
ANALISIS DESAIN TANGGA HIDROLIK UNTUK KESELAMATAN MENAIKI UNIT EXCVATOR LIEBHERR R9100

Ahmad Faisal Dwi Rohmawan¹, Nurhadi^{2*}

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin/Program Studi Teknik Otomotif Elektronik, Politeknik Negeri Malang

*Email Korespondensi: nurhadi@polinema.ac.id

Submitted : 20 Juli 2023; Revision : 16 Agustus 2023; Accepted : 25 September 2023

ABSTRAK

Kerusakan pada tangga alat berat rawan terjadi karena tangga pada spesifikasi unit terpasang pada chasis yang cenderung bertabrakan dengan material tambang sehingga mudah rusak. Tangga dengan bawaan unit juga menyulitkan kegiatan service dan memiliki potensi terjatuh dan terpeleset. Tujuan penelitian adalah mendesain tangga hidrolik pada unit excavator Liebherr R9100 dengan analisis perhitungan tangga hidrolik. Metode pengujian dengan melakukan perhitungan pada variasi sudut operasional tangga sebesar 125⁰, 130⁰, 140⁰ dan 145⁰ serta penambahan beban sebesar 0kg, 50kg dan 80kg sehingga diketahui tekanan kerja dan daya pompa yang dibutuhkan agar *piston cylinder* dapat menggerakkan tangga hidrolik untuk posisi memanjang atau memendek. Hasil analisis pada penelitian berupa desain tangga hidrolik dengan analisis perhitungan tekanan kerja piston terbesar pada sudut 140⁰ dengan penambahan beban 80 kg sebesar 62,3 bar sedangkan untuk tekanan terkecil pada sudut 135⁰ dengan penambahan beban 80 kg sebesar 23,73 bar. Daya pompa terbesar pada sudut 140⁰ dengan penambahan beban 80 kg sebesar 2,2 HP sedangkan daya pompa terkecil pada sudut 135⁰ dengan penambahan beban 80 kg sebesar 0,83 HP.

Kata kunci : Beban Tangga, Daya, Sudut Operasional, Beban Tangga, dan Tekanan Kerja

ABSTRACT

Damage to heavy equipment ladder is prone to occur because the ladder in the unit specifications is attached to the chassis which tends to collide with mining material so that it is easily damaged. Stairs with built-in units also make it difficult for service activities and have the potential to fall and slip. The purpose of the study was to design a hydraulic ladder on the Liebherr R9100 excavator unit with hydraulic ladder calculation analysis. The test method is calculated on variations in the operational angle of the ladder of 125⁰, 130⁰, 140⁰, and 145⁰ and additional loads of 0kg, 50kg, and 80kg so that the oil pressure and pumping power needed so that the piston cylinder can move the hydraulic ladder for an elongated or shortened position. The results of the analysis in the study were in the form of a hydraulic ladder design with the largest pressure piston work calculation analysis at an angle of 140⁰ with an additional load of 80 kg of 62,3 bar while for the smallest pressure at an angle of 135⁰ with an additional load of 80 kg of 23,73 bar. The largest pump power at an angle of 140⁰ with an additional load of 80 kg is 2,2 HP while the smallest pump power at an angle of 135⁰ with an additional load of 0 kg is 2,2 HP.

Keywords : Hydraulic Ladder, Ladder Load, Operating Angle, Power and Pressure

PENDAHULUAN

Di dunia pertambangan yang ada di Indonesia digunakan excavator untuk melakukan proses produksi dengan cara menggali (*digging*), menimbun (*filling*), memuat (*loading*), memotong (*cutting*), membongkar (*excavating*), mengangkat (*lifting*) dan menarik (*towing*). 1 unit excavator Liebherr R9100 dapat mengurus 5 unit *dump truck*. Sehingga operasional excavator sangat prioritas untuk aktivitas pertambangan (PT Saptaindra Sejati, 2009).

Tangga adalah salah satu komponen dari excavator sebagai alat untuk naik atau turun dari unit. Pada unit excavator Liebherr R9100 memiliki tangga yang terpasang pada chasis unit. Hal ini membuat tangga rawan rusak karena bersentuhan langsung dengan

material tambang. Apabila tangga rusak akan mengakibatkan terganggunya operasional unit karena kesulitan untuk menaiki atau menuruni unit. Kerugian yang lebih besar dapat terjadi jika tangga rusak terkena material sehingga akan sulit untuk mencari komponen karena bukan bagian dari pekerjaan *service* (Riky Adhianto, 2016).

Penentuan sudut operasional tangga dapat menghasilkan tekanan dan daya pada yang berbeda pada tangga hidrolik excavator Liebherr R9100. Untuk mengetahui tekanan kerja piston dan daya pompa hidrolik dapat menggunakan perhitungan pada resultan gaya, luas permukaan piston, kecepatan cylinder, dan kapasitas fluida maka hasil didapatkan. Permasalahan penentuan sudut operasional dan penambahan beban pada tangga hidrolik tidak diberikan opsi untuk instalasi sehingga pada penelitian ini dijabarkan metode untuk penentuan sudut operasional dan penambahan beban paling efektif (Riky Adhianto, 2016); (Atmojo, 2020); (Putra, 2022); (Widyarsono, 2018).

Hukum Newton secara umum menyatakan adanya hubungan antara massa, gaya, dan gerak benda dimana kita akan dapat mengetahui gaya yang diberikan pada benda setelah kita mengetahui besarnya percepatan dari sebuah benda (Salamah, 2018).

$$F = m \times g \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

F : Gaya (N)

m : massa (kg)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Dalam pemahaman pengukuran luas dari silinder hidrolik caterpillar yang berbentuk lingkaran maka dapat disimpulkan luasan area adalah bentuk lingkaran.

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

A : Luas alas (mm^2)

d : Diameter (mm)

Kecepatan piston silinder caterpillar dapat diketahui dengan mengetahui Panjang piston sehingga diketahui jarak Panjang piston hingga *full stroke*. Maka setiap piston memanjang dan memendek dapat diketahui jarak yang ditempuh setiap detik.

$$v = \frac{s}{t} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

v : Kecepatan *cylinder* (mm/s)

s : Panjang *piston cylinder* (mm)

t : Waktu *cylinder full stroke*

Debit aliran adalah laju aliran fluida (dalam bentuk volume) yang melewati suatu penampang tertutup per satuan waktu. Debit merupakan suatu koefisien yang menyatakan volume fluida yang mengalir dari suatu penampang persatuan waktu, dalam penelitian diukur dalam satuan milimeter kubik per detik (Asdak, 2002).

$$Q = v \times A \quad \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

Q : *Oil flow rate* (mm^3/s)

v : Kecepatan *cylinder* (mm/s)

A : Luas alas *hydraulic cylinder* (mm)

Sistem hidrolik merupakan suatu bentuk perubahan atau pemindahan daya dengan menggunakan media penghantar berupa fluida cair untuk memperoleh daya yang lebih besar dari daya awal yang dikeluarkan. Dimana fluida penghantar ini dinaikan tekanannya oleh pompa pembangkit tekanan yang kemudian diteruskan ke silinder kerja melalui pipa-pipa saluran dan katup-katup. Gerakan translasi batang piston dari silinder kerja yang diakibatkan oleh tekanan fluida pada ruang silinder dimanfaatkan untuk gerak maju dan mundur (Bhirawa, 2017).

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

P : Tekanan kerja piston hidrolik (N/mm²)

F : Gaya (N)

A : Luas alas (mm²)

Daya efektif (NP) pada pompa servo unit didefinisikan sebagai besarnya debit yang dapat dialirkan pada tekanan tertentu.

$$NP = \frac{Q \times P}{600} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

NP : Daya efektif pompa servo (HP)

Q : *Oil flow rate* (L/m)

P : Tekanan kerja piston hidrolik (bar)

Berdasarkan analisa perbaikan yang perlu dilakukan untuk mencegah permasalahan rusaknya tangga manual maka dipakai solusi dengan penambahan tangga eksternal secara hidrolik. Penggantian dari tangga manual menjadi tangga hidrolik diperlukan untuk meningkatkan produktivitas unit excavator Liebherr R9100. Dengan adanya tangga hidrolik pelaksanaan kegiatan service dan inspeksi dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien. Hal tersebut dapat menghemat tenaga dari mekanik alat berat. Dari analisa tangga hidrolik dapat diharapkan menjadi desain tangga hidrolik yang sesuai dengan standar keselamatan pertambangan. Sehingga dalam proses pekerjaan pertambangan tidak hanya memudahkan pekerjaan namun harus memastikan tangga yang dipakai aman.

METODE

Dalam menyusun metode penelitian dilakukan dengan cara sistematis. Dimulai dari studi literatur mengumpulkan sumber yang relevan dalam perancangan tangga hidrolik excavator. Perencanaan dibutuhkan untuk menyusun strategi pembuatan alat yang memiliki kesulitan kompleks baik dari segi teknis, material dan pendanaan.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan melakukan analisa pengaruh variasi sudut operasional dengan ukuran 125^o, 130^o, 135^o, 140^o dan 145^o serta penambahan beban pada tangga hidrolik sebesar 0 kg, 50 kg dan 80 kg. Data aktual didapati dengan mengukur tekanan tetap pompa servo sebesar 32 bar. Waktu naik dan turun tangga didapati dengan menggunakan media *stopwatch* sehingga didapatkan 8 detik untuk *piston cylinder* dapat *extend* atau *retract*.

Variabel terikat pada penelitian ini adalah tekanan oli dan daya pompa. Output dari penelitian diharapkan mendapat ukuran tekanan oli yang paling kecil sehingga *supply* tekanan dari pompa servo dapat mengalirkan oli dengan mudah. Dengan daya yang dibutuhkan kecil akan membuat kerja pompa lebih mudah.

Pengolahan data dilakukan setelah tangga hidrolik terpasang pada unit excavator Liebherr R9100. Dengan data yang diperoleh akan didapati analisa perhitungan yang akan dimasukkan kedalam tabel. Data yang telah terakumulasi dalam tabel akan dianalisa ulang dengan *software* minitab. Tabel dianalisa dengan metode *Analysis of Variant Two Way* (Anova dua arah) untuk menentukan kesimpulan dari penelitian dan hubungan antara variabel bebas sudut operasional dan beban tambahan terhadap tekanan oli dan daya pompa.

Pembuatan Jadwal

Pembuatan jadwal dilakukan dengan memperhatikan *template* yang telah dibuat pada proposal penelitian. Dengan pelaksanaan penelitian di *Workshop Plant CHPP Jobsite Maruwai Coal PT.Adaro Services, Tumbang Baloi, Kec. Barito Tuhup Raya, Kab. Murung*

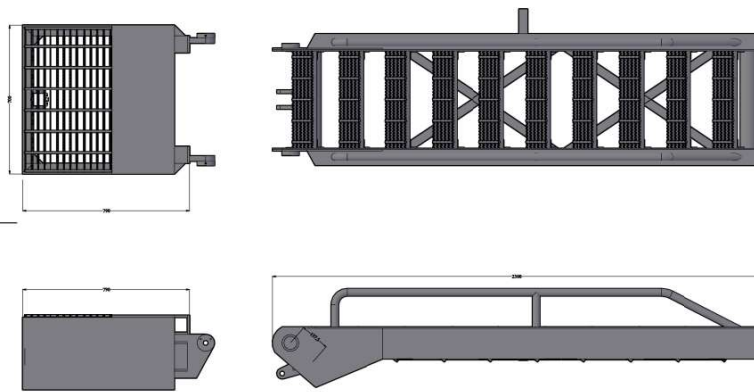
Raya, Kalimantan Tengah penelitian dilakukan dari bulan Februari hingga Juli 2023. Uraian jadwal adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Jadwal penelitian

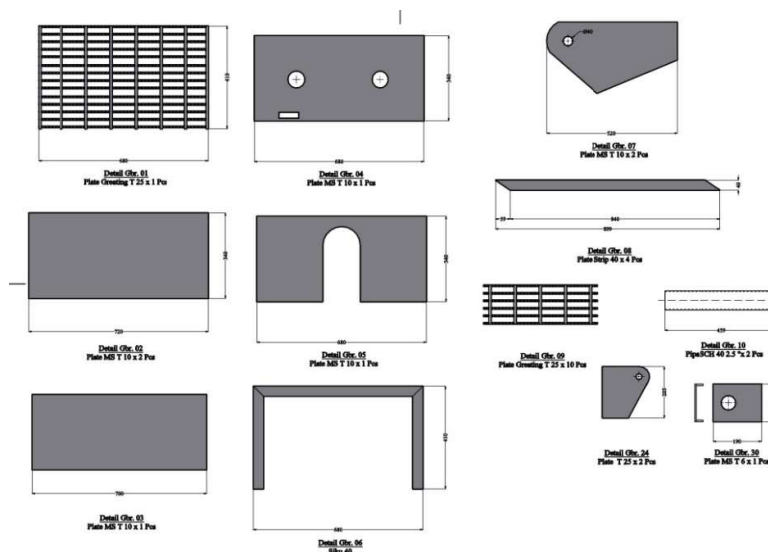
Bulan	Uraian	Lokasi Kegiatan
Februari	Mendesain tangga hidrolik	<i>Workshop Plant</i> MACO Kab. Murung Raya
Maret - April	Mempersiapkan alat dan bahan	<i>Workshop Plant</i> MACO Kab. Murung Raya
Mei	Merakit dan menginstal tangga hidrolik	<i>Field Area Plant</i> Maco Kab. Murung Raya
Juni	Pengambilan data	<i>Field Area Plant</i> Maco Kab. Murung Raya
Juli	Analisa dan pembuatan artikel	Kampus Politeknik Negeri Malang

Pembuatan desain dan penentuan komponen

Setelah schedule terbuat langkah selanjutnya yang kami lakukan adalah pembuatan desain dan penentuan komponen. Untuk memudahkan pembuatan desain menggunakan *software* Autocad.

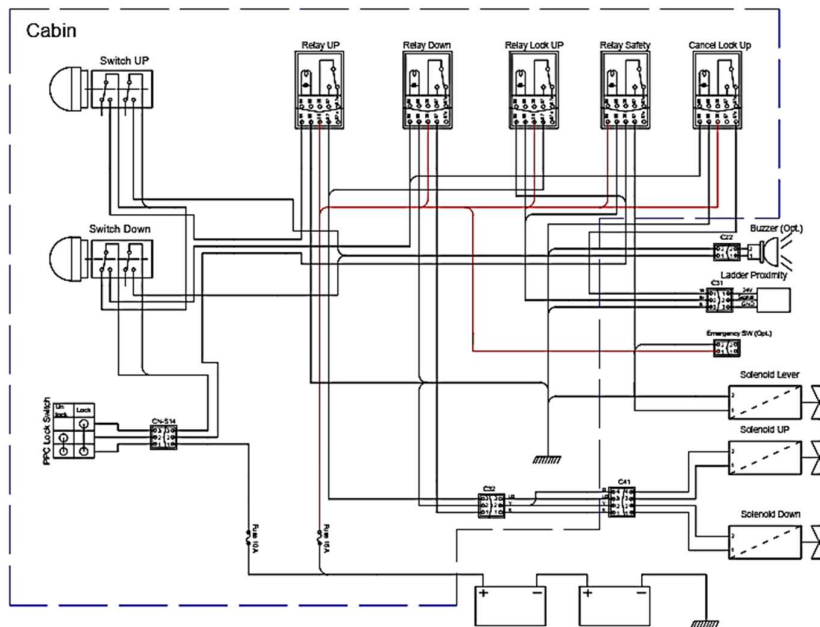


Gambar 1. Desain Tangga



Gambar 2. Desain *Floor* Tangga

Kemudian agar tangga dapat bergerak naik atau turun dibutuhkan rangkaian elektrikal. Dengan menggunakan 5 relay dengan fungsi yang berbeda antara *relay up*, *relay down*, *relay lock up*, *relay safety* dan *relay cancel lock up*.



Gambar 3. Desain *Wiring* diagram elektrikal tangga hidrolik

Untuk penentuan komponen untuk pembuatan tangga dibuat RAD (Rancangan Anggaran Dan) yang dirancang bersama dengan *planner* di PT. Adaro Services. Berikut adalah komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan tanggah hidrolik unit excavator Liebherr R9100:

Tabel 2. Daftar Komponen Tangga

No.	Komponen	Jumlah
1	Switch Yellow Komatsu	1
2	Proximity Sensor	1
3	Mini Relay 24V 30A Kaki 5	5
4	Mini Relay Mounting	5
5	Fuse Box	1
6	Control Valve	1
7	Locking Plate, Nut dan Bolt	2
8	Piston Cylinder	1
9	Tangga dan Floor	1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menaikkan dan menurunkan tangga dengan media oli hidrolik SAE 15W-40 mendapatkan sumber dari *hydraulic tank* yang disupply dari pompa servo. Untuk mengukur tekanan yang disupply digunakanlah *pressure gauge*. Kemudian untuk sudut operaional digunakan meteran dengan cara pengukuran panjang kemudian memakai rumus pythagoras. Setelah data aktual diambil kemudian data diolah dengan perhitungan sehingga didapatkan resultan gaya, kecepatan alir oli, kapasitas aliran oli, tekanan yang dibutuhkan

pada setiap sudut operasional dan penambahan beban serta daya pompa yang dibutuhkan pada setiap sudut operasional dan penambahan beban.



Gambar 4. Instalasi dan Pengujian Tangga Hidrolik



Gambar 5. Pengukuran Tekanan Pompa Servo

Berikut pada Tabel 3 adalah data yang didapatkan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut operasional tangga dan penambahan beban pada tangga. Pada penelitian menggunakan aplikasi minitab untuk membantu menyimpulkan hipotesis. Berikut adalah beberapa pengujian yang dilakukan pada aplikasi Minitab.

Pada *two way anova* dijabarkan bahwa sudut operasional memiliki nilai signifikan 0,000 sehingga $p\text{-value} < \alpha$, maka H_0 ditolak yang berarti pengaruh sudut operasional signifikan terhadap tekanan kerja piston dan daya pompa. Pada variabel beban memiliki nilai signifikan 0,037, maka H_0 ditolak yang berarti pengaruh variabel penambahan beban signifikan terhadap tekanan kerja piston dan daya pompa.

Dari grafik pada Gambar 8-9 dapat disimpulkan bahwa variasi sudut operasional dan penambahan beban berpengaruh pada besar tekanan. Diketahui untuk sudut operasional memiliki tekanan paling besar pada sudut 140^0 dengan besar 62,32 bar. Untuk tekanan paling besar yang dibutuhkan pada penambahan beban yang paling besar yaitu 80 kg dengan daya 62,32 bar. Pada grafik daya juga memiliki grafik yang sama sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi sudut operasional dan penambahan beban berpengaruh pada besar daya.

Diketahui untuk sudut operasional memiliki tekanan paling besar pada sudut 140° dan penambahan beban 80 kg dengan besar 2,2 HP.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian

Sudut (°)	Beban (kg)	F Dorong (N)	A (mm ²)	Q (L/m)	RF (N)	P (Bar)	NP (HP)
125	120	14585,78	4558,055	21,085	18606,68	40,82154	1,434537
130	120	14585,78	4558,055	21,085	21752,75	47,72375	1,677092
135	120	14585,78	4558,055	21,085	11586,91	25,42074	0,893327
140	120	14585,78	4558,055	21,085	22299,01	48,92221	1,719208
145	120	14585,78	4558,055	21,085	15328,96	33,63049	1,181831
125	170	14585,78	4558,055	21,085	21381,81	46,90994	1,648494
130	170	14585,78	4558,055	21,085	24751,11	54,30191	1,90826
135	170	14585,78	4558,055	21,085	10959,12	24,04342	0,844926
140	170	14585,78	4558,055	21,085	26068	57,19106	2,009789
145	170	14585,78	4558,055	21,085	15636,69	34,30562	1,205557
125	200	14585,78	4558,055	21,085	23227,69	50,95966	1,790807
130	200	14585,78	4558,055	21,085	26550,91	58,25053	2,047021
135	200	14585,78	4558,055	21,085	10819,62	23,73736	0,83417
140	200	14585,78	4558,055	21,085	28405,28	62,31885	2,189988
145	200	14585,78	4558,055	21,085	15824,9	34,71853	1,220067

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Sudut	4	2144,65	536,16	48,41	0,000
Beban	2	113,63	56,82	5,13	0,037
Error	8	88,60	11,08		
Total	14	2346,88			

Gambar 6. Analisis Varian Tekanan

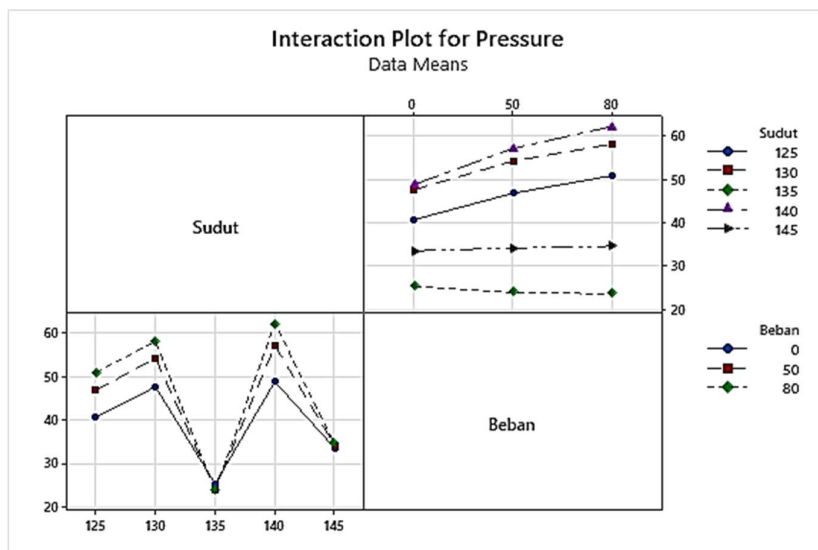
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Sudut	4	2,6485	0,66213	48,41	0,000
Beban	2	0,1403	0,07016	5,13	0,037
Error	8	0,1094	0,01368		
Total	14	2,8983			

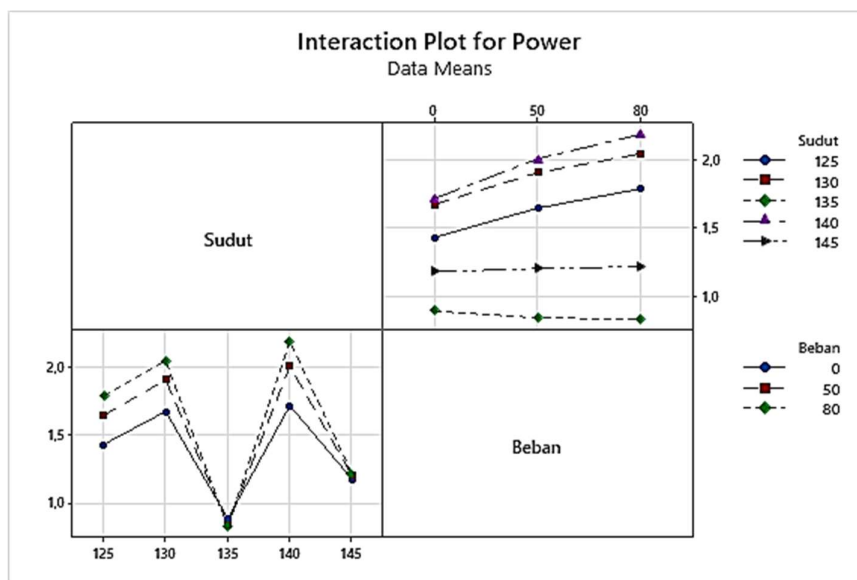
Gambar 7. Analisis Varian Daya

DAMPAK DAN MANFAAT

Manfaat dari penelitian yang dilakukan yaitu menghasilkan alat berupa tangguh hidrolik yang telah diinstal di unit excavator Liebherr R9100. Dengan adanya pembahasan dari analisis variasi sudut operasional dan penambahan beban memberikan informasi untuk penelitian selanjutnya. Dampak yang diberikan dari penelitian membuat desain tangga selanjutnya akan mempertimbangkan perhitungan sudut operasional dan penambahan beban.



Gambar 8. *Factorial plot* pada tekanan kerja piston



Gambar 9. *Factorial plot* pada daya pompa

KESIMPULAN

Desain tangga hidrolik unit excavator Liebherr R9100 memiliki 3 sistem yaitu *mechanical*, *electrical* dan *hydraulic*. Dalam pengujian analisis varian dan signifikansi dapat disimpulkan bahwa variasi sudut operasional tangga dan penambahan beban tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan tekanan dengan tekanan paling kecil pada sudut 135° dengan beban tambahan 80 kg sebesar 23,7 bar. Sedangkan variasi sudut operasional dan penambahan beban juga tidak berpengaruh signifikan terhadap daya pompa dengan daya paling kecil pada sudut 135° dan penambahan beban 80 kg sebesar 0,83 HP. Sehingga didapatkan sudut terbaik pada instalasi tangga hidrolik unit excavator Liebherr R9100 adalah pada sudut 135° dengan penambahan beban 80 kg sehingga unjuk kerja pompa servo tidak terbebani cukup besar. Hal tersebut dapat membuat tangga hidrolik dapat naik dan turun dengan lebih mudah dan lancar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terelesaikannya artikel ini peneliti menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Malang yang telah memeberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian dan PT. Adaro Services yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian dengan bantuan pendanaan. Serta kepada Bapak Ronald Sihaloho, Bapak Wiji Purwanto, Bapak Pino Galvani Singarimbun, Bapak Syarifudin, Bapak M. Yusuf selaku pembimbing lapangan di Jobsite Maruwai Coal PT. Adaro Services yang telah membantu dalam proses pembuatan alat hingga analisa. Peneliti berharap artikel ini dapat bermanfaat sebagai rujukan pembuatan tangga hidrolik unit excavator.

REFERENSI

- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengolahan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Atmojo, E. I. (2020). Analisa Daya Pompa Elevating Cylinder yang Dibutuhkan Sebagai Penggerak Telescopic Boom dengan Variasi Sudut Kerja 10, 30, 50, 70 pada Unit Truck Crane XCMG 25 Ton. *Publikasi Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Bhirawa, T. (2017). Sistem Hidrolik pada Mesin Industri. *Jurnal Teknologi Industri*.
- Caterpillar. (2023). 461-3058: *Cylinder Group*. Retrieved from <https://parts.cat.com/en/catcorp/461-3058>
- Kholiq, A. (2015). Analisis Struktur Tangga Proyeek Pembangunan RSUD Cideres Majalengka. *Jurnal J-Ensitem*, Vol.01 No.02.
- Liebherr. (2023). *Hydraulic Pumps and Motors*. Retrieved from <https://www.liebherr.com/en/int/products/components/hydraulics/hydraulic-pumps-and-motors/hydraulic-pumps-and-motors.html>
- Liebherr. (2023). *Liebherr R9100 G6*. Retrieved from <https://www.liebherr.com/en/int/products/mining-equipment/mining-excavators/details/r9100.html>
- Muhammad Riza Hidayat, M. F. (2018). Analisa Tekanan dan Efisiensi pada Pompa Air Sentrifugal dengan Rangkaian Seri. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, Vol.03 No.02.
- PT Saptaindra Sejati. (2009). *Pengetahuan Mesin*. Tabalong: Plant People Development PT SIS.
- Putra, M. P. (2022). Analisa Daya Pompa Elevating Cylinder Telescopic Boom dengan Sudut Kerja 60 dan Variasi Panjang Lengan Boom. *Publikasi Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Riky Adhiharto, N. A. (2016). Perancangan Tangga Hidrolik Excavator Hitachi Ex-1900 di PTVI. *Jurnal STEMAN Politeknik Manufaktur Bandung*.
- Robert Witte, J. W. (2017). *Statistics, 11th Edition*. John Wiley and Sons.
- Siregar, S. (2015). Statistik PArametrik untuk Penelitian Kuantitatif : Dilengkapi dengan Perhitungan MAnual dan Aplikasi SPSS Versi 17.
- Ummu Salamah, S. M. (n.d.). Hukum II Newton. *Artikel Eksperimen Universitas Negeri Surabaya*.
- Usmadi. (2020). Pengujian Persyaratan Analisis (Uji Homogenitas dan Uji Normalitas). *Jurnal Inovasi Pendidikan*.
- Widyarsono, H. (2018). Analisa Beban MArksimum yang Dapat Diangkat Crawler Crane XCMG QUY55. *Publikasi Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Yuken. (2023). *DSG-01-70 Series Solenoid Operated Directional Valves*. Retrieved from <https://yuken-usa.com/product/dsg-01-70-series-solenoid-operated-directional-valves/>