

Perancangan *Tower Crane* dengan Tiang Menara Teleskopis Tenaga Hidrolik Kapasitas Angkat 8 Ton

Azdi Albar^{1, a)}, Putu Mahayana Santika^{2, b)}, Achmad Zaki Rahman^{3, c)}

^{1, 2}Program Studi Teknik Mesin ITI,
Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15320

³Balai Mesin Perkakas Teknik Produksi dan Otomasi
BPPT - Gedung Teknologi 2 No. 251 Lt. 2 Serpong, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia, 15314

^{a)} azdi_albar@yahoo.co.id (*corresponding author*), ^{b)} putumsantika@yahoo.com, ^{c)} bangzek@gmail.com

Abstrak

Dalam pelaksanaan proyek pembangunan, *tower crane* sering digunakan sebagai alat bantu untuk pemindahan material secara vertikal dan horizontal. Namun pemasangan *tower crane* membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, dilakukan inovasi dengan membuat tiang menara *crane* teleskopis menggunakan tenaga hidrolik. Perancangan ini dilakukan dengan 2 metode, yaitu metode perhitungan secara manual dan metode simulasi dan desain menggunakan *software*. Pada perhitungan secara manual dihitung konstruksi tali baja, kait, mekanisme penggerak, mekanisme pengereman, mekanisme pemutar, rangka batang, dan konstruksi hidrolik tiang menara *crane*. Simulasi rancangan menggunakan *software* ANSYS 14.0 dan untuk gambar desain menggunakan *software* Solidworks 2014. Hasil dari perancangan ini meliputi perhitungan dan gambar desain, serta rancangan yang aman dioperasikan pada beban perencanaan.

Kata kunci: hidrolik, tiang menara *crane* teleskopis, *tower crane*

Abstract

At the high raise building projects, *tower cranes* are often used as a tool for material handling vertically and horizontally. However, the installation of *tower cranes* takes a lot of time. Therefore, innovation must be done with the design of telescopic mast *tower crane* using hydraulic power. This design is done by two methods, manual calculation method and simulation methods and design using software. At manual calculation, strength steel ropes strength, hooks strength, drive mechanism, braking mechanism, slewing mechanism, trusses, and hydraulic construction of *tower crane* mast are calculated. Design simulation done using ANSYS 14.0 software and Solidworks 2014 software for design drawing. The result of the design are construction calculation and design drawing, also safety design for operation in planned load.

Keywords: hydraulic, *tower crane*, *tower crane* telescopic mast

I. PENDAHULUAN

Tower crane adalah konstruksi alat berat yang digunakan untuk mengangkat muatan secara vertikal, menahannya apabila diperlukan, dan menurunkan muatan ke tempat lain yang ditentukan dengan mekanisme pengangkat (*lifting*), pemutar (*slewing*) dan pejalan (*travelling*). Pada pelaksanaan proyek pembangunan, *tower crane* sering digunakan sebagai alat bantu untuk pemindahan material secara vertikal dan horizontal. Penggunaan *tower crane* sangat membantu dalam penyelesaian pekerjaan. Namun, pemasangan *tower crane* membutuhkan waktu yang lama karena harus menyusun satu persatu tiang menara *crane* dan *boom crane*. Sebagai contoh, pemasangan *tower crane* di

proyek Patra Jasa memakan waktu 13,16 jam. Sedangkan pekerjaan pembongkaran *tower crane* di Park Hotel memakan waktu 11,26 jam. Berdasarkan data tersebut, dilakukan perancangan struktur tiang menara *crane* berupa lengan hidrolik yang dapat memanjang sampai ketinggian tertentu sehingga pemasangan dan pembongkaran *tower crane* menjadi lebih cepat. Pemasangan dan pembongkaran *tower crane* yang lebih cepat akan mempercepat penyelesaian pembangunan.

II. LANDASAN TEORI

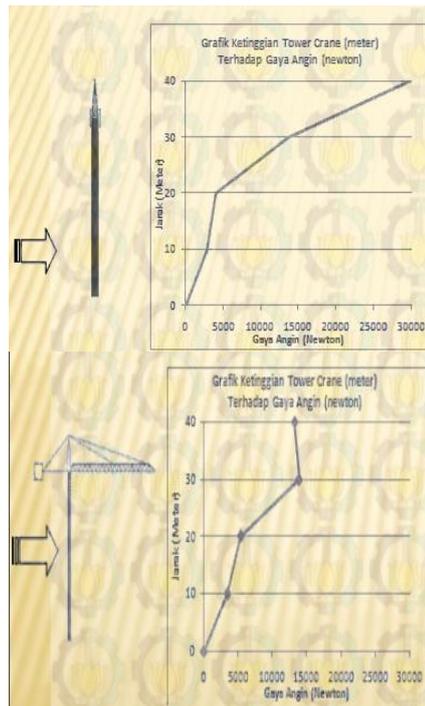
Pemilihan *tower crane* seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 sebagai alat untuk memindahkan material, didasarkan pada kondisi lapangan dari pengerjaan konstruksi dan ketinggian yang tidak dijangkau oleh alat

lain. Pertimbangan pemilihan *tower crane* harus direncanakan sebelum proyek dimulai karena *tower crane* diletakkan di tempat yang tetap selama proyek berlangsung. *Tower crane* harus dapat memenuhi kebutuhan pemindahan material sesuai dengan daya jangkauan yang ditetapkan, serta saat proyek telah selesai, pembongkaran *tower crane* harus dapat dilakukan dengan mudah [1].



Gambar 1. *Tower crane* [1]

Terdapat lima faktor utama yang mempengaruhi produktivitas *tower crane* yaitu: alat, sumber daya manusia, material yang diangkat, lingkungan, dan manajemen [2].



Gambar 2. Grafik pengaruh ketinggian *tower crane* terhadap gaya angin [3]

Berdasar grafik yang ditunjukkan pada gambar 2, bahwa untuk gaya angin (arah depan) semakin tinggi maka terjadi peningkatan gaya angin. Sedangkan untuk arah samping terjadi penurunan untuk ketinggian > 30 meter. Hal ini tergantung pada luasan batang yang mendapat tekanan permukaan.

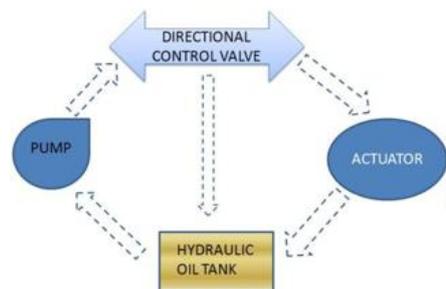
Faktor eksternal pada perancangan *tower crane* seperti gaya angin juga berpengaruh terhadap ketinggian *tower crane*.

Mekanisme penggerak pada tiang menara *crane* akan menggunakan sistem hidrolik sebagai modifikasi untuk menggantikan pemasangan tiang menara *crane* yang dipasang secara manual dan *self assembly*. Sistem hidrolik adalah suatu sistem pemindah tenaga dengan menggunakan zat cair atau fluida sebagai perantara. Sistem hidrolik memberikan penyesuaian kecepatan yang sangat baik pada peralatan pengoperasi baik otomatis maupun manual. Kelebihan alat hidrolik ini berukuran kecil, pemeliharaan mudah, menyederhanakan kendali mesin, menyederhanakan perbaikan, menjamin keamanan kerja, dan yang tidak kalah penting adalah menghemat waktu pemasangan tiang menara *crane*.

Guna mengangkat dan menurunkan *boom* diperlukan pompa hidrolik yang membangkitkan *pressure* oli hidrolik yang tinggi, *actuator*/penggerak yang berupa silinder hidrolik & motor, dan *directional control valve* sebagai pengontrol gerakan *actuator*. Secara ringkas, bagian utama pada sistem hidrolik *crane* ada 4 bagian yaitu:

1. *Oil Tank*
2. Pompa hidrolik
3. *Directional Control Valve*
4. *Aktuator*

Prinsip kerja sistem hidrolik *crane* ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme kerja hidrolik

Pompa menghisap oli hidrolik yang tersimpan di dalam *oil tank* dan mendorongnya menuju *actuator* (penggerak). *Directional control valve* berfungsi untuk mengubah arah aliran oli hidrolik yang menuju *actuator* sehingga *actuator* dapat bergerak bolak-balik (maju-mundur) pada silinder *boom*, atau berputar searah/berlawanan arah jarum jam bila *actuator*nya berupa motor pada sistem *winch*. Bila *directional control valve* pada posisi netral (posisi tengah), maka oli akan dibuang ke *oil tank* kembali dan tidak ke *actuator*.

Guna simulasi pembebanan pada *boom* dan *counterboom tower crane* menggunakan *software* berbasis *Finite Element Method (FEM)* yaitu ANSYS 14.0. Keuntungan utama FEM adalah bahwa FEM dapat diaplikasikan pada bentuk yang tidak beraturan dalam setiap bilangan ukuran. FEM menyediakan sebuah standar proses untuk mengkonversi pengaturan prinsip energi atau mengatur persamaan diferensial ke dalam sistem persamaan matriks untuk memecahkan sebuah solusi. Konsep dasar FEM adalah mengganti setiap bentuk yang rumit dengan merubahnya ke dalam bentuk yang sederhana seperti segitiga-segitiga kecil yang dikombinasikan dengan tepat sesuai dengan benda

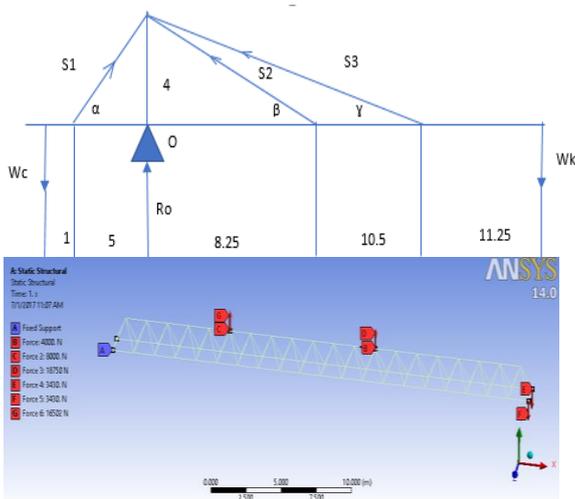
aslinya. Prinsipnya adalah dengan membagi area ke dalam segitiga-segitiga kecil yang tertutup atau menutup bentuknya dengan sebuah *mesh* dan kemudian menjumlahkan area dari masing masing segitiga tersebut [4].

III. METODE PENELITIAN

Perancangan pada penelitian ini menggunakan 2 metode, yaitu metode perhitungan secara manual, dan simulasi *software engineering*. Metode studi literatur dilakukan dengan mencari dan mempelajari referensi dari buku literatur, jurnal, skripsi, dan *website* di internet yang terkait dan diperlukan dalam perancangan pada penelitian ini. Kemudian metode perhitungan secara manual diterapkan dengan menggunakan rumus-rumus serta standar yang telah ada dan berlaku dari referensi yang diperoleh dan dipelajari sebelumnya. Langkah terakhir adalah dengan melakukan simulasi yang dilakukan dengan menggunakan salah satu perangkat lunak (*software*) pada komputer yaitu ANSYS 14.0. Metode ini dilakukan untuk melihat dan mengamati beban-beban terbesar yang terjadi pada setiap konstruksi *tower crane* dan mengetahui defleksi yang terjadi pada struktur rangka batang *tower crane* serta sebagai pembuktian dari perhitungan yang dilakukan secara manual sebelumnya. Hasil akhir dari skripsi ini berupa data-data dari hasil perhitungan secara manual, data-data hasil simulasi, dan gambar desain konstruksi *tower crane* secara keseluruhan yang digambar dengan menggunakan *software Solidworks 2014*.

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

A. Kondisi Boom Tower crane tidak mengangkat beban (hanya beban trolley dan kait, diasumsikan 700 kg = 6860 N)

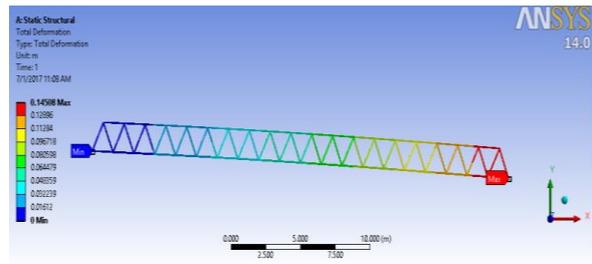


Gambar 4. Skema pembebanan *tower crane*

Seperti ditunjukkan pada gambar 4, tali penahan *boom tower crane* S_2 terletak pada jarak 8.25 m dari ujung kiri *boom*, dan tali penahan *boom tower crane* S_3 terletak pada jarak 18.75 m dari ujung kiri *boom*. Pembebanan pada tali S_2 ditunjukkan pada beban C sebesar 8000 N searah sumbu X negatif dan beban G sebesar 16502 N searah sumbu Y positif. Pada pembebanan pada tali S_3

ditunjukkan pada beban B sebesar 4000 N searah sumbu X negatif dan beban D sebesar 18750 N searah sumbu Y positif. Beban E dan F terletak di ujung kanan *boom* menunjukkan beban *trolley* dan kait yang besarnya masing-masing adalah setengah dari 700 kg (6860 N) yaitu 3430 N. Profil yang digunakan dalam simulasi ini adalah untuk rangka batang miring menggunakan profil C 50 x 38 dan untuk rangka batang horizontal menggunakan profil H 100 x 100.

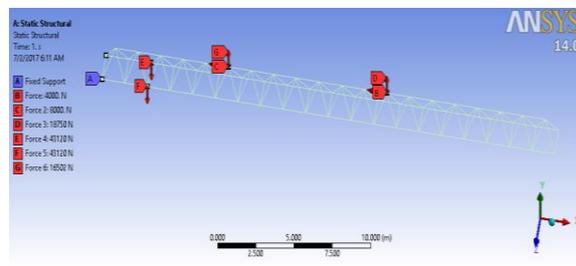
Deformasi yang terjadi pada *boom* ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Deformasi pada *boom tower crane* saat tidak mengangkat beban pada *software ANSYS*

Dari gambar 5, besar deformasi maksimum adalah terletak pada batang yang berwarna merah (ujung kanan) yaitu sebesar 0.14508 m sedangkan pada ujung kiri *boom* berwarna biru menunjukkan bahwa daerah tersebut tidak terjadi deformasi.

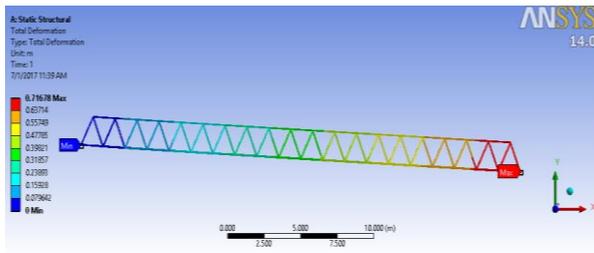
B. Kondisi Boom Tower crane mengangkat beban penuh (8800 kg = 86240 N)



Gambar 6. Pembebanan *boom* saat beban penuh

Pembebanan yang terjadi pada tali sama seperti sebelumnya (gambar 4). Yang berbeda adalah beban E dan F yang terletak pada jarak 3 m dari ujung kiri *boom* seperti ditunjukkan pada gambar 6. Beban tersebut menunjukkan beban maksimum dari *tower crane* yang besarnya masing-masing adalah setengah dari 8800 kg (86240 N) yaitu 43120 N.

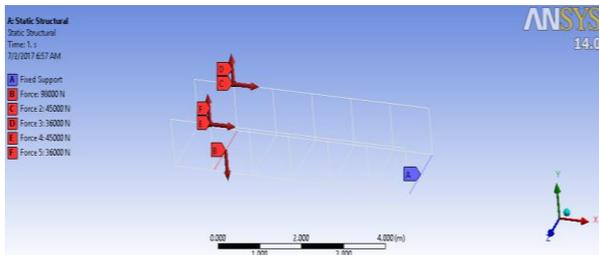
Deformasi yang terjadi pada *boom* ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Deformasi pada boom tower crane saat mengangkat beban penuh pada software ANSYS

Dari gambar 7, besar deformasi maksimum adalah terletak pada ujung kanan boom yang berwarna merah yaitu sebesar 0.71678 m sedangkan pada ujung kiri boom berwarna biru menunjukkan bahwa daerah tersebut tidak terjadi deformasi.

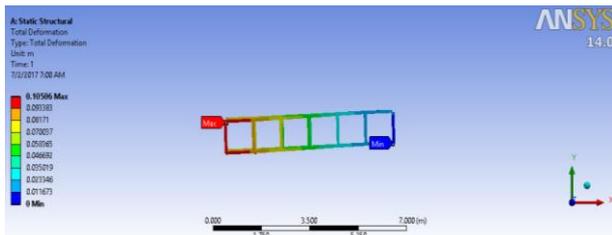
C. Kondisi Counterboom Tower Crane



Gambar 8. Pembebanan pada counterboom

Pembebanan yang terjadi pada tali penahan counterboom S₁ ditunjukkan pada beban CD dan beban EF yang masing-masing besarnya adalah setengah dari tegangan tali dari sebenarnya seperti pada gambar 8. Beban C dan E searah sumbu X positif sebesar 45000 N dan beban D dan F searah sumbu Y positif sebesar 36000 N. Sedangkan beban B adalah beban counterweight yaitu 10000 kg (98000 N).

Deformasi yang terjadi pada counterboom ditunjukkan pada gambar 9.

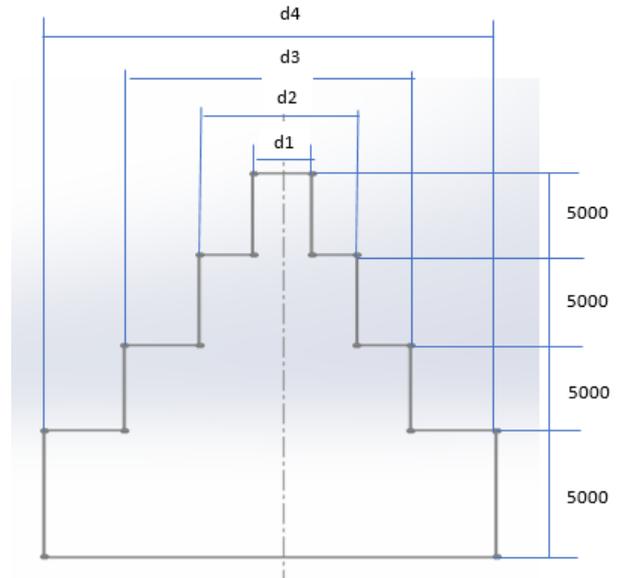


Gambar 9. Deformasi pada counterboom pada software ANSYS

Dari gambar 9, deformasi pada counterboom maksimum adalah pada ujung sebelah kiri dari rangka batang counterboom yang berwarna merah yaitu sebesar 0.10506 m dan pada ujung sebelah kanan dari rangka batang counterboom berwarna biru menunjukkan bahwa daerah tersebut tidak terdapat deformasi.

D. Konstruksi Hidrolik Tiang Menara Crane

Penggerak hidrolik tiang menara crane menggunakan pompa hidrolik dengan tekanan p = 150 bar dan daya pompa P = 10 kW. Sketsa aktuator hidrolik ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Sketsa aktuator hidrolik

Perhitungan diameter terkecil dari penampang aktuator teleskopik (d) menggunakan formula:

$$A = \frac{F}{p}; \frac{\pi d^2}{4} = \frac{F}{p}; d = \sqrt{\frac{4F}{\pi p}} \tag{1}$$

dimana:

A = luas penampang aktuator (mm²)

F = beban aktuator = 18800 kg

p = tekanan hidrolik = 150 Bar = 1.5 kg/mm²

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 18800 \text{ kg}}{\pi \times 1.5 \text{ kg/mm}^2}} = 126.3247 \text{ mm}$$

Berdasar formula (1), digunakan aktuator dengan diameter-diameter sebagai berikut:

d₁ = 5'' = 127 mm, maka A₁ = 12667.687 mm²

d₂ = 6'' = 152.4 mm, maka A₂ = 18241.4693 mm²

d₃ = 7'' = 177.8 mm, maka A₃ = 24828.6665 mm²

d₄ = 8'' = 203.2 mm, maka A₄ = 32429.2787 mm²

Sedangkan volume total fluida yang digunakan untuk hidrolik (V) adalah:

$$V = (A_2 + A_3 + A_4) h \tag{2}$$

dimana:

h = tinggi masing-masing teleskopik aktuator (5 m)

$$V = (18241.4693 + 24828.6665 + 32429.2787) \text{ mm}^2 \times (5000 \text{ mm})$$

$$V = 3.775 \times 10^8 \text{ mm}^3 = 377.5 \text{ liter.}$$

Kapasitas aliran sistem hidrolik (Q) adalah:

$$Q = \frac{P}{p} \tag{3}$$

dimana:

P = daya pompa hidrolik (10 kW = 1 x 10⁶ kgmm/s)

p = tekanan hidrolik (1.5 kg/mm²)

$$Q = \frac{1 \times 10^6 \text{ kg mm/s}}{1.5 \text{ kg/mm}^2} = 6.6667 \times 10^5 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Waktu pengangkatan crane hingga ketinggian 20 m (t) adalah:

$$t = \frac{V}{Q} \tag{4}$$

$$t = \frac{3.775 \times 10^3 \text{ mm}^3}{6.6667 \times 10^5 \text{ mm}^3/\text{s}} = 566.2742 \text{ s} = 9.4375 \text{ menit.}$$

Gaya tekan yang diizinkan agar tidak terjadi buckling (F_{perm}) adalah:

$$F_{perm} = \frac{\pi^2 E I}{l_k^2 v} \tag{5}$$

dimana:

E = modulus elastisitas bahan ($2 \times 10^8 \text{ kg/mm}^2$)

I = momen inersia penampang (Lingkaran : $\frac{\pi}{64} d_1^4$)

l_k = panjang lengkung bebas ($1/2 h = 2500 \text{ mm}$)

v = faktor keamanan (3.5)

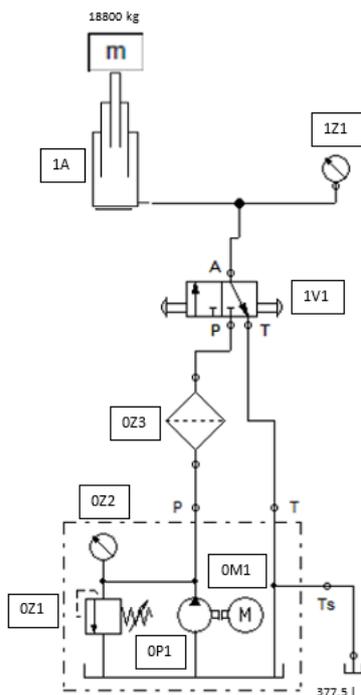
$$F_{perm} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^8 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \times \pi \times 101.6^2 \text{ mm}^4}{64 \times 2500^2 \text{ mm}^2 \times 3.5}$$

$$= 4.7198 \times 10^8 \text{ kg}$$

Gaya yang terjadi yaitu 18800 kg jauh lebih kecil dibandingkan dengan gaya tekan yang diizinkan yaitu $4.7198 \times 10^8 \text{ kg}$, sehingga desain aktuator tidak akan mengalami buckling.

E. Flow Diagram Sistem Hidrolik

Flow diagram sistem hidrolik ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Flow diagram sistem hidrolik

Bagian power supply dari sistem hidrolik terdiri dari pressure relief valve (OZ1), manometer (OZ2), filter (OZ3), pompa hidrolik (OP1), dan motor penggerak pompa (OM1). Bagian power control yaitu 3/2 manual operated valve (1V1) dan bagian penggeraknya yaitu single acting hydraulic actuator (1A).

Fluida dialirkan oleh pompa (OP1) yang digerakkan oleh motor (OM1) dari tangki melewati komponen filter fluida (OZ3) untuk menyaring fluida sehingga fluida yang digunakan bersih. Kemudian fluida tersebut dialirkan sampai ke katup 3/2 (1V1). Fluida akan mengalir sampai ke aktuator (A1) apabila tombol katup sebelah kiri ditekan. Ketika fluida telah sampai pada aktuator (A1), fluida akan memenuhi ruang aktuator sehingga aktuator dapat mengangkat beban crane (18800 kg). Apabila tombol katup sebelah kanan ditekan, maka fluida akan kembali menuju tangki melewati katup pengatur tekanan (OZ1) yang dibantu oleh dorongan beban crane.

V. KESIMPULAN

Dari data-data analisis perhitungan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Profil rangka batang crane:
 - Rangka batang horizontal : Profil H 100 x 100
 - Rangka batang miring : Profil C 50 x 38
 - Material : Baja ASTM A36
- Konstruksi aktuator teleskopik:
 - Tekanan pompa hidrolik, p = 150 bar
 - Daya pompa hidrolik, P = 10 kW
 - Diameter aktuator atas, $d_1 = 5'' = 127 \text{ mm}$, $A_1 = 12667.687 \text{ mm}^2$
 - Diameter aktuator 2, $d_2 = 6'' = 152.4 \text{ mm}$, $A_2 = 18241.4693 \text{ mm}^2$
 - Diameter aktuator 3, $d_3 = 7'' = 177.8 \text{ mm}$, $A_3 = 24828.6665 \text{ mm}^2$
 - Diameter aktuator bawah, $d_4 = 8'' = 203.2 \text{ mm}$, $A_4 = 32429.2787 \text{ mm}^2$
 - Volume total fluida yang digunakan untuk hidrolik (V) = 377.5 liter
 - Kapasitas aliran sistem hidrolik (Q) = $6.6667 \times 10^5 \text{ mm}^3/\text{s}$
 - Waktu pengangkatan crane hingga ketinggian 20 m (t) = 9.4375 menit.
 - Material: baja aktuator hidrolik

REFERENSI

[1] Rostiyanti, S. F., *Alat Berat untuk Proyek Konstruksi*, PT Rineka Cipta, Jakarta, 2008.

[2] Lestari, A.D., Identifikasi Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Tower Crane, *Jurnal FTSL ITB*, 2012.

[3] Pranatha, K. M., Studi Perbandingan Analisis Desain Triangle Tower Crane dengan Analisis Desain Fourangle Tower Crane Menggunakan Program ANSYS 12.0, *SI thesis*, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya, 2012.

[4] Setiawan, Widhiastu D., 2017. Perancangan Sistem Suspensi Mobil Formula Garuda 16 (FG16) Ditinjau dari Geometri Suspensi dan Simulasi Finite Element Analysis (FEA), *SI thesis*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, 2017.