

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2020.01.FA.23

STUDI KARAKTERISTIK KAVITASI LARUTAN MENGUNAKAN METODE GELOMBANG BERDIRI ULTRASONIK

Mutiara Pratama¹, Umiatin¹, Taryudi²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta 13220, Indonesia

²Program Studi Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta 13220, Indonesia

Email: ^{a)}umiatin@unj.ac.id

Abstrak

Pemisahan partikel merupakan proses untuk mendapatkan zat murni dari suatu zat campuran. Kavitasi adalah terbentuknya gelembung-gelembung dalam aliran fluida akibat penurunan tekanan pada fluida sampai dibawah tekanan uap jenuhnya. Selanjutnya akan erosi kavitasi yaitu pecahnya gelembung-gelembung tersebut akibat tumbukan. Karakteristik kavitasi penting dianalisis dalam sebagai dasar pemisahan partikel. Gelembung kavitasi yang menempel pada partikel yang diberikan iradiasi ultrasonik akan mengarahkan partikel menuju wilayah iradiasi tertinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pergerakan gelembung kavitasi karena iradiasi gelombang berdiri ultrasonik. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis larutan, suhu, penambahan SDS (*sodium dodecyl sulfate*), dan posisi partikel silika pada tiap larutan. Penelitian ini menggunakan tiga jenis larutan yaitu *aquades*, alkohol, dan campuran alkohol-*aquades*. Suhu yang digunakan sebesar 28°C dan 100°C. Posisi setiap saat partikel silika dalam larutan yang diiradiasi gelombang berdiri ultrasonik diamati menggunakan kamera *Lumix GH5s 4K Mirrorless*. Video yang diperoleh selanjutnya diolah dan dianalisis menggunakan *software Python*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu mempengaruhi populasi gelembung kavitasi. Kavitasi pada larutan campuran *aquades*-alkohol memiliki jumlah kavitasi tertinggi dan kecepatan pemisahan partikel tercepat dengan waktu 2.5 sekon.

Kata-kata kunci: Ultrasonik, Kavitasi, Pemisahan Partikel, *Python*.

Abstract

Particle separation is a process to get a pure substance from a mixed substance. Cavitation is the formation of bubbles in the fluid flow due to a decrease in pressure in the fluid until below the saturated vapor pressure, then followed by cavitation erosion due to bubbles collisions. It is interesting to study cavitation phenomena because it is important in the particle separation process. The cavitation bubbles attached to the particles given the irradiation, then it will direct the particles to the highest irradiation region. The purpose of this study was to analyze the movement characteristics of the cavitation bubbles due to ultrasonic standing wave irradiation. The variables used in this study were the type of solution, temperature, the using of SDS (sodium dodecyl sulfate), and the movement of silica particles in each solution. The solution used were distilled water, alcohol, and a mixture of distilled alcohol and water. The solution temperatures were kept on 28°C and 100°C. The silica particles were used to observe the cavitation characteristics of the solution on particle separation. The position of each particle in the solution was observed using the *Lumix GH5 4K Mirrorless* camera. The data obtained were processed

and analyzed using Python software. The results showed that the temperature affected the cavitation bubble population. The aquades-alcohol mixed cavitation has the highest cavitation population and the fastest particle separation speed with a time of 2.5 seconds.

Keywords: Ultrasound, Cavitation, Particle Separation, Python.

PENDAHULUAN

Metode pemisahan dan pemurnian sel serta mikropartikel pada fluida saat ini banyak diteliti karena manfaatnya yang luas dalam bidang biologi, kimia, serta kedokteran. Pemisahan dan pemurnian adalah proses pemisahan dua zat atau lebih untuk mendapatkan zat murni dari suatu zat campuran [1]. Seiring dengan kemajuan teknologi khususnya perkembangan sejumlah transduser, berkembang metode pemisahan partikel dengan iradiasi akustik menggunakan gelombang ultrasonik [2]. Metode pemisahan partikel berbasis akustik menggunakan gelombang ultrasonik lebih tidak invansif terhadap sistem biologis. Kelebihan lainnya adalah tidak bersentuhan secara langsung dengan partikel yang akan dipisahkan, oleh karena itu saat ini banyak berkembang penelitian memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk pemisahan partikel [3].

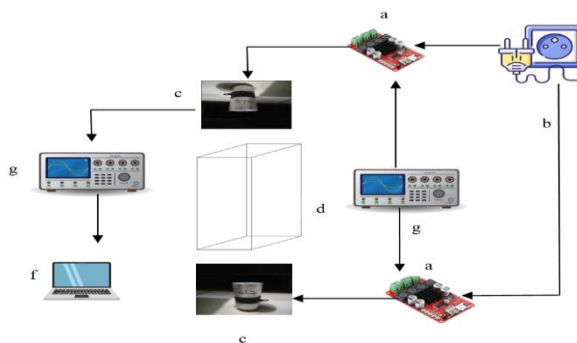
Pada pengaplikasiannya, metode ini sangat dipengaruhi oleh fenomena dari kavitasi. Kavitasi merupakan fenomena terjadinya pembentukan, pertumbuhan, serta hancurnya gelembung berukuran mikro dalam larutan selama iradiasi ultrasonik. Fenomena kavitasi ini bermanfaat dalam proses pemisahan partikel. Gelembung kavitasi akan menempel pada permukaan partikel, kemudian akan mengarahkan partikel ke pusat iradiasi ultrasonik. [4]

Berbagai penelitian dilakukan untuk menjelaskan fenomena kavitasi dalam larutan. Ashokkumar (2010) yang melakukan eksperimen untuk mengetahui karakteristik gelembung kavitasi. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui perubahan besar gelembung dan perubahan suhu dalam proses kavitasi. Didapatkan hasil bahwa gelembung kavitasi berpengaruh pada kenaikan suhu pada larutan. Penelitian selanjutnya oleh Yuki (2013) yang mengamati interaksi gelembung kavitasi dengan partikel. Penelitian terbaru oleh Hadi (2020) melakukan eksperimen menggunakan tiga larutan berbeda yaitu alkohol, *aquades*, dan campuran alkohol-*aquades* untuk mengetahui karakteristik kavitasi dari tiap larutan. Didapatkan bahwa kavitasi dari larutan campuran alkohol *aquades* mempunyai lebih banyak gelembung dengan volume yang lebih besar.

Pada penelitian ini akan dilakukan untuk mengkarakterisasi posisi partikel silika dalam larutan yang diiradiasi gelombang berdiri ultrasonik. Selain itu akan dilakukan perubahan suhu dan penambahan SDS untuk dilihat pengaruhnya pada pergerakan partikel silika dibawah iradiasi gelombang berdiri ultrasonik.

METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan iradiasi gelombang ultrasonik pada larutan dengan skema alat seperti pada GAMBAR 1.



GAMBAR 1. Skema eksperimen pemisahan partikel dengan gelombang berdiri ultrasonik. a) Amplifier, b) Power supply, c) Transduser, d) Akrilik, e) Osiloskop, f) Laptop, g) Generator fungsi.

Wadah yang digunakan adalah akrilik berukuran alas 70 mm x 70 mm dan tinggi 60 mm untuk menampung larutan aquades, alkohol, alkohol-aquades dan partikel silika yang akan diuji coba. Di dalamnya diberikan larutan dengan optimasi ketinggian 60 mm untuk menghasilkan gelombang berdiri ultrasonik.[5] Setelah itu, larutan diiradiasi menggunakan gelombang ultrasonik berdiri dengan frekuensi 40 kHz. Digunakan tiga larutan berbeda yaitu aquades, alkohol, dan campuran alkohol-aquades dengan perbandingan 50:50. Suhu larutan digunakan dua yaitu 28oC dan 100oC. Selanjutnya diberikan penambahan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) untuk dilihat pengaruhnya pada karakteristik kavitasi. Posisi partikel setiap saat diamati dengan Lumix GH5s 4K Mirrorless. Tangkapan video diolah menggunakan software Python.

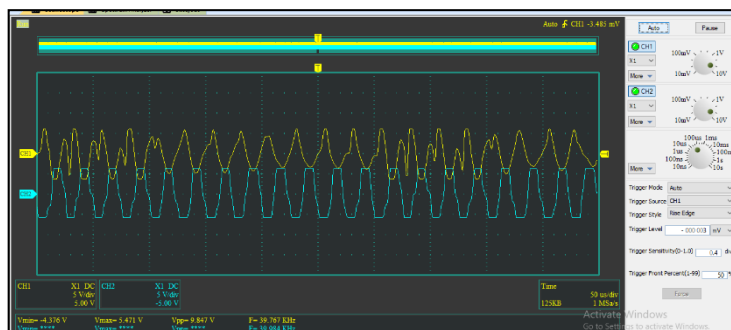
TABEL 1 menunjukkan detail setiap parameter yang digunakan dalam penelitian ini.

TABEL 1. Rincian bahan penelitian.

Parameter	Spesifikasi
Ukuran Partikel	400-800 mikrometer
Tinggi Air	60 mm
Massa Jenis Air	1000 kg/m ³
Massa Jenis Alkohol	785 kg/m ³
Jarak Kamera ke Medium	20 cm
Frekuensi	40 kHz
Suhu	Kondisi normal (20°C) Kondisi panas (100°C)
Massa SDS	3 gram

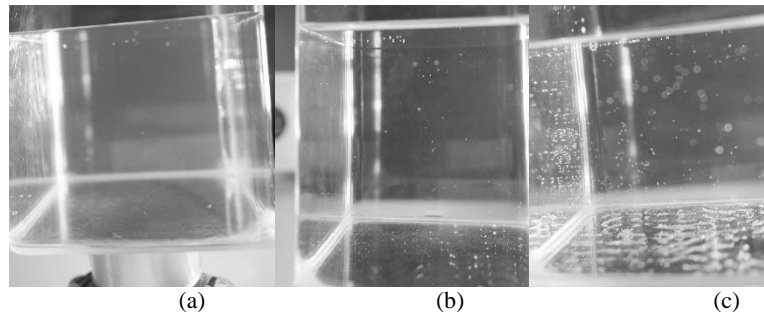
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sinyal yang masuk dari transduser ke laptop akan terlihat di aplikasi osiloskop pada laptop. Gelombang berdiri ultrasonik dihasilkan oleh transduser tunggal (*sonotrode*) dan reflektor yang berlawanan, atau dengan dua transduser aktif yang dipasang berhadapan dan membentuk sumbu tegak lurus dengan panjang gelombang. Frekuensi yang dihasilkan dalam orde kHz.[6] Pada osiloskop (GAMBAR 2) terlihat bahwa terdapat dua gelombang sinusoidal yang terbaca dengan frekuensi 40 kHz.



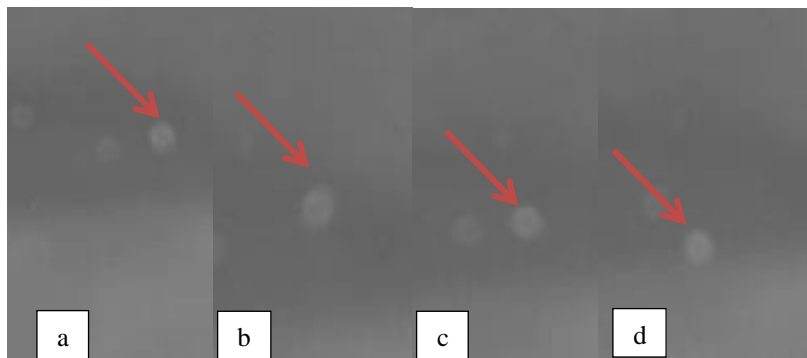
GAMBAR 2. Tampilan antar muka keluaran gelombang berdiri ultrasonik. Pada osiloskop terlihat gelombang sinusoidal dengan frekuensi keluaran yang sama dari kedua transduser, yaitu 40 kHz.

Iradiasi gelombang berdiri ultrasonik menghasilkan karakteristik kavitasi yang berbeda-beda. Besar gelembung kavitasi yang terbentuk berbanding lurus dengan kandungan oksigen pada larutan sehingga larutan yang mudah menguap akan lebih cepat.

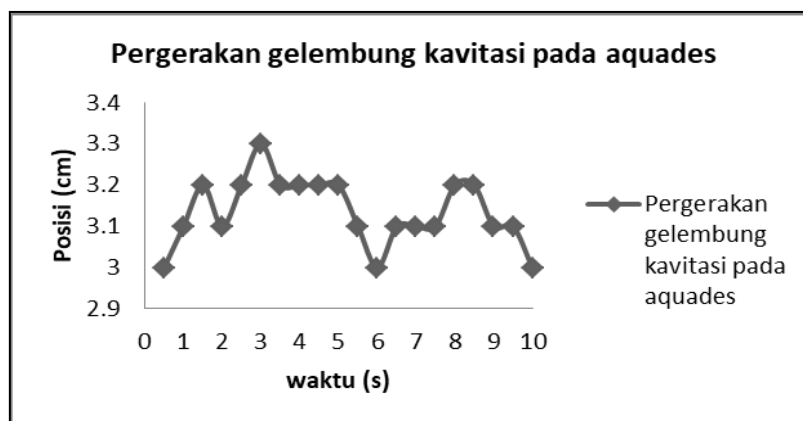


GAMBAR 3. Kavitasi pada larutan (a) *Aquades*, (b) Alkohol, (c) Alkohol-*aquades*.

Pada GAMBAR 3 terlihat bahwa dalam larutan alkohol-*aquades* memiliki populasi gelembung kavitasi yang lebih banyak. Besar gelembung kavitasi yang terbentuk berbanding lurus dengan kandungan oksigen pada larutan, sehingga larutan yang mudah menguap akan lebih cepat dalam pembentukan gelembung kavitasi. Merujuk pada penelitian Liyan Liu, ddk [7] bahwa terlihat sedikit gelembung kavitasi dan terjadi penambahan level air pada saat iridiasi dilakukan. Kavitasi yang terjadi berpusat pada garis tengah sumber radiasi ultrasonik. Beberapa gelembung bergetar diposisi titik simpul dari gelombang ultrasonik yang diiradiasikan ke larutan.



GAMBAR 4. Pergerakan gelembung kavitasi pada *aquades*. Pada waktu a) 3s b)3.5s c)3.6s d)5.5s.



GAMBAR 5. Grafik pergerakan gelembung kavitasi pada *aquades*.

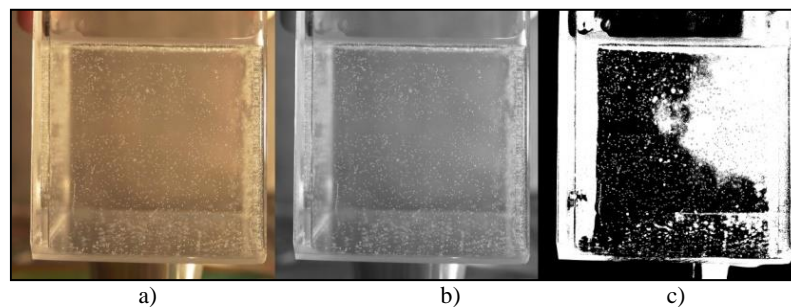
GAMBAR 5 di atas menunjukkan pergerakan gelembung kavitasi akibat pengaruh gaya apung dan iridiasi gelombang berdiri ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz. Gelembung kavitasi diarahkan menuju ke pusat titik simpul sampai akhirnya konstan di ketinggian 3 cm seperti yang terlihat di

GAMBAR 4. Gelembung kavitasi akan terus mengembang selama fase kompresi siklus akustik dan ditolak dari *antinode* [8].

Larutan alkohol yang mudah menguap menyebabkan alkohol lebih mudah berdifusi dan membentuk gelembung kavitasi. Jumlah gelembung yang terbentuk pada larutan alkohol lebih banyak dibandingkan dengan larutan aquades. Larutan alkohol dan aquades kemudian dicampurkan dengan perbandingan 50:50. Larutan alkohol yang bersifat hidrofobik tidak bisa menyatu dengan aquades sehingga menimbulkan reaksi yang menyebabkan terbentuknya gelembung-gelembung pada dinding akrilik.

Campuran alkohol dan *aquades* menghambat penggabungan gelembung akustik karena penambahan alkohol pada *aquades* akan memutus jaringan ikatan hidrogen yang akan menyebabkan penurunan tegangan permukaan pada larutan [8]. Jika konsentrasi alkohol bertambah, molekul air akan kehilangan struktur ikatan hidrogennya dan menjadi molekul tunggal yang akan terikat dengan molekul alkohol. Hasilnya, gelembung kavitasi pada larutan campuran memiliki volume yang lebih besar dan populasi yang lebih banyak dibandingkan dengan larutan *aquades* dan larutan alkohol. Fenomena ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi termal yang dibutuhkan untuk penguapan dengan menggunakan frekuensi ultrasonik yang lebih tinggi.

Pada penelitian selanjutnya dilakukan penambahan 5 gram SDS pada masing-masing larutan. Penambahan SDS pada larutan menyebabkan perlambatan gelembung kavitasi dalam melakukan penggabungan. Penambahan zat terlarut dalam larutan akan menimbulkan adsorpsi zat terlarut yang dapat mempengaruhi laju pertumbuhan gelembung kavitasi [9] sehingga pada larutan *aquades* dan larutan alkohol yang ditambahkan SDS tidak terlihat gelembung kavitasi, sedangkan pada larutan campuran alkohol-*aquades* terlihat kavitasi yang cukup banyak dengan ketahanan yang cukup baik (GAMBAR 6). Sesuai dengan penelitian dari Lee (2005) yang mengatakan bahwa penambahan SDS pada larutan akan menyebabkan ketahanan gelembung-gelembung kavitasi yang lebih besar [8].

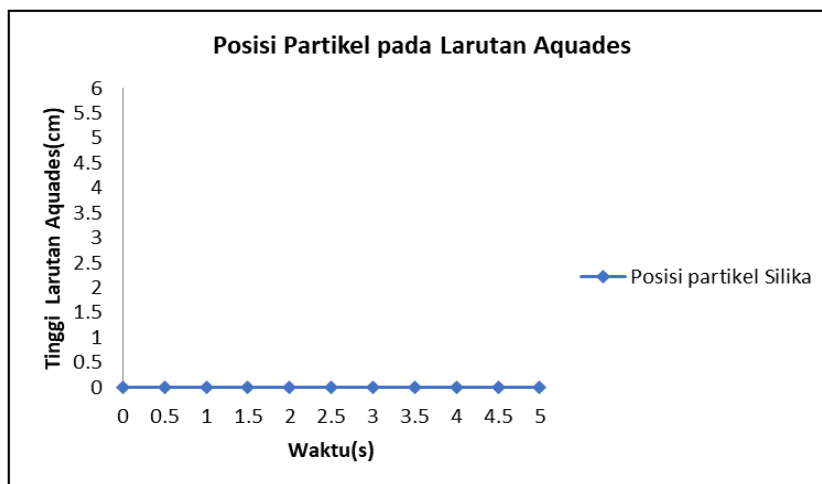


GAMBAR 6. Kavitasi pada alkohol-aquades + SDS a) Versi asli b) Versi *grayscale* c) Versi *black and white*. Perbandingan 3 gambar dilakukan untuk memperjelas gelembung kavitasi.

Pada tahapan selanjutnya dilakukan perubahan suhu larutan. Larutan *aquades* dengan suhu 100°C memiliki lebih banyak gelembung kavitasi dibandingkan dengan larutan *aquades* bersuhu normal. Hal ini membuktikan bahwa suhu mempengaruhi proses pembentukan gelembung kavitasi, karena kenaikan suhu akan mempengaruhi tekanan uap jenuh fluida. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu, akan semakin tinggi pula tekanan uap jenuhnya. Kenaikan suhu fluida juga berpengaruh terhadap viskositas fluida [10].

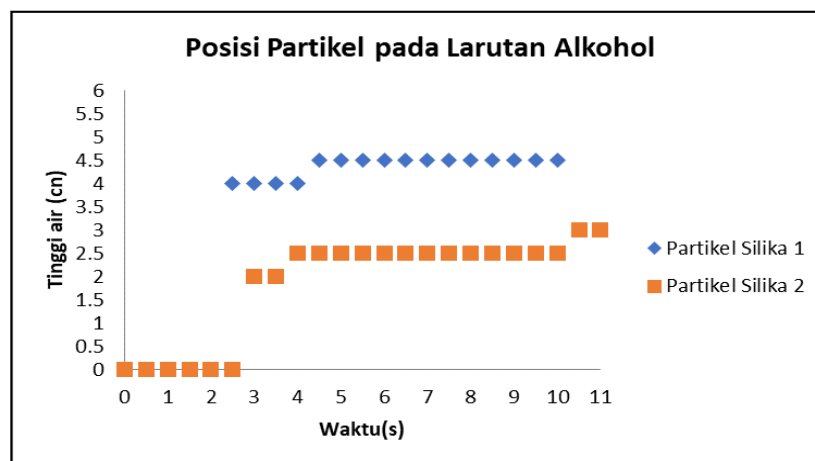
Pada larutan alkohol tidak terlihat gelembung kavitasi, hanya terjadi vibrasi pada larutan alkohol yang telah dipanaskan. Titik didih alkohol yang rendah, yaitu sebesar 78°C - 86°C membuat gas pada larutan alkohol menguap dan mengurangi efek iradiasi pada larutan. Setelah itu pada larutan alkohol-*aquades* dengan suhu yang berbeda, suhu gelembung kavitasi pada suhu tinggi larutan alkohol-*aquades* lebih sedikit dibandingkan dengan larutan alkohol-*aquades* dengan suhu normal. Menurunnya gelembung kavitasi disebabkan oleh penurunan gas dari alkohol akibat proses pemanasan sehingga ketika bercampur dengan larutan *aquades* ikatan *aquades* tidak terputus secara sempurna. Namun, populasi gelembung yang dihasilkan masih berukuran lebih besar dibandingkan dengan larutan *aquades* dan alkohol.

Pengamatan pergerakan silika juga dilakukan pada eksperimen ini. Pada penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa gelembung kavitasi pada larutan *aquades* nonpartikel paling sedikit populasinya diantara larutan lain. Sesuai dengan hal tersebut, saat pemberian iradiasi ultrasonik frekuensi 40 kHz ke dalam larutan *aquades* yang berisi 5 gram partikel pasir silika dengan ukuran 400-800 mikrometer dilakukan. Partikel silika tidak terangkat ke permukaan maupun simpul gelombang, tetapi masih terlihat pergerakan partikel akibat iradiasi. Pergerakan partikel hanya terjadi didasar larutan sehingga didapatkan titik posisi di 0 cm dalam waktu 5 sekon dalam grafik pada GAMBAR 7.



GAMBAR 7. Gambar grafik posisi partikel silika perdetik.

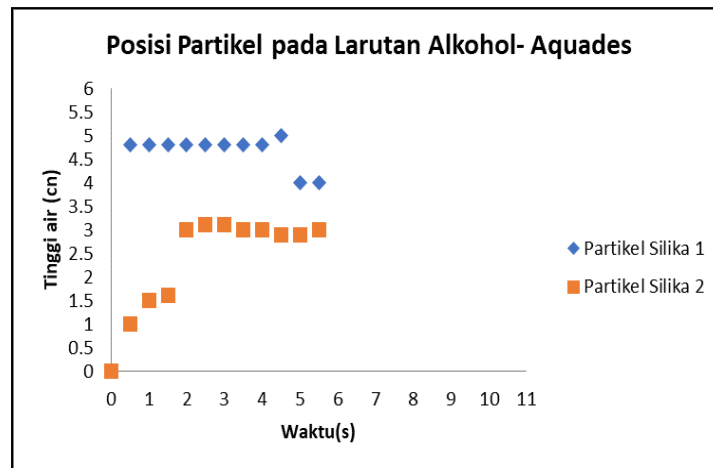
Pada pembahasan sebelumnya, larutan alkohol memiliki kavitasi partikel yang lebih besar dari larutan *aquades*. Pemisahan partikel yang terjadi akan lebih memungkinkan karena terdapat gaya apung yang lebih besar. Pada larutan alkohol, partikel bergerak di detik ke 2.5 yang terlihat pada grafik di GAMBAR 8 dengan partikel yang bergerak menuju kedua simpul gelombang pada larutan yang diiradiasi. Volume partikel yang terikat pada titik simpul tersebut akan terus bertambah sampai mencapai titik maksimumnya kemudian partikel akan pecah. Pecahan dari partikel tersebut akan naik ke permukaan karena massa yang berkurang dan terdorong oleh gaya apung dan gelombang ultrasonik.



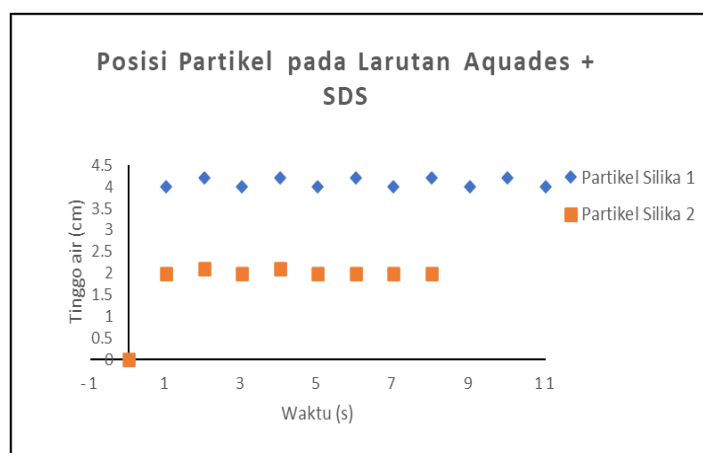
GAMBAR 8. Gambar grafik posisi partikel silika per detik. Terjadi pergerakan partikel menuju simpul pada detik ke 2.5. Terdapat 2 simpul pada saat eksperimen dilakukan. Menurut teori, partikel yang memiliki volume yang lebih kecil (silika 1) akan berada pada simpul yang lebih tinggi. Partikel silika 2 yang memiliki volume lebih besar akan berada pada simpul yang lebih rendah. Waktu dihitung dengan jarak per 0.5 sekon dengan ketinggian air 6 cm. Partikel berada di titik simpul selama 7.5 detik sampai akhirnya terjadi pecahnya partikel di detik ke 10.5, sisa dari pecahnya partikel tetap di titik 3 cm dan partikel yang lebih kecil naik ke permukaan.

Pada eksperimen sebelumnya terlihat adanya pergerakan partikel dengan arah yang tidak beraturan, kemudian terjadi pergerakan partikel menuju simpul pada detik ke 2. Partikel silika yang lebih besar berada disimpul bawah dan partikel yang lebih kecil berada di simpul atas. Waktu dihitung dengan jarak per 0.5 sekon dengan ketinggian air 6 cm. Partikel berada di titik simpul selama 4 sekon sampai akhirnya partikel pecah di detik ke 6.5, sisa dari pecahan partikel yang lebih besar akan tetap di titik 3 cm dan 5 cm, sedangkan serpihan partikel yang lebih kecil akan naik ke permukaan.

Larutan alkohol-*aquades* menghasilkan reaksi berupa gelembung-gelembung disekitar akrilik, tetapi saat iradiasi diberikan, gelembung-gelembung yang tidak beraturan tersebut akan terikat dan mengarahkan partikel pada simpul-simpul dari gelombang berdiri ultrasonik. Seperti yang terlihat pada GAMBAR 9, proses iradiasi partikel pada larutan ini membutuhkan waktu 2 sekon sebelum partikel bergerak menuju simpul-simpulnya. Larutan campuran memiliki waktu yang lebih cepat dalam melakukan pemisahan partikel karena reaksi alkohol-*aquades* yang membentuk gelembung kavitasi dengan populasi lebih tinggi dan volume yang lebih besar dibandingkan dengan larutan yang lain sehingga penggiringan partikel menuju titik simpul lebih cepat. Pada larutan ini, ketahanannya masih lebih rendah dari larutan alkohol.



GAMBAR 9. Gambar grafik posisi partikel silika perdetik silika 1 berada di atas dan silika 2 berada di bawah.



GAMBAR 10. Gambar grafik posisi partikel silika perdetik. Pada campuran aquades dengan 5 gram SDS yang kemudian dimasukan 5 gram partikel silika. terjadi pemisahan partikel silika pada detik ke 0.5. Pada simpul atas partikel silika mempunyai waktu ketahanan selama 8 detik sebelum akhirnya terpecah dn menghilang. Sedangkan partikel silika disimpul bagian bawah dapat bertahan dalam waktu 13.5 sekon sampai akhirnya terpecah.

Selanjutnya dilakukan penambahan SDS ke larutan *aquades*, alkohol, dan alkohol-*aquades*. Berdasarkan GAMBAR 10, waktu ketahanan partikel pada simpul bawah lebih lama dibandingkan dengan partikel di simpul atas, karena partikel pada simpul bagian bawah mempunyai ukuran dan kepadatan yang lebih besar sehingga ketika mendapatkan tekanan dari gelembung kavitasi yang menempel pada partikel bersamaan dengan partikel lain yang ikut menyatu satu sama lain dapat menjadikan partikel ini tidak mudah terpecah.

Pada larutan alkohol, pembentukan grafik posisi partikel tidak dapat dilakukan karena partikel yang diiradiasi bergerak secara tidak teratur akibat dari reaksi antara alkohol dan SDS yang mengalami penguapan. Penelitian berikutnya pada larutan campuran dengan penambahan SDS, terhambatnya penyatuan gelembung menyebabkan terjadinya pembentukan kavitasi berukuran kecil dengan populasi yang banyak dan menyebabkan pemisahan partikel silika tidak terjadi. Partikel silika yang diberikan iradiasi bergerak keatas mengikuti arus kavitasi yang terbentuk sehingga posisi dari partikel tidak dapat terdeteksi.

SIMPULAN

Telah berhasil dibuat rangkaian untuk iradiasi larutan menggunakan gelombang berdiri ultrasonik. Larutan *aquades* menghasilkan gelembung kavitasi dengan populasi yang paling sedikit dan larutan campuran alkohol-*aquades* menyebabkan populasi gelembung kavitasi menjadi tinggi. Penambahan SDS membuat gelembung kavitasi pada larutan *aquades* dan larutan alkohol dalam suhu normal maupun tinggi tidak terlihat. Suhu berpengaruh pada gelembung kavitasi yang terbentuk. Pada larutan *aquades*, kenaikan suhu membuat gelembung kavitasi meningkat dari sebelumnya. Penambahan suhu juga menyebabkan partikel bergerak secara radial ketika proses pemisahan partikel silika dilakukan. Partikel silika pada larutan alkohol bergerak menuju simpul pada detik ke 2.5 dan mempunyai ketahanan gelembung 8s sebelum pecah, sedangkan larutan campuran partikel berada di titik simpul pada detik ke 2 dan membutuhkan waktu 4s sebelum pecah.

REFERENSI

- [1] R. H. Petrucci, "Kimia Dasar : Prinsip Dan Terapan Modern Jilid 1," Jakarta: Erlangga, 1996.
- [2] H. Tsuitsui And C. Ming Ho, "Cell Separation By Non-Inertial Force Fields In Microfluidic Systems," Los Angeles: Mechanics Research Communications, vol. 36, pp. 92-103, 2008.
- [3] Y. Wu *et al.*, "Generation Of Autologous Platelet-Rich Plasma By The Ultrasonik Standing Waves," IEEE Transactions On Biomedical Engineering, 2015.
- [4] H. M. Mizutani And T. Saito, "Innovative Use Of Low-Frequency Ultrasound For Particleseparation/Classification: Forces Acting On A Single Particle Held In Waterof 20-Khz-Ultrasound Pressure Fields In Transition States Under Control Of The Acoustic Pressure Amplitude," Japan: Chemical Engineering Science, vol. 206, pp. 476-488, 2019.
- [5] H. Muramatsu *et al.*, "A novel particle separation technique using 20-kHz-order ultrasound irradiation in water," Journal of Physics: Conference Series, vol. 656, no. 01, p. 012117, 2015, doi:10.1088/1742-6596/656/1/012117.
- [6] U. Fritsching And K. Bauckhage, "The Interaction Of Drops And Particles With Ultrasonic Standing Wave Fields," Bremen, Germany: Built Environment, Wit Press, Www.Witpress.Com, vol. 25, pp. 1743-3509, 1997.
- [7] L. Liu *et al.*, "The influence of air content in water on ultrasonic cavitation field," Ultrasonics Sonochemistry, vol. 21, pp. 566-571, 2014.
- [8] N. A. H. Hadi and A. Ahmad, "Experimental Study of the Characteristics of Acoustic Cavitation Bubbles Under the Influence of Ultrasonic Wave," IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, vo. 808, no. 01, p. 012042, 2020.

- [9] M. Ashokkumar, “The characterization of acoustic cavitation bubbles – An overview,” 4 Desember 2010.
- [10] J. Delly, “Pengaruh Temperatur Terhadap Terjadinya Kavitasi Pada Sudu Pompa Sentrifugal,” 2009.

