

PENGEMBANGAN DESIGN HANDLING ROTARY SLIP DRILL PIPE KAPASITAS OUTSIDE DIAMETER 3,5” – 5”

A.R.Yosserizal¹, Rozi Saferi²

2023001185.yosserizal@itp.ac.id¹

Institut Teknologi Padang

ABSTRACT

This study focuses on the design development handling of a rotary slip with a capacity for outside diameters of drill pipes ranging from 3.5” to 5”. The primary objective is to optimize the performance and safety of manual rotary slips used in drilling operations, particularly in Pertamina's PDSI#42.34/N.1500-E rig. The research employs a reverse engineering approach to redesign the rotary slip, integrating pneumatic technology to enhance operational efficiency and reduce the risk of workplace accidents, such as finger injuries during manual handling. The study involves a detailed analysis of the existing rotary slip mechanism, followed by the development of a digital model and simulation of forces and operational loads. The proposed pneumatic slip lifter (PSL) is designed to replace the conventional manual operation, utilizing compressed air at 90-120 psi to automate the lifting and lowering of drill pipes. The design is validated through static analysis, ensuring that the maximum stress, deflection, and safety factor meet the required standards. The results indicate that the PSL significantly improves the speed and safety of drill pipe handling, reduces the consumption of spare parts, and offers a cost-effective solution for drilling operations. This research contributes to the advancement of drilling technology by providing a safer, more efficient, and economically viable alternative to traditional manual rotary slips.

Keywords: Design Development, Rotary Slip, Pneumatic Slip Lifter, Drilling Operations, Safety, Efficiency, Cost-Effectiveness.

ABSTRAK

Studi ini berfokus pada pengembangan desain penanganan slip putar dengan kapasitas diameter luar pipa bor mulai dari 3,5” hingga 5”. Tujuan utamanya adalah untuk mengoptimalkan kinerja dan keamanan slip putar manual yang digunakan dalam operasi pengeboran, khususnya di rig PDSI#42.34/N.1500-E. Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa balik untuk mendesain ulang slip putar, mengintegrasikan teknologi pneumatik untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko kecelakaan di tempat kerja, seperti cedera jari selama penanganan manual. Penelitian ini melibatkan analisis terperinci mekanisme slip putar yang ada, diikuti oleh pengembangan model digital dan simulasi gaya dan beban operasional. Pengangkat slip pneumatik (PSL) yang diusulkan dirancang untuk menggantikan operasi manual konvensional, memanfaatkan udara bertekanan pada 90-120 psi untuk mengotomatiskan pengangkatan dan penurunan pipa bor. Desain divalidasi melalui analisis statis, memastikan bahwa tegangan maksimum, defleksi, dan faktor keamanan memenuhi standar yang diperlukan. Hasilnya menunjukkan bahwa PSL secara signifikan meningkatkan kecepatan dan keamanan penanganan pipa bor, mengurangi konsumsi suku cadang, dan menawarkan solusi hemat biaya untuk operasi pengeboran. Penelitian ini berkontribusi pada kemajuan teknologi pengeboran dengan menyediakan alternatif yang lebih aman, lebih efisien, dan layak secara ekonomi untuk slip putar manual tradisional.

Kata Kunci: Pengembangan Desain, Rotary Slip, Pneumatic Slip Lifter, Operasi Pengeboran, Keselamatan, Efisiensi, Efektivitas Biaya.

PENDAHULUAN

Industri dalam kegiatan pengeboran minyak dan gas bumi dibutuhkan berbagai peralatan untuk menunjang kegiatan tersebut. Salah satu instrumen utama dan penting adalah Rig. Instrumen Rig merupakan asset yang paling penting untuk diperhatikan guna menjamin lancarnya bisnis pengeboran atau Rig Services. Rig pengeboran atau anjungan

pengeboran adalah suatu instalasi peralatan untuk melakukan pengeboran ke dalam reservoir bawah tanah untuk memperoleh air, minyak, atau gas bumi, atau deposit mineral bawah tanah. Rig pengeboran bisa berada di atas tanah (on-shore) atau di atas laut/lepas pantai (off- shore) tergantung kebutuhan pemakaiannya. Dalam melakukan kegiatan pengeboran ini membutuhkan teknologi tinggi dengan biaya yang besar dan resiko yang tinggi dalam operasionalnya. Biaya yang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan eksplorasi (mengebor sumur minyak/gas bumi) rata-rata US\$ 10 juta-US\$ 15 juta per sumur. Maka untuk menekan biaya yang mahal ini perlu melakukan efisiensi cost dalam operasional pengeboran salah satunya ada pada instrument rig pengeboran. Salah satu contoh pada Rig Pertamina PDSI#42.34/N.1500-E melakukan kegiatan masuk dan cabut (trip-in dan trip-out) rangkaian pipa pemboran menggunakan rotary slip yang dioperasikan secara manual oleh manusia. Hal ini masih dapat dioptimalkan baik dari segi kehandalan peralatan maupun dari segi keselamatan. Dengan melakukan reverse engineering dan teknik rekayasa pada rotary slip drill pada pipa pengeboran (drill pipe) dalam operasi pengeboran diharapkan mampu untuk peningkatan efisiensi dan efektivitas biaya.

Saat ini rotary slip manual hampir sebagian besar digunakan pada lingkungan kerja Pertamina. Adapun jenis – jenis rotary slip manual yang saat ini umumnya digunakan di lokasi pemboran pertamina sebagai berikut:

1. Short Slip Drill Pipe

Type short slip drill pipe digunakan untuk pemboran dangkal. Beban yang mampu ditahan oleh rotary slip type short berdasarkan API 7K (Assosiation Peteroleum Institute) 75 ton . Slip type short dipakai pada rig service atau pun sumur pemboran dengan kedalaman dangkal. Umumnya kedalaman pemboran berkisar antara 500 – 1500 m. Beban rangkaian pipa tersebut dapat dihitung berdasarkan berat pipa yang digunakan saat melakukan pekerjaan dan dikalikan kedalaman sumur. Slip type short bisa digunakan untuk ukuran diameter luar (Outside Daiiameter) pipa mulai ukuran 2.3/8”- 5”. Dibawah ini digambarkan ukuran panjang body dan panjang grip dies yang digunakan. Panjang grip segmen tempat dudukan dies adalah 11” atau 279 mm.



Gambar 1. Slip Drill Pipe Type Short

2. Medium Slip Drill Pipe

Type medium slip drill pipe digunakan untuk pemboran sedang. Beban yang mampu ditahan oleh rotary slip type short berdasarkan API 7K (Assosiation Peteroleum Institute) berkisar 125 ton . Slip type short dipakai pada rig sumur pemboran dengan kedalaman sedang . Umumnya kedalaman pemboran berkisar antara 1500 – 3000 m. Slip type medium bisa digunakan untuk ukuran diameter luar (Outside Daiiameter) pipa mulai ukuran 2.3/8”- 5”. Dibawah ini digambarkan ukuran panjang body dan panjang grip dies yang digunakan. Panjang grip segmen tempat dudukan dies adalah 13.3/4” atau 349 mm.



Gambar 2. Slip Drill Pipe Type Medium

3. Extra Longs Slip Drill Pipe

Type extra long slip drill pipe digunakan untuk pemboran dalam. Beban yang mampu ditahan oleh rotary slip type short berdasarkan API 7K (Assosiation Peteroleum Institute) berkisar 250 ton . Slip type short dipakai pada rig sumur pemboran dengan kedalaman sedang . Slip type medium bisa digunakan untuk ukuran diameter luar (Outside Daiiameter) pipa mulai ukuran 3.1/2"- 5". Dibawah ini digambarkan ukuran panjang body dan panjang grip dies yang digunakan. Panjang grip segmen tempat dudukan dies adalah 16.1/2" atau 419 mm.



Gambar 3. Slip Drill Pipe Type Extra Longs

Di rig PDSI#42.3/N.1500 tempat penelitian ini menggunakan slip type extra long slip. Rig ini melakukan pemboran di wilayah kerja Pertamina dengan kedalaman rata-rata 3000 – 4000 m.

Rotary slip manual sebagian besar masih dipergunakan pada operasional pengeboran di wilayah kerja Pertamina. Dari evaluasi penggunaan rotary slip manual masih dilakukan dengan konvensional. Hal ini terdapat beberapa kekurangan, seperti potensi tangan terjepit dan seringnya penggantian spare part rotary slip berupa dies. Maka dari itu dilakukan pengembangan terhadap rotary slip manual ini dengan cara melakukan pengembangan desain handling pada rotary slip tersebut. Oleh karena itu dalam proses masuk dan cabut rangkaian pipa bor ini dengan membuat pneumatic slips lifter yang memanfaatkan sumber daya yang ada di Rig PDSI#42.3/N.1500-E baik dari bahan, peralatan, maupun personil.

METODOLOGI

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kampus Institut Teknologi Padang dan Lokasi Kerja Pertamina rig PDSI#42.3/N.1500-E pada bulan September 2024 sampai bulan Januari

2025. Tahapan yang dilalui dalam penelitian, pembangunan konsep, atau penyelesaian kasus, dituliskan pada bagian metodologi.

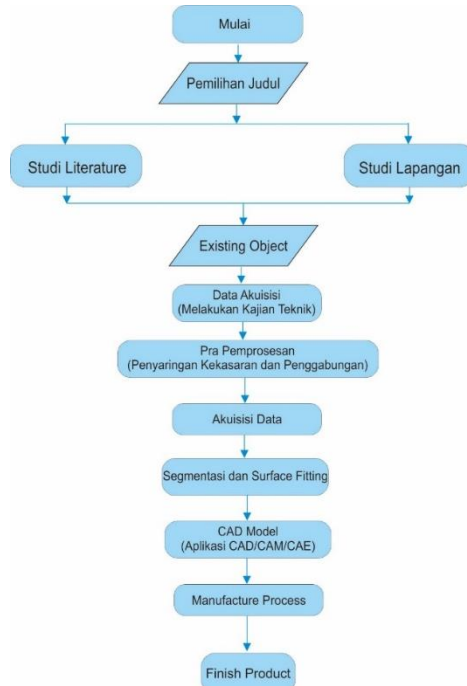
Tahapan Penelitian

Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur dan Analisis Kebutuhan
 - a. Melakukan tinjauan komprehensif terhadap sistem Rotary Slip konvensional, standar API 7K, serta studi kasus terkait teknologi pneumatik dalam operasi pengeboran.
 - b. Mengidentifikasi masalah operasional (misalnya: waktu trip-in/trip-out, risiko keselamatan, dan konsumsi suku cadang) melalui observasi lapangan di Rig Pertamina PDSI#42.34/N.1500-E.
2. Akuisisi Data dan Pemodelan Awal
 - a. Pengukuran Fisik: Mengukur dimensi komponen Rotary Slip manual (body slip, dies slip, handle slip) menggunakan alat ukur presisi (jangka sorong, mikrometer).
 - b. Desain 3D: untuk menghasilkan model digital (Computer-Aided Design/CAD) menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor.
 - c. Analisis Material: Menguji sifat mekanik material (baja ASTM A36) melalui uji tarik dan uji kekerasan untuk menentukan parameter simulasi.
3. Simulasi dan Optimasi Desain
 - a. Simulasi Beban: Menganalisis distribusi tegangan (von Mises stress), defleksi, dan safety factor menggunakan Finite Element Analysis (FEA) pada Autodesk Inventor. Parameter beban meliputi gaya dorong pneumatik (90–120 psi) dan berat pipa bor (hingga 250 ton).
 - b. Optimasi Geometri: Memodifikasi desain PSL berdasarkan hasil simulasi untuk memastikan kekuatan struktural dan efisiensi gerakan.
4. Fabrikasi dan Pengujian Prototipe
 - a. Fabrikasi: Membuat prototipe PSL dengan material baja ASTM A36, menggunakan mesin CNC, welding, dan perakitan komponen pneumatik (aktuator silinder ganda, foot pedal valve, regulator tekanan).
 - b. Pengujian Operasional: Menguji prototipe di lingkungan rig dengan parameter:
 - Tekanan operasi: 90–120 psi.
 - Beban maksimal: 192,48 Kg.
 - Pengukuran waktu trip-in/trip-out dan konsumsi suku cadang.
5. Analisis Safety Factor.
 - a. Menilai dampak pengurangan risiko kecelakaan melalui analisis Safety Health Environment (SHE).

Alur Penelitian

Alur penelitian pada artikel ini ditampilkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Alur Pengembangan Design.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengembangan Desain Handling Rotary Slip Kapasitas Outside Diameter Drill Pipe 3,5” – 5”

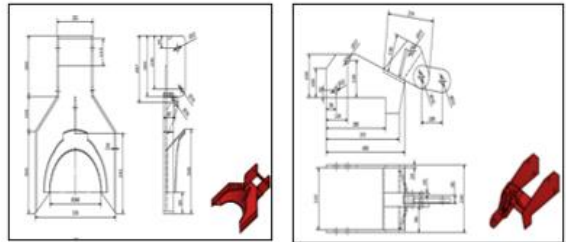
Hasil fabrikasi pengembangan desain handling rotary slip Kapasitas Outside Diameter Drill Pipe 3,5” – 5” dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 1. Power Slip Lifter Drill Pipe

Pneumatic slip lifter sebagaimana yang diperlihatkan Gambar 5 merupakan hasil fabrikasi dengan fungsi menggantikan peran manusia dalam mengoperasikan slip secara konvensional, yang awalnya untuk mengoperasikan slip membutuhkan 3 orang personil dirubah pengoperasiannya menjadi hanya dengan satu orang menginjak air foot pedal valve dan dari jarak jauh dengan bantuan tenaga angin bertekanan 100 – 120 psi yang berasal dari kompresor angin existing yang berjumlah sebanyak 2 unit kompresor.

Saat air foot pedal valve atau kontrol pedal diinjak, maka angin bertekanan 100 - 120 psi akan masuk ke dalam aktuator, kemudian piston dalam aktuator terdorong keluar. Lalu piston menggerakkan PSL untuk mengangkat slip dari lubang bor sesaat setelah driller mengangkat rangkaian pipa bor. Setelah itu, untuk menurunkan slip ke dalam lubang bor adalah dengan menginjak kembali pedal agar me-release angin 100 – 120 psi yang ada di dalam aktuator sehingga piston bergerak kembali ke posisi awal kemudian PSL akan menurunkan slip kedalam slip bushing.

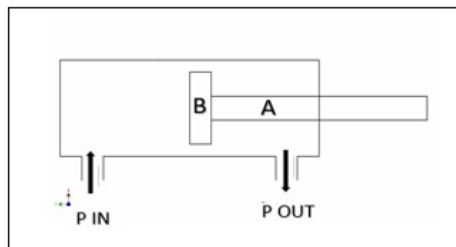


Gambar 2. Teknik pneumatic slip lifter (a) lower body (b) upper body

Diantara 4 lubang yang ada di master bushing. PSL tidak akan merubah desain asal rotary table dan rotary slip dari manufaktur, melainkan PSL didesain menyesuaikan dengan desain rotary table dan rotary. Selanjutnya dilakukan pemodelan pada komputer termasuk semua struktur utama dan sekunder dan juga komponen plat termasuk pengelasan.

Analisis Komponen Pneumatic

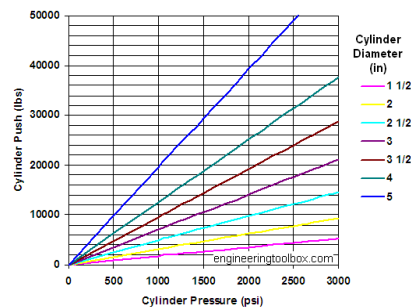
Untuk design pneumatic slip lifter ini menggunakan double acting cylinder seperti yang diperlihatkan Gambar 7.



Keterangan :
 A: Shaft Dia. 1"
 B: Bore Dia 5"
 C: Stroke 6"

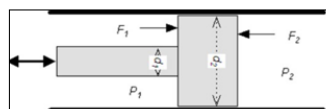
Gambar 3. Skema Pneumatic

Dalam dasar sebuah skema pneumatic terdiri dari energi supply (input) kemudian diproses dan dikontrol oleh valve untuk diteruskan ke actuator device atau silinder sebagai outputnya. Actuator atau cylinder ini ada 2 type yakni single acting cylinder dan double acting cylinder. Dari Gambar 8 untuk bore diameter 5" (lima Inch) terlihat pada grafik berwarna "Biru". Dari grafik tersebut kita dapat mengkonversi tekanan operasi pneumatic menjadi gaya dorong dari pneumatic tersebut.



Gambar 4. Konversi tekanan operasi pneumatic menjadi gaya dorong

Selain menggunakan Grafik tersebut, kita juga dapat menggunakan perhitungan analisis menggunakan persamaan berikut ini:



$$F_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2 P_2$$

Keterangan:
 F2 = Gaya Dorong (Lbs)
 d2 = Diameter Piston (inch)
 P2 = Pressure Operation (Psi)

Dari perhitungan dan rumus diatas jika diameter silindernya 5" serta tekanan

pneumatic yang diberikan sebesar 90 psi maka gaya dorong yang dihasilkan sebesar 7789,16 N. Jika tekanan tekanan pneumatic yang diberikan sebesar 120 psi maka gaya dorong yang dihasilkan sebesar 10385,55 N.

Static Analysis

Properties Material

Bahan untuk pneumatic slip lifter ini adalah Grade baja A36 dan tegangan luluh yang digunakan dalam analisa ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Steel Properties

Name	Steel, Mild	
General	Mass Density	7,86 g/cm ³
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 GPa
	Poisson's Ratio	0,275 ul
	Shear Modulus	86,2745 GPa
Application	All Steel	

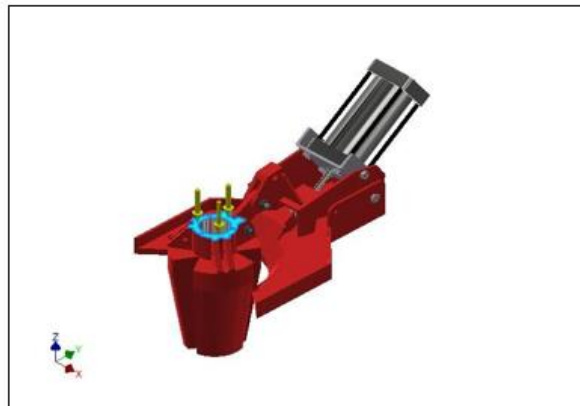
(Sumber: ASTM A-36-12(2014), mill test certificate PT. Gunung Garuda)

Applied Load

Beban-beban yang bekerja pada analisa statis ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Static Analysis Basic Load Summary

No.	Description	Force		
		FX	FY	FZ
	Weight of Slip			
1	Drill Pipe	0	0	- 940.8 N



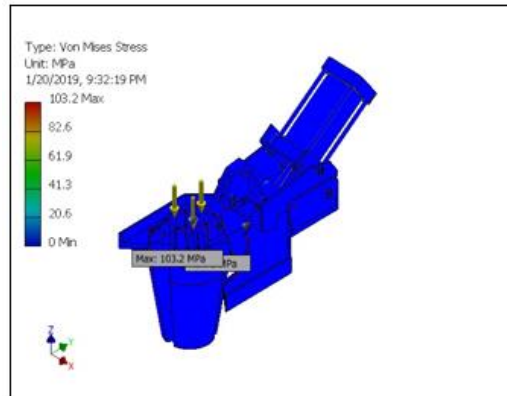
Gambar 5. Location of Applied Load

Maximum Stress

Dari hasil analisa, didapatkan maksimum stress pada frame Pneumatic Slip Lifter tersebut sebesar 103,23 Mpa dan dirangkum pada Tabel berikut.

Tabel 3. Summary Of Maximum Stress

No.	Location	Minimum	Maximum	Allowable Stress	Remark
1	Pneumatic Slip Lifter	0 Mpa	103.23 MPa	207 MPa	Acceptable



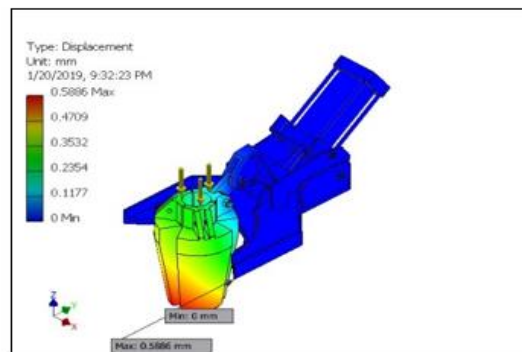
Gambar 6. Location of Critical Members

Deflection Check

Defleksi maksimal yang terletak pada frame Pneumatic Slip Lifter dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Deflection Check under Operating Condition

No	Location	Minimum	Maximum	Allowable Deflection	Remark
1	Pneumatic Slip Lifter	0 mm	0.588 mm	3.8 mm	Acceptable



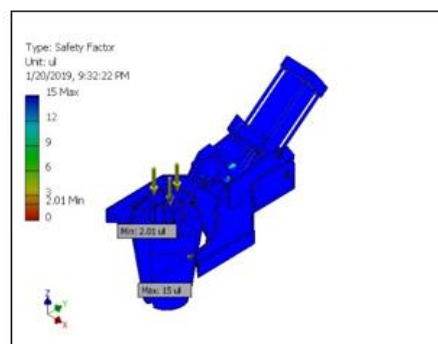
Gambar 7. Location of Deflection Check

Safety Factor

Dari hasil analisa maka dapat dihitung safety factor minimum frame Pneumatic Slip Lifter, dan dirangkum pada tabel dibawah ini:

Tabel 5. Summary Of Safety Factor

No.	Location	Safety Factor	Allowable Safety Factor	Remark
1	Pneumatic Slip Lifter	2.00515	≥ 1	Acceptable



Gambar 8. Safety Factor

Verifikasi Design

Dari hasil analisa analitis daya dorong dari pneumatic slip lifter sebesar 7789.16 N / 794.81 Kg. pneumatic slip lifter cukup mampu untuk mendorong frame slip lifter serta mengangkat drill pipe slip. Sedangkan untuk frame dari pneumatic slip lifter ini sendiri mampu untuk menahan gaya dorong yang diberikan oleh pneumatic, berat dari drill pipe slip, serta berat dari frame itu sendiri. Hal ini berdasarkan nilai safety factor lebih dari 1 (satu). Dari hasil analisa Pneumatic Slip Lifter, ditinjau dari beberapa aspek sebagai berikut:

- Maximum Stress, dari hasil analisa yang dilakukan. Maximum stress yang terjadi 103.23 MPa dan tidak melebihi dari Yield strength material (Acceptable)
- Deflection, dari hasil analisa yang dilakukan didapatkan deflection 0.588 mm . Terjadi pada beberapa bagian, namun masih dalam batas aman. (Acceptable)
- Safety Factor, dari hasil analisa yang dilakukan didapatkan hasil 2.00515. Dari hasil tersebut maka nilai safety factor lebih dari 1 (Satu) sehingga masuk dalam kategori aman untuk mendorong atau mengangkat drill pipe slip. (Acceptable). Dari hasil analisa berdasarkan safety factor, Beban Maksimum dari Pneumatic Slip Lifter sebesar 192.48 Kg, jika dilakukan penggantian drill pipe slip ataupun slip tipe lain agar diperhatikan beban maksimum ini. Namun untuk memperpanjang umur penggunaan dari pneumatic slip lifter ini. Beban yang kami rekomendasikan sebesar 120.3 Kg.

Sehingga, dari hasil maximum stress, deflection yang terjadi, dan safety factor. Semua komponen penilaian masih dalam batas aman, sehingga design ini dapat dipergunakan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil melakukan pengembangan design handling untuk mengoptimalkan desain dan efisiensi operasional dari rotary slip manual yang digunakan pada rig pengeboran Pertamina. Dengan mengembangkan Pneumatic Slip Lifter (PSL), penelitian ini mengatasi tantangan utama dalam hal keselamatan, biaya, dan kinerja di industri pengeboran minyak dan gas. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PSL secara signifikan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk operasi trip-in/trip-out dibandingkan dengan metode manual konvensional, sehingga meningkatkan produktivitas dalam proses pengeboran. Sistem PSL yang terotomatisasi menghilangkan interaksi langsung manusia dengan rotary slip, mengurangi risiko cedera tangan dan sejalan dengan standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Penerapan teknologi pneumatik mengurangi konsumsi suku cadang (misalnya, penggantian dies slip) dan memperpanjang usia pakai peralatan, sehingga menurunkan biaya pemeliharaan jangka panjang. Analisis Finite Element Analysis (FEA) mengonfirmasi integritas struktural PSL, dengan faktor keamanan sebesar 2,005 dan defleksi maksimum 0,588 mm, yang masih dalam batas yang diizinkan (kekuatan luluh: 207 MPa, defleksi maksimum yang diizinkan: 3,8 mm).

DAFTAR PUSTAKA

- Center, Pertamina Learning, S. (2017). Handling Tools. In *Sleeping Preacher* (Issue Id). <https://doi.org/10.2307/j.ctt6wrb4c.46>
- Chikofsky, E. J., & Cross, J. H. (1990). Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy. *IEEE Software*, 7(1), 13–17. <https://doi.org/10.1109/52.43044>
- Hansen and Mowen. (2019). *Hansen & Mowen 2007-Managerial Accounting*, 8 Ed.
- Hollnagel, E. (2009). Safer complex industrial environments: A human factors approach. In *Safer Complex Industrial Environments: A Human Factors Approach*.
- Lewandowski, C. M., Co-investigator, N., & Lewandowski, C. M. (2015). Secrets of Reverse Engineering. In *The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference* (Vol. 1).

Pham, D. T., & Hieu, L. C. (2008). Reverse Engineering–Hardware and Software. In Springer Series in Advanced Manufacturing. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-856-2_3

Suhascaryo, N. (2020). Teknologi Peralatan Teknik Pemboran. [http://eprints.upnyk.ac.id/23938/1/TEKNOLOGI PERALATAN TEKNIK PEMBORAN.pdf](http://eprints.upnyk.ac.id/23938/1/TEKNOLOGI%20PERALATAN%20TEKNIK%20PEMBORAN.pdf).