

ANALISIS FREKUENSI GELOMBANG ULTRASONIK TERHADAP RADIUS GELEMBUNG KAVITASI PADA SISTEM CAIRAN KOMPRESIBEL

Tb Gamma N.R.*, Mersi Kurniati, Hendradi Hadrienata
Departemen Fisika Institut Pertanian Bogor
tubagusgamma@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian metode numerik dari persamaan dinamika gelembung kavitasi yang dihasilkan melalui gelombang ultrasonik. Pendekatan untuk mendapatkan persamaan dinamika gelembung kavitasi menggunakan permisalan bahwa kecepatan fluida jauh lebih kecil dari kecepatan suara, dan mengabaikan efek dari gravitasi. Metode numerik dari persamaan gelembung menggunakan program MATLAB, dengan metode ODE45. Metode numerik dilakukan dengan melakukan variasi pada nilai frekuensi (f), sebesar 450 kHz, 500 kHz, dan 550 kHz. Variasi dari frekuensi dilakukan untuk melihat efeknya terhadap perubahan dinamika gelembung kavitasi.

Kata kunci : Kavitasi, Ultrasonik, ODE45.

1 PENDAHULUAN

Kavitasi merupakan suatu gelembung yang muncul di dalam cairan akibat adanya perubahan tekanan dalam cairan [1]. Salah satu sumber dari perubahan tekanan tersebut adalah penjararan gelombang ultrasonik di dalam cairan.

Penjararan gelombang ultrasonik akan mengakibatkan pertumbuhan gelembung pada zat cair hingga ukuran tertentu, setelah mencapai ukuran maksimum gelembung ini akan mengalami tekanan ke arah pusat gelembung, dan mengakibatkan keruntuhan ukuran dengan kecepatan yang sangat tinggi [2]. Gelembung kavitasi dapat memunculkan tekanan dan temperatur yang sangat tinggi pada titik kompresi gelembung [3]. Suhu dan tekanan yang dihasilkan dari fenomena ini akan sangat bergantung pada parameter-parameter yang digunakan dalam gelombang ultrasonik, terutama frekuensi dan intensitas.

Sifat-sifat dari gelembung kavitasi menyebabkannya dapat dimanfaatkan bagi kepentingan manusia, terutama di dalam bidang nanoteknologi. Pada bidang ini dia difokuskan sebagai suatu metode untuk mendapatkan ukuran yang seragam dan minimal, umumnya dalam orde nanometer. Metode yang digunakan untuk menghasilkan partikel berskala nanometer dengan menggunakan gelembung kavitasi dikenal sebagai tehnik sonokimia [4]. Metode ini digunakan karena ia tidak merubah sifat-sifat kimiawi dari

partikel, selain itu ia dianggap lebih efisien dibandingkan metode lainnya [5]. Dalam metode ini partikel dilarutkan dalam zat cair, yang dilanjutkan dengan memberikan gelombang ultrasonik dengan frekuensi yang umumnya berkisar antara 20-25 kHz [6]. Ukuran partikel yang dihasilkan akan sangat bergantung kepada kondisi-kondisi yang digunakan dalam penelitian seperti optimasi alat, parameter-parameter dari gelombang, dan karakteristik cairan yang digunakan.

Pada bidang medis penggunaan gelembung kavitasi digunakan dalam tehnik pengiriman obat (DDS) ke suatu organ yang bermasalah [7]. Metode ini bertujuan untuk mengirimkan obat tepat pada sistem organ yang bermasalah, sehingga dapat mengurangi efek samping dari obat terhadap organ lainnya [8]. Untuk mengirimkan obat tersebut menuju organ yang diinginkan dibutuhkan polimer sebagai pembungkus dari obat dan partikel magnetis, agar ia tidak terlarut sebelum mencapai organ yang diinginkan. Setelah ia mencapai organ yang dituju maka obat akan dilepaskan dengan cara menembakkan ultrasonik untuk menghasilkan gelembung kavitasi yang digunakan untuk merusak polimer pembungkus.

Pada penelitian ini dilakukan analisa untuk menggambarkan dinamika pergerakan dari gelembung kavitasi dengan mengamati kebergantungan jari-jari gelembung terhadap frekuensi gelombang ultrasonik.

2 METODOLOGI

Untuk memahami pergerakan dari gelembung kavitasi diperlukan pemahaman yang baik mengenai aliran fluida yang pergerakannya diatur oleh konservasi massa dan momentum [9, 10]. Pada arah radial r dapat dituliskan sebagai:

$$\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + v_R \frac{\partial \rho}{\partial r} \right) + \nabla v_R = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_R}{\partial t} + v_R \frac{\partial v_R}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (2)$$

dimana ρ adalah kerapatan, p adalah tekanan dan v_R adalah kecepatan pada arah radial.

Diketahui bahwa kecepatan suara pada fluida dapat digambarkan sebagai suatu nilai perubahan tekanan terhadap kerapatannya sehingga:

$$c = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}} \quad (3)$$

Selain itu diketahui bahwa nilai perubahan entalpi diberikan oleh $dh = \rho^{-1} dp$, sehingga bisa didapat

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + c \frac{\partial}{\partial r} \right) r \varphi = 0 \quad (4)$$

Dengan menurunkan persamaan di atas terhadap t dan menggunakan persamaan konservasi momentum didapatkan

$$r v_R \left(\frac{\partial v_R}{\partial t} \right) + \left(\frac{r}{\rho} \right) \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right) + \frac{1}{2} c v_R^2 + c \int_{p_0}^p \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right) + c r v_R \left(\frac{\partial v_R}{\partial r} \right) + \left(\frac{c r}{\rho} \right) \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right) = 0 \quad (5)$$

Dengan menggunakan persamaan konservasi massa dan momentum serta hubungan $dp = c^2 d\rho$ akan didapatkan empat persamaan turunan parsial dari p dan v pada dinding gelembung, dimana

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial v_R}{\partial t} \right)_R &= \frac{dv_R}{dt} + \left(\frac{v_R}{\rho c^2} \right) \left(\frac{dP}{dt} \right) + \frac{2v_R^2}{R} \\ \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right)_R &= \frac{dP}{dt} + \rho v_R \left(\frac{dv_R}{dt} \right) \\ \left(\frac{\partial v_R}{\partial r} \right)_R &= - \left(\frac{1}{\rho c^2} \right) \left(\frac{dP}{dt} \right) - \frac{2v_R}{R} \\ \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right)_R &= - \rho \left(\frac{dv_R}{dt} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan di atas ke persamaan (5) akan didapatkan suatu persamaan diferensial untuk kecepatan dinding gelembung

$$R \frac{dv_R}{dt} \left(1 - \frac{2v_R}{c} \right) + \frac{3}{2} v_R^2 \left(1 - \frac{4v_R}{3c} \right) = \frac{R}{\rho v_R} \frac{dP}{dt} \left(\frac{v_R}{c} + \frac{v_R^2}{c^2} + \frac{v_R^3}{c^3} \right) + \int_{p_0}^p \frac{dp}{\rho} \quad (7)$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan dengan menghilangkan variabel yang memiliki orde lebih besar dari satu untuk $\left(\frac{v_R}{c} \right)$, sehingga

$$R \frac{dv_R}{dt} \left(1 - \frac{2v_R}{c} \right) + \frac{3}{2} v_R^2 \left(1 - \frac{4v_R}{3c} \right) = \frac{R}{\rho c} \frac{dP}{dt} + \frac{P - p_0}{\rho} \quad (8)$$

Pada penjalaran gelombang di dalam fluida nilai dari tekanan akan berubah-ubah terhadap waktu yang diakibatkan oleh variasi jarak antar molekul, yang dapat dituliskan sebagai

$$P = P_A \sin 2\pi ft \quad (9)$$

dimana P_A adalah amplitudo tekanan

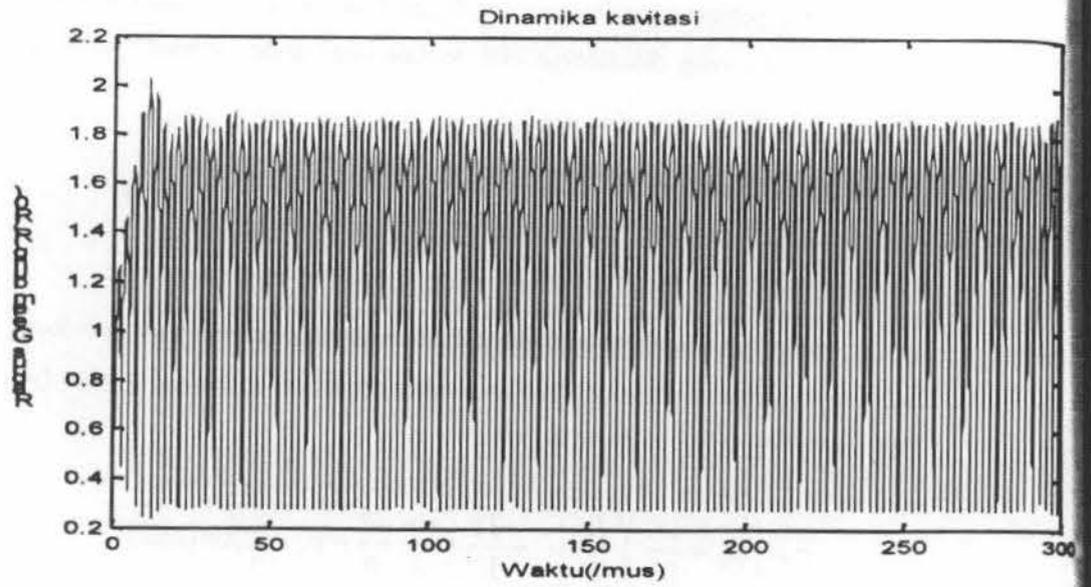
Selain dari gelombang ultrasonik tekanan yang muncul pada gelembung dipengaruhi oleh tegangan permukaan (S) pada permukaan gelembung, efek viskositas (μ), dan tekanan hidrostatik (p_h) sehingga dapat dituliskan

$$P = \left(p_h + \frac{2S}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} - \frac{2S}{R} - \frac{4\mu}{R} \frac{dR}{dt} - p_h - P_A \sin(2\pi ft) \quad (10)$$

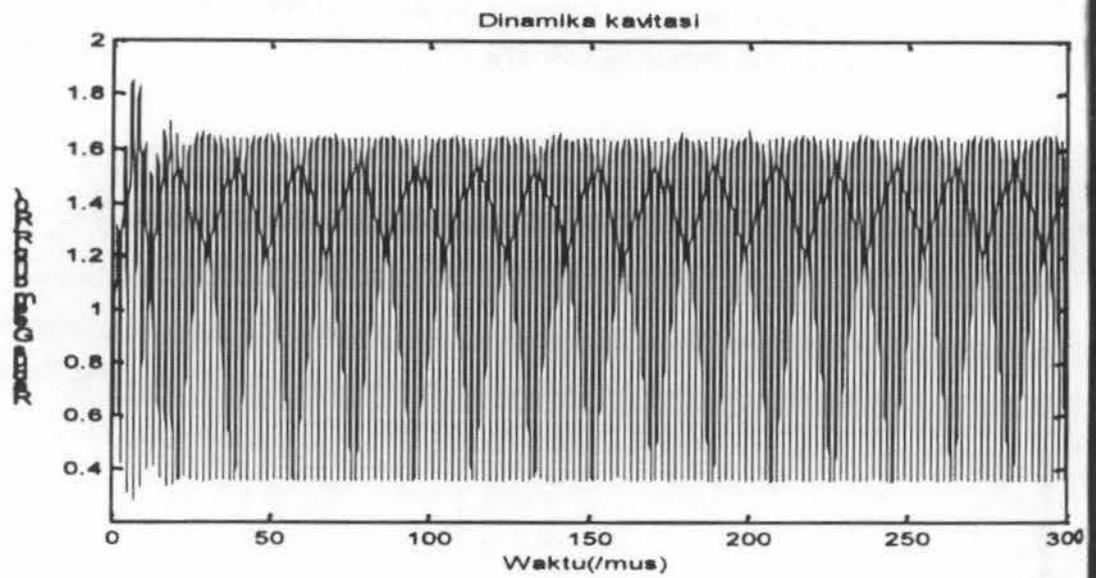
Persamaan-persamaan di atas dimodelkan menggunakan MATLAB dimana kita tentukan bahwa R_0 sebesar 10^{-6} m, amplitudo tekanan 114 kPa, viskositas $0,001$ N.s/m², tegangan permukaan $0,073$ N/m, kerapatan 998 kg/m³, tekanan hidrostatik $101,32$ kPa, dan rasio kapasitas panas $1,4$. Pemodelan ini dilakukan pada tiga nilai frekuensi yang berbeda, yakni 450 kHz, 500 kHz dan 550 kHz.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

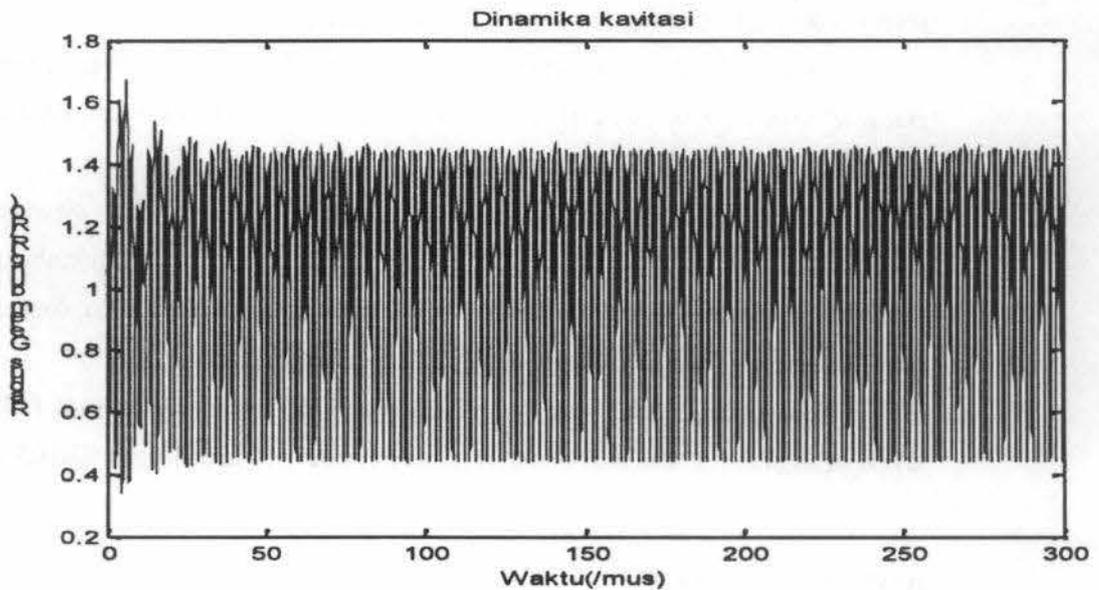
Dari hasil yang didapatkan diperlihatkan bahwa besarnya rentang antara (R/R_0) maksimum dan (R/R_0) minimum akan semakin kecil dengan meningkatnya nilai frekuensi yang digunakan, yaitu $1,54$ untuk $f = 450$ kHz, $1,26$ untuk $f = 500$ kHz, dan $0,98$ untuk $f = 550$ kHz, seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.



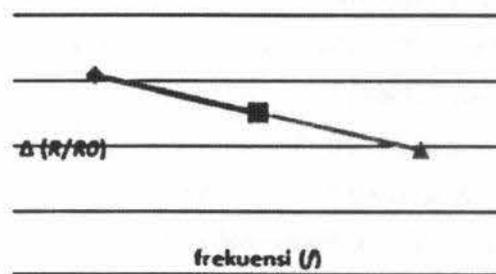
Gambar 1 Model persamaan kavitasi untuk frekuensi $f = 450$ kHz



Gambar 2 Model persamaan kavitasi untuk frekuensi $f = 500$ kHz



Gambar 3 Model persamaan kavitasi untuk frekuensi $f = 550$ kHz



Gambar 4 Plot grafik dari frekuensi (f) vs $\Delta(R/R_0)$

Dari model juga dapat diperlihatkan bahwa dengan semakin bertambahnya frekuensi akan meningkatkan kecepatan dari pergerakan siklus refraksi-kompresi yang dialami gelembung.

4 KESIMPULAN

Kavitasi dapat muncul di dalam cairan dengan memberikan variasi tekanan terhadapnya, sehingga akan memunculkan siklus refraksi-kompresi pada cairan yang terjadi secara berulang, tergantung dari kondisi cairan yang digunakan.

Kavitasi dapat dibagi menjadi dua jenis, yakni kavitasi hidrodinamik yang muncul akibat tekanan yang berasal dari pergerakan cairan. Kedua adalah kavitasi akustik, muncul akibat tekanan yang berasal dari gelombang.

Dengan semakin meningkatnya frekuensi gelombang yang digunakan untuk menghasilkan kavitasi, akan meningkatkan kecepatan pergerakan dari gelembung kavitasi. Selain itu peningkatan frekuensi juga akan menurunkan nilai rentang (R/R_0), dimana R adalah radius gelembung pada suatu waktu dan R_0 adalah gelembung awal.

Nilai rentang (R/R_0) maksimum pada penelitian ini didapatkan pada frekuensi 450 kHz dengan nilai 1,53 dan nilai minimum pada frekuensi 550 kHz dengan nilai 0,98.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noltingk B.E, Neppiras E.A. *Cavitation Produced by Ultrasonics: Theoretical conditions for the onset of cavitation*. Phys. Rep. 61, 160- 251 (1980)
- [2] Neppiras, E.A. *Acoustic cavitation*. Phys. Rep. 61, 160- 251 (1980)
- [3] Hickling R., Plesset M.S. *Collapse and rebound of a Spherical Bubble in Water*. The Physics of Fluids 7 (1964) 7
- [4] Mason T.J., Lorimer J.P. *Applied Sonochemistry: The Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing*. Coventry University. Coventry (2002)
- [5] Arrojo S., Benitto Y. *A theoretical study of hydrodynamic cavitation*. Ultrasonics Sonochemistry 15 (2008) 203-211.
- [6] J.P. Franc and J. M. Michel. *Fundamentals of cavitation*. University of Grenoble. France (2005).
- [7] Alfonso, M. *High-Frequency ultrasound drug delivery and cavitation*. Brigham Young University (2007).
- [8] G.P. William, A.H. Ghaleb and J.S. Bryant *Ultrasonic Drug Delivery-A General Review*. *Expert Opin Drug Deliv*. 2004 November ; 1(1): 37-56.