

PENGARUH KADAR AIR DI DALAM *BRAKE FLUID* TERHADAP KARAKTERISTIK GELEMBUNG PADA PROSES PEMANASAN *BRAKE FLUID*

Setya Wijayanta ¹⁾ ✉, Faris Humami ¹⁾, Helmi Wibowo ¹⁾, Komang Andre Kristiawan ¹⁾, Wildan Surya Lazuardi ¹⁾

¹⁾Program Studi D3 Teknologi Otomotif
Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan
Jl. Semeru No.3 Tegal, Jawa Tengah, 52125
setya_w@pktj.ac.id
farishumami@pktj.ac.id
helmi.wibowo@pktj.ac.id
andrewkristiawan8@gmail.com
wildansurya12@gmail.com

Abstract

The present study aimed to determine the effect of the percentage of water in brake fluid on the boiling point and the characteristics of bubble formation (the beginning of vapor lock) during the brake fluid heating process. DOT 3 Brake Fluid and water were used as the working fluid in the present study. To vary the water content in the brake fluid, water was mixed into the DOT 3 Brake Fluid. The water percentages in the mixture were 0, 1, 3, and 4%. The boiling point of brake fluid with four variations in the water content percentage was measured by using a digital thermometer. The characteristics of bubble formation in brake fluid were observed using a video camera with a frame rate of 240 fps. The video recording results were extracted into an image file with a jpeg extension and processed further using image processing with ImageJ software to measure the total cross-sectional area and bubble fraction. This is the novelty of the present study, where measurements of the total cross-sectional area and bubble fraction in boiling brake fluid with variations in water content have never been carried out by researchers before. Apart from that, the ImageJ measurement method has advantages compared to other software. ImageJ is free software that is easy to download from the internet, easy to use, accurate and the measurement results are displayed immediately. The research results show that an increase in the percentage of the water content in brake fluid affects reducing the boiling point of the brake fluid. At the same temperature, the greater the percentage of water content in the brake fluid, the total cross-sectional area and bubble fraction also increase. At the same percentage of water content, the total cross-sectional area and bubble fraction also increase as the temperature increases. Apart from that, in this research, an empirical equation was successfully developed to predict the brake fluid's boiling point based on its water content, and an empirical equation to predict the bubble fraction based on the water content and temperature of the brake fluid. This is a novel result of this research that has never been produced in previous research.

Keywords: Vapour Lock, Brake Fluid, Boiling Point, Bubble Fraction.

Corresponding Author:

✉ **Setya Wijayanta**

Received on: 2023-10-18

Revised on: 2023-12-27

Accepted on: 2023-12-28

1. PENDAHULUAN

Kecelakaan Bus dan Truk yang disebabkan oleh kegagalan pada sistem pengereman sering muncul di berbagai media dengan tingkat fatalitas dan jumlah korban pada setiap kejadian yang cukup tinggi. Di Indonesia, data hasil investigasi KNKT (Komite Nasional

Keselamatan Transportasi) pada beberapa kasus terjadinya kegagalan sistem rem Bus dan Truk dari tahun 2019 sampai 2022 telah dirangkum^[1]. Dari hasil investigasi KNKT menunjukkan bahwa terdapat 3 fenomena yang paling sering menjadi penyebab terjadinya kegagalan sistem rem, yaitu *brake fading*, penurunan volume udara bertekanan dan *vapour lock*^[1]. Fenomena penyebab terjadinya kegagalan sistem rem tersebut hampir sama dengan yang terjadi pada mini bus komersial di Kumasi, Ghana. Dari hasil survei dengan kuesioner terstruktur di 20 terminal, 65 bengkel otomotif dan 25 lembaga pemerintah terkait, terdapat 485 orang yang memberikan tanggapan mengenai penyebab terjadinya kegagalan sistem rem. Dari 485 orang tersebut, sebanyak 63,1% mengemukakan bahwa fenomena yang paling sering menjadi penyebab kegagalan sistem rem adalah rendahnya level *brake fluid* pada master silinder akibat kebocoran, *over heat* dan adanya udara yang terperangkap di dalam sistem hidrolis. Sebanyak 63,1% tersebut terdiri dari 132 orang (27,2%) menyatakan level *brake fluid* di master silinder yang rendah, 109 orang (22,5%) menyatakan *over heat*, sedangkan 65 orang (13,4%) menyatakan adanya udara yang terperangkap di dalam sistem^[2]. Hasil penelitian tersebut memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang melakukan survei mengenai kegagalan sistem rem dan efeknya pada kecelakaan lalu lintas di jalan Kumasi Metropolitan Ghana. Survei dilakukan pada 485 orang yang terdiri dari pengemudi taxi, mobil pribadi, minibus dan kendaraan berat^[3]. Dari 485 pengguna kendaraan tersebut, 40% mengemukakan bahwa kegagalan pengereman disebabkan oleh rendahnya atau kehabisan minyak rem dan 33% disebabkan oleh panas berlebihan pada sistem rem. Selain itu, dari hasil survei mengenai ketidakefektifan pengereman, menunjukkan bahwa sebanyak 40% dari 485 responden mengemukakan bahwa penyebab ketidakefektifan pengereman adalah adanya udara di dalam sistem rem hidrolis^[3].

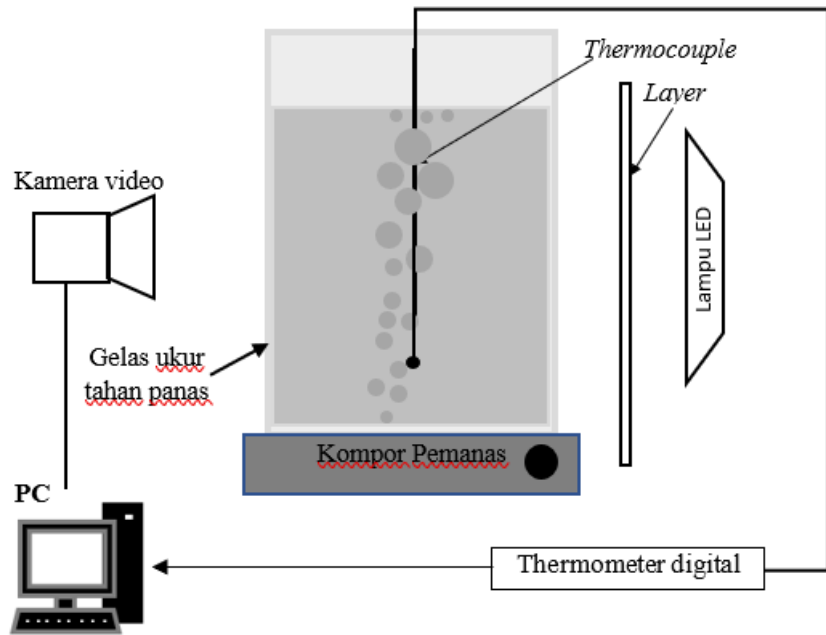
Brake fading adalah fenomena di mana kampas rem kehilangan traksi pada tromol akibat panas yang berlebihan, sehingga tidak mampu menahan putaran roda. Gesekan antara kampas dengan tromol akan menimbulkan panas, dan saat panasnya melampaui ketahanan panas kampas, maka akan terjadi peristiwa sublimasi yaitu berubahnya sebagian permukaan kampas rem menjadi gas panas. Gas panas itu akan terjebak di antara kampas dan tromol dan membentuk lapisan (*film*) yang menghalangi pertemuan antara kampas dan tromol. Pada sistem rem udara, untuk dapat bekerja dengan baik, sistem pneumatic membutuhkan tenaga dorong minimal sebesar 6 bar. Namun, seringkali terjadi penurunan tekanan pada sistem *pneumatic* sampai dibawah 6 bar. Hal ini bisa disebabkan oleh adanya kebocoran pada selang atau pipa *pneumatic*. Sementara itu, *vapour lock* merupakan fenomena yang dapat terjadi pada sistem rem hidrolis. Pada saat proses pengereman, kampas rem menekan tromol, sehingga terjadi gesekan dan menimbulkan panas. Jika proses pengereman berlangsung lama, maka panas akan merambat ke silinder roda dan fluida rem. Jika temperatur pada fluida rem mencapai titik didihnya, maka akan terbentuk gelembung udara pada fluida rem. Gelembung udara ini selanjutnya membentuk sekat kosong pada saluran hidrolis, sehingga tekanan hidrolis dari master silinder tidak dapat diteruskan ke silinder roda dengan baik, sehingga tidak mampu mendorong kampas rem untuk menekan tromol dengan sempurna^[1]. *Brake fluid* memiliki sifat hidrofilik sehingga mudah bercampur dengan air saat berkendara^[4]. Selain itu, minyak rem yang banyak digunakan saat ini adalah dari seri *Glycoether* yang memiliki sifat menyerap air di atmosfer. Akibatnya, kadar air pada fluida rem meningkat seiring berjalannya waktu, dan titik didihnya berangsur-angsur turun^[5]. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian – penelitian sebelumnya, bahwa semakin tinggi kadar air di dalam fluida rem, maka semakin rendah titik didih fluida rem^[6-10]. Namun demikian, fenomena utama pada *vapour lock* dianggap bukan sebagai pendidihan *brake fluid*, melainkan karena pertumbuhan gelembung mini^[5]. Pengaruh kadar air terhadap titik didih *brake fluid* telah diteliti oleh beberapa peneliti sebelumnya dan menghasilkan data serta *trend* grafik yang hampir sama, di mana semakin tinggi kadar air di dalam fluida

rem, maka semakin rendah titik didih fluida rem^[6-10]. Namun, belum ada yang mengkaji mengenai pengaruh kadar air terhadap karakteristik pembentukan gelembung pada *brake fluid*. Dengan demikian, maka sangat penting untuk dilakukan kajian secara lebih mendalam mengenai pengaruh kadar air terhadap titik didih dan karakteristik pembentukan gelembung pada *brake fluid* sebagai kebaruan dari penelitian ini.

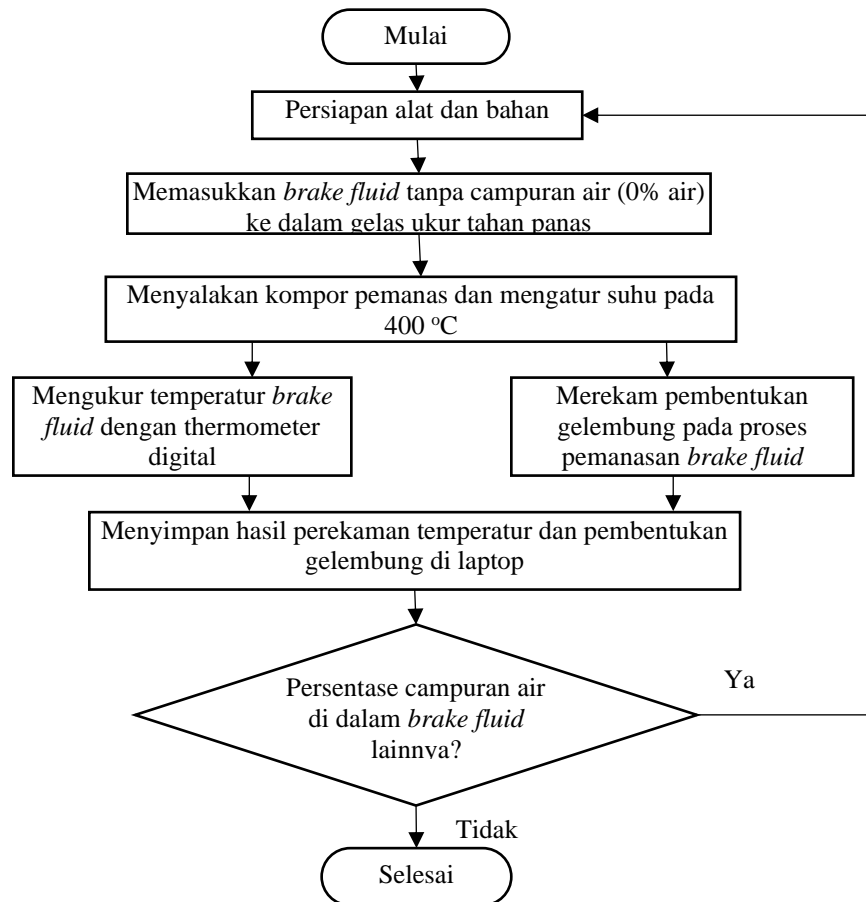
Beberapa parameter penting yang dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik pembentukan gelembung adalah fraksi gelembung pada berbagai variasi temperatur. Sampai saat ini belum ada penelitian sebelumnya yang mengkaji mengenai pengaruh kadar air terhadap fraksi gelembung yang terbentuk pada proses pemanasan *brake fluid*. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur diameter maupun fraksi gelembung yang terbentuk pada fluida cair adalah dengan *image processing*. Beberapa peneliti sebelumnya telah berhasil menggunakan *image processing* untuk mengukur diameter gelembung^[11-14]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi pengaruh persentase air di dalam *brake fluid* terhadap titik didih dan karakteristik pembentukan gelembung (permulaan *vapour lock*) pada proses pemanasan *brake fluid*. Fraksi gelembung sebagai parameter penting di dalam penelitian ini diukur dengan metode *image processing*.

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Keselamatan Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal. Fokus dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi pengaruh persentase air di dalam fluida rem (*brake fluid*) terhadap Titik didih *brake fluid* dan karakteristik pembentukan gelembung (permulaan *vapour lock*) pada proses pemanasan *brake fluid*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, di mana *Experimental Apparatus* dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Fluida rem yang digunakan adalah *Brake Fluid* DOT 3, di mana memiliki titik didih paling rendah dibandingkan dengan DOT 4 dan DOT 5^[15-17]. Untuk memvariasikan kandungan air di dalam fluida rem, maka *Brake Fluid* DOT 3 di campur dengan air menggunakan *Magnetic Stirrer* di dalam gelas kimia. Persentase air di dalam *Brake Fluid* DOT 3 sebesar 0, 1, 3 dan 4%. *Brake Fluid* DOT 3 dengan variasi campuran air sebanyak 350 mililiter di dalam gelas kimia dipanaskan menggunakan kompor listrik dengan suhu 400 °C. Titik didih *brake fluid* dengan empat variasi persentase kandungan air diukur menggunakan Thermometer digital dengan *thermocouple*. Karakteristik pembentukan gelembung (permulaan *vapour lock*) diamati dan direkam menggunakan kamera video dengan laju perekaman 240 fps. Pencahayaan dengan lampu LED dan dilengkapi layer, disorotkan dari belakang untuk mendapatkan gambar yang bagus. Metode pengambilan data secara lebih jelas dapat dilihat pada diagram alir pengambilan data titik didih dan gelembung pada pemanasan *brake fluid* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Skema peralatan penelitian

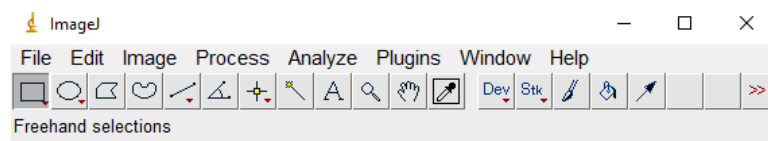


Gambar 2. Diagram alir pengambilan data titik didih dan gelembung pada pemanasan brake fluid

Hasil perekaman video diekstrak ke dalam bentuk *file image* berekstensi *jpeg* dan diolah lebih lanjut menggunakan *image processing* dengan *software ImageJ*. Langkah-langkah *image processing* tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Membuka aplikasi atau *software ImageJ*

Membuka aplikasi atau *software ImageJ* di PC atau laptop sehingga muncul tampilan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan aplikasi *ImageJ*

- b. Mengimpor atau membuka *file image* yang akan diolah ke dalam *ImageJ*.

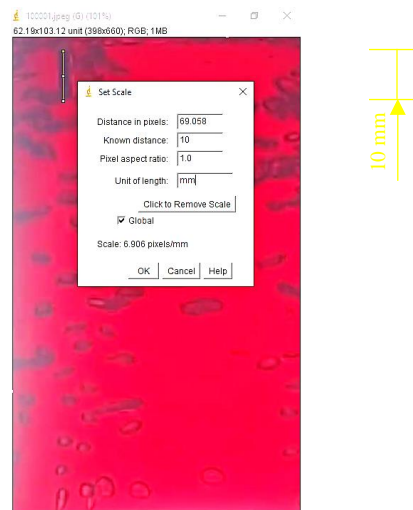
Mengimpor atau membuka *file image* yang akan diolah ke dalam *ImageJ* melalui menu *File>open file* sehingga muncul tampilan *image* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Impor *image* pada aplikasi *ImageJ*

- c. Melakukan kalibrasi dengan mensinkronkan satuan pixel dari gambar ke dalam satuan millimeter (mm).

Sinkronisasi satuan pixel dari gambar ke dalam satuan millimeter (mm) dilakukan pada obyek tertentu (isolatif warna hitam) yang sengaja di pasang pada gelas ukur yang telah diketahui panjangnya 10 mm. Selanjutnya diukur panjangnya dengan *ImageJ* dalam satuan pixel. Hasilnya dimasukkan ke dalam menu *Analyze>Set scale>* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kalibrasi pixel ke mm

- d. Melakukan pemotongan gambar dengan klik “*Rectangular*” sesuai dengan area yang akan di ukur luas penampang gelembungya.

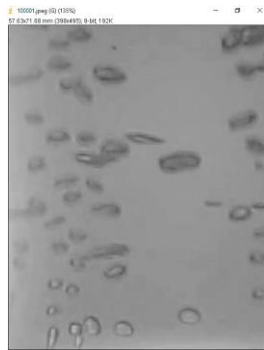
Pemilihan area (*cropping*) yang akan di ukur luas penampang gelembung didasarkan pada tingkat kecerahan pencahayaan yang paling bagus, supaya pendeteksian tepi gelembung bisa akurat, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses *cropping*

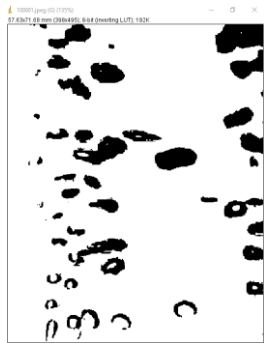
- e. Melakukan konversi gambar ke dalam tipe 8-bit

Konversi gambar ke dalam tipe 8-bit dilakukan dengan memilih menu: *Image > Type > 8-bit*, sehingga tampilan gambar berubah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil konversi gambar ke tipe 8-bit

- f. Melakukan konversi gambar ke dalam tipe *binary*

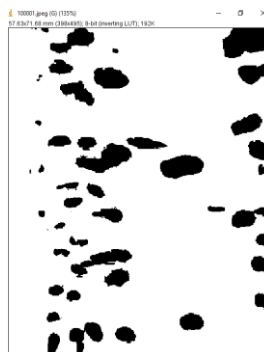


Gambar 8. Hasil konversi gambar ke tipe *binary*

Konversi gambar ke dalam tipe *binary* dilakukan dengan memilih menu: *Process > Binary > Make Binary*, sehingga tampilan gambar berubah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.

- g. Menghitamkan bagian tengah gelembung yang berwarna putih

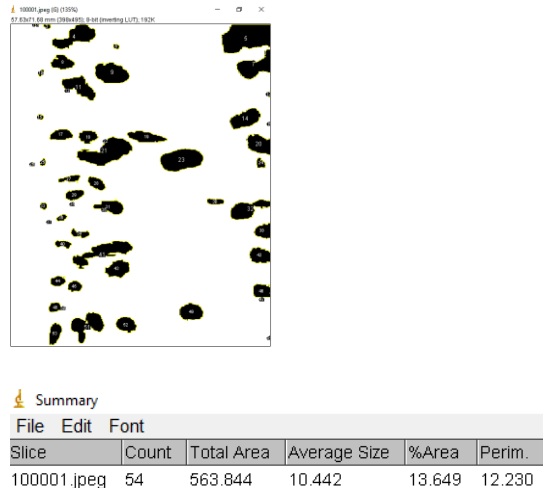
Penghitaman bagian tengah gelembung yang berwarna putih bertujuan supaya luasannya bisa terdeteksi secara utuh. Penghitaman dilakukan dengan menggunakan menu *tool "Brush"*, sehingga tampilan gambar berubah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil penghitaman bagian tengah gelembung dengan *tool brush*

- h. Melakukan pengukuran luas penampang gelembung dan fraksi luas gelembung

Pengukuran luas penampang gelembung dan fraksi luas gelembung dilakukan dengan menggunakan menu: *Analyze > Analyze Particles >*, sehingga keluar hasilnya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.



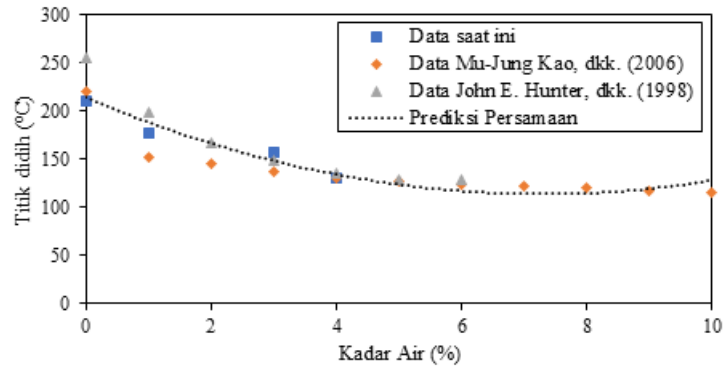
Gambar 10. Hasil pengukuran total area dan fraksi area gelembung

Titik didih *brake fluid* dengan empat variasi persentase kandungan air diukur menggunakan Thermometer digital dengan *thermocouple*. Kalibrasi *thermometer* dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan thermometer air raksa serta thermometer inframerah. Dari pengukuran menggunakan ketiga jenis *thermometer* menunjukkan nilai yang sama.

3. HASIL DAN DISKUSI

Pada bagian ini memuat data titik didih dan karakteristik pembentukan gelembung pada proses pemanasan *brake fluid* DOT 3 dengan variasi persentase kandungan air (0, 1, 3 dan 4%). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa titik didih *brake fluid* dengan campuran air 0, 1, 3 dan 4% masing-masing adalah 210, 178, 157 dan 130°C. Pengaruh variasi persentase kadar air di dalam *brake fluid* terhadap titik didih *brake fluid* dari data eksperimen saat ini, Kao, dkk^[7] dan Hunter, dkk^[6] dapat dilihat pada Gambar 11. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa dari data eksperimen saat ini, Hunter, dkk^[6] dan Kao, dkk^[7] menunjukkan *trend* yang sama. Peningkatan persentase kandungan air di dalam *brake fluid* berpengaruh terhadap penurunan titik didih *brake fluid*. Dari data eksperimen saat ini, Hunter, dkk^[6] dan Kao, dkk^[7] tersebut dapat dihasilkan persamaan empiris untuk memprediksi titik didih (°C) *brake fluid* berdasarkan kadar air (%) pada *brake fluid* yang dirumuskan pada Persamaan (1). Persamaan empiris tersebut merupakan kebaruan dari penelitian ini yang belum pernah dihasilkan oleh para peneliti sebelumnya. Persamaan empiris tersebut dapat digunakan sebagai masukan pemrograman di dalam mendesain peralatan untuk mencegah *vapour lock* sebagai tindak lanjut dari hasil penelitian ini. Meskipun hasil dari penelitian ini memiliki kesesuaian yang sangat baik dengan beberapa peneliti sebelumnya, namun baru teruji pada kondisi ruang terbuka atau atmosfer. Dengan demikian, perlu dilakukan kajian eksperimen lebih lanjut pada sistem rem di kendaraan dengan kondisi sesuai tekanan kerja rem.

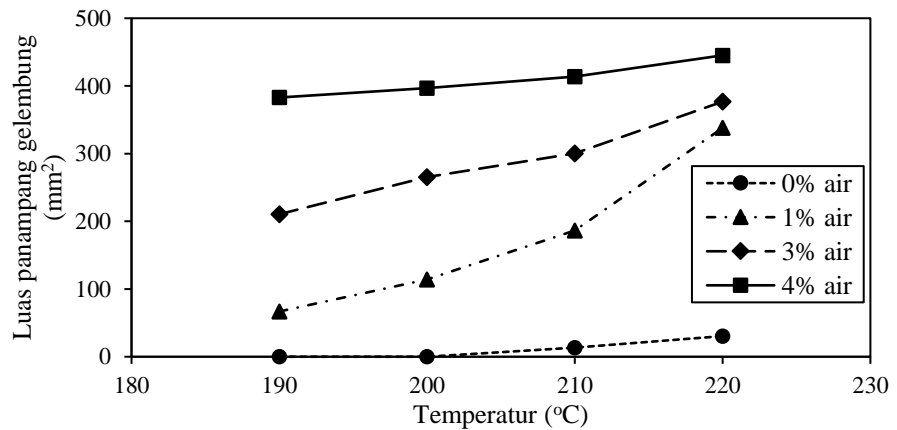
$$\text{Titik didih} = 1,9046 (\text{Kadar air})^2 - 27,683 (\text{Kadar air}) + 214,72 \quad (1)$$



Gambar 11. Titik didih *brake fluid* dengan variasi persentase kadar air

















Visualisasi pembentukan gelembung pada *brake fluid* dengan empat variasi persentase kandungan air (0, 1, 3 dan 4%) dan empat sampel temperatur (190, 200, 210 dan 220 °C) ditunjukkan pada Tabel 1. Dari foto visualisasi pembentukan gelembung terlihat bahwa pada *brake fluid* tanpa campuran air, pada temperature 190 dan 200 °C belum terbentuk gelembung. Sementara itu, pada *brake fluid* dengan campuran air 1, 3 dan 4%, pada temperature 190 dan 200 °C sudah terbentuk gelembung. Selain itu, dapat dilihat bahwa pada temperatur yang sama, semakin meningkat persentase kandungan air di dalam *brake fluid*, semakin meningkat jumlah dan ukuran gelembungnya.

Pada persentase kandungan air yang sama, semakin meningkat temperaturnya, jumlah dan ukuran gelembungnya juga semakin meningkat. Grafik pengaruh peningkatan temperatur dan persentase kandungan air terhadap luas penampang total gelembung yang terbentuk pada *brake fluid* dapat dilihat pada Gambar 12. Pada temperatur yang sama, semakin meningkat persentase kandungan air di dalam *brake fluid*, semakin meningkat luas penampang total gelembungnya. Pada persentase kandungan air yang sama, semakin meningkat temperaturnya, luas penampang total gelembungnya juga semakin meningkat.



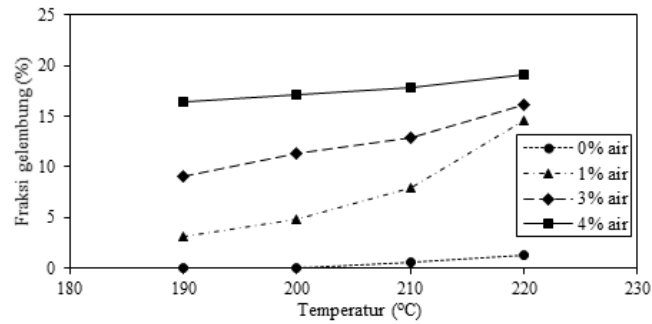
Gambar 12. Pengaruh peningkatan temperatur dan persentase kandungan air terhadap luas penampang gelembung yang terbentuk pada *brake fluid*

Tabel 1. Visualisasi gelembung pada *brake fluid* dengan variasi persentase kandungan air

Temperatur	Persentase kandungan air di dalam <i>brake fluid</i>			
	0%	1%	3%	4%
190 °C				
200 °C				
210 °C				
220 °C				

Grafik pengaruh peningkatan temperatur dan persentase kandungan air terhadap fraksi gelembung yang terbentuk pada *brake fluid* dapat dilihat pada Gambar 13. Pada temperatur yang sama, semakin meningkat persentase kandungan air di dalam fluida rem, semakin meningkat fraksi gelembungnya. Pada persentase kandungan air yang sama, semakin meningkat temperaturnya, fraksi gelembungnya juga semakin meningkat. Dari hasil analisis menggunakan regresi non linier, hubungan antara persentase kandungan air (%), temperatur (°C) dan fraksi gelembung (%) pada *brake fluid* membentuk persamaan empiris yang dituliskan pada Persamaan (2)

$$\text{Fraksi Gelembung} = 8.069\text{E-}7(\text{Persentase Air})^{0.555} (\text{Temperatur})^{3.014} \quad (2)$$



Gambar 13. Pengaruh peningkatan temperatur dan persentase kandungan air terhadap fraksi gelembung yang terbentuk pada *brake fluid*

4. KESIMPULAN

Pengaruh persentase air di dalam *brake fluid* terhadap titik didih dan karakteristik pembentukan gelembung pada proses pemanasan *brake fluid* telah dikaji di dalam penelitian ini. Hasilnya dapat dirangkum sebagai berikut:

- Peningkatan persentase kadar air di dalam *brake fluid* berpengaruh terhadap penurunan titik didih *brake fluid*. Hubungan antara persentase kandungan air (%) dan titik didih (°C) pada *brake fluid* membentuk persamaan empiris: Titik didih = $1,9046 (\text{Kadar air})^2 - 27,683 (\text{Kadar air}) + 214,72$. Persamaan empiris tersebut merupakan kebaruan dari penelitian ini, yang dapat digunakan sebagai masukan pemrograman di dalam mendesain peralatan untuk mencegah *vapour lock*.
- Pada temperatur yang sama, semakin meningkat persentase kadar air di dalam *brake fluid*, semakin meningkat luas penampang total dan fraksi gelembungnya. Pada persentase kadar air yang sama, semakin meningkat temperaturnya, luas penampang total dan fraksi gelembungnya juga semakin meningkat.
- Hubungan antara kadar air (%), temperatur (°C) dan fraksi gelembung (%) pada *brake fluid* membentuk persamaan empiris sebagai berikut: Fraksi Gelembung = $8.069E-7 (\text{Kadar Air})^{0,555} (\text{Temperatur})^{3,014}$.
- Hasil penelitian ini secara teoritis dapat memberikan pengetahuan baru mengenai fenomena *vapour lock* dan sistem pengereman.
- Hasil dari penelitian ini baru teruji pada kondisi ruang terbuka atau atmosfer. Dengan demikian, perlu dilakukan kajian eksperimen lebih lanjut pada sistem rem di kendaraan dengan kondisi sesuai tekanan kerja rem.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Melalui pernyataan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan Tegal yang telah membantu pendanaan penelitian dengan nomor kontrak PK-PKTJ 109 Tahun 2023, serta kepada Daris dan Wahyu yang telah membantu di dalam pembuatan perangkat eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wildan, "Kajian teknis rem blong pada bus dan truk". Yogyakarta, Indonesia, Diva Press, 2023.

- [2] Owusu-Ansah P., Alhassan T., Frimpong A., Agyei Agyemang A., “Survey of the Causes of Brake Failure in Commercial Mini-Buses in Kumasi”, *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 23, pp. 4877–4882, 2014.
- [3] Oduro, S. D., “Brake Failure and its Effect on Road Traffic Accident in Kumasi Metropolis, Ghana”. *International Journal of Science and Technology*, vol.1, no. 9, pp. 448-454, 2012.
- [4] Cornak, S., Skolil, J., “Research of Brake Fluids Viscosity Properties”, *AiMT*, vol. 1, no.2, pp. 1-6, 2008.
- [5] Kawakami, A., Shikada, A., Miyao, K., “Control Method for Brake Vapor Lock in Automobiles”, *JSAE Rev.*, vol. 21, no. 1, pp. 73–78, 2000.
- [6] Hunter, J. E., Cartier, S. S., Temple, D. J., MASON, R. C., “Brake Fluid Vaporization as a Contributing Factor in Motor Vehicle Collisions”, *SAE Tech. Pap.*, pp. 1-19, 1998.
- [7] Kao, M. J., Tien, D. C., Ting, C. C., Tsung, T. T., “Hydrophilic Characterization of Automotive Brake Fluid”, *J. Test. Eval.*, vol. 34, no. 5, pp. 400–404, 2006.
- [8] Wijayanta, S., Diah, D., Pambudi, K., Arifan, H. A., “The Influence of the Water Level in the Brake Fluid on the Rate of Increase in Temperature and Boiling Point of the Brake Fluid”, *Atl. Press Adv. in Eng. Research ISTSDC*, vol. 193, pp. 42–45, 2020.
- [9] Alex, M., “DOT Brake Fluid vs. Mineral Oil – and the Winner is..”, www.epicleedsolutions.com/blog/dot-brake-fluid-vs-mineral-oil, 2018.
- [10] Bako, S., Usman, T., Mijinyawa, E. P., Iqbax, S. I., “An Overview of Hydraulic Brake Fluid Contamination,” *Proceeding 15th iSTEAMS Res. Nexus Conf.*, pp. 47–56, 2019.
- [11] Trihutomo, P., “Pengaruh Volume Alir Udara terhadap Pola Sebaran Gelembung pada *Bubble Plume*”, *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 127–135, 2015.
- [12] Juwana, W. E., 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.*, vol. 141, pp. 436–448, 2019.
- [13] Zhou H., Niu, X., “An Image Processing Algorithm for the Measurement of Multiphase Bubbly Flow Using Predictor-Corrector Method”, *Int. J. Multiph. Flow*, vol. 128, 2020.
- [14] Mawarni, D. I., Indarto, Deendarlianto, Budhijanto, W., “Pengaruh Jarak Nosel Udara dengan Outlet terhadap Distribusi Ukuran *Bubble* yang dihasilkan Oleh MBG Tipe Swirl”, *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 361–371, 2022.
- [15] Ryan, T. E., Hinz, T., “Analysis of Water Content in Brake Fluid. Part I. Method Comparison: Karl Fisher Titration Versus Refractive Index”, *SAE Inc.*, pp. 1-4, 1997.
- [16] Herzog, W., Wiśniewski, M., Hreczuch, W., “Characteristics of Water Absorption in a Brake Fluid System Containing 3,6,9-Trioxadecanol and Its Borate Esters”, *Appl. Spectrosc.*, vol. 55, no. 10, pp. 1422–1425, 2001.
- [17] Giani, S., “Boiling Point and Water Content Determination in Hydraulic Brake Fluid Testing”, *UserCom Analytical Chemistry*, no. 22, pp. 10–11, 2018.