

# Studi Awal Fenomena Osilasi Antarmuka Air-Udara pada Pipa Vertikal dan Hubungannya dengan Frekuensi Osilasi dan Level Getaran

Sucipto\*, I.M. Miasa, A. Widyaparaga, H. Prakarso

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.  
Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281, Indonesia  
E-mail: [sucipto1007@gmail.com](mailto:sucipto1007@gmail.com)

## Abstrak

Fluida dapat digunakan untuk meneruskan energi mekanika namun hal tersebut tergantung pada beberapa parameter tertentu yaitu stabilitas dan tegangan permukaan fluida yang dipengaruhi oleh gaya tarik-menarik antar molekul. Dari proses transfer energi mekanika tersebut, studi awal untuk mengetahui pengaruh osilasi antarmuka air-udara akibat dari instabilitas antarmuka fluida pada pipa dilakukan. Pipa vertikal dan *plunger* diinstalasi secara aksial dengan *permanent magnet exciter* yang menerima input sinyal dari tone generator yang telah dikuatkan oleh *power amplifier*. Amplitudo dan frekuensi osilasi tertentu dari exciter diinvestigasi untuk menjelaskan fenomena instabilitas antarmuka fluida, yang dapat terlihat secara visual, akibat dari level getaran amplitudo tertentu yang diukur dengan menggunakan *accelerometer*. Grafik antara input frekuensi osilasi dengan amplitudo getaran pada saat terjadi instabilitas antarmuka fluida dibuat dengan pengambilan data level amplitudo getaran dengan rentang frekuensi dari 6 – 50 Hz dengan variasi diameter dalam pipa 40mm dan 50mm serta variasi volume 10-50 mL. Hasil pengukuran pada pipa dengan diameter dalam 40mm maupun 50mm menunjukkan bahwa dari setiap frekuensi yang diuji memiliki level amplitudo getaran yang unik untuk memicu terjadinya fenomena instabilitas antarmuka. Secara umum, bertambahnya frekuensi menyebabkan level amplitudo getaran yang dibutuhkan hingga memicu instabilitas cenderung menurun. Level amplitudo getaran yang dibutuhkan juga menurun seiring bertambahnya volume pada diameter pipa yang sama. Pipa dengan diameter dalam yang lebih besar, dalam penelitian ini 50 mm, membutuhkan amplitudo getaran yang lebih tinggi untuk menyebabkan instabilitas antarmuka dibanding pipa dengan diameter dalam 40 mm.

**Kata kunci** : *frekuensi osilasi, level getaran, instabilitas antarmuka fluida, tegangan permukaan, mekanika fluida.*

## Abstract

Fluid can be used for mechanical energy transfer and this capability depends on its fluid stability and surface tension which is controlled by the cohesive nature of its molecules. For further understanding of the phenomenon, investigation on fluid interface instability due to finite oscillation on vertical pipe had been conducted. The research setup consists of a vertical pipe and a plunger which axially installed with permanent magnet exciter that received input signal from a tone generator and amplified by a power amplifier. Various oscillation amplitudes and frequencies from the exciter to induce the vibration had been investigated to elucidate the fluid interface instability phenomenon, which visually observed and measured. The relation between oscillation input frequency with vibration amplitude at occurrence of the fluid interface instability had been plotted in the frequency range of 6 – 50 Hz. In this preliminary study, two inner diameters of vertical pipe which are 40 mm and 50 mm and fluid volume from 10 mL up to 50 mL with increment of 10 mL for each measurement were investigated. The measurement results showed that each of the measured data has a unique vibration amplitude to trigger the phenomenon of fluid interface instability. In general, the increase of frequencies causes the level of vibration amplitude required to trigger the instability tends to decrease. Furthermore, vibration amplitude required for higher volume also decrease for both inner pipe diameters. Bigger inner diameter of pipe, which is 50 mm, requires higher vibration amplitude to induce interface instability compared to the pipe with inner diameter of 40 mm.

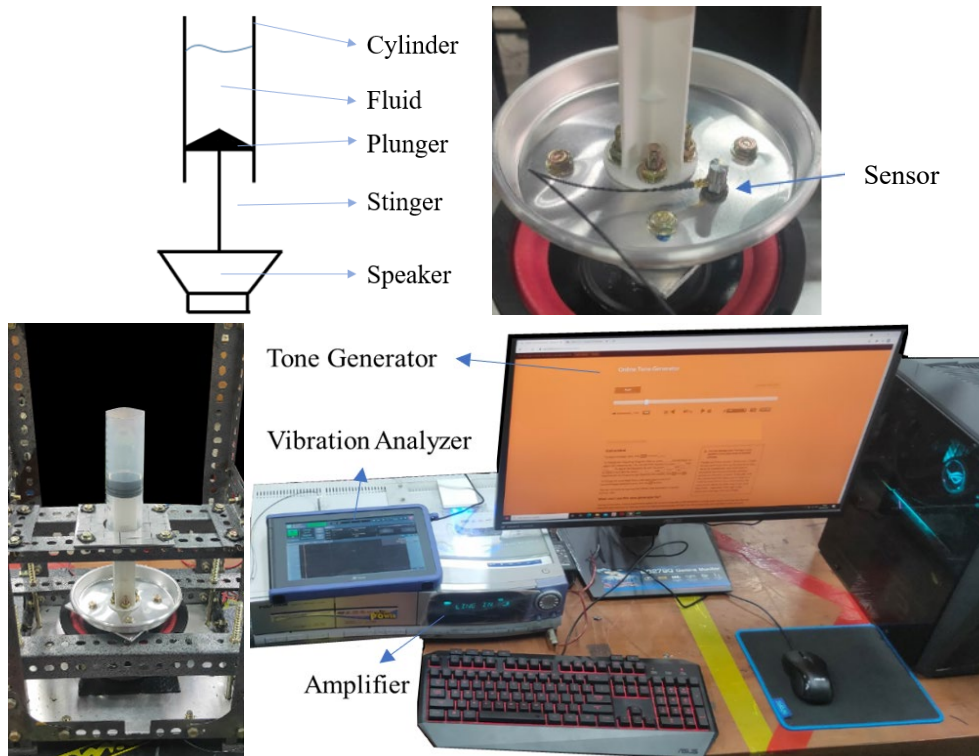
**Keywords**: *Oscillation frequency, vibration level, fluid interface instability, surface tension, fluid mechanics.*

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan pendinginan pada komponen mikro menuntut perkembangan penelitian aliran dua fase. Fluida merupakan zat yang umum digunakan untuk proses transfer energi yang sangat tergantung pada stabilitas fluida. Penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh Helmholtz, Kelvin, Rayleigh dan Reynolds telah menjadi fondasi utama untuk perkembangan riset mengenai stabilitas hidrodinamik. Stabilitas hidrodinamik menjelaskan mengenai kondisi aliran fluida dalam fase stabil atau tidak stabil, yang bila tidak stabil dapat menyebabkan turbulensi (Drazin, 2002). Pada prakteknya, instabilitas fluida berkaitan erat dengan hasil proses dari sebuah benda, sebagai contoh pada industri pengolahan makanan, farmasi dan juga aplikasinya di bidang Teknik. Pada industri pengolahan makanan, proses pencampuran makanan membutuhkan komposisi dan parameter kecepatan yang tepat agar menghasilkan produk yang diharapkan. Pembuatan roti adalah salah satu contoh besarnya variasi dari properti material ketika proses pencampuran. Ketika terjadi *overmixing*, perubahan properti yang tidak diinginkan dari material terjadi sehingga produk yang dihasilkan tidak sesuai sebagaimana mestinya (Lindley, 1991). Hal itu juga sejalan dengan penelitian Rosseburn dkk (2018) mengenai proses pencampuran material pada *aerated stirred tank reactor*. Produk akhir yang deviasinya sangat sensitif terhadap kecepatan putar dan *aeration rate* ini memberikan batasan-batasan yang tegas mengenai kondisi operasinya. Hal serupa lainnya juga ditemukan pada proses formulasi *monoclonal antibody*. Penggunaan teknik *high-speed electrospinning* untuk manufaktur *solid formulation of monoclonal antibody* membutuhkan kondisi dan kecepatan tertentu untuk agar tercipta kestabilan dalam solid form (Domjan dkk, 2020).

West (1969) menemukan mesin fluidyne yang merupakan mesin *Stirling* dengan *liquid piston*. Mesin *Stirling* bekerja dengan piston tunggal atau banyak dan menggunakan udara sebagai *working gas*. Prinsip dasar dari mesin *fluidyne* adalah udara yang berekspansi akibat dipanaskan dan menyusut ketika didinginkan. Romanelli (2019) telah meneliti mengenai mesin *fluidyne* dan dikombinasikan dengan osilator. Diketahui bahwa model teoritis dengan parameter amplitudo piston, temperatur *working gas* dan tekanan yang digunakan dapat mendeskripsikan aspek termodinamika secara simpel, akurat dan natural. Investigasi secara komprehensif mengenai *energy harvesting* dengan menggunakan *standing wave thermoacoustic-piezoelectric resonator* telah dilakukan oleh Smoker dkk (2012). *Thermoacoustic* dapat menjadi salah satu solusi untuk peningkatan efisiensi sebuah permesinan dengan memanfaatkan sumber energi dari *waste heat energy*. Ishikawa dkk (2011) melakukan penelitian mengenai *nonlinear pressure wave analysis* dengan menggunakan model *concentrated mass* pada elemen pipa elastis. Ditemukan bahwa *shockwave* dari udara tidak mengeksitasi frekuensi resonansi bila pipanya panjang. Pada penelitian selanjutnya, Ishikawa dkk (2016) menjelaskan bahwa tangki dengan ketinggian air yang lebih kecil dari panjang horizontal tangkinya dapat memicu *surface waveform* pada tangki yang menyebabkan perilaku kompleks yang diakibatkan oleh *nonlinearity* dan *dispersion* dari fluida di dalamnya. Respon dinamis dari tangki timbun akibat dari angin dan gempa telah diteliti oleh Jing dkk (2019). Dengan mempertimbangkan teori *potential flow* dan metode *arbitrary Lagrangian-Eulerian*, respon pergerakan dinamis akibat angin dan gempa telah dilakukan. Penelitian Komoda dkk (2019) menyatakan bahwa analisa frekuensi getaran harmonik dapat digunakan untuk mengklarifikasi hal-hal yang berpengaruh pada aliran fluida.

Studi awal ini memiliki tujuan untuk meneliti pengaruh amplitudo dan frekuensi osilasi antarmuka antara air dan udara terhadap instabilitas. Model alat penelitian dirancang sedemikian rupa agar menghasilkan osilasi yang amplitudo dan frekuensinya dapat diatur sesuai keinginan. Adapun hasil percobaan untuk mencari batas sebelum fluida tidak lagi optimum meneruskan energi yang dengan kata lain tidak mampu lagi mempertahankan bentuknya.

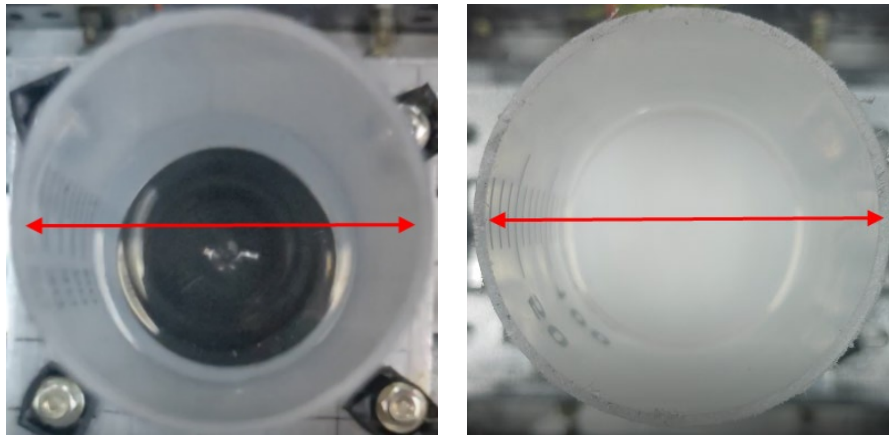


Gambar 1. Setup alat (dari kiri atas, kanan atas, kiri bawah, kanan bawah: desain skema alat, posisi penempelan sensor, skema alat, skema input frekuensi dan *vibration analyzer*)

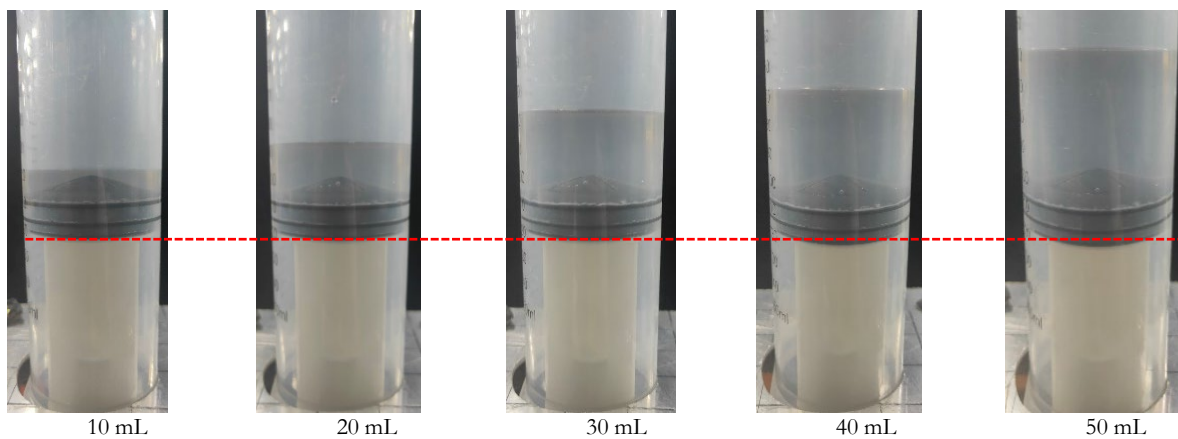
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan merancang alat dengan osilator dan tabung silinder serta piston. Rangka struktur dirakit dari besi siku yang dipasang untuk menumpu osilator dan pipa sehingga piston dapat bergerak relatif terhadap benda lainnya. Fluida yang digunakan pada penelitian ini adalah air dengan temperatur ruangan. Speaker digunakan sebagai osilator untuk menggetarkan piston, atau dalam skema penelitian ini plunger, untuk memberikan gerak bolak-balik pada fluida. Input frekuensi getaran didapatkan dari Szynalski Online Tone Generator dengan menggunakan komputer dan diteruskan ke amplifier. *Accelerometer* dan *vibration analyzer* digunakan untuk merekam getaran akibat osilator. Rambatan getaran pada rangka struktur diminimalisir dengan pemasangan lapisan peredam getaran untuk menjaga kualitas data yang dihasilkan tidak terganggu oleh faktor eksternal yang tidak diinginkan. Skema alat penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Eksperimen dilakukan dengan memberikan input frekuensi operasi sesuai dengan yang diinginkan yang kemudian gain pada pengaturan amplifier dilakukan hingga secara visual fluida yang diteliti mengalami perubahan bentuk yang signifikan dari *solid wave* menjadi *broken wave*. Gerak permukaan fluida berubah secara signifikan ditandai dengan gerak tidak menentu dengan pola getar yang acak. Pengukuran dilakukan pada rentang frekuensi 6 – 50 Hz dengan variasi diameter dalam 40 dan 50 mm seperti pada Gambar 2. Pengambilan data dimulai dari 6 Hz karena dibawah 6 Hz tidak ditemukan perubahan pola getar dari permukaan fluida dan pengambilan data hanya sampai frekuensi 50 Hz saja dikarenakan mendekati nilai frekuensi resonansi dari speaker sehingga dapat mempengaruhi kualitas data primer yang didapatkan dari pengukuran. Selanjutnya, studi ini juga mencari hubungan antara level getaran *threshold* dengan variasi volume 10-50 mL seperti pada Gambar 3. Pengambilan data getaran dilakukan ketika fluida telah mencapai *steady state* sehingga bentuk permukaan fluida menunjukkan satu pola yang dominan.



Gambar 2. Variasi diameter dalam (Kiri: 40mm, kanan: 50mm)



Gambar 3. Perbandingan variasi volume pada pipa vertikal

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hubungan Antara Input Frekuensi dengan Getaran dan Instabilitas Antarmuka Fluida Variasi Volume

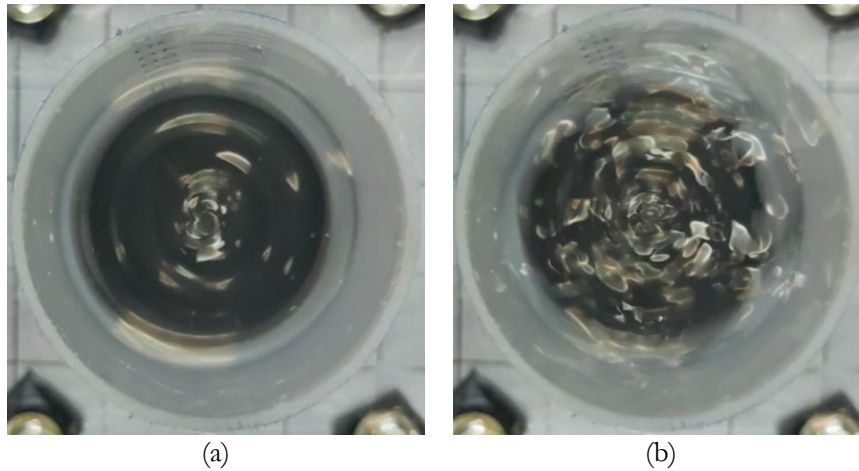
Interaksi antara input frekuensi dengan getaran dan instabilitas dicuplik berdasarkan pengamatan visual dan getaran. Perubahan pola getar pada permukaan fluida secara pengamatan visual digunakan sebagai acuan terjadinya instabilitas antarmuka fluida seperti pada Gambar 3. Ketika diberikan eksitasi awal berupa input getaran yang masih dibawah level getaran threshold, maka pola getar antarmuka fluida membentuk riak pada permukaan seperti terlihat pada Gambar 4 (a). Ketika melewati level getaran threshold pola getar antarmuka fluida yang telah mengalami instabilitas akibat dari eksitasi gaya dari luar seperti yang terlihat pada Gambar 4 (b). Hal ini ditandai dengan munculnya pola getar acak pada permukaan antarmuka fluida ketika tegangan permukaan tidak mampu lagi menahan eksitasi getaran yang diberikan.

Pola getar yang muncul pada saat terjadinya instabilitas antarmuka fluida berbeda-beda pada setiap frekuensinya. Namun pada studi awal ini, pola getar yang muncul tidak dibahas lebih lanjut karena hanya berfokus pada fenomena terjadinya instabilitas antarmuka.

Secara umum hasil yang didapatkan dari grafik ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya volume, level getaran *threshold* yang dibutuhkan untuk mencapai instabilitas antarmuka menurun. Hal ini berlaku pada baik pada pipa dengan diameter dalam 40 mm maupun 50 mm. Sedangkan dari sisi frekuensi, meningkatnya volume menyebabkan sedikit pergeseran yang cenderung meningkat karakteristik frekuensi yang ada.

Terjadinya instabilitas antarmuka fluida ini perlu menjadi perhatian khusus karena dapat mempengaruhi kapabilitas fluida sebagai medium transfer energi atau bahkan dapat digunakan sebagai media penyampur material-material seperti yang digunakan pada industri pengolahan makanan, obat-obatan dan lainnya.



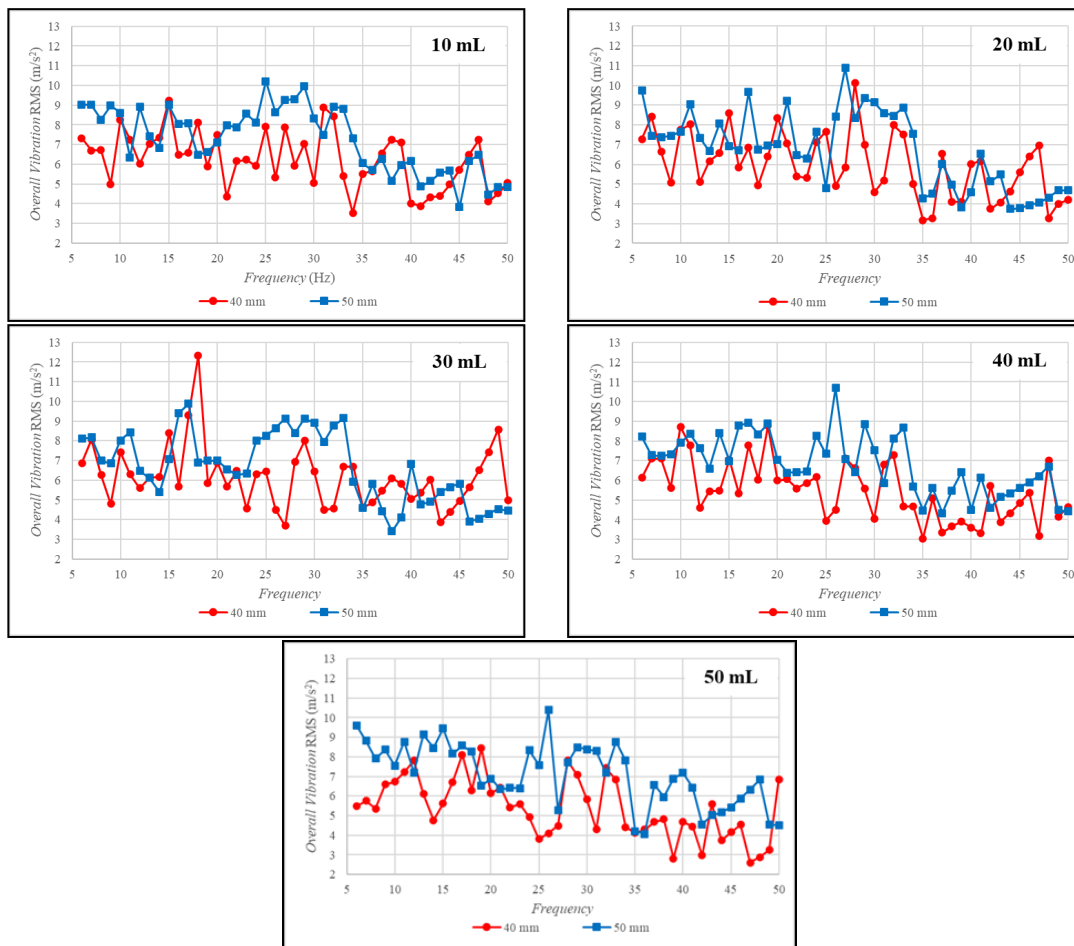


Gambar 4. Perubahan permukaan fluida akibat getaran pada frekuensi 27 Hz

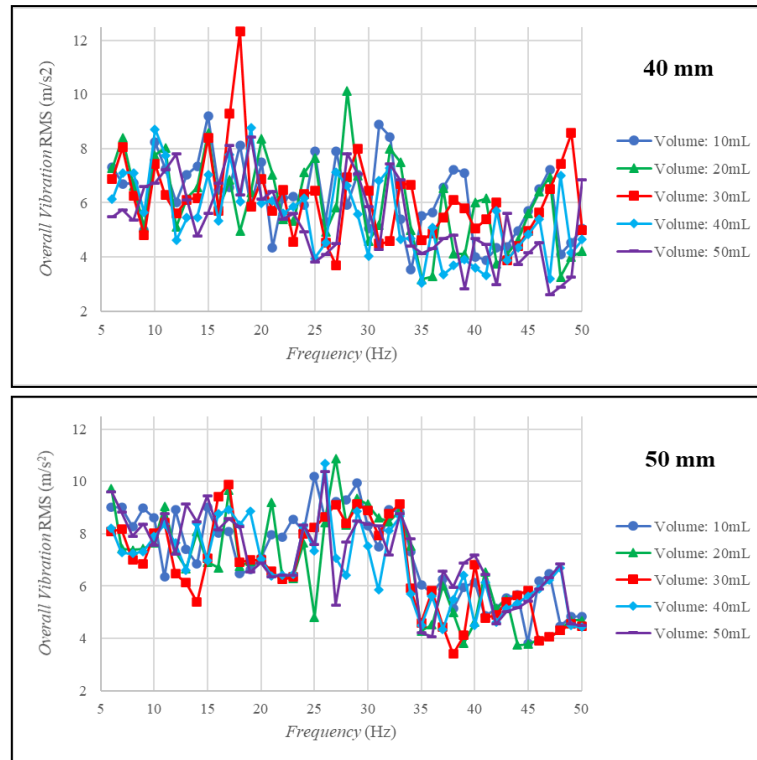
### 3.2. Hubungan Antara Input Frekuensi dengan Getaran dan Instabilitas Antarmuka Fluida Variasi Diameter Dalam

Pola getar yang muncul pada saat terjadinya instabilitas antarmuka fluida berbeda-beda pada setiap frekuensinya. Namun pada studi awal ini, pola getar yang muncul tidak dibahas lebih lanjut karena hanya berfokus pada fenomena terjadinya instabilitas antarmuka.

Secara umum hasil yang didapatkan dari grafik ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya volume, level getaran *threshold* yang dibutuhkan untuk mencapai instabilitas antarmuka menurun. Hal ini berlaku pada baik pada pipa dengan diameter dalam 40 mm maupun 50 mm. Sedangkan dari sisi frekuensi, meningkatnya volume menyebabkan sedikit pergeseran yang cenderung meningkat karakteristik frekuensi yang ada.



Gambar 5. Perbandingan variasi diameter dalam pipa terhadap level getaran dalam berbagai *volume*



Gambar 6. Hubungan antara input frekuensi dengan level getaran saat terjadi *broken wave*

#### 4. KESIMPULAN

Studi awal pengaruh amplitudo dan frekuensi osilasi antarmuka air-udara terhadap instabilitas antarmuka di pipa vertikal telah dilakukan. Dapat disimpulkan bahwa kenaikan amplitudo getaran pada gerak osilasi fluida dapat menyebabkan instabilitas pada level getaran tertentu. Secara umum, seiring bertambahnya frekuensi, level getaran hingga terjadi instabilitas cenderung menurun. Variasi volume terhadap instabilitas ini diteliti dan level getaran yang dibutuhkan akan menurun serta mengalami pergeseran karakteristik frekuensi seiring bertambahnya volume. Perubahan diameter dalam juga diteliti pada kesempatan ini, Pipa dengan diameter dalam yang lebih besar, dalam penelitian ini 50 mm, membutuhkan amplitudo getaran yang lebih tinggi untuk menyebabkan instabilitas antarmuka dibanding pipa dengan diameter dalam 40 mm.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Domjan, J., Vass, P., Hirsch, E., Szabo, E., Pantea, E., Andersen, S. K., Vigh, T., Verreck G., Marosi, G., Nagy, Z. K. (2020) Monoclonal antibody formulation manufactured by high-speed electrospinning, *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 591.
- Drazin, P. G. (2002). *Introduction to hydrodynamic stability*. Cambridge texts in applied mathematics, Cambridge University Press.
- Ishikawa, S., Kondou, T., Matsuzaki, K., Nagano, S., (2011) Nonlinear Pressure Wave Analysis by Concentrated Mass Model (4th Report, Modeling of Elastic Pipe Element). *Journal of System Design and Dynamics*, vol. 5, no. 6, pp. 1388-1401, 2011.
- Ishikawa S., Kondou, T., Matsuzaki, K., Yamamura, S., (2016). "Analysis of nonlinear shallow water waves in tank by concentrated mass model," *Journal of Sound and Vibration* 371, pp 171-182.
- Jing, W., Feng, H., Cheng, X., (2019). Dynamic Responses of Liquid Storage Tanks Caused by Wind and Earthquake in Special Environment, *Applied sciences*, 9(11):2376.
- Komoda, Y., Tomimasu, F., Hidema, R., Suzuki, H. (2019) Frequency analysis of torque variation of a rotationally reciprocating impeller using newtonian and viscoelastic fluids," *Chemical engineering research and design*, vol. 142, pp. 327-335.
- Lindley, J. A. (1991). Mixing processes for agricultural and food materials: Part 2, highly viscous liquids and cohesive materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 48, pp. 229-247, January-April.
- Romanelli, A. (2019). The Fluidyne engine. *American Journal of Physics* 87, January.

- Rosseburg, A., Fitschen, J., Wutz, J., Wucherpfennig, T., Schlüter M. (2018). Hydrodynamic inhomogeneities in large scale stirred tanks – Influence on mixing time, *Chemical Engineering Science*, vol. 188, pp. 208-220.
- Smoker, J., Nouh M., Aldraihem O., Baz, A. (2012). Energy harvesting from a standing wave thermoacoustic-piezoelectric resonator. *Journal of Applied Physics* 111, 104901.
- West, C. D. (1983). *Liquid piston Stirling engines*, Van Nostrand Reinhold, New York.