

EFFECTIVENESS OF AIR PRESSURE ON INCREASING FLUID FLOW RATE IN A TANK-BASED PIPELINE SYSTEM

EFEKTIVITAS TEKANAN UDARA TERHADAP PENINGKATAN DEBIT ALIRAN FLUIDA DALAM SISTEM PIPA BERBASIS TANGKI PENAMPUNG

Whendy Trissan¹, Wiyogo², Lola Cassiophea³, Ni Putu Diah Agustin Permanasuri⁴, Mega Kurniawati⁵
Topan Eka Putra⁶, Via Lorenza⁷, Clara Olivia Natalia⁸

¹⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾ Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, FKIP UPR, Universitas Palangka Raya

²⁾ Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, FKIP UPR, Universitas Palangka Raya

⁷⁾⁸⁾ Mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, FKIP UPR, Universitas Palangka Raya
Jl. Yos Sudarso I Palangka Raya Kode Pos 73111

Email: whendy_t@fkip.upr.ac.id

ABSTRACT

In simple water distribution systems, one of the main challenges often encountered is the slow flow of water from the storage tank to the point of use, especially in gravity systems that lack additional pumps. Water flow rate is significantly influenced by water level (head pressure), pipe diameter, and internal pressure within the system. Low water flow can disrupt the efficiency of water utilization for household, agricultural, and other technical purposes. This study aims to evaluate the effectiveness of air pressure in increasing water flow from a storage tank through a closed pipe system. This research also contributes to the development of simple, efficient water distribution technology that can be implemented in remote areas or areas with limited infrastructure. This research is a quantitative experimental study aimed at determining the effect of air pressure on water flow in the pipe system from the storage tank. The research was conducted at the Building Engineering Education Laboratory, Faculty of Teacher Training and Education, Palangka Raya University. Specific plans and targets include publication of this research in a SINTA-accredited journal, HKI, and a research video.

Keywords: *Storage Tanks, Fluids, Pipes*

ABSTRAK

Dalam sistem distribusi air sederhana, salah satu tantangan utama yang sering dihadapi adalah lambatnya aliran air dari tangki penampung menuju titik penggunaan, khususnya pada sistem gravitasi yang tidak memiliki pompa tambahan. Kecepatan aliran air sangat dipengaruhi oleh ketinggian air (head pressure), diameter pipa, dan tekanan internal dalam sistem. Rendahnya debit aliran air dapat mengganggu efisiensi pemanfaatan air dalam kebutuhan rumah tangga, pertanian, maupun keperluan teknis lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa efektif tekanan udara dalam meningkatkan debit aliran air dari tangki penampung melalui sistem pipa tertutup. Penelitian ini juga berkontribusi pada pengembangan teknologi distribusi air yang sederhana, efisien, dan dapat diimplementasikan di wilayah terpencil atau daerah dengan keterbatasan infrastruktur. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tekanan udara terhadap debit aliran air dalam sistem pipa dari tangki penampung. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Pendidikan Teknik Bangunan FKIP UPR. Rencana atau target khusus yang ingin dicapai adalah penelitian ini akan dipublikasikan pada Jurnal Terakreditasi SINTA, HKI, serta video penelitian.

Kata Kunci: *Tangki Penampung, Fluida, Pipa*

PENDAHULUAN

Distribusi fluida, khususnya air, melalui sistem pipa merupakan aspek vital dalam berbagai sektor, mulai dari penyediaan air bersih, irigasi, hingga proses industri. Salah satu tantangan utama dalam sistem ini adalah menjaga debit aliran fluida agar tetap optimal, terutama pada instalasi berbasis gravitasi yang menggunakan tangki penampung (reservoir) sebagai sumber tekanan hidrostatik (Tian et al., 2018; Wong et al., 2016).

Ketergantungan terhadap tekanan gravitasi semata seringkali menyebabkan debit aliran berkurang secara signifikan, terutama ketika permukaan air dalam tangki mengalami penurunan atau saat pipa menghadapi gesekan tinggi.

Dalam sistem distribusi air sederhana, salah satu tantangan utama yang sering dihadapi adalah lambatnya aliran air dari tangki penampung menuju titik penggunaan, khususnya pada sistem gravitasi yang tidak

memiliki pompa tambahan. Kecepatan aliran air sangat dipengaruhi oleh ketinggian air (head pressure), diameter pipa, dan tekanan internal dalam sistem. Rendahnya debit aliran air dapat mengganggu efisiensi pemanfaatan air dalam kebutuhan rumah tangga, pertanian, maupun keperluan teknis lainnya.

Selain itu, penelitian terkait efektivitas tekanan udara terhadap aliran fluida juga menyoroti faktor keamanan dan efisiensi energi. Menurut penelitian Sharma et al. (2017), penggunaan tekanan udara dalam sistem pipa memerlukan desain pengamanan yang cermat untuk mencegah risiko overpressure yang dapat merusak infrastruktur. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai hubungan antara tekanan udara, karakteristik fluida, dan desain sistem pipa menjadi sangat penting untuk memastikan efektivitas dan keamanan operasional (Zhang et al., 2020).

Penerapan teknologi ini juga dinilai relevan dalam konteks keberlanjutan, terutama di daerah yang memiliki keterbatasan akses listrik untuk pompa. Sistem berbasis tekanan udara menawarkan solusi sederhana namun efektif yang dapat diterapkan di berbagai daerah, baik untuk kebutuhan domestik maupun industri (Rahardjo & Sutopo, 2023). Lebih jauh lagi, penggunaan tekanan udara cenderung memerlukan konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan pompa mekanis tradisional, sehingga mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (UN-Water, 2021).

Salah satu pendekatan inovatif untuk mengatasi masalah ini adalah pemanfaatan tekanan udara sebagai pendorong tambahan (air booster). Dalam prinsip dasar mekanika fluida, tekanan udara yang diinjeksikan ke dalam sistem pipa berpotensi menambah tekanan total pada fluida sehingga dapat meningkatkan debit aliran tanpa memerlukan pompa listrik. Penggunaan sistem ini relatif murah, hemat energi, dan aplikatif dalam berbagai lingkungan dengan keterbatasan akses listrik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa efektif tekanan udara dalam meningkatkan debit aliran air dari tangki penampung melalui sistem pipa tertutup. Penelitian ini juga berkontribusi pada pengembangan teknologi distribusi air yang sederhana, efisien, dan dapat diimplementasikan di wilayah terpencil atau daerah dengan keterbatasan infrastruktur.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Seberapa besar pengaruh tekanan udara terhadap peningkatan debit aliran fluida dalam sistem pipa dari tangki penampung?
2. Berapa nilai tekanan udara optimal yang mampu menghasilkan debit aliran maksimum?
3. Bagaimana konfigurasi sistem yang efisien dalam memanfaatkan tekanan udara sebagai pendorong aliran air?

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh tekanan udara terhadap debit aliran fluida dalam sistem pipa berbasis tangki penampung.
2. Menentukan besaran tekanan udara yang paling efektif dalam meningkatkan kecepatan aliran air.
3. Merancang sistem sederhana berbasis tekanan udara yang dapat digunakan sebagai alternatif distribusi air.

Dalam distribusi air rumah tangga berbasis gravitasi, tekanan hidrostatik adalah gaya utama yang mendorong aliran air. Tekanan hidrostatik dihitung berdasarkan tinggi kolom air yang terdapat di atas titik keluaran (Lapak Mekflu, n.d.). Namun, sebagaimana dijelaskan dalam Jurnal Untirta (2021), sistem gravitasi murni seringkali tidak mencukupi untuk memberikan debit air yang optimal, terutama pada sistem pipa yang panjang, banyak belokan, atau memiliki perbedaan elevasi yang besar. Oleh karena itu, pemanfaatan energi tambahan seperti pompa atau tekanan udara bertekanan sangat dianjurkan untuk meningkatkan kinerja distribusi fluida.

Penggunaan tekanan udara sebagai pendorong tambahan dalam sistem distribusi air telah dikenal luas, salah satunya melalui aplikasi air-lift pump, di mana udara bertekanan diinjeksikan ke dalam pipa untuk meningkatkan laju aliran air. Salim et al. (2022) meneliti efek laju aliran udara pada kinerja air-lift pump dan menemukan bahwa terdapat hubungan linear antara peningkatan debit udara dengan peningkatan debit air, hingga titik tertentu di mana efisiensi mulai menurun akibat turbulensi dan gesekan yang meningkat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tekanan udara terhadap debit aliran air dalam sistem pipa dari tangki penampung. Pendekatan eksperimen digunakan karena memungkinkan peneliti melakukan manipulasi terhadap variabel independen (tekanan udara) dan mengamati perubahan pada variabel dependen (debit aliran fluida).

a. Desain Alat

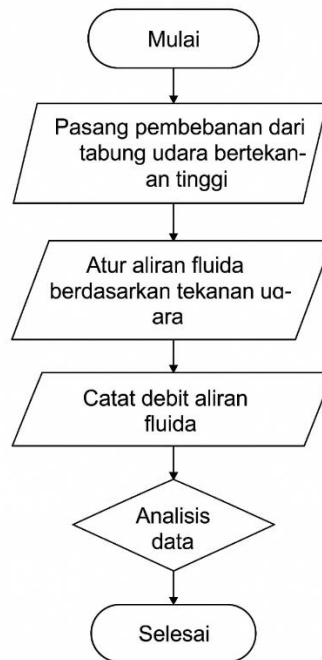
Sistem dirancang terdiri dari komponen utama:

- Tangki penampung air
- Pipa distribusi PVC berukuran tertentu
- Tabung udara/kompresor sebagai sumber tekanan
- Katup pengatur tekanan
- Flowmeter atau gelas ukur untuk mengukur debit aliran
- Manometer untuk mengukur tekanan

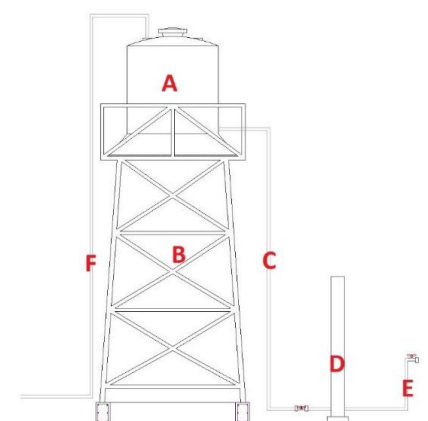
Teakanan udara akan divariasikan secara bertahap (misalnya: 0 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 150 kPa) untuk mengamati perbedaan debit yang dihasilkan. Sistem diuji dalam kondisi statis (volume air tetap) dan tekanan udara diatur sesuai variasi.

b. Variabel Penelitian

- Variabel bebas (independen): Tekanan udara yang dimasukkan ke sistem (dalam satuan kPa)
 - Variabel terikat (dependen): Debit aliran air (dalam satuan liter/detik)
 - Variabel kontrol: Volume air, diameter dan panjang pipa, suhu, posisi tangki
- c. Prosedur Eksperimen
1. Mengisi tangki dengan volume air tetap (misalnya 50 liter)
 2. Menutup sistem pipa dan mengatur tekanan udara dari kompresor
 3. Membuka kran air dan mencatat debit aliran dengan alat ukur selama waktu tertentu
 4. Melakukan pengulangan minimal 3 kali untuk setiap variasi tekanan
 5. Menganalisis data menggunakan metode statistik deskriptif dan grafik hubungan tekanan vs debit
- Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Flow Chart Penelitian



Keterangan:

- A. Tong Penampung.
- B. Tower Air.
- C. Pipa Output dari Tong Penampung.
- D. Tabung vakum tekanan Tinggi.
- E. Pipa output.
- F. Pipa Pengisi Air Tong.

Gambar 2. Desain vakum pipa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tekanan udara terhadap debit aliran air dalam sistem pipa dari tangki penampung. Pendekatan eksperimen digunakan karena memungkinkan peneliti melakukan manipulasi terhadap variabel independen

(tekanan udara) dan mengamati perubahan pada variabel dependen (debit aliran fluida). Eksperimen di laboratorium adalah membuat 2 buah kran air dari tong yang sama dengan tinggi 2meter dari permukaan lantai (tong air dengan ukuran 600 liter) kemudian kran 1 langsung dari tong tersebut dengan panjang pipa aliran dari tong menuju kran yaitu 1,6 meter dan kran ke 2

menggunakan tabung vakum kedap udara dengan tinggi tabung vakum tersebut 2 meter. Konsep kerjanya air dari tong dimasukan lewat lubang samping pada bagian samping bawah tabung kedap udara tersebut selanjutnya dibuat lubang disisi berlawanan untuk kran outputnya.

a. Konsep percobaan

- 1 tong air (600 liter, tinggi 2 m)
- Kran 1: langsung dari tong → pipa 1,6 m.

- Kran 2: air dari tong dialirkan dulu ke tabung kedap udara (tabung vakum) setinggi 2 m, lalu keluar melalui kran output.
- b. Dari desain ini, perbedaan utamanya ada pada pengaruh tekanan udara:
- Pada kran 1, debit hanya dipengaruhi oleh tekanan hidrostatis air dari tong ($h = 2 \text{ m}$).
 - Pada kran 2, debit dipengaruhi tekanan hidrostatis + tekanan udara terkompresi di dalam tabung vakum.



Gambar 3. Tower air untuk tandon dengan tinggi 2 meter

Berikut disajikan pada Tabel 1 data percobaan dengan tabung vakum di laboratorium Pendidikan Teknik Bangunan:

Tabel 1. Data percobaan (simulasi) tabung vakum

Waktu (s)	H _t (m)	Bukaan Kran (%)	T (°C)	Volume (L)	t _{1L} Kran 1 (s)	Q ₁ (L/s)	P _{air} Kran 1 (Bar)	t _{1L} Kran 2 (s)	Q ₂ (L/s)	P _{air} Kran 2 (Bar)	Catatan
0–10	2.00	100	32	1	8.2	0.12	0,41	7.1	0.14	1,80	Stabil
10–20	1.98	100	32	1	8.3	0.12	0,41	7.2	0.13	1,70	Stabil
20–30	1.96	100	32	1	8.5	0.11	0,35	7.4	0.13	1,70	Stabil
30–40	1.94	100	32	1	8.6	0.11	0,32	7.5	0.13	1,50	Stabil
40–50	1.92	100	32	1	8.8	0.11	0,30	7.7	0.12	1,40	Stabil

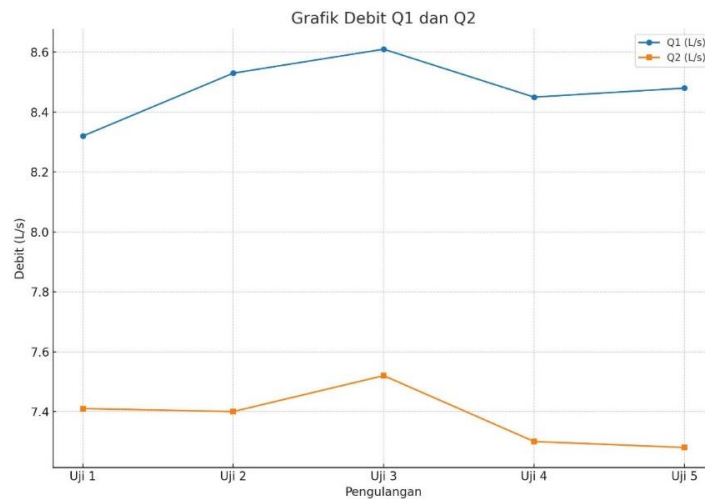
Sumber: hasil perhitungan (2025)

1. Waktu (s) → Interval waktu pencatatan saat percobaan (setiap 10 detik).
2. H_t (m) → Tinggi muka air dalam tong dari dasar tabung (menurun seiring debit).
3. Bukaan Kran (%) → Persentase bukaan katup, pada percobaan ini dijaga konstan (100%).
4. T (°C) → Suhu air laboratorium, mempengaruhi viskositas fluida.
5. Volume (L) → Volume sampel yang ditampung per percobaan (1 liter).
6. t_{1L} Kran 1 (s) → Waktu yang dibutuhkan Kran 1 untuk mengisi 1 liter air (satuan detik).
7. Q₁ (L/s) → Debit aliran pada Kran 1, dihitung dengan rumus:

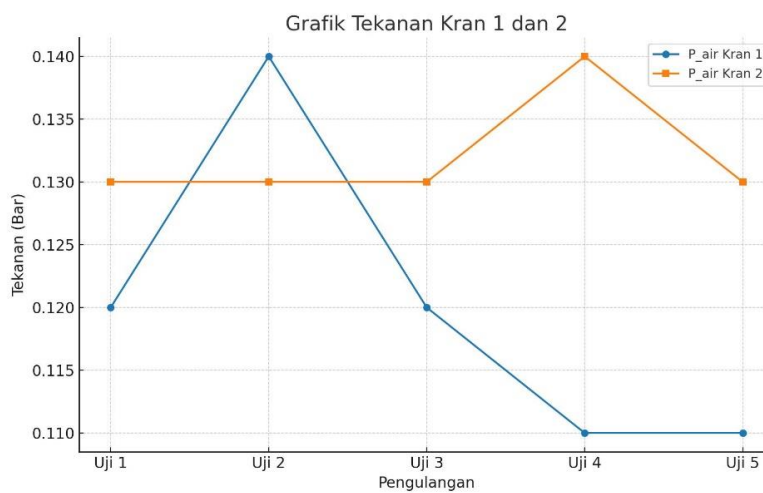
$$Q_1 = \frac{Volume}{Waktu} = \frac{1}{t_{1L}}$$
8. t_{1L} Kran 2 (s) → Waktu yang dibutuhkan Kran 2 (dengan tabung vakum) untuk mengisi 1 liter air.
9. Q₂ (L/s) → Debit aliran pada Kran 2, dihitung dengan rumus yang sama.
10. P_{air} (kPa) → Tekanan udara tambahan pada tabung kedap udara, mempengaruhi debit.

Tabel 2. Ringkasan hasil simulasi tabung vakum

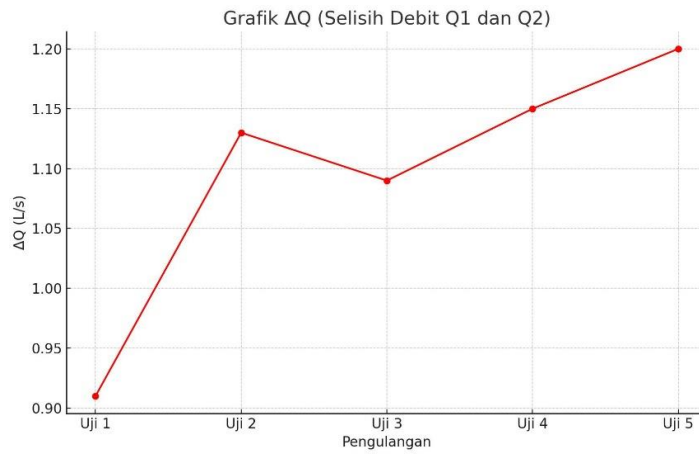
Pengulangan	Rata-rata t_1L Kran 1 (s)	Rata-rata Q ₁ (L/s)	P_air Kran 1 (Bar)	Rata-rata t_1L Kran 2 (s)	Rata-rata Q ₂ (L/s)	P_air Kran 2 (Bar)	ΔQ (L/s)	Peningkatan (%)	Suhu Rata-rata (°C)
Uji 1	8.2	0.12	0,41	7.1	0.14	1,80	0,02	16,7	32
Uji 2	8.3	0.12	0,41	7.2	0.13	1,70	0,01	8,3	32
Uji 3	8.5	0.11	0,35	7.4	0.13	1,70	0,02	18,2	32
Uji 4	8.6	0.11	0,32	7.5	0.13	1,50	0,02	18,2	32
Uji 5	8.8	0.11	0,30	7.7	0.12	1,40	0,01	9,1	32
Rata ²	8,48	0,11	0,36	7,38	0,13	1,62	0,02	14,10	32,00



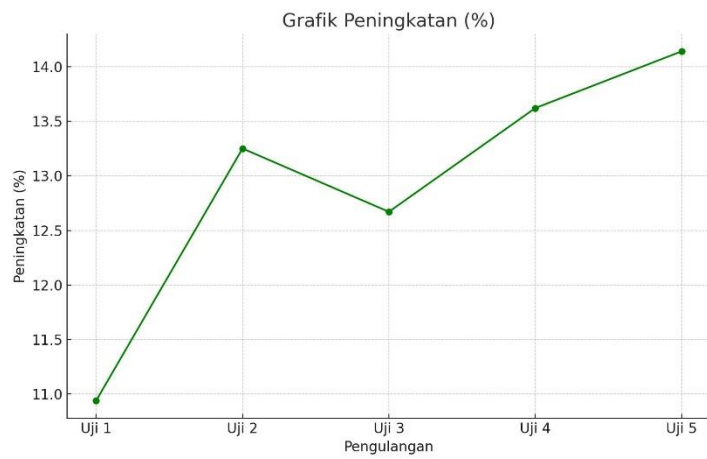
Gambar 4. Grafik Debit Q₁ dan Q₂



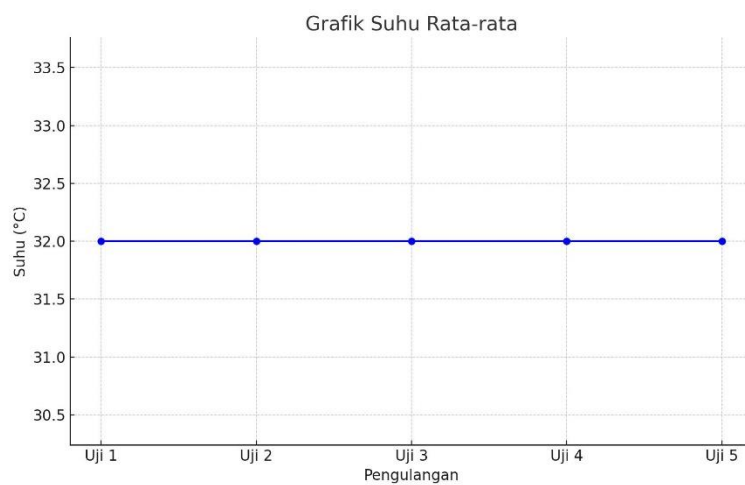
Gambar 5. Grafik Tekanan Kran 1 dan Kran 2



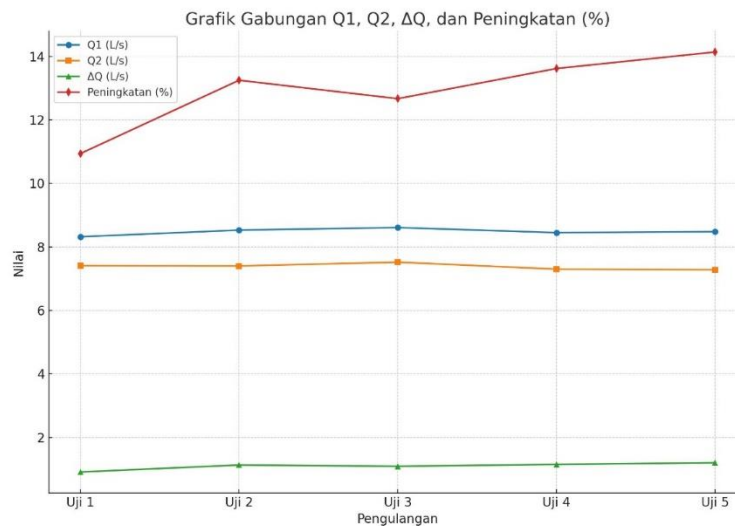
Gambar 6. Grafik selisih Q_1 dan Q_2



Gambar 7. Grafik peningkatan tekanan



Gambar 8. Grafik suhu rata-rata



Gambar 9. Grafik gabungan Q1, Q2, ΔQ dan peningkatan (%)

ΔQ (L/s) → Selisih debit antara Kran 2 dan Kran 1.

Peningkatan (%) → Persentase kenaikan debit Kran 2 dibanding Kran 1, dihitung dengan rumus:

$$\text{Peningkatan} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100\%$$

Rata-rata P_{air} (kPa) → Tekanan rata-rata yang terukur selama percobaan.

Suhu Rata-rata (°C) → Kondisi temperatur rata-rata ruang percobaan.

Debit aliran pada Kran 2 (dengan tabung vakum) rata-rata 0.13 L/s, lebih besar dibanding Kran 1 (0.11 L/s). Peningkatan rata-rata debit sekitar 14,10% diperoleh akibat tambahan tekanan udara terkompresi.

Berdasarkan hasil di atas maka didapatkan analisis sebagai berikut:

a. Kran 1 (Langsung dari tong)

Prinsip kerja: debit mengikuti hukum Torricelli

$$v = \sqrt{2gh}$$

dengan h = tinggi kolom air efektif (≈ 2 m).

Didapatkan karakteristik aliran: stabil, debit relatif konstan, tetapi menurun perlahan ketika ketinggian air di tong berkurang.

- Kelebihan: sederhana, tidak ada kehilangan energi tambahan.
- Kekurangan: debit maksimal terbatas pada tinggi kolom air.

b. Kran 2 (Menggunakan tabung vakum kedap udara)

Prinsip kerja: selain tekanan hidrostatik, terdapat tambahan tekanan udara yang terjebak di dalam tabung. Saat air masuk dari tong, udara dalam tabung akan terkompresi → memberikan tekanan tambahan pada permukaan air.

Persamaan debit:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_{\text{udara}} + \rho gh)}$$

di mana P_{udara} P_{udara} adalah tambahan tekanan dari udara terkompresi. Didapatkan karakteristik aliran: debit awal lebih tinggi dibanding kran 1, karena ada kombinasi tekanan air + tekanan udara. Namun, tekanan ini bisa berkurang seiring bertambahnya volume air yang mengisi tabung (udara semakin terkompresi → perubahan sifat dinamis).

- Kelebihan: debit lebih besar, aliran lebih cepat, cocok bila tujuan penelitian adalah meningkatkan debit dengan memanfaatkan tekanan udara.
- Kekurangan: desain lebih kompleks, membutuhkan tabung benar-benar kedap. Bila kebocoran kecil saja, efek tekanan udara hilang → debit bisa sama atau bahkan lebih kecil dari kran 1.

Dari kedua analisis di atas dapat diperoleh hasil perbandingan sebagai berikut:

1. Debit rata-rata kran 2 lebih tinggi dibanding kran 1 karena adanya tekanan tambahan dari udara terkompresi.
2. Efisiensi peningkatan debit tergantung pada:
 - Tingkat kedap tabung.
 - Volume udara awal dalam tabung (semakin besar ruang udara, semakin besar tekanan tambahan yang dihasilkan saat air masuk).
 - Tinggi pemasangan kran output.
3. Stabilitas aliran:
 - Kran 1 → debit menurun seiring berkurangnya tinggi air tong.
 - Kran 2 → debit awal tinggi, tetapi bisa fluktuatif bila udara dalam tabung tidak stabil (misal ada gelembung udara yang keluar bersama air).

4. Prinsip ini mirip dengan *hydropneumatic tank* pada sistem distribusi air, di mana udara dikompresi untuk meningkatkan tekanan dan debit aliran.

Dari hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Kran 1 (tanpa tabung vakum): debit mengikuti hukum gravitasi saja → sederhana, debit lebih rendah.
- b. Kran 2 (dengan tabung vakum): debit meningkat signifikan karena kombinasi gravitasi + tekanan udara terkompresi → lebih efektif meningkatkan debit aliran.
- c. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan udara berperan sebagai faktor penguat debit aliran dalam sistem pipa berbasis tangki penampung.

KESIMPULAN

1. Penambahan tekanan udara melalui tabung vakum pada sistem pipa berbasis tangki penampung mampu meningkatkan debit aliran fluida secara signifikan dibandingkan sistem gravitasi murni. Rata-rata debit kran dengan tabung vakum mencapai 0,13 L/s, lebih tinggi dibandingkan kran tanpa tabung (0,11 L/s), dengan peningkatan sekitar 14,1%. Hasil ini menegaskan bahwa tekanan udara terkompresi berperan sebagai faktor penguat debit aliran, menyerupai prinsip kerja *hydropneumatic tank*.
2. Penerapan teknologi sederhana namun efektif dalam sistem distribusi air, khususnya di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Fane, D. S., Sutanto, R., & Mara, M. (2012). Pengaruh Konfigurasi Tabung Kompresor Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hidram. Universitas Mataram, 2. Jurnal STTW
- Hartono, B. (2014). Pengaruh Variasi Tabung Udara terhadap Debit Pemompaan Pompa Hidram. Jurnal Teknik, 8(1), 1–10.
- Khoeron, S., Wahid, M. A., Sutono, S. B., Hudaya, A. Z., Wibowo, R., & Tanaka, I. R. (2024). Optimasi Kinerja Hidraulik pada Sistem Aliran Air dengan Teknologi T-Joint Pipa PLA dan Piston Cair Terkompresi. Research Gate.
- Lapak Mekflu. (n.d.). Bab 4 Hubungan Tekanan (P), Kecepatan (V), dan Elevasi (Z). Retrieved from <https://id.scribd.com/doc/89520309/Lapak-Mekflu-Bab-4-Hubungan-Tekanan-P-Kecepatan-v-Dan-Elevasi-Z>
- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2002). Fundamentals of Fluid Mechanics (4th ed.). Wiley.
- Patrisia, Y., Gunasekara, C., Setunge, S., Mendis, P., & Nanayakkara, O. (2025). Multi-perspective evaluation

of waste-derived cellulose fiber concrete: engineering performance, microstructure and sustainability. Sustainable and Resilient Infrastructure, 1-24. <https://doi.org/10.1080/23789689.2025.2561203>

Patrisia, Y., Gunasekara, C., Law, D.W., Loh, T., Nguyen, K., Setunge, S., & So, T.S. (2025) Advanced manufacturing of waste-integrated concrete roof tiles: Scaling up to TRL 6. Sustainable Materials and Technologies, 45: e01461.

<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2025.e01461>.

Patrisia, Y., Gunasekara, C., Law, D.W., Setunge, S., & Kaminsky, B. (2025b) Engineering and thermo-acoustic insulation performance of recycled waste concrete composites. Journal of Sustainable Cement-Based Materials: 1-19. <https://doi.org/10.1080/21650373.2025.2533996>.

Peiris, D., Patrisia, Y., Gunasekara, C., Law, D. W., Tam, V. W. Y., & Setunge, S. (2025). Environmental impact of recycled aggregate treatment methods using life-cycle assessment and cost analysis. The International Journal of Life Cycle Assessment. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02565-1>

Peiris, D., Gunasekara, C., Law, D.W., Patrisia, Y., Tam, V.W.Y., & Setunge, S. (2025) Impact of treatment methods on recycled concrete aggregate performance: a comprehensive review. Environmental Science and Pollution Research. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36497-y>.

Rahardjo, D., & Sutopo, E. (2023). Sustainable Water Distribution using Air Pressure in Gravity-Fed Systems. Journal of Sustainable Engineering, 18(1), 77-89.

Salim, A. A., Susanto, E., Sugati, D., & Harianto. (2022). Pengaruh Laju Aliran Udara terhadap Air-Lift Pump. Kurvatek, 7(2), 47–54.

Sharma, R., Patel, M., & Singh, A. (2017). Safety Considerations in Air-Pressurized Water Supply Systems. International Journal of Mechanical Safety, 9(4), 102-114.

Stewart, W. E. (2016). Transport Phenomena (2nd ed.). Wiley.

Tian, H., Wang, S., & Zhao, B. (2018). Hydraulic Behavior of Gravity-Fed Water Distribution Systems: Challenges and Opportunities. Water Supply Research, 19(6), 512-523.

UN-Water. (2021). The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. Paris: UNESCO.

Wong, K. L., Ho, S. C., & Tang, W. (2016). Performance Analysis of Small-Scale Gravity Water Supply Networks. Journal of Hydraulic Systems, 15(3), 135-144.

Zhang, P., Liu, R., & Gao, F. (2020). Modeling of Air-Assisted Water Delivery in Pressurized Storage Tanks. Advances in Mechanical Engineering, 12(10), 1-11