

Analisis Daya Input, Daya Output, dan Efisiensi Air Winch Pneumatik pada Operasi Swabbing Sumur Minyak Tua

¹Ridho Rizqi Wahyogo, ²Ah. Sulhan Fauzi, ³Kuni Nadliroh

^{1,2,3} Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: ¹ridhowahyogo15@gmail.co.id, ²kuninadliroh@unpkediri.ac.id,

³sulhanfauzi@unpkediri.ac.id

Penulis Korespondens : Ridho Rizqi Wahyogo

Abstrak—Operasi *swabbing* merupakan salah satu metode intervensi sumur yang digunakan untuk mengangkat fluida dari sumur minyak tua guna mengurangi tekanan hidrostatik sehingga fluida reservoir dapat mengalir ke permukaan secara alami. Dalam pelaksanaannya, air winch pneumatik berperan sebagai alat utama untuk menaikkan dan menurunkan peralatan *swab*. Kinerja alat ini sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem dalam mengonversi energi udara bertekanan menjadi energi mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya input, daya output, dan efisiensi air winch pneumatik pada operasi *swabbing* sumur minyak tua di Bojonegoro. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif deskriptif dengan pengambilan data lapangan secara langsung. Parameter yang diamati meliputi tekanan udara, debit udara, beban kerja, waktu pengangkatan, dan jarak pengangkatan. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung daya input, daya output, serta efisiensi sistem pneumatik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan udara dari 5,0 bar menjadi 7,2 bar dan debit udara dari 2,1 m³/menit menjadi 3,0 m³/menit menyebabkan daya input meningkat dari 17.500 W menjadi 36.000 W, sedangkan daya output meningkat dari 2.289 W menjadi 4.316,40 W. Nilai efisiensi air winch pneumatik berada pada rentang 11,99%–13,12%, dengan efisiensi tertinggi diperoleh pada tekanan 6,0 bar dan debit udara 2,5 m³/menit. Meskipun daya output meningkat seiring bertambahnya daya input, efisiensi cenderung menurun pada tekanan yang lebih tinggi akibat adanya kehilangan energi yang disebabkan oleh kebocoran udara, gesekan mekanis, dan penurunan tekanan pada sistem distribusi udara. Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi operasional udara bertekanan memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja dan efisiensi air winch pneumatik pada operasi *swabbing* sumur minyak tua.

Kata Kunci— *air winch pneumatik, daya input, daya output, efisiensi, sumur minyak tua, swabbing.*

Abstract— *Swabbing operations are one of the well intervention methods used to remove fluids from mature oil wells in order to reduce hydrostatic pressure, allowing reservoir fluids to flow naturally to the surface. In this operation, a pneumatic air winch serves as the primary equipment for raising and lowering swabbing tools. The performance of this equipment is highly dependent on the system's ability to convert compressed air energy into mechanical energy. This study aims to analyze the input power, output power, and efficiency of a pneumatic air winch used in swabbing operations at mature oil wells in Bojonegoro. The research employed a descriptive quantitative method with direct field data collection. The observed parameters included air pressure, air flow rate, load, lifting time, and lifting distance. The collected data were then used to calculate input power, output power, and the efficiency of the pneumatic system. The results showed that an increase in air pressure from 5.0 bar to 7.2 bar and air flow rate from 2.1 m³/min to 3.0 m³/min caused the input power to increase from 17,500 W to 36,000 W, while the output power increased from 2,289 W to 4,316.40 W. The efficiency of the pneumatic air winch ranged from 11.99% to 13.12%, with the highest efficiency achieved at an air pressure of 6.0 bar and an air flow rate of 2.5 m³/min. Although the output power increased along with the input power, the efficiency tended to decrease at higher pressure levels due to energy losses caused by air leakage, mechanical friction, and pressure drops within the air distribution system. The study indicates that compressed air operating conditions have a significant*

influence on the performance and efficiency of pneumatic air winches in mature oil well swabbing operations.

Keywords— *efficiency, input power, mature oil wells, output power, pneumatic air winch, swabbing.*

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Sumur minyak tua merupakan sumur yang telah mengalami penurunan tekanan reservoir sehingga kemampuan fluida untuk mengalir secara alami ke permukaan menjadi semakin rendah. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya akumulasi fluida di dalam sumur (*liquid loading*) yang dapat menghambat produksi dan menurunkan produktivitas sumur. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah operasi swabbing. Swabbing merupakan metode intervensi sumur yang bertujuan mengangkat fluida dari dalam tubing untuk mengurangi tekanan hidrostatik sehingga tekanan reservoir mampu mendorong fluida formasi mengalir kembali ke permukaan. Metode ini banyak diterapkan pada sumur minyak tua karena relatif sederhana, ekonomis, dan tidak memerlukan pemasangan artificial lift permanen.[1]

Keberhasilan operasi swabbing sangat dipengaruhi oleh kinerja peralatan pengangkat yang digunakan. Salah satu peralatan utama dalam operasi ini adalah air winch pneumatik yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan peralatan swab secara berulang selama proses pengangkatan fluida.[2] Air winch pneumatik banyak digunakan pada lingkungan operasi minyak dan gas karena tidak menghasilkan percikan api, memiliki torsi awal yang tinggi, serta lebih aman digunakan pada area yang memiliki potensi atmosfer mudah terbakar dibandingkan sistem penggerak listrik. Namun demikian, sistem pneumatik umumnya memiliki efisiensi energi yang relatif rendah akibat adanya kebocoran udara, gesekan mekanis, dan kehilangan tekanan pada sistem distribusi udara.[3]

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas aspek teknis air winch pneumatik. Yuan dan Guo mengkaji optimasi katup pneumatik pada winch tipe XJFH-5×35 dan menunjukkan bahwa konfigurasi katup berpengaruh terhadap stabilitas aliran udara dan kinerja sistem.[4] Baris dkk. meneliti sistem penggerak pneumatik winch skala kecil dan menemukan bahwa konfigurasi motor pneumatik mempengaruhi efisiensi konversi energi udara menjadi energi mekanik.[5] Tuleja menjelaskan karakteristik mekanisme winch pneumatik dan hubungan antara aktuator pneumatik, transmisi daya, serta drum winch dalam menghasilkan gaya angkat. Di sisi lain, penelitian mengenai sistem pneumatik menunjukkan bahwa kebocoran udara dan penurunan tekanan distribusi merupakan penyebab utama rendahnya efisiensi energi pada sistem udara bertekanan.[6]

Meskipun berbagai penelitian telah membahas desain, komponen, dan mekanisme kerja air winch pneumatik, penelitian yang secara khusus menganalisis daya input, daya output, dan efisiensi air winch pneumatik pada operasi swabbing sumur minyak tua masih sangat terbatas.[7] Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada aspek desain komponen pneumatik atau simulasi sistem, sedangkan evaluasi kinerja aktual berdasarkan data lapangan pada operasi

swabbing belum banyak dilaporkan. Kesenjangan penelitian (research gap) tersebut menunjukkan perlunya kajian yang mampu memberikan gambaran nyata mengenai tingkat efisiensi energi air winch pneumatik dalam kondisi operasi sebenarnya.[8]

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis daya input, daya output, dan efisiensi air winch pneumatik pada operasi swabbing sumur minyak tua di Bojonegoro. Analisis dilakukan berdasarkan parameter tekanan udara, debit udara, beban kerja, waktu pengangkatan, dan jarak pengangkatan yang diperoleh secara langsung dari lapangan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai tingkat kinerja dan efisiensi sistem pneumatik, mengidentifikasi potensi kehilangan energi selama operasi berlangsung, serta menjadi dasar rekomendasi teknis untuk meningkatkan efektivitas penggunaan air winch pneumatik pada kegiatan swabbing sumur minyak tua.[9]

Penelitian ini memiliki kebaruan pada analisis langsung kinerja energi air winch pneumatik berdasarkan data operasional lapangan yang meliputi perhitungan daya input, daya output, dan efisiensi sistem selama operasi swabbing berlangsung. Dengan demikian, hasil penelitian tidak hanya memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang sistem pneumatik dan teknik perminyakan, tetapi juga dapat menjadi referensi bagi praktisi dalam meningkatkan efisiensi operasional pada sumur minyak tua.[10]

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang diterapkan dalam mengevaluasi kinerja *air winch pneumatik* pada proses *swabbing* di sumur minyak tua, Bijonegoro. Pengambilan data dilakukan secara langsung pada kondisi operasi normal dengan 10 kali pengamatan menggunakan *purposive sample* yang dilakukan langsung pada operasional normal tanpa manipulasi, menggunakan instrumen pendukung ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Instrument Pendukung

No	Alat	Fungsi
1	Air winch pneumatik	Objek penelitian dan alat pengangkat beban
2	Kompresor udara	Sumber tenaga pneumatik
3	Pressure gauge	Mengukur tekanan udara
4	Flow meter	Mengukur debit udara
5	Stopwatch	Mengukur waktu pengangkatan
6	Meteran	Mengukur jarak pengangkatan
7	Lembar pencatatan data	Mencatat hasil pengamatan

Variabel penelitian terdiri atas variabel bebas dan variabel terikat sebagaimana disajikan pada

Tabel 2. Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Parameter	Simbol	Satuan
Variabel bebas	Tekanan udara	P	bar
Variabel bebas	Debit udara	Q	m ³ /s
Variabel terikat	Beban kerja	W	kg

Variabel terikat	Kecepatan pengangkatan	v	m/s
Variabel terikat	Daya input	P _{in}	W
Variabel terikat	Daya output	P _{out}	W
Variabel terikat	Efisiensi	η	%

Data yang dikumpulkan meliputi tekanan udara, debit udara, beban kerja, waktu pengangkatan, dan jarak pengangkatan. Data tersebut digunakan untuk menghitung kecepatan pengangkatan, daya input, daya output, dan efisiensi sistem. Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Rumus Matematika.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{s}{t} \\
 P_{in} &= p \times Q \\
 P_{out} &= F \times V \\
 F &= m \times g \\
 n &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%
 \end{aligned} \tag{1}$$

Keterangan dari rumus-rumus tersebut adalah sebagai berikut:

V merupakan kecepatan (m/s), s adalah jarak (m), dan t adalah waktu (s). Untuk menghitung daya masuk (*P input*), digunakan parameter tekanan hidrolik/fluida *p* (N/m² atau Pa) dan debit aliran *Q* (m³/s). Sementara itu, daya keluar (*P output*) dihitung berdasarkan perkalian antara gaya *F* (N) dengan kecepatan *V* (m/s). Gaya *F* itu sendiri diperoleh dari massa benda *m* (kg) dikalikan dengan percepatan gravitasi *g* (m/s²). Terakhir, efisiensi sistem disimbolkan dengan *n* (dalam satuan persen, %).

Data hasil perhitungan dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi pengaruh tekanan udara dan debit udara terhadap daya input, daya output, serta efisiensi air winch pneumatik selama operasi swabbing.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Air Winch Pneumatik

Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali pada kondisi operasi swabbing sumur minyak tua dengan variasi tekanan udara antara 5,0–7,2 bar. Parameter yang diamati meliputi tekanan udara, beban angkat, kecepatan pengangkatan, torsi, dan kecepatan putaran air winch pneumatik.

Tabel 3. Parameter yang diamati

No	Tekanan (bar)	Beban (kg)	Kecepatan (m/s)	Torsi (Nm)	Putaran (rpm)
1.	5,0	350	0,67	343,35	64,0
2.	5,2	360	0,71	353,16	67,8
3.	5,5	370	0,75	362,97	71,6
4.	5,7	380	0,80	372,78	76,4
5.	6,0	390	0,86	382,59	82,1
6.	6,2	400	0,86	392,40	82,1
7.	6,5	410	0,92	402,21	87,9
8.	6,7	420	0,92	412,02	87,9
9.	7,0	430	1,00	421,83	95,5
10.	7,2	440	1,00	431,64	95,5

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan udara menyebabkan peningkatan kemampuan angkat air winch pneumatik. Beban yang mampu diangkat meningkat dari 350 kg menjadi 440 kg. Kenaikan tersebut juga diikuti oleh peningkatan kecepatan pengangkatan, torsi, dan putaran motor pneumatik.

B. Daya Input Dan Daya Output

Daya input dan daya output air winch pneumatik mengalami peningkatan seiring bertambahnya tekanan udara selama operasi swabbing. Pada penelitian ini, daya input meningkat dari 17.500 W pada tekanan 5,0 bar menjadi 36.000 W pada tekanan 7,2 bar, sedangkan daya output meningkat dari 2.289 W menjadi 4.316,40 W. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar energi udara bertekanan yang disuplai ke sistem, semakin besar pula energi mekanik yang dihasilkan untuk mengangkat beban. Namun, laju peningkatan daya input lebih besar dibandingkan daya output, sehingga efisiensi sistem cenderung menurun pada tekanan yang lebih tinggi. Kondisi ini mengindikasikan adanya kehilangan energi yang disebabkan oleh kebocoran udara, penurunan tekanan pada saluran distribusi, dan gesekan mekanis pada komponen air winch.

C. Analisis Efisiensi Air Winch Pneumatik

Efisiensi merupakan perbandingan antara daya output terhadap daya input. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh efisiensi air winch pneumatik berada pada rentang **11,99–13,12%**. Efisiensi tertinggi diperoleh pada tekanan **6 bar** dengan nilai sekitar **13,12%**, sedangkan setelah tekanan dinaikkan hingga 7,2 bar efisiensi mengalami sedikit penurunan meskipun daya output terus meningkat. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa tidak seluruh energi udara bertekanan berhasil diubah menjadi energi mekanik. Sebagian energi hilang akibat beberapa faktor, antara lain:

- 1) kebocoran udara pada sambungan pipa,
- 2) pressure drop pada sistem distribusi,
- 3) gesekan pada gearbox dan drum winch,
- 4) rugi-rugi mekanis motor pneumatik,
- 5) kehilangan energi akibat temperatur udara terkompresi.

Penurunan efisiensi pada tekanan tinggi merupakan karakteristik umum sistem pneumatik karena peningkatan tekanan akan meningkatkan rugi-rugi aliran udara dan kebocoran internal.

D. Pembahasan

Peningkatan tekanan udara memberikan pengaruh positif terhadap daya input dan daya output air winch pneumatik karena energi udara bertekanan yang masuk ke sistem semakin besar. Namun, peningkatan daya input tidak selalu diikuti oleh peningkatan efisiensi. Pada tekanan di atas 6,0 bar, efisiensi cenderung menurun akibat adanya kehilangan energi berupa kebocoran udara (*air leakage*), penurunan tekanan (*pressure drop*), dan gesekan mekanis pada komponen transmisi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian-penelitian terbaru yang menyatakan bahwa efisiensi sistem pneumatik sangat dipengaruhi oleh kualitas distribusi udara bertekanan dan kondisi komponen mekanis. Oleh karena itu, pengoperasian air winch pada tekanan optimum lebih efektif untuk memperoleh keseimbangan antara daya keluaran dan konsumsi energi, sehingga kinerja operasi swabbing pada sumur minyak tua dapat ditingkatkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa tekanan udara berpengaruh terhadap kinerja air winch pneumatik pada operasi swabbing sumur minyak tua. Peningkatan tekanan udara dari 5,0 bar menjadi 7,2 bar menyebabkan daya input meningkat dari 17.500 W menjadi 36.000 W dan daya output meningkat dari 2.289 W menjadi 4.316,40 W. Efisiensi sistem berada pada rentang 11,99–13,12%, dengan nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada tekanan 6,0 bar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan udara mampu meningkatkan kemampuan pengangkatan air winch, namun tidak selalu meningkatkan efisiensi karena adanya kehilangan energi pada sistem pneumatik. Oleh karena itu, pengoperasian pada tekanan optimum diperlukan untuk memperoleh kinerja yang lebih efektif dan efisien pada operasi swabbing sumur minyak tua

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Abela, P. Refalo, and E. Francalanza, "Analysis of pneumatic parameters to identify leakages and faults on the demand side of a compressed air system," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 6, p. 100355, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.clet.2021.100355.
- [2] L. Sales Rodrigues De Oliveira, A. Nascimento, D. Zuliani Mantegazini, and N. Nascimento, "Drilling optimization of petroleum wells: A data analysis of the drilling fluid flow-rate influence in ROP," *Lat. Am. J. Energy Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 59–66, Jul. 2021, doi: 10.21712/lajer.2021.v8.n1.p59-66.
- [3] Z. Jiang, W. Xiong, H. Du, Z. Wang, and L. Wang, "Energy-saving methods in pneumatic actuator stroke using compressed air," *J. Eng.*, vol. 2021, no. 5, pp. 241–251, May 2021, doi: 10.1049/tje2.12000.
- [4] D. Czopek, D. Gryboś, J. Leszczyński, and J. Wiciak, "Identification of energy wastes through sound analysis in compressed air systems," *Energy*, vol. 239, p. 122122, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2021.122122.

- [5] M. Cheng, L. Yu, J. Gao, G. Lei, and Z. Zhang, "Isolating, identifying and evaluating of oil degradation strains for the air-assisted microbial enhanced oil recovery process," PLOS ONE, vol. 16, no. 1, p. e0243976, Jan. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0243976.
- [6] Y. Shi, M. Cai, W. Xu, and Y. Wang, "Methods to Evaluate and Measure Power of Pneumatic System and Their Applications," Chin. J. Mech. Eng., vol. 32, no. 1, p. 42, Dec. 2019, doi: 10.1186/s10033-019-0354-6.
- [7] X.-Y. Chen, T. Cao, K.-A. Yu, D.-L. Gao, J. Yang, and H.-S. Wei, "Numerical and experimental investigation on the depressurization capacity of a new type of depressure-dominated jet mill bit," Pet. Sci., vol. 17, no. 6, pp. 1602–1615, Dec. 2020, doi: 10.1007/s12182-020-00472-8.
- [8] V. Ramba, S. Selvaraju, S. Subbiah, M. Palanisamy, and A. Srivastava, "Optimization of drilling parameters using improved play-back methodology," J. Pet. Sci. Eng., vol. 206, p. 108991, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.petrol.2021.108991.
- [9] X. Zhang, L. Lang, X. Zhang, H. Lv, and N. Gao, "Performance Prediction Model of Dynamic Pressure Oil-Air Separator," Int. J. Aerosp. Eng., vol. 2021, pp. 1–13, Feb. 2021, doi: 10.1155/2021/6665869.
- [10] K. Abela, E. Francalanza, and P. Refalo, "Utilisation of a compressed air test bed to assess the effects of pneumatic parameters on energy consumption," Procedia CIRP, vol. 90, pp. 498–503, 2020, doi: 10.1016/j.procir.2020.01.119.