

Analisis Perubahan Frekuensi Motor Listrik Penggerak Pompa Hidrolik Terhadap *Well Tractor Performance*

Lia Pongsapan^{1*}, Raditio Rahar², Gunawan³

^{1,2,3}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Balikpapan

*Email: lia.pongsapan@uniba-bpn.ac.id

Abstract

Well tractor is a crucial tool in the oil and gas industry that enhances efficiency and productivity. This research aims to analyze the impact of changing the frequency of the electric motor driving the hydraulic pump on the performance of the well tractor. The experimental design involves using a well tractor with an electric motor whose frequency can be varied from 30 Hz to 60 Hz as the independent variable. At the same time, pull force and speed serve as dependent variables. The pull force on the well tractor is measured using a load cell, while speed is calculated using a digital tachometer. The research results indicate a positive and significant relationship between the frequency of the electric motor and the pull force and speed of the well tractor. As the frequency of the electric motor increases, so does the pull force and speed of the well tractor. The increase in pull force on the well tractor is caused by the increase in the rotational speed of the hydraulic pump, which is proportional to the frequency of the electric motor. This research demonstrates that using an electric motor with a higher frequency can enhance the performance of the well tractor. However, it should be noted that increasing the frequency of the electric motor can also lead to higher power consumption. Therefore, an economic analysis is necessary to determine the optimal frequency of the electric motor.

Keywords: Well tractor, electric motor, hydraulic pump, frequency, pull force, speed, performance

Abstrak

Well tractor merupakan alat penting dalam industri minyak dan gas yang mampu meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan frekuensi motor listrik penggerak pompa hidrolik terhadap kinerja well tractor. Desain eksperimental menggunakan well tractor dengan motor listrik yang frekuensinya dapat divariasikan dari 30 Hz hingga 60 Hz sebagai variable independen, sedangkan pull force dan speed sebagai variable dependen. Pull force pada well tractor diukur dengan menggunakan loadcell, sementara untuk mengukur speed menggunakan tachometer digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif dan signifikan antara frekuensi motor listrik dengan pull force dan speed pada well tractor. Semakin tinggi frekuensi motor listrik, semakin besar pula pull force dan speed well tractor. Peningkatan pull force pada well tractor disebabkan oleh peningkatan kecepatan putaran pompa hidrolik yang sebanding dengan frekuensi motor listrik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan motor listrik dengan frekuensi yang lebih tinggi dapat meningkatkan kinerja well tractor. Namun, perlu diperhatikan bahwa peningkatan frekuensi motor listrik juga dapat meningkatkan konsumsi daya listrik. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis ekonomi untuk menentukan frekuensi motor listrik yang optimal.

Kata kunci: Well tractor, motor listrik, pompa hidrolik, frekuensi, tarikan, kecepatan, kinerja

1. Pendahuluan

Dalam konteks kebutuhan energi yang semakin besar, minyak bumi dan gas tetap menjadi komoditas vital yang memainkan peran utama dalam penyediaan energi dunia,

meskipun terdapat perkembangan pesat dalam teknologi energi baru terbarukan [1]. Sebagai respons terhadap kompleksitas industri migas, terutama dalam hal eksplorasi dan produksi migas, berbagai teknologi inovatif terus

dikembangkan untuk meningkatkan ekonomi dan efisiensi proses produksi migas dari hulu ke hilir [2].

Salah satu tonggak penting dalam perkembangan teknik pengeboran migas adalah penerapan pengeboran sumur dengan sudut kemiringan tinggi. Teknik ini memungkinkan pemboran melalui sumur vertikal yang sudah ada, membuka peluang untuk mengebor pada zona reservoir atau kantong minyak/gas yang potensial dengan biaya yang lebih efisien [3], [4].

Namun, pengeboran pada sudut kemiringan tinggi menghadirkan tantangan khusus, terutama dalam melakukan wireline intervention dan pengambilan data pada sumur migas. Sebelum diperkenalkannya *well tractor*, metode pipe-conveyance merupakan satu-satunya opsi untuk pekerjaan semacam itu, memerlukan rig atau unit coiled-tubing (CT) dengan biaya tinggi dan risiko yang lebih besar [5].

Well tractor, sebagai salah satu teknologi terbaru dalam industri migas, menyediakan solusi yang lebih efisien dan ekonomis [6]. Penggerak utama pada *well tractor* adalah motor listrik arus AC 3 fase yang dikendalikan oleh sistem elektronik. Pengaturan frekuensi pada elektronik menjadi kunci untuk mengoptimalkan kecepatan dan daya tarik (pull force) *well tractor* [7].

Penelitian terkait *well tractor* telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu sebelumnya [8][9][10], yang menunjukkan pentingnya topik ini dikaji dan diteliti secara mendalam. Penelitian terkait *well tractor* diawali oleh penelitian yang dilakukan oleh Jørgen Hallundbæk yang memperkenalkan sebuah perangkat *well tractor* untuk penggunaan pada sumur dengan sudut kemiringan tinggi dan horizontal [8]. Penelitian lainnya mengembangkan teknologi terbaru terkait jalur listrik pada *well tractor* untuk menghasilkan peningkatan efisiensi kerja dan kapasitas misi yang lebih baik [9]. Semakna dengan penelitian sebelumnya, Shiong, dkk juga mengembangkan *well tractor* untuk mendukung pelacakan desain sumur baru [10]. Namun, penelitian terkait perubahan frekuensi

motor listrik penggerak pompa hidrolik terhadap performance *well tractor* tidak ditemukan dalam literature dan belum pernah diteliti sebelumnya sehingga menjadi kebaruan dalam riset ini.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan variasi frekuensi pada sistem elektronik *well tractor* dengan harapan dapat mempengaruhi RPM (putaran per menit) motor listrik. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan kecepatan dan daya tarik pada *well tractor*. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan panduan berharga bagi praktisi dalam pemilihan frekuensi elektronik yang sesuai dengan karakteristik kemiringan sumur minyak/gas dan perkiraan beban yang akan diatasi oleh *well tractor*. Diharapkan, penelitian ini berpotensi memberikan kontribusi signifikan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan ekonomi dalam industri migas.

2. Metode Penelitian

2.1. Instrumen penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen berbasis *well tractor* untuk mengevaluasi pengaruh perubahan frekuensi pada motor listrik terhadap kinerja *well tractor*. *Well tractor* yang digunakan adalah *well tractor* 218 XR dengan spesifikasi sebagaimana tertera di Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Well Tractor* 218 XR

<i>Specification</i>	<i>Imperial</i>	<i>Metric</i>
<i>Length</i>	16 ft	4.9 m
<i>Running OD Nominal</i>	2 1/8"	54 mm
<i>Weight in Air</i>	175 lbs	79 Kg
<i>OH/Completion ID Range</i>	2.2" - 9.1"	56 mm - 231 mm
<i>Optimized Force Configuration</i>	800 lbs @1200 ft/hr	360 Kg @ 370 m/hr
<i>Optimized Speed Configuration</i>	400 lbs @ 3600 ft/hr	180 Kg @ 1,100 m/hr
<i>Maximum Well Pressure</i>	20,000 psi	137 Mpa (1,379 Bar)
<i>Maximum Well Temperature</i>	302 °F	150 °C
<i>Tensile Strength</i>	36,000 lbs	16,300 Kg
<i>Compressive Strength</i>	30,000 lbs	13,600 Kg

DCPS control panel yang digunakan dengan input voltage 380 - 440 VAC, 3p 50-60 Hz, dan input arus 22A. Alat ini digunakan untuk mengontrol *well tractor* dalam bekerja, termasuk memvariasikan frekuensi yang diberikan pada *well tractor* pada penelitian ini. Secara umum spesifikasi lengkap *DCPS control panel* yang digunakan disajikan pada table 2. Sementara untuk menghubungkan antara *well tractor* dengan perangkat *DCPS control panel* menggunakan *test cable*. Adapun alat untuk mengukur *pull force* digunakan *loadcell* dan pengukuran *speed* pada *well tractor* menggunakan *digital tachometer*.

Tabel 2. Spesifikasi *DCPS Control Panel*

Name	DC Power Supply
Part Number	DCPS014 and DCPS005
Input Voltage	380 - 440 VAC, 3p 50-60 Hz
Input Current	22A
Output Voltage	0-1200 VDC
Output Current	0-10A
Operating Temperature	-20 to 45 °C
Storage Temperature	-40 to 85 °C
Weight: DCPS014:	24 kg
Weight: DCPS005:	37 kg and 39 kg
Dimensions: DCPS014:	180 x 520 x 450 mm
Dimensions: DCPS005:	315 x 520 x 450 mm

2.2. Prosedur penelitian

Prosedur penelitian dimulai dengan langkah persiapan, pada tahapan ini semua alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian perlu dipersiapkan. Dalam penelitian ini, peralatan dan bahan yang diperlukan yaitu *well tractor* dengan motor listrik yang frekuensinya dapat divariasikan, *control panel*, *test cable*, *tubing*, *load cell*, dan *tacho meter digital*. Sebelum melakukan pengukuran, terlebih dahulu perlu dilakukan perakitan dan pengisian oli hidrolik pada *well tractor* dan pemasangan elektronik modul.

Langkah selanjutnya melakukan persiapan dengan menhidupkan *well tractor*, Pemasangan *test cable* dari Panel DCPS ke *well tractor*, Pemasangan kabel *grounding* pada tubing dan mengatur variasi frekuensi pada motor listrik *well tractor* sesuai dengan variasi yang ditentukan. Selanjutnya melakukan pengukuran dimulai dengan memasukkan *well tractor* kedalam *tubing* 7 inchi, selanjutnya dilakukan pemasangan *loadcell* untuk mengukur *pull force* pada ujung *well tractor*. *Tachometer* digunakan untuk mengukur kecepatan saat *well tractor* melaju pada *tubing* 7 inchi. hasil pengujian untuk setiap variasi frekuensi masing - masing dilakukan pengukuran untuk *pull force* dan *speed well tractor* yang tertera pada alat ukur.

2.3. Variabel penelitian

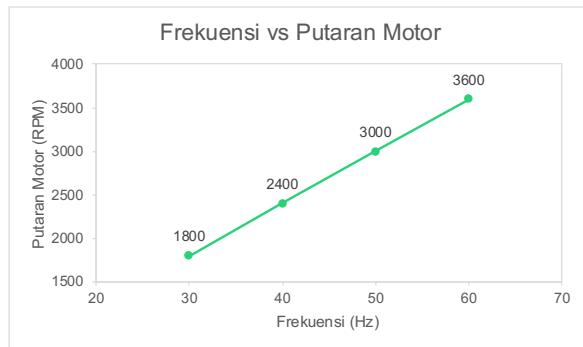
Variabel penelitian yang digunakan yaitu:

- Variabel bebas, yang meliputi: frekuensi modul elektronik penggerak motor (30 Hz, 40 Hz, 50 Hz dan 60 Hz). Frekuensi maksimum yang diijinkan untuk *well tractor* jenis ini adalah 60 Hz.
- Variabel terikat, yang meliputi: *pull force* (Kg) dan Speed (m/menit)
- Variabel kontrol, yang meliputi: temperatur ruangan (25 - 32°C), tekanan atmosfer (1 atm) dan oli hidrolik Castrol Alphasyn T32.

3. Hasil dan Pembahasan

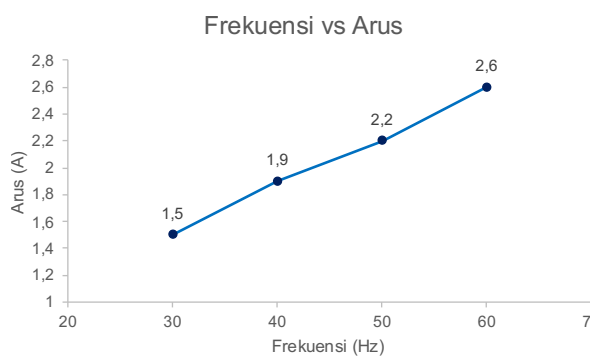
3.1. Hubungan antara frekuensi dengan putaran dan arus pada motor listrik

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai input frekuensi yang diberikan pada motor listrik kemudian melakukan pengukuran output putaran dan arus pada motor listrik. Variasi frekuensi yang diberikan diawali pada nilai 30 Hz hingga 60 Hz, dengan rentang perubahan sebesar 10 Hz untuk setiap variasinya. Nilai variasi ini, berbeda dengan riset yang telah dilakukan sebelumnya dengan variasi yang diberikan dimulai pada frekuensi 10 Hz hingga 60 Hz [11].



Gambar 1. Grafik hubungan antara frekuensi terhadap putaran motor listrik

Gambar 1, menunjukkan grafik nilai putaran yang dihasilkan dengan variasi input frekuensi yang diberikan pada motor listrik, sementara gambar 2 memperlihatkan grafik besarnya perubahan arus pada motor listrik seiring dengan variasi input frekuensi yang diberikan. Baik gambar 1 dan 2 menunjukkan hubungan yang positif antara input frekuensi dengan arus kecepatan putaran motor listrik, dimana arus dan kecepatan putaran meningkat secara linear seiring dengan peningkatan frekuensi motor listrik yaitu semakin tinggi frekuensi motor listrik, semakin tinggi pula arus dan kecepatan putaran yang dihasilkan.



Gambar 2. Grafik hubungan antara frekuensi terhadap arus motor listrik

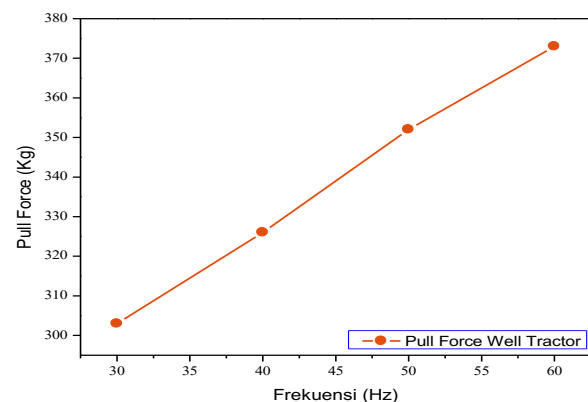
Pada gambar 1 terlihat bahwa nilai putaran yang dihasilkan motor listrik pada frekuensi 30 Hz sebesar 1800 rpm, untuk frekuensi 40 Hz, kecepatan putaran motor listrik adalah 2400 rpm. Untuk frekuensi 50 Hz, kecepatan putaran motor listrik adalah 3000 rpm, dan untuk frekuensi 60 Hz, kecepatan putaran motor

listrik adalah 3600 rpm. Sementara pada gambar 2 menunjukkan grafik besarnya arus yang dihasilkan pada frekuensi 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz, dan 60 Hz sebesar 1,5 A, 1,9 A, 2,2 A, dan 2,9 A berturut-turut.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa output arus kecepatan putaran motor listrik sebanding dengan frekuensinya [11]–[15]. Hal ini dikarenakan frekuensi motor listrik menentukan jumlah pulsa tegangan dan arus yang diberikan kepada motor listrik. Semakin tinggi frekuensi motor listrik, semakin banyak pulsa tegangan dan arus yang diberikan kepada motor listrik. Hal ini menyebabkan kecepatan putaran motor listrik meningkat.

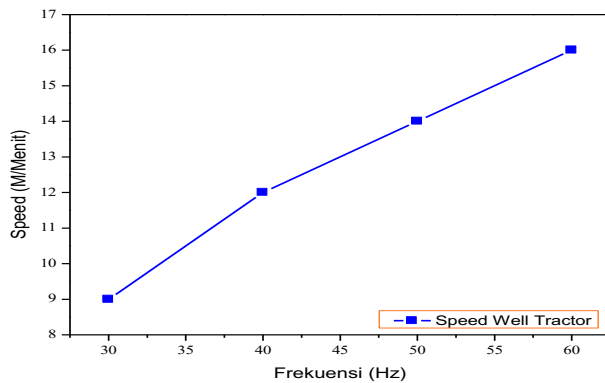
3.2. Hubungan antara frekuensi dengan *pull force* dan *speed well tractor*

Pengujian dilakukan untuk menganalisis perubahan nilai *pull force* dan *speed* pada *well tractor* dengan memvariasikan nilai frekuensi pada motor listrik. Varian frekuensi yang diuji meliputi 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz, dan 60 Hz. Gambar 3 menyajikan hubungan antara frekuensi *input* motor listrik (Hz) dan *pull force* pada *well tractor* (kg). Data pada grafik menunjukkan bahwa nilai terkecil *pull force* yang diperoleh sebesar 303 kg pada frekuensi 30 Hz, dan hal ini terus mengalami peningkatan dan terbesar pada frekuensi 60 Hz sebesar 373 Kg. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan linier positif antara frekuensi motor listrik dan *pull force* pada *wheel arm*.



Gambar 3. Grafik hubungan antara frekuensi terhadap *pull force*

Sementara pada gambar 4 menunjukkan hubungan frekuensi motor listrik (Hz) dan *speed* pada *well tractor* (M/Menit). Data menunjukkan nilai terkecil nilai *speed well tractor* diperoleh sebesar 9 M/Menit pada frekuensi motor listrik 30 Hz yang bertepatan pada output putaran motor. Sedangkan nilai terbesar diperoleh sebesar 16 m/menit pada frekuensi input 60 Hz. Hal ini menunjukkan makin besar nilai frekuensi pada motor listrik maka makin besar pula nilai *speed* pada *wheel arm well tractor*.



Gambar 4. Grafik hubungan antara frekuensi terhadap kecepatan

Dari data yang diperoleh, dapat diidentifikasi bahwa terdapat kecenderungan linier positif antara frekuensi motor listrik dengan *pull force* dan *speed* pada *wheel arm well tractor*. Peningkatan frekuensi menyebabkan peningkatan signifikan dalam daya tarik yang dihasilkan oleh sistem. Hal ini dapat diartikan bahwa pengaturan frekuensi motor listrik memiliki pengaruh langsung terhadap kinerja *well tractor*, khususnya dalam hal daya tarik dan *speed wheel arm* yang dihasilkan.

Peningkatan kecepatan putaran pompa hidrolik yang disebabkan oleh peningkatan frekuensi motor listrik dapat meningkatkan kinerja *pull force* dan *speed* pada *well tractor*. Hal ini dikarenakan kecepatan putaran pompa hidrolik menentukan laju aliran fluida yang dipompa. Semakin tinggi kecepatan putaran pompa hidrolik, semakin tinggi pula laju aliran fluida yang dipompa [16].

Tabel 3. Persentase kenaikan *pull force* dan *speed*

Frekuensi (Hz)	<i>Pull Force</i> (Kg)	Persentase Kenaikan (%)	Kecepatan (m/menit)	Persentase Kenaikan (%)
30	303	0,00%	9	0,00%
40	326	7,59%	12	33,33%
50	352	7,98%	14	16,67%
60	373	5,97%	16	14,29%

Kecepatan putaran motor listrik terhadap *pull force* pada *well tractor* dapat dijelaskan dengan teori mekanika. *Pull force* adalah gaya tarik yang dihasilkan oleh *well tractor*. Pada Table 3 menunjukkan persentase kenaikan *pull force* dan *speed*. Semakin tinggi frekuensi elektronik, semakin tinggi kecepatan putaran motor listrik, makin besar putaran motor listrik, maka makin besar pula laju aliran fluida yang di pompa oleh pompa hidrolik sehingga memberikan power yang lebih besar kepada *well tractor* sehingga memberikan *pull force* yang besar pula, karena besarnya power dari *well tractor* juga akan berdampak pada kecepatan *well tractor* dalam membawa atau menarik beban.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, telah dilakukan investigasi dampak perubahan frekuensi motor listrik terhadap kinerja *well tractor*, dengan fokus pada *pull force* dan *speed*. Hasil analisis menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara frekuensi motor listrik dengan *pull force* dan *speed* pada *well tractor*. Semakin tinggi frekuensi motor listrik, semakin besar *pull force* dan *speed* yang dihasilkan oleh *well tractor*. Data yang diperoleh dari hasil uji *pull force* dan *speed* pada penelitian juga telah sesuai standar yang telah ditetapkan oleh produsen pembuat *well tractor*.

Temuan ini memberikan pemahaman lebih mendalam tentang pengaruh variabel frekuensi terhadap kinerja sistem, dan dapat menjadi landasan penting dalam pengembangan teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas *well tractor* sesuai aplikasi yang dibutuhkan khususnya pada industri migas.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Roy *et al.*, "A Review of Nanomaterials and their Applications in Oil and Petroleum Industries," *Nano Express*, 2023.
- [2] M. Araujo, "Technology Focus: Production Monitoring (March 2023)," *J. Pet. Technol.*, vol. 75, no. 03, pp. 60–61, 2023.
- [3] K. Al-Ajmi, S. Al-Omani, N. Al-Shuaibi, M. Tuhami, and M. Belhouichet, "Successful Multi Wells Geomechanics Feasibility in Burgan Field to Drill High Angle Wells," in *SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference*, OnePetro, 2019.
- [4] M. Tomar, A. Verma, and A. Jaiswal, "Torque and Drag Analysis in ERD Wells," *Int. J. Manag. IT Eng.*, vol. 9, no. 6, pp. 39–53, 2019.
- [5] S. McCormick *et al.*, "Recent Technological Advances Provide Highly Efficient and Reduced Risk Solutions for Conveying Wireline Formation Evaluation Toolstrings in Deepwater Operations," in *SPE Symposium Compilation*, SPE, 2021, p. D011S003R002.
- [6] S. Murchie, G. McNally, B. Tinnen, and R. Worsman, "Recent Electric Line Tractor Technology Developments Deliver Significantly Increased Job Efficiency, Increased Payload Capability, and Improved Mission Certainty," in *SPE/ICoTA Well Intervention Conference and Exhibition*, SPE, 2020, p. D021S012R002.
- [7] K. Hatakeyama, "Electric-motor driving device and refrigeration-cycle application apparatus including electric-motor driving device." Google Patents, Jul. 20, 2021.
- [8] J. Hallundbæk, "Well tractors for highly deviated and horizontal wells," in *SPE Europec featured at EAGE Conference and Exhibition?*, SPE, 1994, p. SPE-28871.
- [9] I. J. Efficiency and I. P. Capability, "SPE-199839-MS Recent Electric Line Tractor Technology Developments Deliver Significantly Increased Job Efficiency, Increased Payload Capability, and Improved Mission Certainty," 2020.
- [10] L. F. Shiong, J. P. Collins, and B. Schwanitz, "IADC / SPE 115202 Wireline Tractor Technology Supports Fast Tracking New Well Design," no. August, pp. 25–27, 2008.
- [11] A. Indriani, "Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial," vol. 9, no. 2.
- [12] N. Evalina and A. Arfis, "Penggunaan Inverter 3G3MX2 Untuk Merubah Kecepatan Putar Motor Induksi 3 Fasa," vol. 4, no. 2, pp. 93–96, 2019.
- [13] E. S. Nasution and A. Hasibuan, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P," vol. 2, no. 1, pp. 25–34, 2018.
- [14] Z. Anthony, "Pengaruh perubahan frekuensi dalam sistem pengendalian kecepatan motor induksi 3-fasa terhadap efisiensi dan arus kumparan motor," pp. 25–29.
- [15] D. M. Induksi, "Studi pengaruh perubahan frekuensi sumber terhadap faktor daya motor induksi 3-fasa," pp. 49–52.
- [16] H. Ding, J. Zhao, G. Cheng, S. Wright, and Y. Yao, "The influence of valve-pump weight ratios on the dynamic response of leaking valve-pump parallel control hydraulic systems," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 7, p. 1201, 2018.