Rancang Bangun dan Uji Karakteristik Simulator untuk Keperluan Praktikum Pengamatan Kavitasi

Mohammad Rangga Saputra[1], Gilang Pandya Rahman[2], Fauzi Hadian[3], Taufik Rizky[4], Mariam Busra Al-Abrar[5], Syaren Desca[6], Nurcahyo[7], Saripudin[8], Muhammad Nurfauzi Rizal[9], Dianty Rosirda Dewi Kurnia[10*]

[1]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail : ranggasaputra7304@gmail.com*
[2]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: gilang.pandya.rahman@gmail.com*
[3]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: fauzihadian27@gmail.com*
[4]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: rizkytaufik008@gmail.com*
[5]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: mariambusra25@gmail.com*
[6]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: syarendesca13@gmail.com*
[7]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: nurcahyo@polban.ac.id*
[8]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: saripudin@polban.ac.id*
[9]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: muhammad.rizal@polban.ac.id*
[10]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. *E-mail Korespondensi: dianty.rosirda@polban.ac.id*

ABSTRAK

Kavitasi merupakan fenomena terbentuknya gelembung uap akibat penurunan tekanan fluida hingga mencapai tekanan uap jenuh yang dapat menyebabkan kebisingan, getaran, penurunan efisiensi, dan kerusakan komponen pada sistem perpipaan maupun pompa. Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, dan menguji karakteristik simulator pengamatan kavitasi skala laboratorium sebagai media praktikum dengan mengintegrasikan *suction cavitation*, *discharge cavitation*, *valve cavitation*, dan *sudden enlargement cavitation* dalam satu sistem sirkulasi tertutup. Simulator menggunakan air sebagai fluida kerja dan dilengkapi pipa transparan untuk pengamatan visual. Pengujian meliputi fungsi komponen, kestabilan sistem, kemampuan menghasilkan fenomena kavitasi, serta respons getaran. Hasil menunjukkan bahwa simulator beroperasi stabil tanpa kebocoran, seluruh komponen berfungsi sesuai rancangan, dan fenomena kavitasi pada keempat konfigurasi berhasil diamati secara visual. Pengukuran getaran menunjukkan bahwa variasi kondisi operasi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap amplitudo getaran, sehingga kavitasi yang terbentuk diindikasikan masih berada pada tahap *incipient cavitation*. Simulator yang dikembangkan layak digunakan sebagai media praktikum untuk mendukung pembelajaran mekanika fluida dan fenomena kavitasi.

Kata Kunci
Kavitasi, simulator, *suction cavitation*, *discharge cavitation*, *valve cavitation*, *sudden enlargement cavitation*

Cavitation is the formation of vapor bubbles caused by a local pressure drop below the liquid vapor pressure, which may result in noise, vibration, efficiency loss, and damage to pumps and piping systems. This study aimed to design, construct, and evaluate a laboratory-scale cavitation observation simulator by integrating suction cavitation, discharge cavitation, valve cavitation, and sudden enlargement cavitation into a single closed-loop system. Water was used as the working fluid, and transparent pipe sections enabled direct visual observation. The evaluation included component functionality, system stability, cavitation generation capability, and vibration measurements. The results showed that the simulator operated stably without leakage, all components functioned as designed, and cavitation phenomena were successfully observed in all four configurations. Vibration measurements indicated that operating conditions did not significantly affect vibration amplitude, suggesting that the observed cavitation remained at the incipient cavitation stage. The developed simulator is suitable as a laboratory teaching aid for fluid mechanics and cavitation education.

Keywords
Cavitation, simulator, suction cavitation, discharge cavitation, valve cavitation, sudden enlargement cavitation

1. PENDAHULUAN

Fenomena kavitasi terjadi ketika tekanan lokal pada suatu aliran fluida turun hingga mencapai atau berada di bawah tekanan uap jenuhnya, sehingga cairan berubah fase membentuk gelembung-gelembung uap. Gelembung yang terbentuk akan mengalami kolaps ketika memasuki daerah bertekanan lebih tinggi sehingga dapat menimbulkan kebisingan, getaran, penurunan efisiensi, dan kerusakan pada

komponen sistem pengaliran fluida (1–4). Fenomena tersebut dapat terjadi pada sisi isap pompa (*suction cavitation*), sisi tekan pompa (*discharge cavitation*), katup (*valve cavitation*), maupun pada perubahan geometri perpipaan seperti *sudden enlargement*.

Pengamatan fenomena kavitasi secara langsung merupakan bagian penting dalam pembelajaran mekanika fluida. Selain melalui pengamatan visual, karakteristik kavitasi juga dapat dipelajari melalui perubahan tekanan, pola aliran, serta respons getaran yang muncul akibat gelembung kavitasi yang dipengaruhi oleh dinamika pertumbuhan dan kolaps gelembung uap (5–8). Berbagai penelitian eksperimental juga menunjukkan bahwa fenomena kavitasi dapat diamati secara langsung untuk mengevaluasi karakteristik aliran dan pengaruhnya terhadap performa sistem fluida (9,10). Namun, keterbatasan media praktikum menyebabkan proses pembelajaran dan pemahaman terhadap fenomena kavitasi masih bertumpu pada teori tanpa didukung pengamatan langsung, sehingga hubungan antara perubahan tekanan, laju alir, dan pembentukan gelembung kavitasi sulit dipahami.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penurunan tekanan lokal pada *globe valve* dan orifice dapat memicu kavitasi serta memengaruhi *pressure drop* dalam sistem perpipaan (11,12). Distribusi tekanan juga telah digunakan untuk memprediksi kecenderungan terjadinya kavitasi pada berbagai konfigurasi aliran (13). Namun, penelitian tersebut umumnya berfokus pada analisis aliran atau simulasi numerik dan belum banyak dikembangkan menjadi media praktikum yang memungkinkan pengamatan langsung berbagai fenomena kavitasi dalam satu rangkaian alat.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan simulator praktikum yang mengintegrasikan *suction cavitation*, *discharge cavitation*, *valve cavitation*, dan *sudden enlargement cavitation* dalam satu sistem sirkulasi tertutup. Simulator ini memungkinkan pengamatan berbagai mekanisme pembentukan kavitasi serta pengukuran parameter operasi menggunakan satu perangkat praktikum. Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, dan menguji karakteristik simulator sebagai media pembelajaran fenomena kavitasi.

2. METODE PENELITIAN

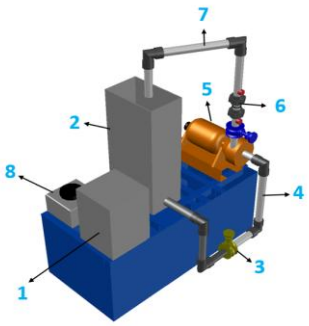
2.1 Rancang Bangun Simulator

Simulator pengamatan kavitasi dirancang menggunakan sistem sirkulasi tertutup (*closed-loop circulation system*) dengan air sebagai fluida kerja. Simulator dikembangkan sebagai media praktikum yang mampu memperagakan empat konfigurasi kavitasi, yaitu *suction cavitation*, *discharge cavitation*, *valve cavitation*, dan *sudden enlargement cavitation*, dalam satu rangkaian sehingga perbedaan mekanisme pembentukan kavitasi dapat diamati secara langsung.

Sistem terdiri atas tangki penampung berkapasitas 144 L, pompa sentrifugal, sistem perpipaan, *globe valve*, plat orifice, dan instrumen pengukuran tekanan. Pompa sentrifugal yang digunakan merupakan peralatan Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung dengan motor DC berdaya 1,5 kW, tegangan kerja 250 V, dan kecepatan maksimum 2950 RPM. Kecepatan putar pompa diatur menggunakan *slide regulator*, sedangkan karakterisasi simulator didasarkan pada pengukuran tekanan, laju alir, dan kemampuan menghasilkan fenomena kavitasi karena data teknis pabrikan, seperti kapasitas, *head*, diameter impeller, dan NPSHr, tidak tersedia.

Sistem perpipaan menggunakan pipa PVC berdiameter dalam 1½ inci dengan pipa akrilik transparan pada daerah pengamatan untuk memudahkan observasi pembentukan dan perkembangan gelembung. Konfigurasi *valve cavitation* menggunakan *globe valve* 1½ inci, sedangkan *sudden enlargement cavitation* menggunakan plat orifice berdiameter 1 inci, ¾ inci, ½ inci, ¼ inci, dan ⅛ inci.

Kondisi operasi dipantau menggunakan *pressure gauge* dengan rentang ukur 0 sampai −76 inHg pada sisi *suction* pompa, 0–2,5 bar pada sisi *discharge* pompa, serta 0–1 bar sebelum dan sesudah *globe valve* dan *orifice*. Penempatan instrumen ini memungkinkan perubahan tekanan pada setiap konfigurasi kavitasi diamati selama pengujian. Desain rangkaian simulator kavitasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain simulator (1) Panel *Control Box*; (2) Tangki Air; (3) *Suction Valve*; (4) Pipa Pengamatan *Suction*; (5) Pompa Sentrifugal; (6) Konfigurasi *Valve* dan *Sudden Enlargement*; (7) Pipa Pengamatan *Discharge*; (8) *Slide Regulator*.

2.2 Uji Karakteristik Simulator

Uji karakteristik simulator dilakukan untuk mengevaluasi fungsi setiap komponen, kestabilan sistem sirkulasi, serta kemampuan simulator menghasilkan fenomena kavitasi pada setiap konfigurasi pengamatan. Sebelum pengujian, seluruh sambungan perpipaan, flange, dan katup diperiksa untuk memastikan tidak terjadi kebocoran.

Simulator kemudian dioperasikan dengan menjalankan pompa melalui *control box*, sedangkan kecepatan putar diatur menggunakan *slide regulator*. Selama pengujian, kondisi operasi dipantau melalui *pressure gauge* dan pengukuran laju

alir, sementara pembentukan gelembung diamati secara visual pada pipa transparan.

Pengujian dilakukan pada empat konfigurasi, yaitu *suction cavitation*, *discharge cavitation*, *valve cavitation*, dan *sudden enlargement cavitation*. Pada *suction* dan *valve cavitation*, bukaan katup divariasikan dari 100% hingga 10% dengan interval 10%. Pada *discharge cavitation*, kecepatan putar pompa divariasikan melalui pengaturan *slide regulator* pada tegangan 100–250 V dengan interval 15 V. Sementara itu, *sudden enlargement cavitation* menggunakan plat orifice berdiameter 1 inci, ¾ inci, ½ inci, ¼ inci, dan ⅛ inci.

Fenomena kavitasi diidentifikasi melalui pengamatan visual terhadap lokasi, distribusi, dan perkembangan gelembung pada daerah transparan.

2.3 Keselamatan Pengoperasian

Aspek keselamatan diterapkan untuk melindungi operator dan menjaga keandalan simulator. Sebelum pengujian, seluruh sambungan perpipaan, *flange*, *valve*, dan instrumen diperiksa guna memastikan tidak terjadi kebocoran, sementara sistem dipastikan terisi penuh fluida. Tekanan operasi dijaga tetap dalam batas kerja komponen, terutama pipa akrilik sebagai daerah pengamatan, dan operator tidak berada tepat di depan pipa akrilik selama pengujian.

Untuk mencegah kerusakan pompa, kondisi kavitasi hanya dipertahankan selama pengambilan data. Apabila terjadi kebocoran, tekanan tidak normal, atau gangguan sistem, pompa segera dihentikan dan sistem dibiarkan hingga tekanan kembali ke kondisi atmosfer sebelum dilakukan pemeriksaan atau perubahan konfigurasi pengujian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Rancang Bangun Simulator

Simulator kavitasi yang telah dibangun memiliki kapasitas tangki penampung 144 liter. Seluruh komponen seperti tangki penampung, pompa sentrifugal, sistem perpipaan, *globe valve*, plat *orifice*, *pressure gauge*, dan sambungan *flange* telah dirakit menjadi satu kesatuan sesuai dengan desain pada Gambar 1.

Rangkaian simulator yang telah dibangun mampu digunakan untuk mengamati empat fenomena kavitasi, yaitu *suction cavitation*, *discharge cavitation*, *valve cavitation*, dan *sudden enlargement cavitation*, sesuai dengan rancangan pada Gambar 1. Rangkaian simulator kavitasi yang telah dibangun dapat dilihat pada Gambar 2.

(a) (b)

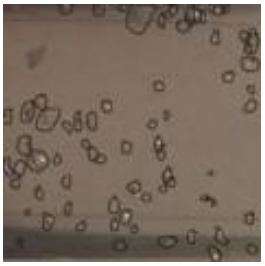
Gambar 2. Rangkaian simulator (a) Rangkaian simulator tampak depan (b) Rangkaian simulator tampak samping

Simulator yang dirancang mampu mengintegrasikan empat konfigurasi kavitasi, yaitu *suction cavitation*, *discharge cavitation*, *valve cavitation*, dan *sudden enlargement cavitation*, dalam satu sistem sirkulasi tertutup. Integrasi ini memungkinkan pengamatan berbagai mekanisme pembentukan kavitasi menggunakan satu perangkat praktikum, sementara pipa akrilik pada daerah pengamatan memudahkan observasi visual terhadap gelembung.

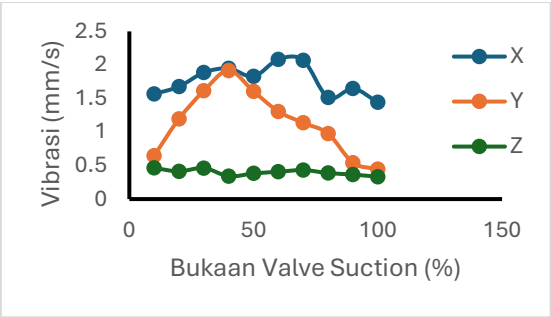
3.2 Hasil Uji Karakteristik Simulator

Pengujian fungsi menunjukkan bahwa seluruh komponen simulator beroperasi sesuai rancangan sehingga sistem dinyatakan siap untuk pengujian karakteristik. Pengujian selanjutnya dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan simulator menghasilkan fenomena kavitasi serta respons getaran pada konfigurasi *suction cavitation*, *discharge cavitation*, *valve cavitation*, dan *sudden enlargement cavitation*. Pengukuran getaran pada *suction* dan *discharge cavitation* dilakukan pada rumah pompa dengan arah aksial (X), horizontal (Y), dan radial (Z), sedangkan pada *valve* dan *sudden enlargement cavitation* dilakukan pada pipa di sekitar lokasi kavitasi dengan arah aksial (X) dan horizontal (Y).

Kavitasi suction ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung uap berukuran kecil di sisi isap pompa, sebagaimana teramati pada Gambar 3.



Gambar 3. Kavitasi suction pada bukaan valve suction 30%, 1814 RPM

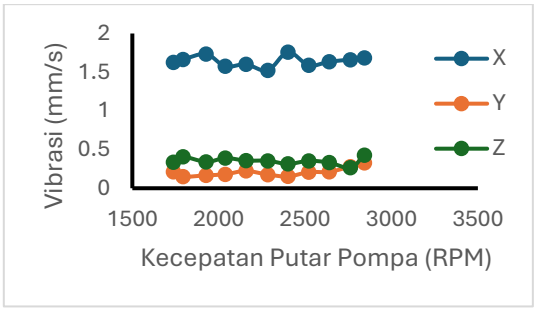


Gambar 4. Hubungan bukaan *valve suction* dengan vibrasi

Grafik hubungan bukaan *valve suction* dengan vibrasi menunjukkan pola yang fluktuatif pada ketiga sumbu pengukuran, tanpa hubungan monoton yang jelas terhadap peningkatan bukaan *valve*.

Pada sisi discharge, kepadatan gelembung kavitasi tertinggi teramati adalah pada 2844 RPM sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 5.

Gambar 5. Kavitasi *discharge* pada 2844 RPM

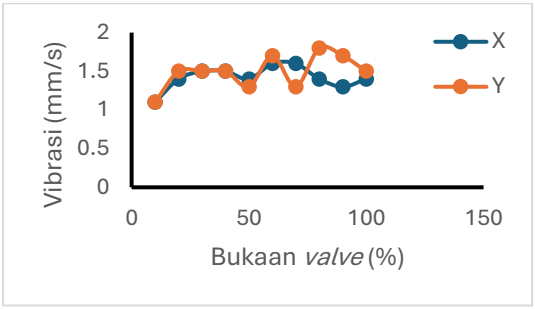


Gambar 6. Hubungan kecepatan putar pompa dengan vibrasi

Grafik hubungan kecepatan putar pompa dengan vibrasi juga menunjukkan pola yang fluktuatif pada ketiga sumbu pengukuran, tanpa tren yang konsisten terhadap peningkatan kecepatan putar pompa.

Pada konfigurasi valve cavitation, kavitasi terbentuk di hilir katup akibat percepatan aliran melalui *vena contracta* ketika bukaan valve dipersempit, sebagaimana teramati pada Gambar 7.

Gambar 7. Kavitasi valve pada bukaan valve 40%, 1814 RPM

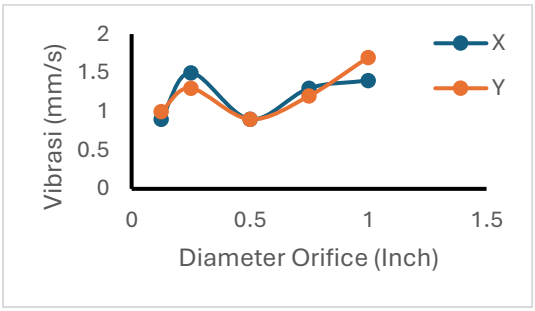


Gambar 8. Hubungan bukaan valve dengan vibrasi

Grafik hubungan bukaan *valve* dengan vibrasi pipa menunjukkan pola serupa, yaitu fluktuatif tanpa tren yang konsisten terhadap bukaan *valve*.

Kavitasi sudden enlargement terbentuk akibat pelepasan aliran secara tiba-tiba pada perbesaran penampang pipa, sebagaimana teramati pada Gambar 9.

Gambar 9. Kavitasi sudden enlargement pada diameter orifice ½ inci, 1814 RPM



Gambar 10. Hubungan diameter orifice dengan vibrasi

Grafik hubungan bukaan diameter *orifice* dengan vibrasi pipa juga menunjukkan pola serupa, yaitu fluktuatif tanpa tren yang konsisten terhadap ukuran diameter *orifice*.

Fenomena gelembung yang diamati diidentifikasi sebagai kavitasi, bukan aerasi (*false air*). Gelembung terbentuk pada daerah bertekanan rendah, mengikuti aliran, lalu menghilang di daerah bertekanan lebih tinggi akibat proses kolaps. Sebaliknya, gelembung aerasi berasal dari udara yang masuk akibat kebocoran atau terperangkap dalam sistem sehingga hanya mengikuti aliran tanpa mengalami pembentukan dan kolaps akibat perubahan tekanan.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai getaran pada seluruh konfigurasi berfluktuasi tanpa kecenderungan peningkatan yang konsisten. Uji ANOVA juga menunjukkan bahwa variasi parameter pengujian tidak berpengaruh signifikan terhadap respons getaran, sehingga getaran yang terukur masih didominasi oleh karakteristik dinamis pompa dan sistem perpipaan. Hasil ini mengindikasikan bahwa kavitasi yang terbentuk masih berada pada tahap *incipient cavitation*, di mana jumlah gelembung dan energi kolapsnya belum cukup besar untuk menghasilkan fluktuasi tekanan maupun amplitudo getaran yang signifikan. Peningkatan getaran umumnya baru terjadi ketika kavitasi berkembang menjadi *developed cavitation* atau *cloud cavitation* (14).

Temuan ini sesuai dengan hasil pengamatan visual, di mana gelembung telah terbentuk tetapi belum berkembang menjadi *cavity cloud* yang mengalami kolaps secara masif. Oleh karena itu, pengamatan visual lebih sensitif untuk mendeteksi *incipient cavitation*, sedangkan pengukuran getaran lebih efektif digunakan pada tahap kavitasi yang lebih lanjut (14,15). Secara keseluruhan, kombinasi pengamatan visual dan pengukuran getaran menunjukkan bahwa fenomena kavitasi berhasil diidentifikasi, meskipun respons getaran belum mampu merepresentasikan perkembangan kavitasi secara signifikan.

3.3 Kelayakan Simulator Sebagai Media Praktikum

Hasil pengujian menunjukkan bahwa simulator mampu memperlihatkan fenomena kavitasi secara visual pada keempat konfigurasi pengamatan. Selain memudahkan observasi pembentukan gelembung, simulator juga memungkinkan praktikan menghubungkan perubahan laju alir dan tekanan dengan karakteristik kavitasi yang terjadi.

Desain simulator yang mengintegrasikan empat konfigurasi pengamatan dalam satu sistem memberikan fleksibilitas dalam pelaksanaan praktikum karena berbagai fenomena kavitasi dapat dipelajari menggunakan satu rangkaian alat. Dengan demikian, simulator yang dirancang dinilai layak digunakan sebagai media praktikum untuk mendukung pembelajaran fenomena kavitasi di Laboratorium Teknik Kimia.

4. KESIMPULAN

Simulator pengamatan kavitasi berhasil dirancang, dibangun, dan diuji sebagai media praktikum berbasis sistem sirkulasi tertutup. Simulator mampu memperagakan fenomena *suction cavitation*, *discharge cavitation*, *valve cavitation*, dan *sudden enlargement cavitation* dalam satu rangkaian alat sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi kondisi operasi tidak menghasilkan peningkatan amplitudo getaran yang signifikan, yang mengindikasikan bahwa kavitasi yang terbentuk masih berada pada tahap *incipient cavitation*. Oleh karena itu, pengamatan visual menjadi metode yang lebih efektif untuk mengidentifikasi fenomena kavitasi pada simulator ini.

Untuk meningkatkan akurasi, identifikasi kavitasi disarankan dilengkapi dengan analisis spektrum frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT), serta pengukuran tekanan dan perhitungan angka kavitasi (*cavitation number*) agar hubungan antara perubahan tekanan, fenomena visual, dan respons getaran dapat dianalisis secara lebih kuantitatif.

DAFTAR PUSTAKA

1. Saiful A, Soebiyakto G, Finahari N. Analisis Kavitasi dan Karakteristik Aliran Bukaan Katup Globe Valve Menggunakan Simulasi Solidworks. V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article). 2024;9(1).
2. Wibisono SA, Akbar A, Fahruddin A, Firdaus R, Syahril M. Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Sudden Enlargement terhadap Head Loss pada Aliran Udara Laminar. J Mesin Nusant. 2025;8(2):213–24.
3. Syahputra B, Isranuri I, Abda S, Tugiman, Hamsi A. Studi Eksperimental Deteksi Fenomena Kavitasi Pada Pompa Distilasi Dengan Menggunakan Sinyal Spektrum Getaran. Dinamis. 2017;5(3).
4. Wang J, Liao S, Chen L, Xu C, Ni Z. Influence of sudden expansion geometries on cavitation behavior of control valves. Sci Rep. 2025;15(1).
5. Wang Y, Cong H, Wang S, Yu B, Shen Y. Development and application of ultrasound contrast agents in biomedicine. J Mater Chem B. 2021.
6. Haile SG, Woschke E, Tibba GS, Pandey V. Internal two-phase flow induced vibrations: A review. Cogent Eng. 2022.
7. Kamiel BP, Nafsaka DA, Riyanta B, Asyratul A. Deteksi Kavitasi Pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Spektrum Getaran dan Spektrum Envelope. Semesta Teknika. 2019;22(1).
8. Kamiel BP, Prastomo N, Riyanta B. Ekstraksi Parameter Statistik Domain Waktu dan Domain Frekuensi untuk Mendeteksi Kavitasi pada Pompa Sentrifugal Berbasis Principal Component Analysis (PCA). J Rekayasa Mesin. 2019;10(2).
9. Rumaherang WM, Louhenapessy J, Noya MF, Tupamahu CS. Studi Eksperimental Performance Kavitasi Waterjet Propulsi. ALE Proceeding. 2021;4:112–20.
10. Kamiel BP, Ramadhan RS. Pengaruh Kecepatan Operasi Pompa Sentrifugal Terhadap Sensitifitas Metode Deteksi Fenomena Kavitasi Berbasis Parameter Statistik Domain Waktu. Semesta Teknika. 2017.
11. Aulia A, ZA N, Sylvia N, Hakim L, Bahri S. Kajian Terhadap Kavitasi Dan Pressure Drop Pada Bukaan Control Valve Tipe Globe Valve Dengan Menggunakan Software Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics). Chem Eng

J Storage. 2022;1(4).
12. Asriati SQ, ZA N, Muhammad M, Jalaluddin J, Azhari A. Simulasi Pengaruh Bukaan Valve Terhadap Pressure Drop Dan Kavitasi Pada Control Valve Tipe Ball Valve Dengan Menggunakan Software Autodesk CFD (Computational Dynamics Fluid). Chem Eng J Storage. 2021;1(2).
13. Ferrarese G, Messa GV, Rossi MMA, Malavasi S. New method for predicting the incipient cavitation index by means of single-phase computational fluid dynamics model. Adv Mech Eng. 2015;7(3).
14. Wu Q, Guo Y, Liu Y, Wang G. Review on the cavitating flow-induced vibrations. Acta Aerodynamica Sinica. 2020.
15. Mousmoulis G, Karlsen-Davies N, Aggidis G, Anagnostopoulos I, Papantonis D. Experimental analysis of cavitation in a centrifugal pump using acoustic emission, vibration measurements and flow visualization. Eur J Mech B Fluids. 2019;75.