JME (Jurnal Mekanika dan Energi)
EISSN: 3048-2836 *E-Mail*: jme@sttrcepu.ac.id

Kaji Eksperimental Pengaruh Medan Magnet Terhadap Kandungan Oksigen Terlarut Pada Sistem Aerasi Perairan

Bambang Ruwiadi[a*], Drajat Indah Mawarni[a]

[a] Universitas Teknologi Ronggolawe, Jl. Kampus Ronggolawe No.1 Mentul, Indah, Komp. Pertamina, Karangboyo, Kec. Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah 58315,

*Email: bambangruwiadi.65@gmail.com

Tentang naskah:
- diterima, 20 Nov. 2025
- direview, 26 Mei. 2026
- diterbitkan, 31 Okt.2026

Kata kunci:
microbubble generator, medan magnet, aerasi.

Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja *microbubble generator* (MBG) tipe *swirl* dengan memanfaatkan medan magnet sebagai upaya meningkatkan efisiensi proses aerasi. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan memvariasikan kuat medan magnet sebesar 0,200,400 Gauss serta laju aliran air 30,40,50 lpm. Parameter utama yang diamati adalah kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*/DO).Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan medan magnet dapat meningkatkan kadar DO yang dihasilkan oleh MBG. Kondisi optimum diperoleh pada medan magnet 400 Gauss dengan DO akhir sebesar 19,4 mg/L. Peningkatan kinerja ini terjadi karena medan magnet mampu memengaruhi tegangan permukaan dan struktur molekul air sehingga mempercepat proses difusi oksigen ke dalam fluida.

Keyword:
microbubble generator, magnetic field, aeration.

Abstract

This study aims to optimize the performance of a swirl-type microbubble generator (MBG) by utilizing a magnetic field to enhance aeration efficiency. The experimental research was carried out in a laboratory with variations in magnetic field strength ranging from 0 ,200 and 400 gauss and water flow rates of 30 to 50 lpm. The main parameters observed were dissolved oxygen (DO).The results indicate that applying a magnetic field can significantly increase the DO level by the MBG. The optimum condition was achieved at a magnetic field strength of 400 gauss, resulting in a final DO of 19,4 mg/L This improvement occurs because the magnetic field influences the surface tension and molecular structure of water, enhancing oxygen diffusion within the fluid.

1. **Pendahuluan**

Aerasi merupakan proses penting dalam berbagai aplikasi industri, seperti pengolahan air limbah, akuakultur, dan sistem bioreaktor, karena berperan dalam meningkatkan kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*) yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dan organisme air. Salah satu teknologi aerasi yang sedang berkembang adalah *microbubble generator*(MBG), khususnya tipe swirl, yang mampu menghasilkan gelembung udara berukuran mikro (10–100 μm) dengan efisiensi tinggi. Gelembung mikro memiliki keunggulan seperti luas permukaan kontak yang besar dan waktu tinggal (residence time) yang lebih lama di dalam air, sehingga meningkatkan transfer massa oksigen.

Namun, kinerja *microbubble generator* dalam hal menghasilkan kandungan oksigen terlarut(DO), masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti konsumsi energi yang tinggi dan ketidakstabilan aliran udara-air. Untuk mengatasi hal ini, pemanfaatan medan magnet telah mulai dieksplorasi dalam beberapa penelitian terbaru. Medan magnet diduga dapat memengaruhi sifat fluida, seperti viskositas dan tegangan permukaan, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi pembentukan gelembung(*microbubble*). Namun, penelitian tentang pengaruh medan magnet pada kinerja *microbubble* generator tipe swirl masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh medan magnet yang dipaparkan oleh magnet batang pada ujung nosel keluaran MBG tipe swirl dalam meningkatkan kandungan oksigen terlarut(DO) pada aerasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi inovatif untuk meningkatkan efektivitas aerasi dengan energi yang lebih hemat.

Tujuan penelitian adalah untuk :

1. Mengetahui pengaruh medan magnet terhadap kandungan oksigen terlarut yang dihasilkan oleh MBG tipe swirl.
2. Mengetahui pengaruh variasi debit air pada medan magnet terhadap kandungan oksigen terlarut yang dihasilkan oeh MBG tipe swirl.

2. Kerangka Teori

2.1 Definisi microbuble

Microbubble adalah gelembung gas dengan diameter dibawah 1 mili meter serta memiliki beberapa karakteristik yang unik dibandingkan gelembung makro atau di atas 1 mili meter. Karakter tersebut adalah : Luas permukaan kontak lebih besar meningkatkan transfer massa oksigen (*Terasaka et al., 2011*), waktu tinggal (*residence time*) lebih lama karena kecepatan terminal rendah (*Parmar & Majumder, 2013*) serta efek penyusutan diri (*self-compression*) saat kolaps, menghasilkan radikal bebas yang berguna dalam proses oksidasi (Takahashi et al., 2007). Adapun prinsip kerja MBG tipe swirl adalah dengan menciptakan aliran vortex melalui injeksi udara dan air berkecepatan tinggi di dalam tabung berbentuk spiral. Mekanisme pembentukan *microbubble* meliputi pemecahan gelembung makro oleh gaya geser turbulen (turbulent shear force) dan stabilisasi ukuran gelembung oleh tekanan dinamik aliran pusaran (Sadatomi et al., 2012).

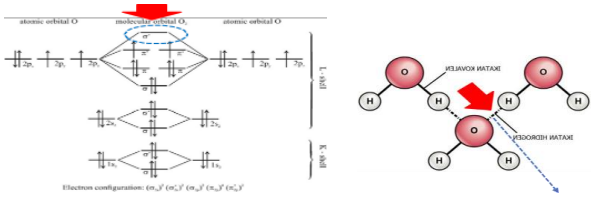
2.2 *Medan Magnet pada Fluida*

Medan magnet dapat meningkatkan kinerja aerasi melalui penurunan tegangan permukaan air akibat orientasi dipolar molekul air (Lin et al., 2020):, Peningkatan difusi oksigen karena pengurangan lapisan batas hidrodinamik (*Chang & Weng, 2016*) dan modifikasi aliran turbulen yang memperkecil ukuran gelembung (*Amiri & Ahmadi, 2020*). Adapun Mekanisme Interaksi Magnet dengan *Microbubble* yang berpengaruh terhadap pada pembentukan gelembung adalah meliputi efek pemecahan gelembung. Medan magnet meningkatkan instabilitas permukaan gelembung, memfasilitasi pemecahan menjadi ukuran mikro (*Wu et al.*, 2021) dan stabilisasi gelembung yaitu dalam hal interaksi magnetik sehingga mengurangi penggabungan gelembung.

Mengacu pada karakteristik oksigen yang bersifat paramagnetik, seperti diilustrasikan pada Gambar. 1., maka gas oksigen dapat ditarik oleh medan magnet.

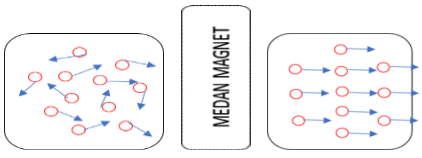
Gas oksigen (O2) merupakan bahan sifat paramagnetik, yaitu bahan dengan kondisi dimana elektron pada lintasan terluarnya yaitu pada sub kulit 2p tidak berpasangan,sehingga mudah ditarik oleh medan magnet,yang ditunjukkan dengan garis putus putus berwarna biru.

Jembatan hydrogen merupakan ikatan intermolekul atom hydrogen dengan atom oksigen dalam molekul air, dimana keduanya memiliki keelektronegatifan tinggi,yang ditunjukan dengan garis putus putus berwarna hitam.



Gambar 1. Molekul oksigen (*02*) bersifat paramagnetik dan molekul air (*H20*) bersifat diamagnetic (*Jasek et al, 2022)*

Sifat paramagnetik adalah sifat dari senyawa yang dapat ditarik oleh medan magnet, karena dalam bahan tersebut, terdapat satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan yang potensi ditarik oleh medan magnet karena adanya fenomena dipol elektron - elektron. Bahan ini jika diberi medan magnet luar, electron - elektronnya akan berusaha sedemikian rupa sehingga resultan medan magnet atomisnya searah dengan medan magnet luar. Medan magnet mampu meningkatkan jumlah molekul oksigen terlarut ke dalam air dikarenakan adanya jembatan hidrogen pada molekul air, yang menyebabkan gerakan oksigen menjadi fokus menuju ke arah medan magnet yang dipaparkan. Seperti diilustrasikan pada Gambar.2.2 berikut.



Gambar 2. Perubahan arah domain dalam bahan paramagnetik setelah diberi medan magnet.

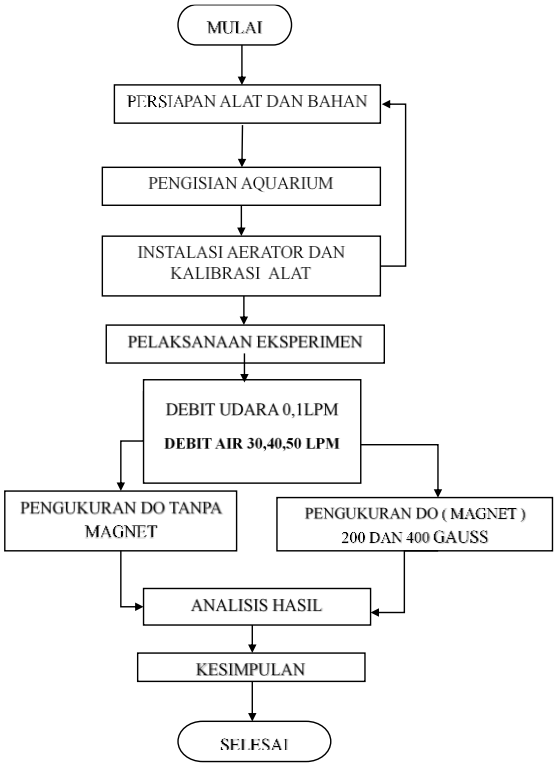
2.3 *Oksigen Terlarut (DO*)

Peningkatan jumlah oksigen terlarut dalam air menjadi orientasi pengembangan teknologi aerasi termasuk didalamnya adalah teknologi pembangkit gelembung

berukuran mikro yang telah banyak dipresentasikan sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya untuk meningkatkan jumlah oksigen terlarut di dalam air dilakukan dengan menggunakan teknologi pembangkit gelembung berukuran mikro atau *Microbubble* Generator (MBG).
Adapun pengembangan penelitian yang dilakukan saat ini adalah dengan memanfaatkan karakteristik gas oksigen yang mudah larut dalam molekul air karena memiliki sifat paramagnetik. Peningkatan jumlah oksigen terlarut di dalam air terjadi karena adanya paparan medan magnet yang dihasilkan oleh solenoid identik, sehingga tidak diperlukan sebuah usaha untuk membuat alat dengan manufaktur tertentu. Hal ini menjadi keunggulan sekaligus sebuah kebaruan dari penelitian berikut metodenya dibanding penelitian sebelumnya. Selanjutnya jumlah oksigen terlarut diukur dengan menggunalan alat ukur DO (*Dissolved Oxygen*) meter secara langsung.

3. Metodologi

3.1 Diagram alir penelitian



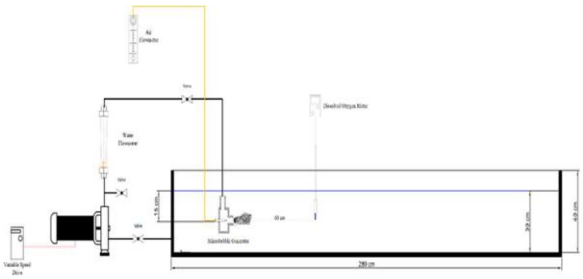
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian berlokasi di Laboratorium Konversi Energi Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu.

3.3 *Instalasi Pompa pada Alat Penelitian*

Instalasi dan juga pengaturan pada alat percobaan yang dirancang untuk penelitian ini tampak seperti gambar dibawah.



Gambar 4. Instalasi dan Pengaturan Alat Penelitian

Pompa yang digunakan untuk penelitian ini merupakan pompa berjenis single stage. Pompa tersebut berfungsi untuk mengalirkan dan mensirkulasi fluida untuk digunakan dalam pembuatan *microbubble*. Pemilihan pompa merupakan hal yang esensial karena harus sesuai dengan spesifikasi saluran perpipaan yang digunakan. Maka dari itu nilai dari head pompa perlu dihitung.

3.4 *Alat Penelitian*

Alat penelitian yang digunakan terdiri dari sistem sirkulasi air, sistem sirkulasi udara, dan perangkat percobaan.

1) Sistem Sirkulasi Air
   Yang terdiri dari :
   - Pompa Air
   - Pipa PVC (polyvinyl chloride)
   - Akuarium
   - Ball Valve
   - Flow Meter Air
   - Inverter
2) Sistem Sirkulasi Udara
   Yang terdiri dari :
   - Selang Udara
   - Flow Meter Udara
3) Perangkat Percobaan
   Yang terdiri dari :
   - Microbubble Generator (MBG)
   - DO Meter
   - Magnet *Neodynium*

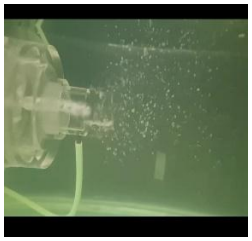
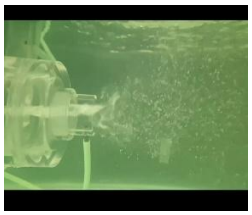
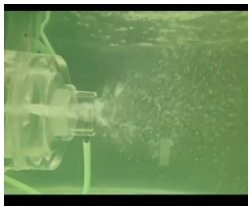
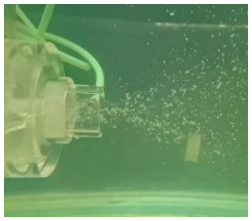
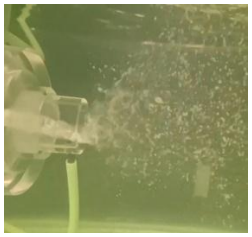
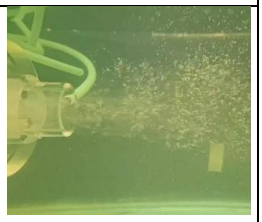
4. Hasil dan Pembahasan

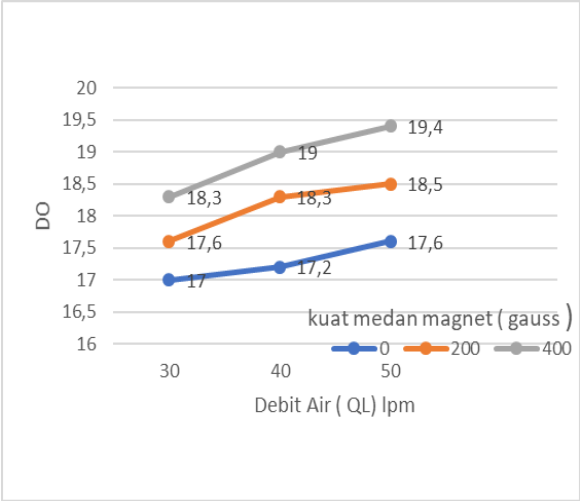
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari *microbubble* yang terbentuk dengan menggunakan *microbubble* generator (MBG) dengan jenis swirl. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan kuat medan magnet sebesar (0,200 dan 400) gauss serta debit air yaitu

(30, 40 dan 50) lpm pada debit udara konstan yaitu 0,1 lpm

Sebelum dilakukan pengujian, sistem MBG diuji tanpa medan magnet sebagai kondisi awal *(baseline)* untuk mengetahui performa aerasi alami. Hasil pengukuran DO awal, DO akhir, disajikan pada tabel berikut :

Tabel 1. Visualisai dan Nilai DO pada variasi QL dan QG(0,1 lpm).

Magnet (Gauss)	QL (lpm)	DO Awal (mg/l)	DO Akhir (mg/l)	Gambar
0	30	14	17	
0	40	14	17,2	
0	50	14	17,6	
200	30	14	17,6	
200	40	14	18,3	
200	50	14	18,5	
400	30	14	18,3	
400	40	14	19	
400	50	14	19,4	



Gambar 5. Grafik Pengaruh Kuat Medan Magnet Terhadap Nilai DO

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai DO akhir meningkat seiring dengan bertambahnya kuat medan magnet. Pada kondisi tanpa medan magnet (0 Gauss), DO akhir yang diperoleh hanya mencapai 17,0 mg/L pada laju aliran 30lpm, sedangkan pada medan magnet 400 gauss nilai DO meningkat menjadi 18,3 mg/L. Hal yang sama terjadi pada laju aliran 50 lpm, di mana DO akhir meningkat dari 17,6 mg/L menjadi 19,4 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa medan magnet memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan efisiensi aerasi. Kuat medan magnet berpengaruh langsung terhadap peningkatan kadar oksigen terlarut (DO). Medan magnet menyebabkan perubahan orientasi molekul air dan mengurangi tegangan permukaan, sehingga udara lebih mudah terdispersi menjadi gelembung mikro di dalam air.

Gelembung mikro memiliki luas permukaan lebih besar dan waktu tinggal yang lebih lama, sehingga meningkatkan laju difusi oksigen ke dalam air.Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada medan magnet 400 gauss, peningkatan DO terjadi lebih cepat dibandingkan kondisi tanpa magnet. Hal ini membuktikan bahwa pemanfaatan medan magnet dapat meningkatkan efisiensi proses transfer oksigen tanpa menambah energi mekanik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai pengaruh medan magnet terhadap kinerja *microbubble* generator (MBG) tipe *swirl* pada proses aerasi, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1.Semakin besar kuat medan magnet yang digunakan, semakin tinggi kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* / DO) yang dihasilkan oleh sistem MBG. Hal ini menunjukkan bahwa medan magnet mampu memperbaiki proses difusi oksigen ke dalam air.Bahwa medan magnet di 200 gauss menunjukan hasil DO tertinggi di 18,5mg/L. Dan medan msgnet di 400 gauss menunjukan hasil DO tertinggi di 19,4 mg/L.

2. Semakin tinggi debit air yang digunakan pada berbagai medan magnet,maka nilai oksigen terlarut semakin meningkat yaitu di magnet ukuran 200 gauss di 30 lpm:17,6mg/L. 40 lpm : 18,3mg/L. 50 lpm : 18,5mg/L. Ukuran 400 gauss di 30 lpm : 18,3 mg/L. 40 lpm : 19,0 mg/L. 50 lpm : 19,4 mg/L.

Daftar Pustaka

Alam, H. S., Redhyka, G. G., Bahrudin, A. T. S., Salim, T. I., & Robbihi, I. (2018). *Design and Performance of Swirl Flow Microbubble Generator*. International Journal of Engineering & Technology, 7(4.40), 66- 69.

Amiri, A., & Ahmadi, G. (2020). Magnetic field effects on bubble dynamics in liquid flows. Journal of Magnetism and Magnetic Materials.

Li, X., et al. (2022). Enhancing oxygen transfer in water using magnetic fields. Chemical Engineering Journal.

Sadatomi, M., et al. (2012). Performance of a swirl-type microbubble generator. Experimental Thermal and Fluid Science.

Terasaka, K., et al. (2011). Applications of microbubbles in wastewater treatment. Journal of Chemical Engineering of Japan.

Wu, Y., et al. (2021). Magnetic field-assisted microbubble generation for aeration. AIChE Journal.

Amiri, A., & Ahmadi, G. (2020). J. Magnetism Magnetic Materials.

Parmar, R., & Majumder, S.K. (2013). Ind. Eng. Chem. Res.

Rosensweig, R.E. (1985). Ferrohydrodynamics.

Wu, Y., et al. (2021). AIChE Journal.

MAWARNI DI, JUWANA WE, YUANA KA, BUDHIJANTO W, DEENDARLIANTO, INDARTO. Hydrodynamic characteristics of the microbubble dissolution in liquid using the swirl flow type of microbubble generator. J Water Process Eng [Internet]. 2022;48(2):102846. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102846

MAWARNI DI, TAMBUNAN KA, INDARTO, DEENDARLIANTO. Experimental study of Swirl Microbubble Generator with 1.2 millimeter diameter of gas nozzle and 1 millimeter distance to the outlet. AIP Conf Proc. 2021;2403(December).

MAWARNI DI, ABDAT A, INDARTO, DEENDARLIANTO, WIRATNI, JUWANA WE. Experimental study of the effect of the swirl flow on the characteristics of microbubble generator orifice type. AIP Conf Proc. 2020;2248(July).

BUDHIJANTO W, DEENDARLIANTO D, KRISTIYANI H, SATRIAWAN D. Enhancement of Aerobic Wastewater Treatment by the Application of Attached Growth Microorganisms and Microbubble Generator. Int J Technol [Internet]. 2015 Dec 30;6(7):1101. Available from: http://www.ijtech.eng.ui.ac.id/index.php/journal/article/view/1240

JUWANA WE, WIDYATAMA A, DINARYANTO O, BUDHIJANTO W, INDARTO, DEENDARLIANTO. Hydrodynamic characteristics of the microbubble dissolution in liquid using orifice type microbubble generator. Chem Eng Res Des [Internet]. 2019;141:436–48. Available from: https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.11.017

PAMBUDIARTO BA, MINDARYANI A, DEENDARLIANTO, BUDHIJANTO W. Evaluation of the effect of operating parameters on the performance of orifice/porous pipe type micro-bubble generator. J Eng Technol Sci. 2020;52(2):196–207.

LULUK E, SUPRIHATIN. Kombinasi Proses Aerasi, Adsorpsi, Dan Filtrasi Pada Pengolahan Air Limbah Industri Perikanan. Envirotek J Ilm Tek Lingkung. 2009;2(1):79–83.

MAJID AI, NUGROHO FM, JUWANA WE, BUDHIJANTO W, DEENDARLIANTO, INDARTO. On the performance of venturi-porous pipe microbubble generator with inlet angle of 20°and outlet angle of 12°. AIP Conf Proc. 2018;2001(August).

FIRRA R, W I, AGUNG RACHMANTO T. Peningkatan Efektifitas Aerasi Dengan Menggunakan Micro Bubble Generator (MBG). J Ilm Tek Lingkung. 2016;8(2):88–97.

LIEW KCS, RASDI A, BUDHIJANTO W, YUSOFF MHM, BILAD MR, SHAMSUDDIN N, ET AL. Porous venturi-orifice microbubble generator for oxygen dissolution in water. Processes. 2020;8(10):1–15.

BUDHIJANTO, W., DEENDARLIANTO, KRISTIYANI, H., SATRIAWAN D. Enhancement of Aerobic Wastewater Treatment by the Application of Attached Growth Microorganisms and Microbubble GeneratorNo Title. Int J Technol. 2015;6.

DEENDARLIANTO, WIRATNI, TONTOWI AE, INDARTO, IRIAWAN AGW. The implementation of a developed microbubble generator on the aerobic wastewater treatment. Int J Technol. 2015;6(6):924–30.

TANAKA S, KASTENS S, FUJIOKA S, SCHLÜTER M, TERASAKA K. Mass transfer from freely rising microbubbles in aqueous solutions of surfactant or salt. Chem Eng J [Internet]. 2020;387(xxxx):121246. Available from: https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.122

ZHAO L, SUN L, MO Z, DU M, HUANG J, BAO J, ET AL. Effects of the divergent angle on bubble transportation in a rectangular Venturi channel and its performance in producing fine bubbles. Int J Multiph Flow [Internet]. 2019;114:192–206. Available from:

NAIR N, VIRPURA H, PATEL R. Magnetic field dependent measurement techniques of surface tension of magnetic fluid at an air interface. AIP Conf Proc. 2015;1665.