana peralatan tersebut dalam aplikasi kerjanya dan sifat pelayanannya. Mayor classes ini kemudian dibagi dalam sub classes yang dapat diperinci seperti dibawah.

Hoisting Equipment

Adalah grup mesin-esin yang mempunyai lifting gear yang ditujukan untuk pemindahan atau mengangkat load terutama dalam bentuk batchses. Grup ini terdiri dari

1. Hoisting machinere.
2. Cranes
3. Elevators.



Conveying Equipment

Adalah grup mesin-mesin yang tidak mempunyai lifting gears dan memindahkan loads secara konstan atau intermitent. Grup ini terdiri dari :

1. Conveyors.
2. Loads tranfering device.
3. Air operatiddevice.
4. Hydrolic device
5. Auxiliary device

Surface and Overhead Equipment

Adalah grup mesin-mesin yang tidak mempunyai lifting gear dan pada umumnya dipergunakan untuk mengangkut beban dalam bentuk batches. Grup ini terdiri dari :

1. Trackless trucks.
2. Narrow gauge cars.
3. ccross handling devices.
4. overhead trackage system.
5. scraper end skidder devices.



BAB II HOISTING EQUIPMENT

Secara umum dan secara garis besar bagian atau komponen utama hoistingequipment adalah :

1. Flexible hoisting appliances, yang berupa rantai atau tali baja.
2. Pulley, pulley system, sprockets dan drums.
3. Load handling attachments, adalah alat bantu untuk pengangkatan.
4. Stopping dan braking devices.
5. Drives / motor.
6. Transmissions dan components.
7. Rails dan travelling wheels.
8. Machine structures / frames.
9. Control devices.

Disini ini tidak semua komponen ini dibahas, sebab sebagian dari komponen ini telah dipelajari dari mata kuliah yang lain misalnya pada kuliah Elemen Mesin (alat transmisi), Statika Struktur dan mata kuliah yang lain.

2.1. Flexible Hoisting Appliances.

Komponen ini berupa rantai (welded chain) atau tali baja (wire ropes).

2.1.1. Rantai

Rantai yang digunakan adalah rantai dengan sambungan las (welded chain) dan pemakaiannya terbatas untuk alat bantu pengangkatan (mengikat beban). Bila dipakai untuk mengangkat beban, terbatas pada kapasitas yang rendah misalnya pada hand operated hoist. Perlu diperhatikan bahwa pemakai rantai harus di test dengan beban satu setengah kali dari berat yang akan diangkat.

Beberapa kekurangan dari rantai jenis ini dibanding tali baja adalah berat (kg/m), tidak tahan beban sentakan dan kelebihan beban, kemungkinan putus tiba-tiba dan lekas aus. Kelebihannya sangat flexible untuk perubahan arah, diameter pulley/sprocket yang lebih kecil, perencanaan dan pembuatannya mudah.



Pemilihan rantai yang mendapatkan gaya tarik didasarkan pada tegangan tarik karena beban dan tegangan pada saat tergulung pada drum.

$$S_s = \frac{S_{br}}{K} \quad (2.1)$$

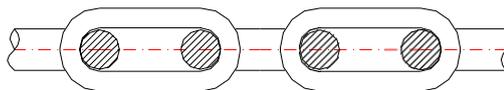
dimana :

S_s = Tarikan yang aman (kg)

S_{br} = Tarikan patah (kg)

K = Faktor keamanan (tabel 2.1)

Bila memakai roller chain, lihat standard chain Elemen Mesin.



Gambar 2.1. Main dimension of load Chain link

Tabel 2.1. Data for the selection of chains

Chains	Drive	Factor of safety K	Ratio $\frac{D}{d}$	Minimum number of teeth on sprocket
Walded calibrated and uncalibrated	Hand	3	20	5
	power	6	30	5
Welded calibrated on pocket sheave	Hand	4,5	20	-
	power	8	30	-
Welded uncalibrated (slings) passing around the load	-	6	-	-
Ditto not passing around the load	-	5	-	-
		5	-	8



2.1.2. Tali Baja.

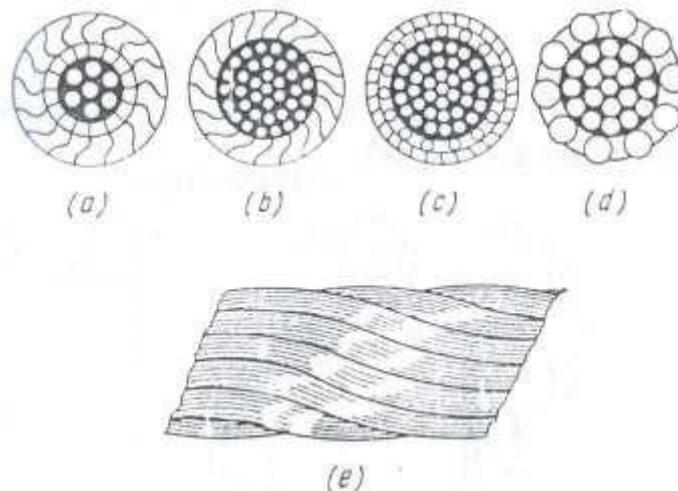
Tali baja lebih luas penggunaannya sebagai alat penarik beban di banding rantai (welded chain) karena beberapa keunggulannya seperti : ringan (kg/m), memberi peringatan awal sebelum putus, yaitu putusnya beberapa kawat pada pintalan, dan operasinya tenang meskipun pada kecepatan tinggi.

Tali baja dibuat dengan memintal sejumlah kawat baja. Apabila dibutuhkan tali baja dengan ukuran diameter yang lebih besar, maka beberapa tali baja dipintal lagi dengan memberi inti ditengahnya atau tanpa inti. Tali baja ada yang diberi pelindung (galvanised) supaya tidak cepat karat atau tanpa pelindung. Arah pintalan tali akan mempengaruhi besarnya tegangan yang terjadi, misalnya kawat dipintal ke arah kanan menjadi tali kecil, kemudian beberapa tali kecil lagi dipintal ke arah kanan (paralel laid) akan berbeda bila beberapa tali kecil (pintalan kekanan) dipintal lagi ke arah kiri (cross lain).

a. Standard Kontruksi Tali.

Penggunaan tali baja pada Hoisting Equipment untuk alat panarik beban (pada crane dan hoist) atau untuk alat bantu mengikat beban. Contoh standard tali baja

:6 x 9 x 1c berarti tali baja yang dipintal dengan 6 tali kecil, sedang setiap tali kecil terdiri dari 19 kawat baja dan 1 inti (tabel 2.2)



Gambar 2.2. Locked – Coil roper



Tabel 2.2. Ropes For lifts

Initial factor of safety of rope for tension	Rope Construction			
	$6 \times 19 = 114 + 1c^*$		$6 \times 37 = 222 + 1c$	
	Cross laid	Paralled laid	Cross laid	Paralled laid
	Number of wire brake over of one pitch after which the rope should be discarded			
Up to 9	14	7	23	12
9 - 10	16	8	26	13
10 - 12	18	9	29	14
12 - 14	20	10	32	16
14 - 16	22	11	35	17
Over 16	24	12	38	19

Tabel 2.3. Rope for Cranes and Hoist

Initial factor of safety of rope for tension	Rope Construction							
	$6 \times 19 = 114 + 1c$		$6 \times 37 = 122 + 1c$		$6 \times 61 = 366 + 1c$		$18 \times 19 = 342 + 1c$	
	Cross laid	Paralel laid	Cross laid	Paralel laid	Cross laid	Paralel laid	Cross laid	Paralel laid
	Number of wire brake over of one pitch after which the rope should be discarded							
Up to 6	12	6	22	11	36	18	36	18
6 - 7	14	7	26	13	38	19	38	19
Over 7	16	8	30	15	40	20	40	20

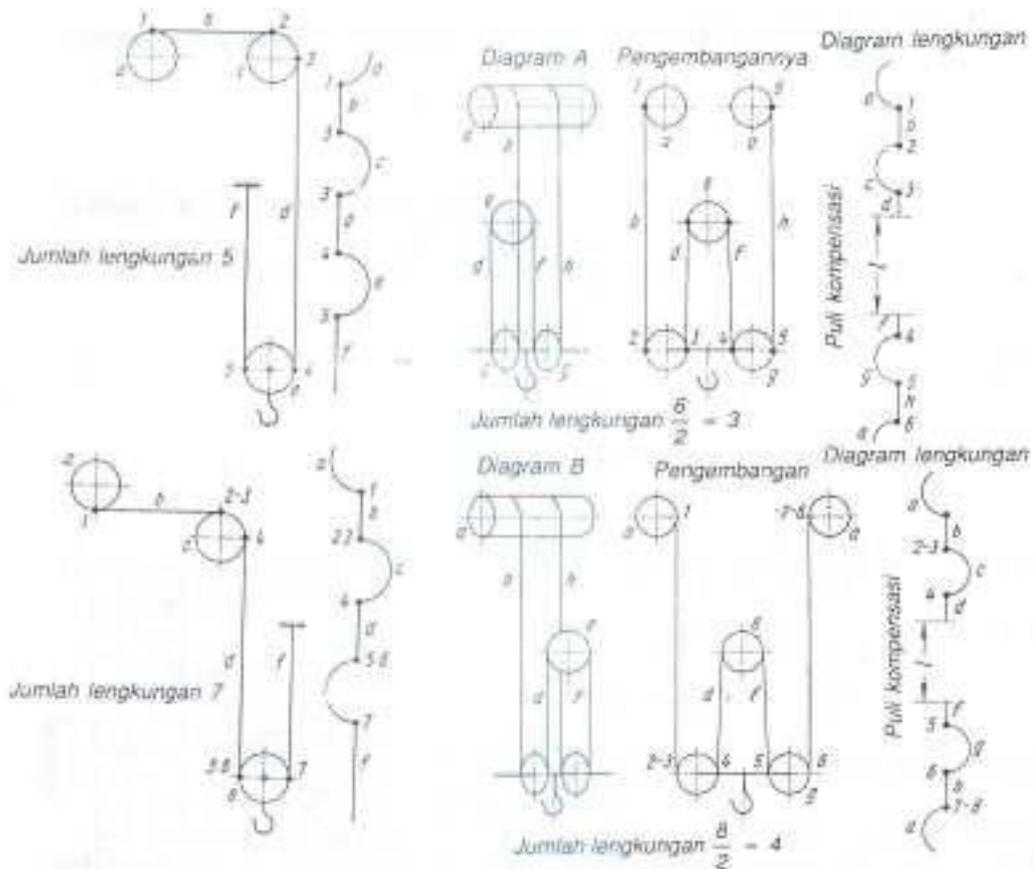
b. Pemilihan Tali Baja.

Secara individu kawat dalam tali baja mengalami atau menerima bermacam-macam tegangan akibat beban maupun pada saat dipintal dan saattertekuk pada pulley. Tegangan tersebut berupa tegangan tarik, bending, puntirdan tegangan tekan antara kawat. Dari eksperimen ternyata yang paling mempengaruhi umur tali baja adalah kelelahan (fatigue).

Kelelahan terjadi karena berulangnya tali tertekuk pada saat masuk pada pulley dan perbandingan antara diameter minimum pulley dan diameter tali (D_{\min} / d).



Yang dimaksud jumlah tekukan (number of bend) adalah jumlah tekukan tali yang dialami selama memindah beban pada system pulley. Satu tekukan adalah perubahan arah tali dari lurus menjadi tertekuk atau dari tertekuk menjadi lurus. Bila tertekuk kekiri kemudian tertekuk kekanan maka ditempat tersebut dihitung dua tekukan. Perhatikan contoh dibawah:



Gambar 2.3. Determining the number.

Karena pada saat memindah beban pulley c diam (gambar c), maka seolah-olah system pulley ini terbagi menjadi dua, sehingga jumlah tekukan $8/2 = 4$. Supaya umur perencanaan tali tidak terpengaruh oleh jumlah tekukan maka perbandingan diameter minimum pulley (D_{min}) dan diameter tali (d) disesuaikan dengan jumlah tekukan yang ada pada system pulley. Tabel 2.4 dapat dipakai untuk menentukan D_{min} / d .



Tabel 2.4. Number of bend

Number of bends	D_{mind}						
1	16	5	26,5	9	32	13	36
2	20	6	28	10	33	14	37
3	23	7	30	11	34	15	37,5
4	25	8	31	12	35	16	38

Pemeriksaan kekuatan tali dapat dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

- Menghitung diameter tali:

$$d = 1,5 \delta i^{\sqrt{\quad}} \quad (2.2)$$

dimana :

- δ = Diameter setiap kawat
- i = Jumlah kawat setiap tali

- Menentukan harga $\frac{D_{min}}{d}$ berdasarkan jumlah tekukan pada tabel 2.4

- Menghitung tegangan pada tali diantara dua titik tekukan / setiap bagian tali karena tarikan dan bending.

$$\sigma_b \geq \frac{\sum \sigma}{K}$$

$$\sigma_b \geq \frac{SK}{\frac{F}{d_{min}} \frac{\delta E'}{d_{min}}} \quad (2.3)$$

dimana :

- σ_b = Ultimate breaking strenght bahan kawat (kg/cm²)
- K = faktor keamanan (tabel 2.5)
- S = tarikan pada tali (kg)
- F = luas penampang kawat (cm²)
- E' = Modulus elastisitas bahan tali yang telah dikoreksi dan untuk baja.

$$E' \approx \frac{3}{8} E \approx \frac{3}{8} \cdot 2.100.000 \quad E' = 800.000 \text{ kg/cm}^2$$



Tabel 2.5.. Minimum permissible values of factors K and e₁

Type of hoisting mechanism	Drive	Operating Condition	Faktor K	Faktor e ₁
I. Locomotive, caterpillar-mounted, tractor, pilar cranes	Hand	Light	4	16
	Power	Light	5	16
	Power	Medium	5.5	16
	Power	Heavy and very H	6	20
II. All other types of cranes and hoisting mechanism	Hand	Light	4.5	18
	Power	Light	5	20
	Power	Medium	5.5	25
	Power	Heavy and very H	6	30
III. Hand-operated winches with a load lifting capacity			4	12
IV. Trolley hoist			5.5	20
V. Clamshell mechanism			5	20
VI. Ditto, for hoisting mechanism of item II			5	30

Luas penampang tali F dapat dihitung dari rumus diatas :

$$F = \frac{S}{\frac{\sigma_b \cdot \delta}{K} \cdot E' \cdot D_{\min}}$$

Dari rumus didapat : $\delta = \frac{d}{1,5\sqrt{i}}$

$$F = \frac{S}{\frac{\sigma_b \cdot d}{K \cdot D_{\min} \cdot 1,5 \sqrt{i}} \cdot E'} \quad (\text{cm}^2) \quad (2.4)$$

Luas penampang tali F dihitung setelah menentukan harga K, i, σ_b dan $\underline{d D_{\min}}$



Kemudian dipilih tali yang mempunyai luas penampang sama dengan hasil perhitungan atau mendekati. Hasil perhitungan itu hanya mendekati kebenaran untuk satu tali saja yang dipintal dari beberapa kawat. Untuk perencanaan yang lebih teliti, terutama yang menyangkut umur tali, perlu diteliti kembali (dikoreksi) harga σ_b yang dipakai sebagai dasar perhitungan. Dengan memasukkan harga $E' = 800.000 \text{ kg/cm}^2$ dan jumlah kawat yang ada pada tali, maka : luas penampang tali untuk tali dengan 114 kawat : $F_{(114)}$.

$$F_{(114)} = \frac{S}{\sigma_b \frac{d}{K D_{\min}} \cdot 50.000} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (2.5)$$

Untuk tali dengan jumlah tali 222 ($F_{(222)}$) dan tali dengan jumlah kawat 342 ($F_{(342)}$) maka angka 50.000 pada rumus diatas menjadi 36.000 dan 29.000.

Bila kedua ruas dalam rumusan diatas dikalikan σ_b Akan didapat breaking strength Puntuk luasan penampang tali tersebut.

$$F_{(114)} = \frac{S \cdot \sigma_b}{\frac{\sigma_b}{K} \frac{d}{D_{\min}} \cdot 50.000} \text{ (kg)} \quad (2.6)$$

Tarikan kerja maksimum pada tali untuk suatu system pulley (S_w) dapat di hitung dengan rumus:

$$S_w = \frac{Q}{z \cdot \eta \cdot \eta_1}$$

Q = berat beban yang diangkat (kg)
 z = Jumlah pulley

η = efisiensi pulley (tabel 2.6).

η_1 = efisiensi karena tergulungnya pada drum $\approx 0,98$ Diameter minimum drum atau pulley adalah :

$$D > l_1, l_2, d \quad (\text{mm}) \quad (2.7)$$

d = diameter tali (mm).

l_1 = faktor yang berkaitan dengan jenis pesawat dan kondisi operasi pesawat (tabel 7).

l_2 = faktor yang didasarkan pada konstruksi tali (tabel 2.7).



Tabel 2.6. Pulley efficiency.

Single pulley		Mutiple pulley		Efficiency	
Number of part offline	Number of rotating pulleys	Number of part offline	Number of rotating pulleys	Sliding friction in pulley busshes	Rolling friction in pulley busshes
2	1	4	2	0.951	0.971
3	2	6	4	0.906	0.945
4	3	8	6	0.861	0.918
5	4	10	8	0.823	0.892
6	5	12	10	0.784	0.873

Tabel 2.8. Values of factor e_2 Depending on rope construction

Rope Construction	Factor e_2
Ordinary $6 \times 9 = 114 + 1$ core :	
Cross laid	1.00
Paralel laid	0.90
Compound $6 \times 19 = 114 + 1$ core	
a. Warington :	
Cross laid Paralel laid	0.90
b. Scale :	0.85
Cross laid Paralel laid	0.95
	0.85
Ordinary $6 \times 37 = 222 + 1$ core	
Cross laid	1.00
Paralel laid	0.90



2.2. Pulley dan sistem pulley

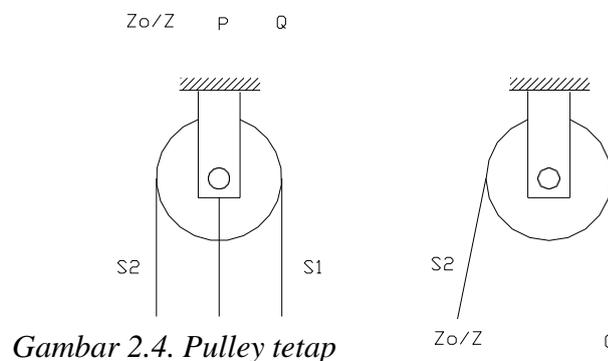
Pemasangan pulley pada hoisting equipment dibedakan menjadi :

- pulley tetap yaitu pulley yang berputar pada poros yang tetap
- pulley gerak yaitu pulley yang berputar pada poros dan bergerak bersama dengan gerak pindah beban.

Pulley tetap disebut juga dengan pulley pengarah karena tali yang melalui ini akan berubah arahnya .

a. Pulley tetap.

Pada pulley tetap seperti pada gambar, terlihat salah satu ujung yang melalui pulley mendapat beban Q sedang ujung yang lain mendapat gaya Z yaitu gaya untuk menarik beban .



Gambar 2.4. Pulley tetap

Apabila tahanan gerak (berupa gaya gesek) pada pulley diabaikan maka gaya $Z_0=Q$.

Dalam kenyataan gaya tarik tali $Z > Q$ karena ada tahanan gerak akibat gaya gesek pada bantalan dan tahanan karena tali mengalami bending saat melingkar pada pulley.

Gaya pada bantalan akibat pengangkatan beban: P

$$P = Q + Z_0$$

Tahanan gerak dihitung dengan keseimbangan momen : $W \cdot R =$

$$P \cdot \mu \cdot d/2$$

$$W = \frac{P \cdot \mu \cdot d}{2R}$$

Bila $Q = Z_0$, maka :

$$W = \frac{Q \cdot \mu \cdot d}{R} \quad (2.8)$$



dimana :

W = Tahanan gerak (kg) Q = Berat beban

(kg).

μ = koefisien gesek bantalan.

d = diameter poros pulley (cm).

R = Radius pulley (cm).

Tarikan (gaya) tali $S_1=Q$, sedang $S_2=Z$, berarti tarikan $S_2 = \frac{S_1}{\eta}$, ini berarti

tarikan maksimum tali pada pulley tetap adalah S_2 , dan ini yang dipakai untuk perhitungan tali (rumus 2.5).

Dalam gambar dapat dilihat bahwa bila tali ditarik sepanjang s (m) maka beban akan terangkat h (m) untuk sudut $\beta = 180^0$ dan bila kecepatan tarikan tali c (m/dt) maka beban akan terangkat dengan kecepatan v (m/dt) dimana :

$$s = h$$

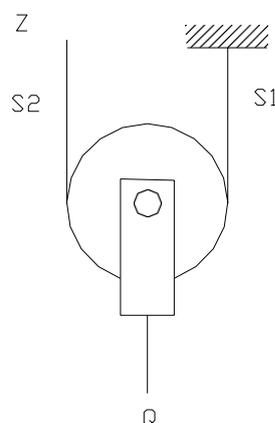
$$c = v \tag{2.9}$$

b.Pulley Gerak

Pulley gerak dibedakan menjadi :

- pulley gerak dengan keuntungan gaya
- pulley gerak dengan keuntungan kecepatan.

1. Pulley gerak dengan keuntungan gaya dimaksudkan dengan pulley ini gaya untuk mengangkat beban akan lebih kecil dibanding berat beban Q (gambar 2.5).



Gambar 2.5. Pulley gerak keuntungan gaya



Pada keadaan seimbang (beban diam) maka :

$$S_1 = S_2 = \frac{Q}{2}$$

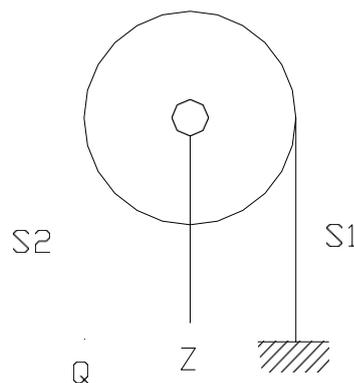
Pada saat gerak pengangkatan :

$$S_1 = \frac{Q}{2}; S_2 = \frac{S_1}{\eta} = Z = \frac{Q}{2 \cdot \eta} \quad (2.10)$$

$S_2 =$ tarikan maksimum pada talis = 2 h.

$$c = 2 v. \quad (2.11)$$

2. Pulley gerak dengan keuntungan kecepatan dimaksudkan dengan menggerakkan pulley gerak akan didapat kecepatan gerak beban yang lebih besar.



Gambar 2.6. Pulley gerak keuntungan kecepatan

Pada keadaan seimbang : $S_1 = S_2$

$$= Q$$

Pada saat bergerak :

$$S_1 = \frac{S_2}{\eta} = \frac{Q}{\eta}; S_2 = Q$$

Gaya dorong Z didapat dengan perhitungan momen : $\sum M_A = 0; S_2 \cdot 2R -$

$$Z \cdot R = 0$$

$Z = 2 S_2 = 2 Q$, persamaan ini benar pada keadaan diam dan pada gerak pengangkatan :



$$Z = Q + \frac{Q}{\eta}$$

Sedang panjang tarikan tali s dan kecepatannya c terhadap kecepatan gerak dan tinggi pengangkatan beban : $s = \frac{1}{2} h$

$$c = \frac{1}{2} v \quad (2.12)$$

c. Sistem pulley.

Sistem pulley adalah gabungan antara beberapa pulley tetap dan beberapa pulley gerak. Ada sistem pulley dengan keuntungan gaya dan ini yang banyak dipakai pada hoisting equipment, sedang sistem pulley dengan keuntungan kecepatan hanya dipakai bila gerak pengangkatan memakai sistem penggerak hidrolis atau pneumatis.

Sistem pulley dengan keuntungan gaya masih dibedakan lagi menjadi :

- a. tarikan akhir tali pada pulley tetap dan
- b. tarikan akhir tali pada pulley gerak.

1. Tarikan akhir tali pada pulley tetap.

Pada saat diam, beban Q diterima oleh dua bagian tali sehingga:

$$S_1 = S_2 = \frac{Q}{2}$$

Pada saat pengangkatan:

$$S_1 = \frac{Q}{2}; S_2 = \frac{S_1}{\eta} = \frac{Q}{2\eta}$$

$$S_3 = Z = \frac{S_2}{\eta} = \frac{Q}{2\eta^2} \quad (2.13)$$

$$s = 2 h$$

$$c = 2v \quad (2.14)$$

Gambar 2.7. Pulley System.

Pada pesawat pemindah bahan jenis crane maka pada sistem pulley seperti ini, tali akan tergulung pada drum yang terletak dibawah, dan gambar 2.8 memberikan contoh sistem pulley ini.

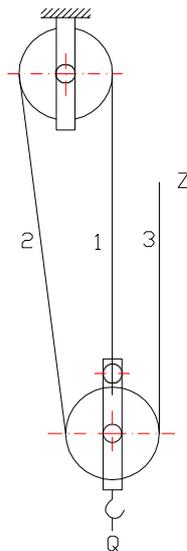


Gambar 2.8. Rope Pulleys.

Panjang tali yang tergulung pada drum (s) dan kecepatan tarikan tali c yang sama dengan kecepatan keliling drum dapat dipakai untuk perencanaan diameter drum (D) dan putaran drum ($c = \eta D \cdot n$)

2. Tarikan akhir tali pada pulley gerak (gambar 2.8).

Ini berarti tarikan akhir tali mengarah keatas dan biasanya digunakan pada craneyang memakai trolley dalam sistem pengangkatannya.



Gambar 2.8. Pulley System.

Pada saat beban tergantung diam, maka beban diterima oleh tiga bagian tali,berarti:



$$S_1 = S_2 = S_3 = Q/3$$

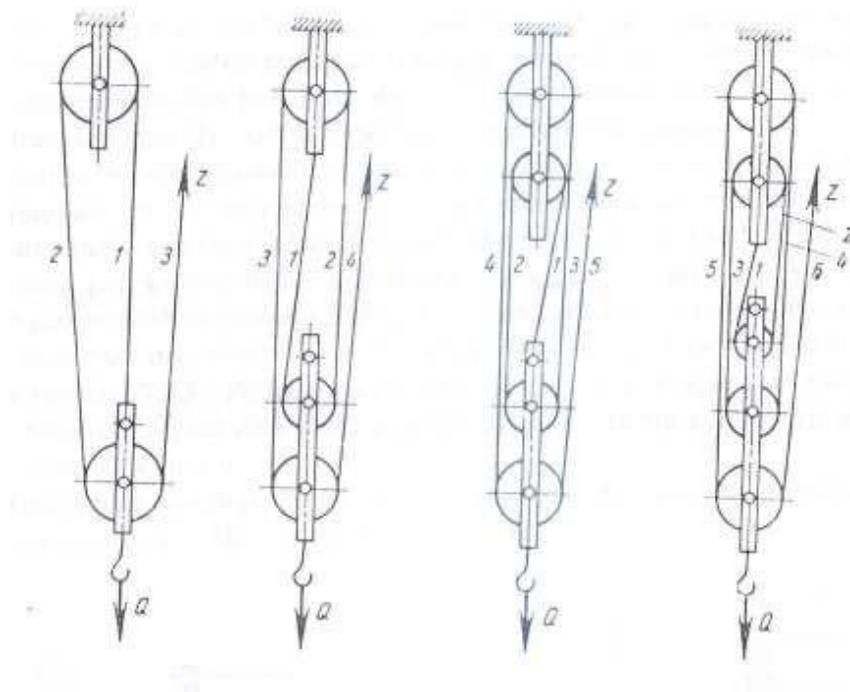
Pada saat gerak mengangkat :

$$S_2 = \frac{S_1}{\eta} = \frac{Q}{3\eta} ; S_3 = \frac{S_2}{\eta} = \frac{Q}{3\eta^2} \quad (2.15)$$

$$\text{Tarikan tali maksimum} = S_{3s} = 3h$$

$$c = 3v \quad (2.16)$$

Beberapa jenis pulley system dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9. Rope Pulleys.

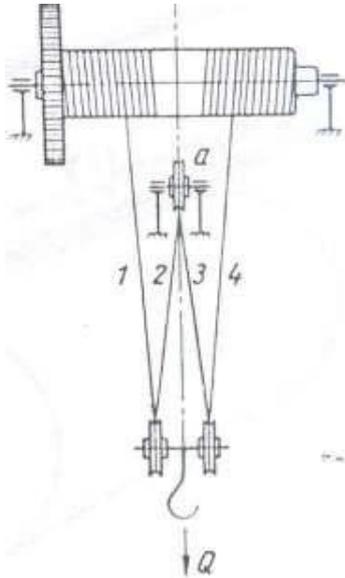
d. Sistem Pulley Majemuk (Multiple Pulley System).

System Pulley yang telah dibicarakan sebelumnya disebut sistem pulleysederhana dan pada system ini ada beberapa kekurangannya yaitu:

1. Bagian – bagian tali yang mengangkat beban berada pada satu bidang sehingga beban mudah terayun.
2. Pada saat beban terangkat atau diturunkan akan terjadi gerakan kearah horizontal karena mengikuti arah gerak horizontal pada saat tali tergulung pada drum.

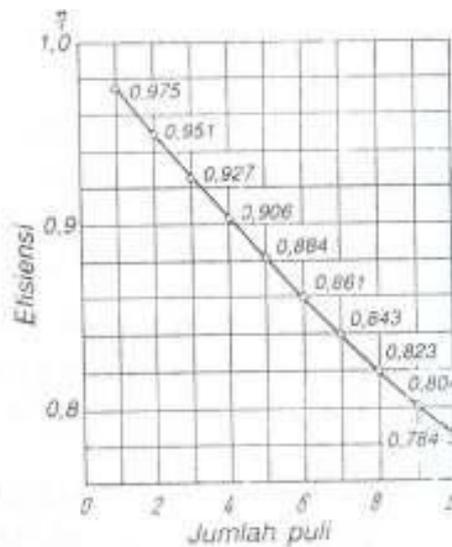


3. Pada pulley majemuk kedua ujung tali tergulung pada drum maka seolah – olah beban terangkat oleh dua sistem pulley sederhana, sehingga gaya pada setiap bagian tali lebih kecil, Gerak pengangkatan tetap vertikal dan ayunan beban berkurang.



Gambar 2.10. Pulley Majemuk.

Efisiensi pulley pada sistem pulley dapat dicari dengan bantuan grafik dibawah ini untuk pulley dengan menggunakan pelumas grease ($\mu \approx 0,1$).



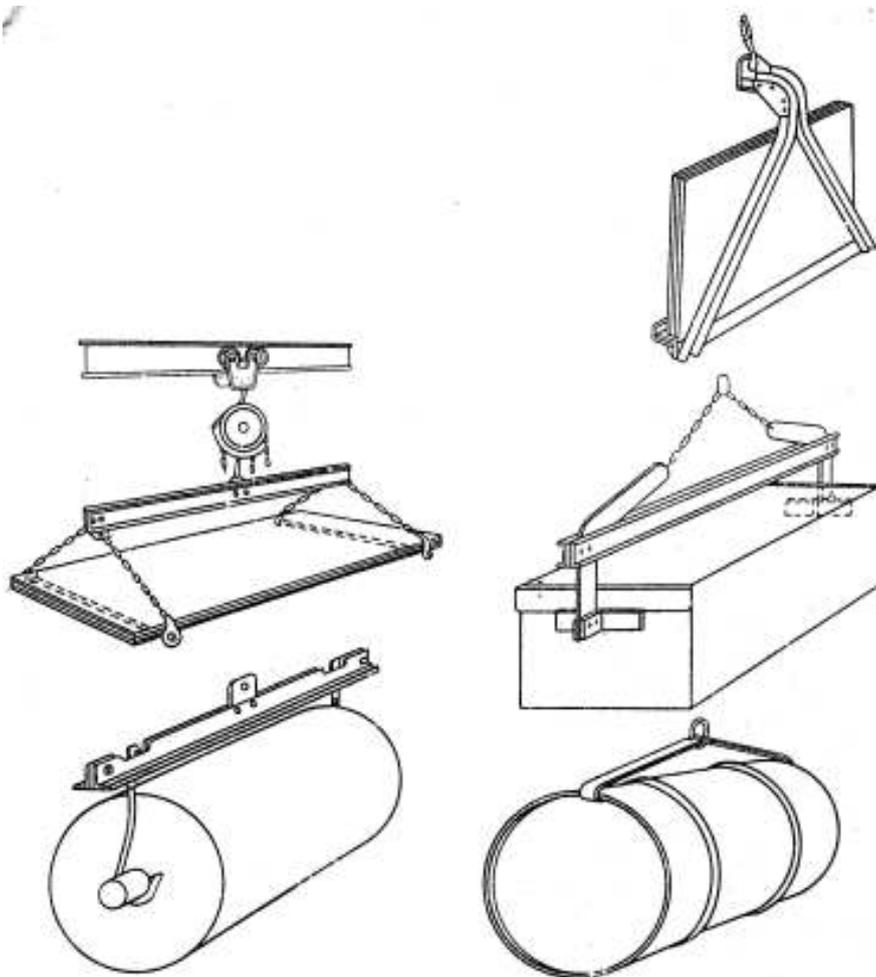
Gambar 2.11. Efficiency of Pulley Systems.



Untuk perencanaan rantai dapat dilihat pada mata kuliah Elemen Mesin atau pada buku Material Handling Equipment (Rudenko). Demikian pula untuk perencanaan sprocket dan drum

2.3. Alat Bantu Pengangkatan.

Tuntutan pada alat bantu pengangkatan adalah dapat membantu memindah beban dengan aman dalam keadaan alamiah, mudah untuk dipasang dan dilepas kembali. Dengan tuntutan ini maka jenis, bentuk, ukuran maupun konstruksinya akan disesuaikan dengan beban yang dipindah. Dalam buku ini hanya diperlihatkan beberapa jenis alat bantu pengangkatan untuk mendapatkan gambaran, sehingga dapat merencana sendiri bila dibutuhkan konstruksi alat bantu yang khusus.



Gambar 2.12. Alat bantu pengangkatan.



2.4. Sistem Penggerak

Penggerak pada hoisting gear dimaksudkan alat untuk gerak pemindahan beban (mengangkat/menurunkan), gerak travelling (gerak horizontal pada trolley atau girder), gerak slewing (gerak putar pada pilar crane) dan gerak putar pada meja putar.

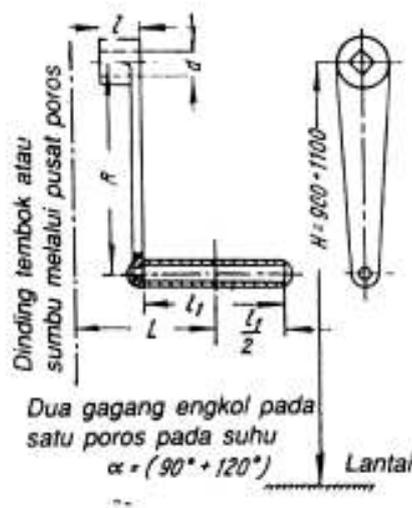
Dari sumber daya untuk gerakan – gerakan diatas dapat dibedakan :

1. Hand Drive.
2. Power Drives.

2.4.1. Hand Drive.

Dalam hal ini gerak pindah dilakukan dengan tenaga manusia, dan karena keterbatasannya maka hand drive hanya untuk kapasitas pemindahan yang rendah, dan jarak pemindahan yang dekat atau rendah.

Pada prinsipnya gerak putar yang dibutuhkan untuk mengangkat beban dihasilkan oleh peralatan yang berupa lengan putar atau tarikan rantai yang melingkar pada sprocket. Apabila diasumsikan gaya yang dihasilkan seorang operator untuk menggerakkan lengan putar sebesar 20 kg, dan kecepatan memutar 1m/dt maka daya yang dihasilkan seorang operator sekitar 20 kg m/dt atau sekitar 0,25hp. Inipun dengan waktu yang terbatas karena tidak mungkin untuk operasi yang terus menerus, dan satu pesawat maksimum dapat diputar oleh empat orang dan daya yang dihasilkan hanya sekitar 1 hp. Tabel ini menggambarkan ukuran utama lengan pemutar untuk hand drive.



Gambar 2.13. Dimensions of hand drive.



Bila gerak putar untuk mengangkat beban dihasilkan oleh roda sprocket / shave yang ditarik oleh rantai maka gaya tarik yang dihasilkan perator maksimum 25 kg dengan kecepatan sekitar 0,6 m/dt atau sekitar 0,2 hp untuk operasi sekitar 5 menit.

2.4.2. Power Drive.

Motor yang biasanya digunakan untuk mengangkat beban adalah motor listrik atau motor pembakaran dalam. Motor listrik lebih luas penggunaannya sebab mempunyai beberapa kemungkinan, seperti tersedianya dipasaran dengan banyak pilihan, dari daya yang kecil sampai yang besar, mudah dalam pengoperasiannya, dan sebagainya. Motor pembakaran dalam biasanya untuk pesawat pengangkat yang berpindah – pindah dalam operasinya.

2.5. Perhitungan Kapasitas

Material yang dipindah dengan hoisting agar dapat berupa material unit maupun material curah. Alat bantu untuk pengangkatan kedua jenis material ini tentu berbeda. Demikian juga perhitungan kapasitas akan berbeda pula, terutama efisiensi pengisian pada material curah. Untuk material unit, data yang diperlukan adalah berat beban yang diangkat Q (ton) dan jumlah cycle per jam (n_c)

$$Q_{hr} = Q \cdot n_c \quad (\text{ton/jam}) \quad (2.17)$$

Jumlah cycle perjam adalah (n_c) dapat dihitung:

$$n_c = \frac{60}{\sum t}$$

Dimana $\sum t$ adalah jumlah waktu dalam menit yang meliputi waktu persiapan pengangkatan (loading), waktu untuk membongkar (unloading), waktu untuk gerak angkat, gerak putar, gerak turun dan sebagainya sampai pada persiapan pengangkatan berikutnya. Bila beban yang dipindah beban curah sedang faktor pengisian (efisiensi) ψ maka berat satu kali pengangkatan:

$$Q = V \cdot \psi \cdot \gamma \quad (\text{ton}) \quad (2.18)$$

dimana :

V = isi dari alat bantu pengangkatan (Bucket , grab, atau yang lain) (m^3)

γ = berat per volume (ton/m^3)



Karena alat bantu pengangkatan ini biasanya cukup berat, maka dalam perhitungan daya untuk pengangkatan beban berat alat bantu ini diikutsertakan.

2.6. Perhitungan Daya.

Dalam proses pemindahan beban, daya dibutuhkan antara lain untuk pengangkatan beban, yang biasanya dilakukan pada sistem pulley atau sistem hidrolis, daya untuk menggerakkan trolley pada lintasannya, biasanya horizontal, daya untuk menggerakkan girder pada over head travelling crane dan daya untuk gerak putar seperti untuk gerak putar lengan pengangkat.

a. Daya untuk mengangkat beban.

Untuk kecepatan pengangkatan yang konstan ($v = \text{const}$) atau steady uniform motion, daya motor dapat dihitung :

$$N = \frac{Q \cdot v}{75 \cdot \eta} \text{ (hp)} \quad (2.19)$$

Q = Berat beban yang diangkat (kg).

v = Kecepatan pengangkatan (lifting speed) (m/dt).

η = efisiensi seluruh mekanisme pengangkatan.

Torsi pada poros motor dihitung dengan rumus :

$$M_m = 71620 \frac{N}{n_m} \text{ (kg cm)} \quad (2.20)$$

Sebenarnya pada proses pengangkatan ada periode awal pengangkatan dimana ada percepatan baik pada beban yang diangkat maupun pada semua bagian mekanisme pengangkatan yang bergerak berputar. Periode berikutnya adalah dimana semua kecepatan gerak di atas telah stabil (steady atau established motion) dan periode dimana beban berhenti atau dihentikan (braking). Periode awal dan akhir adalah periode transisi gerak. Pada periode awal dimana ada percepatan gerak, dibutuhkan daya yang lebih besar dibanding setelah kecepatannya konstan. Tambahan torsi pada poros motor karena adanya percepatan adalah :

$$M_{\text{dyn}} = I \, dw/dt \text{ km cm}$$

dimana :

I = Momen inersia bagian yang berputar.

Dw/dt = Percepatan sudut.



Kesulitan akan timbul untuk menghitung I karena bagian yang berputar pada mekanisme pengangkatan tidak hanya satu tetapi kemungkinan terdiri dari rotor motor listrik, kopling, pasangan – pasangan roda gigi, beberapa pulley, drum dan beban yang bergaerak translasi. Semua bagian ini harus tahu massanya (m) atau beratnya (G) dan radius girasi P atau diameter girasinya ($I = m \cdot p^2$).

Dari d¹ Alambert's principle, torsi motor adalah : $M = M_{st}$

+ M_{dyn}

Dimana M_{st} = Momen statis poros motor yang sama dengan M_m .

b. Daya untuk menggerakkan trolley.

Trolley adalah sebuah kereta yang bergerak pada rel pengarah, yang berfungsi untuk mengangkat beban dan memindah kearah horizontal pada rel. Komponen yang ada pada trolley adalah :

1. Mekanisme untuk mengangkat beban, terdiri dari motor, sistem pulley, alat transmisi daya (kopling, roda gigi) dan drum penggulung tali.
2. Mekanisme untuk menggerakkan trolley pada rel, terdiri dari motor dan alat transmisi daya.
3. Kerangka dan roda jalan.

Gambar 2.14. Crane trolley



Ada juga trolley yang tanpa motor, baik untuk mengangkat beban maupun untuk menggerakkan trolley, dan sebagai ganti motor di gunakan tenaga manusia(hand trolley).

Daya untuk menggerakkan trolley dapat dihitung apabila telah diketahui besarnya tahanan gerak pada setiap roda, dan kecepatan trolley-nya. Tahanan gerak pada setiap roda dihitung berdasarkan gaya yang bekerja pada roda, diameter roda, diameter poros roda dan jenis bantalan yang digunakan. Apabila trolley digerakkan oleh satu motor, ukuran semua roda, ukuran poros dan jenis bantalannya sama, sebenarnya perhitungan tahanan gerak dapat diwakili satu roda dengan beban seluruh berat trolley dan beban yang diangkat gaya pada setiap roda perlu diketahui untuk memeriksa apakah tegangan kontak antara roda dan rel masih memenuhi syarat (gaya maksimum), dan apakah terjadi slippada saat awal gerakan trolley kerana tekanan roda penggerak pada rel kurang. Gaya yang diterima setiap roda dapat dihitung apabila titik berat trolley dan beban diketahui. Apabila titik berat simetri terhadap keempat roda, berat beban Q (kg), Berat trolley G_0 (kg) maka tiap roda menerima :

$$P = \frac{Q + G_0}{4} \quad (2.21)$$

Apabila titik berat trolley simetri sedang beban tidak simetri terhadap keempat roda seperti pada gambar (gambar 2.15) maka yang diterima setiap roda dapat dihitung:

Gaya pada roda :

$$P_1 = \frac{G_0}{4} + \frac{Q \cdot a_2 \cdot b_2}{a \cdot b}$$

$$P_2 = \frac{G_0}{4} + \frac{Q \cdot a_1 \cdot b_2}{a \cdot b}$$

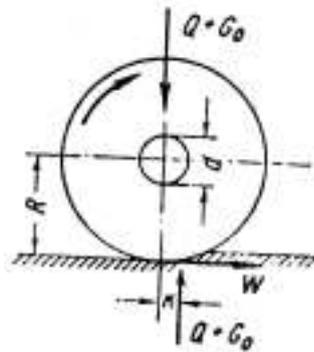
$$P_3 = \frac{G_0}{4} + \frac{Q \cdot a_2 \cdot b_1}{a \cdot b}$$

$$P_4 = \frac{G_0}{4} + \frac{Q \cdot a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}$$

Gambar 2.15. Gaya pada roda trolley



Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa gaya paling besarditerima roda 1 dan paling kecil diterima roda 4. Disarankan roda trolley yang digerakkan motor adalah roda yang mendapat gaya terbesar untuk menghindari slip pada saat awal gerakan. Tahanan gerak : Apabila W besarnya tahanan gerak kearah horizontal dan bekerja menyinggung roda pada saat trolley bergerak, maka momen tahanan relativ terhadap poros roda pada kecepatan konstan.



Gambar 2.16. Gaya gesek pada roda.

$$\begin{aligned}
 M = W.R &= (Q + G_o)\mu \cdot \frac{d}{2} + (Q + G_o)k \\
 W.R &= (Q + G_o)\left(\mu \cdot \frac{d}{2} + k\right) \\
 W &= (Q + G_o)\left(\mu \cdot \frac{d}{2R} + \frac{k}{R}\right) \\
 W &= (Q + G_o)\left(\frac{\mu \cdot d + 2k}{D}\right) \qquad (2.21)
 \end{aligned}$$

dimana :

μ = Koefisien gesek bantalan. d =

Diamter poros(cm).

D = Diameter roda (cm).

k = Koefisien dari rolling friction (cm).



Harga μ secara rata – rata adalah 0,1 untuk bantalan luncur, 0,01 untuk ball bearing atau roller bearing sedang harga k sekitar 0,05 cm.

Coefficient tahanan gerak atau faktor traksi w adalah :

$$w = \frac{W}{Q + G_o} = \frac{\mu d + 2k}{D} \quad (2.22)$$

Faktor traksi w biasanya dinyatakan dalam kg per ton beban, sehingga:

$$w = \frac{W \cdot 1000}{(Q + G_o) \text{ ton}} = \frac{(\mu d + 2k) \cdot 1000}{D} \quad (2.23)$$

Faktor traksi diatas dihitung didasarkan pada tahanan gelinding (rolling resistance) karena gaya gesek antara roda dan rel. Tambahan tahanan akan terjadi bila roda trolley dibuat seperti roda kereta api dimana “bibir roda” (flange) dapat menyentuh pada sisi rel. Bila tambahan tahanan ini diperhitungkan maka tahanan gerak menjadi :

$$W = \beta (Q + G_o) \left(\frac{\mu d + 2k}{D} \right) \quad (2.24)$$

Harga $\beta = 1,2 \div 4$ untuk bantalan luncur dan $\beta = 2,5 \div 5,2$ untuk rolling bearing.

Untuk kecepatan konstan daya motor adalah :

$$N = \frac{W \cdot v}{75 \cdot \eta} \text{ (hp)} \text{ atau } N = \frac{W \cdot v}{102 \cdot \eta} \text{ (KW)} \quad (2.25)$$

v = kecepatan trolley m/dt

η = efisiensi total mekanisme W

= Tahanan gerak (kg)

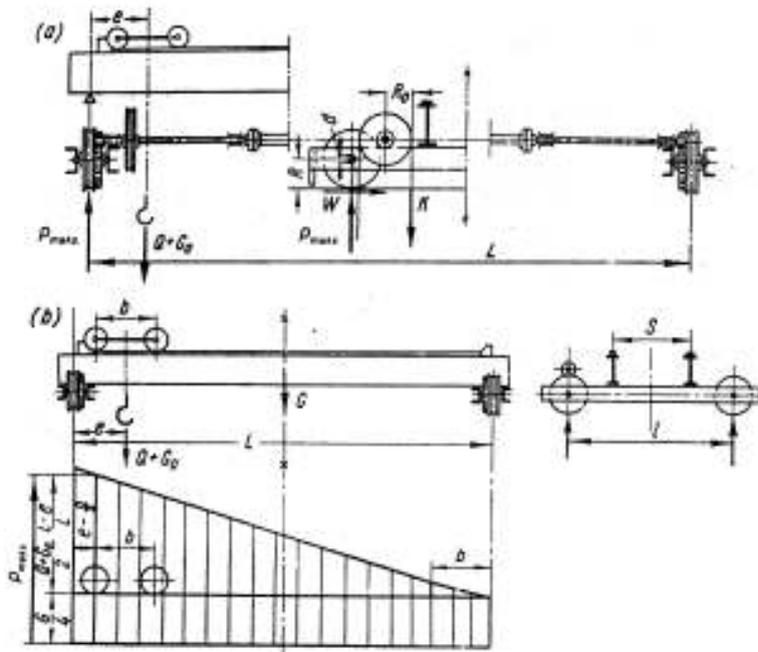
c. Daya untuk menggerakkan girder.

Salah satu jenis pesawat pengangkat yang banyak digunakan terutama didalam gedung (pabrik) adalah overhead travelling crane. Pesawat ini mempunyai bagian utama : Girder (1) yaitu bentangan kolom yang dapat dibuat dari profil 1, box plate atau rangka batang, ditumpu oleh 4 buah roda (2) yang bergerak pada rel (4) sepanjang gedung (rel berada diatas gedung). Bagian utama yang lain adalah trolley (3) yang bergerak sepanjang bentangan girder, sehingga berat trolley (G_o kg) dan berat beban (ton, kg) akan diterima oleh girder. (gambar 2.16)

Konstruksi girder dapat direncana dengan single girder (trolley tergantung pada bagian bawah profil I) dan double girder (trolley bergerak diatas girder). Motor



penggerak untuk overhead travelling crane dapat direncanakan penggerak tunggal yaitu satu motor untuk menggerakkan pesawat, biasanya diletakkan ditengah bentangan girder, dan dengan poros yang panjang dan roda gigi menggerakkan salah satu roda pada ujung – ujung girder.



Gambar 2.16. gaya pada roda girder.

Konstruksi yang lain adalah menggunakan dua buah motor yang masing-masing ditempatkan pada ujung girder untuk menggerakkan salah satu roda diujung girder. Bila memakai satu motor, maka perhitungan tahanan gerak W dapat diwakili oleh salah satu roda dengan beban seluruh berat yang diterima keempat roda yaitu Q , G_o dan G .

$$W = (Q + G_o + G) \left(\frac{\mu d + 2k}{D} \right) \text{ (kg)} \quad (2.24)$$

Bila memakai dua buah motor maka daya setiap motor dihitung berdasarkan tahanan gerak pada dua roda diujung girder. Gaya yang diterima oleh dua roda diujung girderakan maksimum pada saat trolley dan beban berada diujung girder (lihat gambar 21). Jarak a adalah jarak minimal trolley yang diperbolehkan berada pada ujung girder terhadap roda. Untuk titik berat girder ditengah bentangan dan titik berat trolley danbeban berjarak a dari roda maka gaya maksimum pada satu roda diujung girder adalah :

$$P_{\max} = \frac{G}{4} + \frac{1}{2} (Q + G_o) \frac{L - e}{L} \text{ (kg)} \quad (2.25)$$



Tahanan gerak untuk dua roda diujung girder :

$$W = \frac{1}{2} \left[\frac{G}{4} + \frac{1}{2} (Q + G) \frac{L - e}{L} \right] (\mu d \cdot 2k) \quad (2.26)$$

Daya dihitung dengan rumus

Daya motor unruk menggerakkan dua roda diujung yang lain sama besarnya. Jumlah daya dua motor ini akan lebih besar bila memakai satu motor, dan harus dikontrol agar kecepatan roda gerak pada kedua ujung girder ini sama besarnya. Perhitungan dayaseperti ini juga berlaku pada gantry crane.

Untuk mengetahui apakah terjadi slip atau tidak pada saata roda bergerak terhadap rel, harus dihitung terlebih dahulu gaya adhesive antara roda dan rel.

$$Z = \Sigma P \cdot f \quad (2.26)$$

Z = Gaya adhesive (kg).

ΣP = Jumlah minimum gaya yang bekerja pada roda yang digerakkan. Pada trolley atau girder kemungkinan jumlah roda yang digerakkan oleh motor, satu atau dua roda.

f = Koefisien adhesive antara roda dan rel. Harga f = 0,15 sampai 0.2 untuk rel yang kering, dan f = 0,1 ÷ 0,12 untuk rel yang basah.

Supaya tidak terjadi slip maka gaya adhesive ini harus lebih besar dari tahanan gerak (W) dikurangi gaya gesek pada bantalan roda.

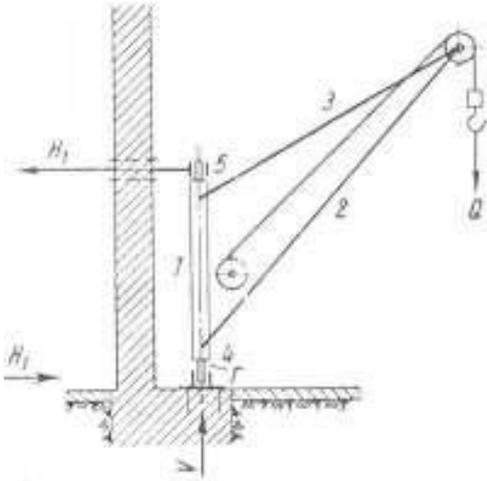
$$Z > W - \Sigma P \cdot \mu \cdot \frac{d}{D}$$

Harga Z yang dianjurkan = 1,3 W.

d. Daya untuk gerak putar.

Pada beberapa jenis crane, seperti pada rotary pillar crane (gambar 2.17) atau tower crane, ada bagian yang bergerak berputar pada operasinya. Sesuai dengan perencanaannya, bagian yang berputar ini dapat dibedakan :

1. Pillar yaitu bagian crane yang tegak dengan pengangkat terpasang, beserta lengan pengangkatnya berputar bersama pada bantalan.



Gambar 2.17. Rotary pillar crane.

Crane jenis rotary pillar pada gambar ditumpu oleh dua buah tumpuan 4 dan 5, tetapi gaya pada yang diterima kedua tumpuan ini berbeda. Tumpuan 5 hanya menerima gaya H, arah radial terhadap sumbu pillar, sedangkan tumpuan 4 selain menerima gaya radial H, juga menerima gaya aksial V yang sama dengan semua berat crane dan beban yang diangkat. Bila berturut – turut Q, G₁, G₂, G₃, adalah berat beban, berat pilar, berat lengan pengangkat maka :

$$v = Q + G_1 + G_2 + G_3 \quad (2.27)$$

Sedang gaya radial H dengan keseimbangan momen :

$$H \cdot h = Q \cdot a + G_2 \cdot c + G_3 \cdot b$$

$$H = \frac{Q \cdot a + G_2 \cdot c + G_3 \cdot b}{h} \quad (2.28)$$

Untuk menghitung tahanan gerak W atau momen tahanan M untuk menggerakkan (memutar) pilar perlu diketahui diameter poros dan koefisien gesek pada bantalan. Bila poros pada tumpuan 5 mempunyai diameter d₁ dengan bantalan yang koefisien geseknya μ₁ maka :

$$M_1 = H \cdot \mu_1 \frac{d_1}{2} = H \cdot \mu_1 \cdot r_1$$

Bantalan pada tumpuan 4 ada dua, Satu yang menerima gaya H dan yang lain untuk menerima gaya aksial v. Momen tahanan akibat gaya H :



$$M_2 = H \cdot \mu_2 \frac{D_2}{2} = H \cdot \mu_2 \cdot r_2$$

Sedang momen tahanan akibat gaya V bila memakai bantalan luncur adalah :
(gambar 2.18)

Gambar 218. Diagram gaya gesek.

$$M_3 = \left(\frac{1}{2} V \cdot \mu_3 + \frac{1}{2} V \cdot \mu_3 \right) \frac{2}{3} r_2$$

$$M_3 = \frac{2}{3} \cdot V \cdot \mu_3 r_2$$

dimana : r_2 = radius poros

μ_2 dan μ_3 = Koefisien gesek bantalan radial dan aksial.

Sehingga momen tahanan total adalah :

$$M = M_1 + M_2 + M_3 = H \cdot \mu_1 r_1 + H \cdot \mu_2 r_2 + \frac{2}{3} V \cdot \mu_3 r_2 \quad (2.29)$$

Daya motor untuk mengatasi momen tahanan dapat dihitung :

$$N = \frac{M \cdot n}{71620 \cdot \eta} \text{ (hp)} \quad (2.30)$$

M = momen tahanan (kg.m) N =

Putaran (rpm)

= efisiensi transmisi

Bila dihitung dengan tahanan gerak W :

$$M = W \cdot r ; \quad W = \frac{M}{r}$$



Dimana r adalah lengan putar untuk memutar pilar.

$$N = \frac{W \cdot v}{75 \cdot \eta} \text{ (hp)} \quad (2.31)$$

v = kecepatan keliling pada jarak r dari sumbu putar (m/dt)

2.7. Kestabilan Pada Crane.

Beberapa jenis crane perlu diperhatikan kestabilannya, misalnya pada stationery rotary crane dan pada travelling rotary crane. Sedang beberapa crane tidak perlu diperiksakestabilannya, seperti overhead travelling crane, atau wall jib crane.

Untuk stanionary rotary crane diambil contoh : tower crane. Bagian utama pada crane ini adalah trolley (1) dengan peralatannya (berat G_0), bagian yang bergerakberputar, termasuk lengan pengangkat (boom) (2), berat G_1 , counter weight (3), berat G_{cw} , pilar (4) berbentuk kerangka batang, berat G_2 . pondasi (5) berbentuk segi empat sama sisi, berat G_3 , beban maksimum yang diangkat (6), berat G . Jumlah gaya kearah vertikal pada saat berbeban :

$$V = Q + G_0 + G_1 + G_2 + G_3 + G_{cw} \quad (2.32)$$

Crane dianggap stabil bila jarak V dari sumbu crane (l) kurang dari setengah b .

Bila gaya angin dan gaya inersia beban diperhitungkan daerah stabil dapat digambarkan :

Dari diagram ini letak V harus pada daerah stabil, berarti $l \leq 1/3 b$. Sedang

harga l dihitung dengan rumus :

$$V \cdot l = (Q + G_0) a + G_1 \cdot b - G_{cw} \cdot l_{cw}$$

$$l = \frac{(Q + G_0) a + G_1 \cdot b - G_{cw} \cdot l_{cw}}{V} \quad (2.33)$$

$$Q + G_0 + G_1 + G_2 + G_3 + G_{cw}$$

Crane juga harus stabil pada saat crane tidak berbeban, sehingga V^1 harus beradapada daerah stabil.

$$V^1 = G_0 + G_1 + G_2 + G_3 + G_{cw}$$

$$V^1 \cdot l^1 = - G_0 \cdot a - G_1 \cdot b + G_{cw} \cdot l_{cw}$$



$$l^1 = \frac{G_{cw} \cdot l_{cw} - G_o \cdot a - G_1 \cdot b}{G_o + G_1 + G_2 + G_3 + G_{cw}}$$

Berat total crane V akan menekan tanah dengan luasan b^2 sehingga tegangan yang timbul adalah $\frac{V}{b^2}$ kg/m². Bila tegangan ini lebih besar dibanding tegangan tanah

(σ tanah) maka crane juga tidak stabil, sehingga ukuran pondasi (b) juga harus disesuaikan dengan σ tanah.

b, Kestabilan pada stationary rotary crane dengan meja putar (turn table).

Bagian crane yang berputar pada crane jenis ini ditumpu oleh empat roda yang bergerak pada rel berbentuk lingkaran. Dan berputar pada (sumbu) poros tengah (pivot) gambar 2.18.

Bila berat bagian yang berputar tidak termasuk counter weight adalah G_1 , berat maksimum Q dan berat counter weight G_{cw} maka :

$$V = Q + G_1 + G_{cw}$$

Dasar untuk menentukan apakah crane stabil, labil atau tidak stabil adalah jarak l_r (lihat gambar). Pada saat berbeban jarak V terhadap sumbu putar yaitu l harus $\leq 2/3 l_r$ untuk

dapat dianggap stabil. Sedang daerah $1/3 l_r$ diluar $2/3 l_r$ adalah daerah labil.

$$= \square \frac{Q \cdot a + G_1 \cdot l_1 - G_{cw} \cdot l_g}{Q + G_1 + G_{cw}} \quad (2.34)$$

Pada saat crane tidak berbeban maka :

$$l_0 = \frac{G_{cw} \cdot l_g - G_1 \cdot l_g}{G_{cw} + G_1}$$



Kestabilan juga ditinjau pada crane berbeban dan pada saat tidak berbeban, dan dianggap stabil bila crane tidak sampai terguling. Kestabilan dinyatakan dalam Coefficient of load stability (K) yaitu perbandingan antara momen relatif terhadap balance line untuk semua gaya yang bekerja pada crane, selain momen akibat beban kerja (Q) termasuk beban tambahan seperti gaya angin, gaya inersia, dan momen akibat beban kerjaterhadap balane line yang sama.

Harga K tidak boleh lebih kecil dari 1,15 atau kalau hanya beban maksimum yang diperhitungkan tanpa ada beban tambahan maka harga k tidak boleh lebih kecil dari 1,4.

Pada saat berbeban, K disebut juga coefficient of forward load stability sedang saat tidak berbeban K disebut coefficient of backward load stability atau coefficient of unloaded crane stability.

Perhitungan K pada saat tidak berbeban sama seperti pada saat berbeban, hanya momen karena beban tidak ada. Crane dianggap stabil bila harga K = 1,15 dan resultan semua gaya yang bekerja pada crane berada 15 % sebelum titik gulingnya. (titik guling adalah roda kereta).

Balance line adalah garis yang menyudut α terhadap garis horizontal, dimana α adalah sudut inclinasi crane atau sudut tanjakan rel. Bila crane bekerja tanpa kaki penyangga (jacks) \rightarrow harga $\alpha \approx 3^\circ$, sedang bila memakai jacks $\alpha = 1, 30^\circ$.

Rumusan dibawah dapat dipergunakan untuk menghitung harga K (lihat gambar).

$$K = \frac{G(c + b - h \sin \alpha) - \frac{Q \cdot v}{g \cdot t} (a - b) - W_P - W_P - \frac{Q n^2 a \cdot h}{900 - n^2 H}}{1} \quad (2.35)$$

$K_1 =$ Coefficient of load stability $G =$

berat crane (kg)

c = jarak titik berat crane terhadap sumbu putar (m)

$h_o =$ jarak titik berat crane terhadap rel (m)

b = jarak sumbu putar terhadap roda (balance line) (m)

Q = beban maksimum (kg)

$g =$ percepatan gravitasi $\approx 9,81 \text{ (m/dt}^2\text{)}$ $v =$

kecepatan angkat (m/dt)

t = waktu pengereman (dt)



a = jarak antara sumbu putar dan titik berat beban yang diangkat, diukur padaposisi horizontal (m)

W_1 = gaya angin yang bekerja pada “badan” crane (kg)

l_1 = jarak antara titik tangkap gaya angin dan balance line (m) W_2 = jarak angin pada ujung boom (kg)

$P_2 = h$ (m)

n = putaran crane (rpm)

H = jarak ujung boom terhadap titik berat beban (m)

Harga coefficient of unloading crane (K_2) adalah :

$$K_2 = \frac{G_1(b - c_1 - h_1 \sin\alpha) - W_1 P_1}{G_2(c_2 - b + h_2 \sin\alpha)}$$

G_1 = Berat bagian crane didalam daerah stabil dan pada posisi boom terangkat penuh (upper idle position) (kg)

G_2 = Berat semua bagian crane diluar daerah stabil dengan posisi boom yang sama (kg)

W_1 = gaya angin (kg)

P_1 = jarak antara titik tangkap gaya angin dan balance line

α = sudut inclinasi crane atau road gradient







