

ANALISIS PENGARUH SUHU DAN TEKANAN PADA CARGO HEATER TERHADAP KECEPATAN ALIRAN PADA BONGKAR MUAT KAPAL TANKER LPG

Muhammad Fharhan Fazlih^{1*}, Tri Haryanto², Henna Nurdiansari³, Firdaus Sitepu⁴

^{1,2,3,4}Teknologi Rekayasa Operasi Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya

*Email: fharhanfazlih123@gmail.com

(Received: 02-04-2025; Reviewed: 14-04-2025; Revised: 29-04-2025; Accepted: 02-05-2025; Published: 26-05-2025)

ABSTRACT

This study examines the effect of temperature and pressure at the cargo heater on the flow rate of LPG during the discharge and loading process on the LPG tanker ship. The main problem is the freezing of LPG (propane and butane) in cold climates which hinders the smooth flow and slows down the discharge and loading process. The research objective is to analyze the effectiveness of heating through cargo heater in reducing the viscosity of LPG and to identify the dominant factors that affect the flow speed. The method used is causal quantitative with multiple linear regression analysis, supported by direct observation data during the discharge and loading process and data processing through statistical software. The results showed that pressure partially had a significant effect on increasing flow rate, while temperature showed no significant effect partially. However, temperature and pressure variables were simultaneously shown to increase LPG flow rate. The conclusion of the study states that proper pressure regulation with adequate temperature support is the key to the efficiency of the discharge and loading process. The implication of the research is the optimization of cargo heater design based on pressure regulation to improve operational performance on gas tankers.

Keywords: LPG, Cargo Heater, Temperature, Pressure, Flow Rate, Discharge & Loading

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji pengaruh suhu dan tekanan pada cargo heater terhadap kecepatan aliran LPG selama proses bongkar muat di kapal tanker LPG. Permasalahan utama adalah pembekuan LPG (propana dan butana) di daerah beriklim dingin yang menghambat kelancaran aliran dan memperlambat proses bongkar muat. Tujuan penelitian adalah menganalisis efektivitas pemanasan melalui *cargo heater* dalam mengurangi viskositas LPG serta mengidentifikasi faktor dominan yang memengaruhi kecepatan aliran. Metode yang digunakan adalah kuantitatif kausal dengan analisis regresi linear berganda, didukung data observasi langsung selama proses bongkar muat dan pengolahan data melalui perangkat lunak statistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan secara parsial berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kecepatan aliran, sementara suhu tidak menunjukkan pengaruh signifikan secara parsial. Namun, variabel suhu dan tekanan secara simultan terbukti meningkatkan kecepatan aliran LPG. Simpulan penelitian menyatakan bahwa regulasi tekanan yang tepat dengan dukungan suhu yang memadai menjadi kunci efisiensi proses bongkar muat. Implikasi dari penelitian adalah optimasi desain cargo heater berbasis pengaturan tekanan untuk meningkatkan kinerja operasional di kapal tanker gas.

Kata kunci: LPG; Cargo Heater; Suhu; Tekanan; Kecepatan Aliran; Bongkar Muat.

PENDAHULUAN

Industri pelayaran memegang peranan penting dalam bidang pengangkutan LPG. Untuk memenuhi kebutuhan sumber energi di banyak wilayah, LPG diproduksi secara masif serta didistribusikan ke berbagai daerah dengan moda transportasi laut maupun darat. Pengangkutan LPG melalui jalur laut masih menjadikan kapal sebagai moda transportasi yang banyak digunakan hingga saat ini. Kapal yang digunakan adalah kapal tanker berjenis gas, yaitu kapal yang sengaja dibuat khusus untuk mengangkut muatan berjenis gas cair (White, 1996). Kapal tanker LPG milik PT. X berperan aktif dalam mendistribusikan energi gas ke berbagai titik di Indonesia. Kapal tanker yang merupakan salah satu kapal pengangkut gas dengan tipe pendinginan penuh (*full refrigerated*) yang muatannya disimpan pada tangki bertekanan dengan suhu rendah. Tujuannya untuk menjaga LPG agar tetap dalam kondisi cair selama perjalanan panjang sehari-hari mengingat sifat LPG yang cepat memuai jika terkena panas matahari dan mudah menguap jika bereaksi dengan udara bebas (Syukur, 2011).

Pendistribusian LPG dengan moda transportasi laut tidaklah mudah. Kendala yang sering dihadapi adalah perubahan suhu dingin yang umumnya mempunyai tekanan udara yang rendah sehingga dapat membuat pipa-pipa pemuatan yang ada di deck menjadi dingin. Hal ini bisa menyebabkan muatan LPG membeku saat proses bongkar muat. Tindakan yang bisa dilakukan untuk menangani masalah tersebut adalah pemanasan muatan (*cargo heating*) menggunakan pemanas muatan (*cargo heater*). *Cargo heater* merupakan suatu alat atau sistem yang digunakan oleh kapal untuk menjaga dan mengatur suhu muatan tetap stabil dan sesuai porsi mengingat sifat dari muatan LPG yang dengan mudah mengalami perubahan kenaikan dan penurunan suhu (fluktuasi).

Suhu atau temperatur didefinisikan sebagai ukuran makroskopik dari keadaan termal suatu sistem, yang mencerminkan distribusi energi kinetik rata-rata partikel-partikel dalam sistem tersebut (Bormashenko, 2020; Larasati, 2020). Dalam proses bongkar muat LPG, suhu memainkan peran penting dalam menjaga bentuk LPG agar tetap cair, karena gas alam seperti LPG berada dalam bentuk cair pada tekanan tinggi dan suhu rendah (Prayogo et al., 2018). Suhu LPG akan mempengaruhi keberadaannya dalam bentuk cair atau gas. Jika suhu lebih tinggi LPG akan cenderung menguap menjadi gas, sedangkan pada suhu rendah, LPG tetap berada dalam bentuk cair (King et al., 2024).

Tekanan didefinisikan sebagai besarnya gaya tiap satuan luas (Sartika & Wulandari, 2020). Pendapat serupa dikemukakan oleh Kuhtz (2014) yang menyatakan bahwa tekanan merupakan satuan fisika yang menunjukkan besaran gaya per satuan luas. Gaya yang dimaksud dalam tekanan adalah gaya tegak lurus terhadap permukaan suatu objek (Razzaaq et al., 2024). Dalam proses pembongkaran LPG, muatan disalurkan dari tangki bertekanan tinggi ke sistem penyimpanan yang lebih rendah tekanannya. Perbedaan tekanan ini menyebabkan LPG mengalir melalui pipa menuju fasilitas penyimpanan.

Hukum Poiseuille (1840) menyatakan laju aliran suatu fluida bergantung pada viskositas, panjang pipa, dan perbedaan tekanan antara ujung-ujung pipa (Arianto et al., 2022). Di mana kecepatan aliran berbanding lurus dengan tekanan diferensial dan berbanding terbalik dengan viskositas dan panjang pipa. Dalam konteks pembongkaran LPG adalah tingkat laju perpindahan muatan LPG dari tangki penyimpanan kapal ke fasilitas penerima melalui sistem perpipaan, biasanya dinyatakan dalam satuan volume per waktu seperti ton/jam atau m³/jam.

Asumsinya pada penelitian ini adalah kecepatan aliran mengacu pada laju perpindahan fluida (dalam hal ini LPG) dari satu tempat ke tempat lain dalam sistem. Kecepatan aliran ini sangat dipengaruhi oleh tekanan, suhu, viskositas, desain dan panjang pipa. Semakin besar perbedaan tekanan, semakin cepat LPG akan mengalir. Selain itu, pada suhu yang lebih tinggi, viskositas LPG cenderung lebih rendah, yang dapat meningkatkan kecepatan aliran. Ukuran pipa juga mempengaruhi kecepatan aliran, semakin panjang ukuran pipa maka kecepatan aliran semakin lambat, begitu juga dengan desain pipa yang berkelok-kelok dapat membuat laju aliran LPG menjadi lebih lambat dibandingkan dengan desain pipa yang lurus. Berdasarkan uraian latar belakang di atas, peneliti mengambil topik dan masalah penelitian mengenai Pengaruh Suhu dan Tekanan *Cargo Heater* Terhadap Kecepatan Aliran Pada Bongkar Muat di Kapal Tanker LPG.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian yang menggunakan pendekatan kuantitatif kausal (Ardyan et al., 2023; Sari et al., 2022). Jenis pendekatan yang digunakan mengacu pada tujuan dari penelitian yaitu mengetahui hubungan sebab akibat dari beberapa variabel dengan rancangan penelitian yang terstruktur dan sistematis. Observasi penelitian dilakukan pada saat penulis menjalankan kegiatan praktik di Kapal Tanker LPG milik PT. X pada bulan Agustus 2023 hingga selesai. Penelitian bersumber pada data primer yang diperoleh oleh peneliti dari Lokasi penelitian. Sampel yang diambil dalam penelitian ini adalah satu periode bongkar muat LPG. Data yang diperoleh dari observasi digambarkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Data Primer Hasil Observasi

Jam Ke	Suhu (°C)	Tekanan (Bar)	Kecepatan Aliran (MT/Jam)	Jam Ke	Suhu (°C)	Tekanan (Bar)	Kecepatan Aliran (MT/Jam)
1	7	5,29	463	25	6,68	5,1	574
2	7	5,22	427	26	6,42	5,65	490
3	6,9	5,15	536	27	6,46	5,63	528
4	7	4,96	517	28	6,48	5,62	552
5	6,9	5,47	481	29	6,64	5,32	540
6	6,81	5,45	534	30	6,6	5,34	520
7	6,73	5,43	638	31	6,57	5,28	560
8	6,77	5,39	499	32	6,6	5,45	528
9	6,77	5,37	583	33	6,7	5,5	540
10	6,73	5,3	547	34	6,75	5,6	550
11	6,8	5,66	542	35	6,8	5,65	562
12	6,68	5,2	587	36	6,85	5,7	578
13	6,3	5,71	478	37	6,9	5,75	590
14	6,55	5,4	501	38	6,95	5,78	605
15	6,6	5,38	611	39	7	5,8	620
16	6,7	5,25	522	40	6,5	5,35	515
17	6,62	5,27	575	41	6,55	5,4	525
18	6,54	5,22	480	42	6,6	5,45	538
19	6,45	5,33	530	43	6,65	5,5	550
20	6,47	5,42	515	44	6,7	5,55	560
21	6,5	5,31	520	45	6,75	5,6	575
22	6,66	5,29	545	46	6,8	5,65	590
23	6,53	5,26	539	47	6,85	5,7	600
24	6,63	5,15	562	48	6,9	5,75	620

Sumber: Data diolah (2024)

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah Suhu (X1), Tekanan (X2), dan Kecepatan (Y). Data yang diperoleh lalu diolah menggunakan metode regresi linear berganda yang dibantu dengan aplikasi *EViews* 12. Tahapan dalam melakukan analisis regresi adalah dengan uji analisis deskriptif, uji asumsi klasik, uji hipotesis, dan uji proyeksi simpangan grafik. Adapun persamaan regresi berganda pada penelitian ini:

Dimana:
 Y = Kecepatan
 α = Konstanta
 X_1 = Suhu
 X_2 = Tekanan
 ε = Standar *error*

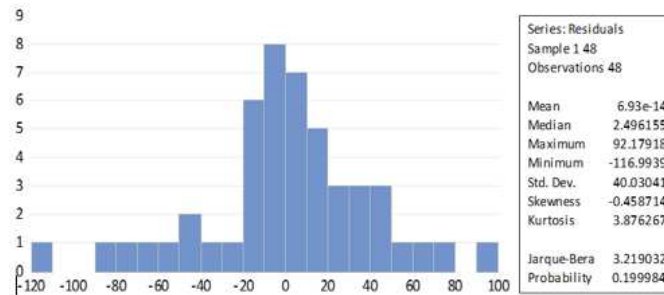
```

graph LR
    X1[SUHU X1] -- H1 --> Y[KECEPATAN Y]
    X2[TEKANAN X2] -- H2 --> Y
    X1 -.-> X2
    X1 -.-> Y
    X2 -.-> Y
    
```

Keterangan	X1	X2	Y
Mean	6,695	5,438	544,625
Median	6,690	5,410	541,000
Maximum	7,000	5,800	638,000
Minimum	6,300	4,960	427,000
Std. Deviation	0,173	0,200	43,623
Skewness	0,054	0,008	-0,172
Kurtosis	2,320	2,261	3,062
Jarque-Bera	0,948	1,093	0,244
Probability	0,623	0,579	0,885
Sum	321,34	261,00	6142,00
Sum. Sq. Dev.	1,400	1,899	89439,25
Observations	48	48	48

Sumber: Data diolah (2024)

Berdasarkan pada tabel di atas nilai *mean* $X_1 = 6,69$, $X_2 = 5,43$ dan $Y = 544$. Nilai *maximum* dari data $X_1 = 7,00$, $X_2 = 5,80$ dan $Y = 638$. Nilai *minimum* dari $X_1 = 6,30$, $X_2 = 4,96$ dan $Y = 427$. Uji normalitas bertujuan sebagai alat menilai apakah variabel pada model memiliki distribusi secara normal serta memastikan bahwa data yang digunakan sebagai observasi dapat memenuhi asumsi atau syarat yang dibutuhkan oleh metode analisis statistik. Hasil uji normalitas yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan *EViews 12* dapat dilihat dari grafik pada gambar 2.



Gambar 2. Uji Normalitas
Sumber: Data diolah (2024)

Tabel 3. Uji Asumsi Klasik

Variabel	VIF
X_1	1,00
X_2	1,00
Heterokedasticity	0,1200
Autocorrelation	0,9188

Sumber: Data diolah (2024)

Berdasarkan tabel di atas diketahui hasil pengujian beberapa asumsi klasik. Uji multikolinearitas memiliki tujuan untuk melihat apakah dalam model ditemukan adanya hubungan antar variabel bebas yang dilihat dari nilai Variance Inflation Factor (VIF). Hasil uji multikolinearitas menunjukkan nilai VIF $X_1 = 1,00$ dan $X_2 = 1,00$ maka kedua variabel bebas tersebut memiliki nilai $VIF < 10$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam model regresi ini tidak terjadi gejala multikolinearitas pada penelitian ini.

Uji dilakukan berikutnya adalah uji heteroskedastisitas yang bertujuan untuk memastikan tidak adanya gejala ketidaksamaan varian antara residual satu pengamatan ke pengamatan yang lain. Berdasarkan tabel di atas, hasil uji heteroskedastisitas yang dilakukan menggunakan uji *Breusch Pagan Godfrey* menunjukkan bahwa nilai probabilitas *Chi-Square* sebesar 0,1200 yang berarti nilai tersebut $> 0,05$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi gejala heteroskedastisitas pada penelitian ini.

Uji asumsi klasik autokorelasi turut dilakukan dalam penelitian bertujuan untuk memastikan tidak ada hubungan antar *residual* dalam urutan waktu. Berdasarkan tabel 3 di atas, hasil uji autokorelasi yang dilakukan menggunakan uji *Breusch Godfrey Serial Correlation* menunjukkan bahwa nilai probabilitas *Chi-Square* sebesar 0,9188 yang berarti nilai tersebut $> 0,05$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi gejala autokorelasi pada penelitian ini.

Regresi Linear Berganda bertujuan untuk melihat bagaimana pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan adalah variabel suhu dan tekanan sebagai variabel independen terhadap variabel kecepatan aliran sebagai variabel dependen pada bongkar muat di kapal tanker LPG. Adapun hasil pengujian regresi linear berganda menggunakan *EViews 12* dapat dilihat dari tabel 4.

Tabel 4. Analisis Regresi Berganda

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-statistik	Prob
C	-172.2926	271.0586	-0.635628	0.5282
X1	48.92821	34.70888	1.409674	0.1655
X2	71.60710	29.81413	2.401784	0.0205
R-squared				0.157927
F-statistik				4.219775

Sumber: Data Diolah (2024)

Berdasarkan hasil uji analisis regresi berganda diatas, dapat ditarik kesimpulan yang dijabarkan pada persamaan (1) di bawah:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (1)$$

$$Y = -172,293 + 48,928X_1 + 71,607X_2 + \varepsilon$$

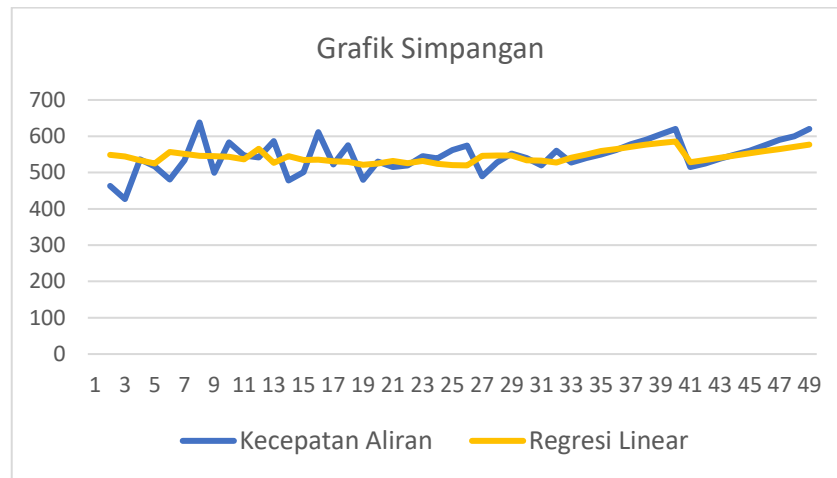
Nilai konstanta (α) sebesar -172,293 memiliki arti bahwa apabila nilai variabel suhu (X_1) dan tekanan (X_2) bernilai 0 maka nilai variabel kecepatan aliran (Y) pada bongkar muat LPG adalah -172,293. Koefisien X_1 yang diperoleh dari nilai β_1 sebesar 48,928, artinya jika variabel suhu (X_1) mengalami peningkatan 1 satuan maka variabel kecepatan aliran (Y) pada bongkar muat LPG meningkat sebesar 48,928 dengan asumsi bahwa variabel bebas lain dari model regresi adalah tetap. Koefisien X_2 yang diperoleh dari nilai β_2 sebesar 71,607, artinya jika variabel tekanan (X_2) mengalami peningkatan 1 satuan maka variabel kecepatan aliran (Y) pada bongkar muat LPG meningkat sebesar 71,607 dengan asumsi bahwa variabel bebas lain dari model regresi adalah tetap. Dari persamaan (1) diperoleh nilai konstanta sebesar -172,293, nilai koefisien suhu sebesar 48,928 X_1 dan nilai koefisien tekanan sebesar 71,607 X_2 . Jika persamaan (1) tersebut di uji dengan mengganti nilai variabel X_1 dan X_2 dengan nilai rata-rata data suhu yaitu 6°C dan data tekanan yaitu 5 Bar, maka diperoleh hasil nilai regresi sebesar 500 MT/Jam yang berarti hasil tersebut adalah benar.

Uji hipotesis merupakan alur dalam perhitungan statistik dengan maksud untuk melakukan pengujian kebenaran dari hipotesis atau dugaan antara pengaruh beberapa variabel independen dalam model penelitian. Uji ini memiliki tujuan untuk memahami bahwa data yang diperoleh mendukung atau menolak hipotesis yang diajukan. Uji ini menggunakan dua jenis uji statistik utama, yaitu uji t dan uji F. Uji t berfungsi sebagai alat untuk menguji tingkat signifikansi koefisien regresi dari variabel independen, sedangkan uji F memiliki fungsi untuk mengobservasi pengaruh variabel bebas secara simultan dalam menjelaskan variabel dependen.

Hasil tabel 4 menunjukkan bahwa nilai t-hitung variabel suhu (X_1) adalah 1,410 < nilai t-tabel 2,012 dengan nilai probabilitas signifikansi sebesar 0,166 > 0,05 artinya variabel suhu secara parsial tidak berpengaruh signifikan terhadap kecepatan aliran pada bongkar muat LPG. Maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima dan H_a ditolak. Nilai t-hitung variabel tekanan (X_2) sebesar 2,402 > nilai t-tabel 2,012 dengan nilai probabilitas signifikansi sebesar 0,021 < 0,05, artinya variabel tekanan secara parsial berpengaruh signifikan terhadap kecepatan aliran pada bongkar muat LPG. Maka dapat disimpulkan bahwa H_a diterima dan H_0 ditolak. Sedangkan untuk uji simultan F-tabel diperoleh nilai F-hitung 4,220 > F-tabel 4,05 dan nilai probabilitas signifikansi 0,021 < 0,05 artinya secara simultan variabel suhu (X_1) tekanan (X_2) berpengaruh signifikan terhadap kecepatan aliran (Y) pada bongkar muat LPG. Maka dapat disimpulkan bahwa H_a diterima dan H_0 ditolak.

Uji dilakukan terakhir adalah uji R-squared. Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dalam model regresi. Berdasarkan tabel 4 di atas, Hasil pengujian menunjukkan nilai *R-squared* sebesar 0,1579 memiliki arti bahwa variabel independen yang digunakan dalam penelitian ini hanya berpengaruh sebesar 15,79 dan sisanya yaitu sebesar 74,21% dipengaruhi oleh variabel independen di luar penelitian.

Dari pengujian persamaan (1) dengan meregresikan data kecepatan aliran melalui Microsoft Excel maka diperoleh hasil nilai regresi baru yang kemudian diproyeksikan sebagai garis simpangan regresi linear terhadap garis kecepatan aliran yang dapat dilihat pada gambar grafik gambar 3.



Gambar 3. Proyeksi Simpangan Grafik Regresi Linear Terhadap Grafik Kecepatan Aliran
Sumber: Data diolah (2024)

Berdasarkan hasil gambar proyeksi simpangan grafik di atas menunjukkan bahwa kondisi simpangan grafik regresi linear terhadap garis grafik kecepatan aliran berada di antara (di tengah-tengah) dari garis grafik kecepatan aliran yang berarti simpangan tersebut menunjukkan hasil benar. Dari grafik simpangan tersebut juga dapat dilihat bahwa terjadi kecenderungan kenaikan simpangan terhadap kecepatan aliran. Sehingga dapat disimpulkan bahwa persamaan regresi linear pada persamaan (1) dinyatakan valid.

Pembahasan

Secara parsial variabel suhu (X_1) tidak berpengaruh signifikan terhadap kecepatan aliran (Y). Sedangkan variabel tekanan (X_2) secara parsial berpengaruh signifikan. Hasil yang ditunjukkan ini sesuai dengan Hukum Bernoulli bahwa meningkatnya suhu akan membuat viskositas LPG menjadi rendah (Suryanto, 2023), dan dapat meningkatkan kecepatan aliran bongkar muat LPG saat terjadi perbedaan tekanan pada kedua ujung pipa (Betty Ariani & Ponidi, 2023). Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa kenaikan suhu dapat mempengaruhi kecepatan aliran dengan syarat adanya perbedaan tekanan dari salah satu ujung pipa atau dengan kata lain mendapat gaya dorong (tekanan) yang berasal dari pompa muatan (Firmansyah et al., 2022). Jadi kenaikan suhu hanya akan menyebabkan viskositas rendah saja akan tetapi tidak akan meningkatkan kecepatan aliran jika tidak ada gaya dorong (tekanan) (Delly, 2009; Dylan et al., 2022). Sedangkan kenaikan tekanan sendiri akan meningkatkan kecepatan aliran bongkar muat LPG (Pratama et al., 2018) karena mendapat gaya dorong yang lebih besar sehingga aliran muatan LPG akan menjadi lebih cepat (Djamaluddin, 2024).

Secara simultan variabel suhu (X_1) dan tekanan (X_2) serentak memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel kecepatan aliran (Y). Hal tersebut sesuai dengan hukum *Bernoulli* bahwa kecepatan aliran akan meningkat jika terjadi kenaikan suhu dan dibantu dengan adanya tekanan pada salah satu ujung pipa. Selain itu, pada studi yang dilakukan oleh Razzaq, et al. (2024), juga membuktikan bahwa suhu dan tekanan udara secara bersamaan dapat memiliki dampak bagi daya angkat hingga mencapai 99%. Kenaikan suhu akan membuat viskositas LPG menjadi rendah sehingga sifatnya yang semula kental pada suhu dingin menjadi encer karena dipanaskan. Secara bersamaan muatan LPG mendapat gaya dorong (tekanan) di dalam pipa sehingga membuat LPG mengalir dari ujung pipa yang bertekanan tinggi ke ujung pipa yang bertekanan rendah. Semakin besar tekanan pada pipa maka aliran LPG akan semakin cepat.

Pada pengujian pada persamaan (1) dengan cara mengganti variabel X_1 dan X_2 pada koefisien suhu dan tekanan dan didapatkan data regresi dari nilai asli yang kemudian diproyeksikan ke dalam grafik simpangan pada gambar 3. Grafik tersebut menunjukkan simpangan antara garis regresi linear terhadap garis kecepatan aliran. Hasil dari grafik simpangan menunjukkan bahwa garis regresi linear

berada di tengah-tengah garis grafik kecepatan aliran yang mana ini sesuai dengan prinsip regresi linear. Dari grafik simpangan tersebut juga dapat dilihat bahwa rata-rata garis simpangan regresi linear hampir berbentuk datar dan terjadi kenaikan pada grafik simpangan regresi linear. Dengan demikian hasil proyeksi tersebut terbukti benar dan dinyatakan valid.

KESIMPULAN

Berdasarkan uji-t diperoleh nilai t-hitung variabel suhu (X_1) adalah $1,410 < \text{nilai } t\text{-tabel } 2,012$ dengan nilai probabilitas signifikansi sebesar $0,166 < 0,05$ artinya variabel suhu secara parsial tidak berpengaruh signifikan terhadap kecepatan aliran pada bongkar muat LPG. Berdasarkan uji-t diperoleh nilai t-hitung tekanan (X_2) sebesar $2,402 > \text{nilai } t\text{-tabel } 2,01290$ dengan nilai probabilitas signifikan sebesar $0,021 < 0,05$, artinya variabel tekanan secara parsial berpengaruh signifikan terhadap kecepatan aliran pada bongkar muat LPG. Berdasarkan uji F diperoleh nilai F-hitung $4,220 > F\text{-tabel } 4,05$ dan nilai probabilitas signifikan $0,021 < 0,05$ artinya secara simultan variabel suhu (X_1) tekanan (X_2) berpengaruh signifikan terhadap kecepatan aliran (Y) pada bongkar muat LPG. Berdasarkan uji persamaan linear pada persamaan (1) diperoleh nilai rata-rata suhu $5,69^\circ\text{C}$, tekanan $6,44$ Bar, rata-rata kecepatan aliran $544,625$ MT/Jam dengan rata-rata tingkat *error* sebesar $5,349$ %. Hasil ini sesuai dengan garis grafik simpangan regresi linear terhadap garis grafik kecepatan aliran sebagaimana tergambar pada hasil yang menunjukkan bahwa rata-rata simpangan regresi linear berada di angka 400 hingga 600 yang berarti 500 MT/Jam. Dengan demikian persamaan linear pada persamaan (1) terbukti benar dan valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardyan, E., Boari, Y., Akhmad, A., Yuliyani, L., Hildawati, H., Suarni, A., Anurogo, D., Ifadah, E., & Judijanto, L. (2023). *Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif: Pendekatan Metode Kualitatif dan Kuantitatif di Berbagai Bidang*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Arianto, S., Sari, A. W., Akbar, H., Sulistiawati, F., Sylvia, D., Komara, N. K., Luthfiah, S., Radhina, A., Sari, M. P., & Belanita, P. M. (2022). *Teori dan Aplikasi Biomedik Dasar*. Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Betty Ariani, S. T., & Ponidi, S. T. (2023). *Eco Friendly Vessel*. UNISMA PRESS.
- Bormashenko, E. (2020). What is temperature? Modern outlook on the concept of temperature. *Entropy*, 22(12), 1366. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/e22121366>
- Delly, J. (2009). Pengaruh temperatur terhadap terjadinya kavitasi pada sudu pompa sentrifugal. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1, 21–27.
- Djamaluddin, A. (2024). *Manajemen Rantai Pasok Dan Logistik Pelayaran*. Unhas Press.
- Dylan, M., Soewono, A., & Darmawan, M. (2022). ANALISIS LAJU ALIRAN PADA NOZZLE PRINTER TIGA DIMENSI UNTUK MATERIAL THERMOPLASTIC POLYURETHANE. *Cylinder: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 8(1), 1–7.
- Firmansyah, I. D. A. D., AHMAD, S. A. L. H., PRIYATNA, E., FIRMANSYAH, V., & SUPRIJANTO, S. (2022). Rancang Bangun Instalasi Uji Akurasi Meter Air untuk Studi Pengaruh Tekanan Air. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(3), 529.
- King, M. L., Rusmaryadi, H., & Marsani, D. (2024). Eksperimental Dampak Pemakaian Secara Periodik Bentuk Lain Bahan Bakar LPG Atas Performansi Mesin Kendaraan Bermotor Dan Emisi Gas Buang Yang Dihasilkan. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 111–124.
- Kuhtz, R. (2014). *Chemistry: Understanding Substance and Matter*. The Rosen Publishing Group, Inc.
- Larasati, N. H. (2020). *Pengertian Suhu dan Kalor Menurut Para Ahli*. Rabu, 8 Juli 2020 10:57.

<https://www.diadona.id/d-stories/pengertian-suhu-dan-kalor-menurut-para-ahli-200708w.html>

- Pratama, I., Murdiyanto, E., & Purwantomo, A. H. (2018). Penanganan Pelaksanaan Bongkar Muat Vcm (C_2H_3Cl) Di Kapal Mt. Gas Kalimantan Lpg Carrier Type-C. *Dinamika Bahari*, 9(1), 2259–2272.
- Prayogo, B. D., Huda, S., & Kismantoro, T. (2018). Suhu Dari Luar Tangki Muatan Mempengaruhi Proses Memuat Di Lpg/C. Lady Hilde. *Dinamika Bahari*, 9(1), 2227–2242.
- Razzaaq, M., Lubis, L. H., & Sirait, R. (2024). STUDI PENGARUH SUHU DAN TEKANAN UDARA TERHADAP GAYA ANGKAT PESAWAT TAHUN 2014-2021 DI BANDARA INTERNASIONAL KUALANAMU DELI SERDANG. *Relativitas: Jurnal Riset Inovasi Pembelajaran Fisika*, 7(2), 102–111.
- Sari, M., Rachman, H., Astuti, N. J., Afgani, M. W., & Abdullah, R. (2022). Explanatory survey dalam metode penelitian deskriptif kuantitatif. *Metode*, 1.
- Sartika, S. B., & Wulandari, R. (2020). Buku Ajar Berpikir Analisis Melalui Fluida. *Umsida Press*, 1–113.
- Suryanto, I. A. (2023). *Fluida*. BuatBuku. com.
- Syukur, H. (2011). Penggunaan Liquified Petroleum Gases (LPG): Upaya Mengurangi Kecelakaan Akibat LPG. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 1(2).
- White, M. (1996). *Liquefied gas handling principles on ships and in terminals*; 2.