

RANCANG BANGUN ALAT PENDETEKSI KEBOCORAN PADA SISTEM REM PNEUMATIK

Setya Wijayanta

Teknologi Rekayasa Otomotif
Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan
Jl. Perintis Kemerdekaan No.17, Slerok, Kec.
Tegal Tim., Kota Tegal, Jawa Tengah
setya_w@pktj.ac.id

Daris Alwansyah

Teknologi Rekayasa Otomotif
Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan
Jl. Perintis Kemerdekaan No.17, Slerok, Kec.
Tegal Tim., Kota Tegal, Jawa Tengah
20021011@student.pktj.ac.id

Wildan Surya Lazuardi

Teknologi Rekayasa Otomotif
Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan
Jl. Perintis Kemerdekaan No.17, Slerok, Kec.
Tegal Tim., Kota Tegal, Jawa Tengah
20021060@student.pktj.ac.id

Wahyu Dzuriyatul Fauzi

Teknologi Rekayasa Otomotif
Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan
Jl. Perintis Kemerdekaan No.17, Slerok, Kec.
Tegal Tim., Kota Tegal, Jawa Tengah
20021057@student.pktj.ac.id

Abstract

In Indonesia, numerous accidents are caused by brake system failures. According to the National Transportation Safety Committee (KNKT), three primary factors contributing to road accidents due to brake system failures in Indonesia include brake fade, decreased compressed air volume, and vapor lock. This research aims to design and develop a device for detecting leaks in pneumatic brake systems using a Research and Development methodology. The research results demonstrate the successful design and fabrication of a leak detection device for pneumatic brake systems, equipped with a safety system that can automatically activate auxiliary brakes in the event of a leak or when the compressed air volume drops below 5 bar.

Keywords: Pneumatic Brakes, Leakage, Device Design

Abstrak

Di Indonesia, banyak kecelakaan yang terjadi diakibatkan oleh kegagalan sistem pengeremannya. Berdasarkan temuan Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), terdapat tiga faktor utama yang kerap menjadi penyebab kecelakaan lalu lintas yang diakibatkan oleh kegagalan sistem pengereman kendaraan di Indonesia diantaranya yaitu, fenomena fading pada rem, penurunan volume udara bertekanan, dan kondisi vapor lock. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat untuk mendeteksi kebocoran pada sistem rem pneumatik dengan menggunakan metode *Research and Development*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat pendeteksi kebocoran pada sistem rem pneumatik berhasil dirancang dan dibuat, dilengkapi dengan sistem pengaman yang dapat secara otomatis mengaktifkan rem bantu apabila terjadi kebocoran atau penurunan volume udara bertekanan dibawah 5 bar pada kendaraan.

Kata Kunci: Rem Pneumatik, Kebocoran, Rancang Bangun Alat

PENJELASAN UMUM

Kegagalan sistem pengereman menjadi salah satu penyebab utama kecelakaan lalu lintas di Indonesia. Banyak peristiwa kecelakaan tragis terjadi akibat kegagalan pada sistem pengereman atau biasa disebut dengan rem blong. Data KNKT (2019-2022) menunjukkan

bahwa masalah rem blong merupakan ancaman serius bagi keselamatan lalu lintas di Indonesia. Sebanyak 15 bus dan 30 truk mengalami kecelakaan akibat tiga jenis kegagalan rem utama, yaitu brake fading, penurunan tekanan udara, dan vapor lock (Wildan, 2023).

Menurut Wildan (2023), kerusakan pada komponen seperti air hose, reservoir tank, dan pipa udara pada sistem rem pneumatik dapat menyebabkan kebocoran udara pada sistem rem pneumatik. Hal ini berdampak pada penurunan tekanan pengereman maksimum dan peningkatan waktu respons pengereman pada *brake chamber* (Ramarathnam dkk, 2009). Selain faktor teknis, perilaku pengemudi seperti pemasangan klakson tambahan yang berbagi sumber udara dengan sistem pengereman juga berkontribusi terhadap penurunan volume udara yang tersedia, sehingga menimbulkan peningkatan risiko terjadinya rem kegagalan pada sistem pengereman.

Wildan (2023) mengemukakan bahwa penurunan volume udara bertekanan sering ditemui pada kendaraan yang menggunakan sistem rem pneumatik. Penurunan volume udara tersebut dapat terjadi karena kerusakan dan perilaku pengemudi. Kebocoran udara pada *air hose*, *reservoir tank*, dan pipa udara termasuk dalam faktor kerusakan. Kebocoran ini mempengaruhi sistem rem dengan mengurangi tekanan pengereman maksimum yang dapat dicapai dalam *brake chamber* dan meningkatkan waktu pembentukan tekanan di dalam *brake chamber* (Ramarathnam dkk, 2009). Di sisi lain, perilaku pengemudi seperti pemasangan klakson tambahan yang menggunakan sumber udara yang sama dengan sistem pengereman juga dapat menyebabkan penurunan volume udara. Hal ini disebabkan karena sumber udara harus dibagi antara sistem pengereman dan klakson. Sebagai akibatnya, jika terjadi kebocoran pada perangkat klakson tambahan, maka tekanan udara pada tabung udara menurun semakin cepat yang berujung pada kegagalan sistem pengereman atau rem blong (Wildan, 2023).

Mengingat potensi bahaya yang ditimbulkan oleh kebocoran pada sistem rem pneumatik, penelitian mendalam mengenai fenomena ini menjadi sangat penting. Kegagalan fungsi sistem rem pneumatik akibat kebocoran dapat menimbulkan risiko kecelakaan yang serius. Penurunan tekanan udara dalam sistem secara signifikan akan mengkompromikan kinerja pengereman kendaraan, sehingga memperlambat respon kendaraan saat pengereman. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai mekanisme kebocoran dan dampaknya terhadap keselamatan menjadi krusial.

KAJIAN TEORI

Sistem Rem Pneumatik

Sistem rem pneumatik memanfaatkan fluida gas bertekanan sebagai medium untuk menghasilkan gaya pengereman. Sistem ini lazim digunakan pada kendaraan berat yang memerlukan daya henti yang besar. Komponen utama sistem ini meliputi kompresor, saluran tekanan tinggi, dan katup kontrol. Mekanisme kerja sistem rem pneumatik melibatkan pengaturan aliran udara bertekanan melalui katup rem, yang kemudian akan menggerakkan

piston silinder rem untuk menekan kampas rem. Besarnya gaya pengereman berbanding lurus dengan volume udara yang dialirkan. (Saskatchewan Government Insurance, 2022).

Kebocoran pada Sistem Rem Pneumatik

Kebocoran pada sistem pneumatik dapat bervariasi tergantung pada dua aspek utama, yaitu cara terjadinya kebocoran dan kapan dampaknya dirasakan oleh sistem. Ada dua kemungkinan untuk ciri pertama, yaitu kebocoran yang terjadi secara mendadak (perkembangan yang cepat) atau kebocoran yang secara perlahan meningkat menjadi lebih besar (perkembangan yang lambat). Sementara itu, untuk ciri kedua, terdapat dua opsi utama: kebocoran yang memengaruhi sistem secara kontinu (bocor sepanjang waktu) atau hanya pada situasi tertentu (contohnya, saat rem servis aktif atau berkendara di jalan bergelombang). Penting untuk dicatat bahwa kebocoran bisa memiliki karakteristik gabungan dari keempat opsi tersebut (Eriksson, 2010).

Arduino Nano

Arduino adalah komputer kecil yang dapat diprogram untuk menghubungkan dan mengendalikan berbagai komponen elektronik. Arduino memiliki sejumlah pin yang dapat diatur sebagai input, yang berarti dapat menerima data dari item seperti sakelar, tombol, dan sensor, atau output, yang berarti mengirim data untuk mengontrol item seperti motor, lampu, dan buzzer. Jenis papan pengembangan yang dapat diprogram ini lebih dikenal sebagai mikrokontroler. Papan Arduino terdiri dari dua elemen utama: perangkat keras, atau mikrokontroler, yang merupakan otak dari papan, dan perangkat lunak yang akan Anda gunakan untuk mengirim program Anda ke otak. Perangkat lunak, yang disebut lingkungan pengembangan terintegrasi Arduino (IDE), tersedia secara gratis untuk diunduh. (Geddes, 2016)

PENELITIAN RELEVAN

Ramarathnam dkk (2009) melakukan penelitian untuk mendeteksi kebocoran pada sistem rem pneumatik dengan menggunakan pressure transducer yang dipasang pada brake chamber depan dan belakang untuk mengukur perbedaan tekanan dengan yang ada pada supply reservoir. Simulasi kebocoran menggunakan Flow Control Valve yang dipasang pada rangkaian untuk memaksimalkan kontrol terhadap kebocoran. Data yang didapat dari sensor diakumulasi dengan Data Acquisition. Tegangan keluaran dari sensor dikonversi menjadi tekanan menggunakan grafik kalibrasi. Data tekanan yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi mass flow rate menggunakan faktor pengalihan yang sesuai. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil bahwa pada saat terjadi kebocoran, maka terdapat perbedaan tekanan tetap pada supply reservoir dengan tekanan yang ada pada brake chamber.

Metode yang sama dipakai oleh Deepa dkk (2018) dalam merancang alat pendeteksi kegagalan sistem rem pneumatik yang disebabkan oleh kebocoran dengan menggunakan sensor tekanan. Alat ini dilengkapi dengan Arduino Uno sebagai mikrokontroler. Dengan menggunakan sensor tekanan dipasang pada rangkaian sistem rem pneumatik yang mendeteksi kebocoran dengan cara membaca *pressure loss*. Apabila kebocoran terdeteksi,

maka sinyal peringatan berupa buzzer akan menyala dan layar LCD akan memberikan informasi kebocoran kepada pengemudi, secara bersamaan rem retarder dapat diaktifkan manual oleh pengemudi dengan variasi penurunan kecepatan kendaraan, yang dapat dikontrol oleh pengemudi secara manual melalui papan kontrol manual.

Di sisi lain, Exaudi dkk., (2019) melakukan penelitian identifikasi kebocoran pada saluran perpipaan. Penelitian ini menggunakan dua sensor tekanan yang dipasang pada aliran atas dan aliran bawah rangkaian pipa. Pola perbedaan tekanan yang muncul pada kedua sensor akan diproses dan dianalisa menggunakan *Continue Wavelet Transform* (CWT). Hasil dari eksperimen ini menyimpulkan bahwa frekuensi ketika terjadi kebocoran selalu lebih kecil dari pada frekuensi sebelum terjadi kebocoran.

Lebih jauh lagi, Abela, Refalo dan Francalanza, (2022) melakukan penelitian untuk mencari keterkaitan antara kebocoran pada sistem pneumatik dengan efisiensi yang dihasilkan oleh sistem yang menggunakan udara bertekanan tersebut. Sensor tekanan, yang dipasang pada titik sumber tekanan udara dari sistem otomasi, digunakan untuk mendeteksi perbedaan tekanan yang disebabkan oleh kebocoran di sepanjang sistem. Sensor laju aliran juga dipasang pada titik kebocoran untuk memperhitungkan volume udara yang terbuang akibat kebocoran. Akan tetapi metode ini kurang akurat jika digunakan pada sistem yang lebih kompleks.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan *Research and Development* (R&D) untuk mengembangkan prototipe detektor kebocoran pada sistem rem pneumatik. Data eksperimental diperoleh melalui pengujian langsung pada sistem rem pneumatik di Laboratorium Prodi Teknologi Rekayasa Otomotif, Kampus 1 Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan. Data hasil pengujian kemudian digunakan sebagai input dalam perancangan dan pengembangan alat detektor kebocoran, seperti yang tertera di Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Waktu dan Laju Penurunan Tekanan

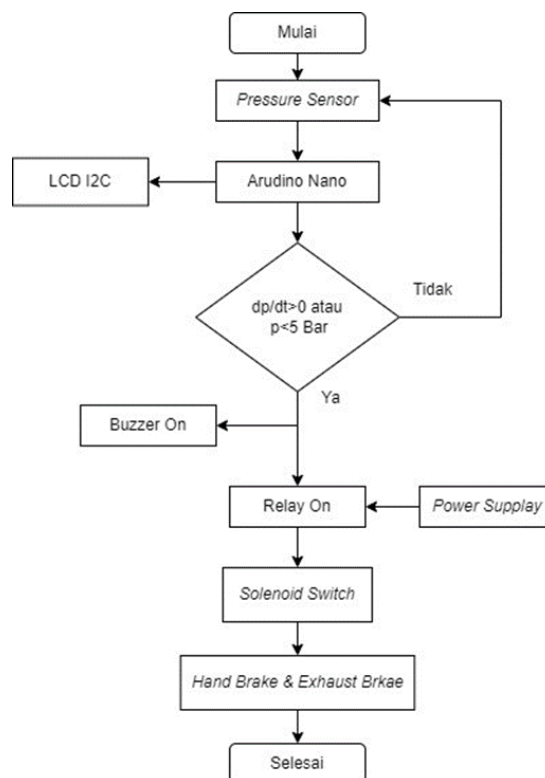
P Awal (Bar)	D Kebocoran (mm)	A Kebocoran (m ²)	t Awal (detik)	t Akhir (detik)	dt (detik)	dP/dt (bar/detik)
4	0.5	0.00000019625	60.001	935.589	875.588	0.004568359
4	1	0.000000785	60.001	208.705	148.704	0.026899075
4	2	0.00000314	59.909	108.793	48.884	0.081826364
4	3	0.000007065	59.925	88.097	28.172	0.14198495
4	4	0.00001256	59.917	77.497	17.58	0.227531286
6	0.5	0.00000019625	60.001	1096.51	1036.51	0.003859108
6	1	0.000000785	59.909	411.509	351.6	0.011376564
6	2	0.00000314	59.929	115.709	55.78	0.07171029
6	3	0.000007065	59.909	84.865	24.956	0.160282096
6	4	0.00001256	59.925	80.181	20.256	0.197472354

Dengan menggunakan regresi non linear didapatkan persamaan untuk menghitung luas kebocoran dari penurunan laju udara bertekanan yang digunakan sebagai input alat yang ditunjukkan pada persamaan (1) dimana $\frac{dP}{dt}$ merupakan laju penurunan tekanan.

$$\text{Luas Kebocoran} = 0.00004423 \left(\frac{dP}{dt} \right)^{1.037} (\text{Tekanan Awal} - 0.00000000001281) \quad (1)$$

Skema Rancang Bangun

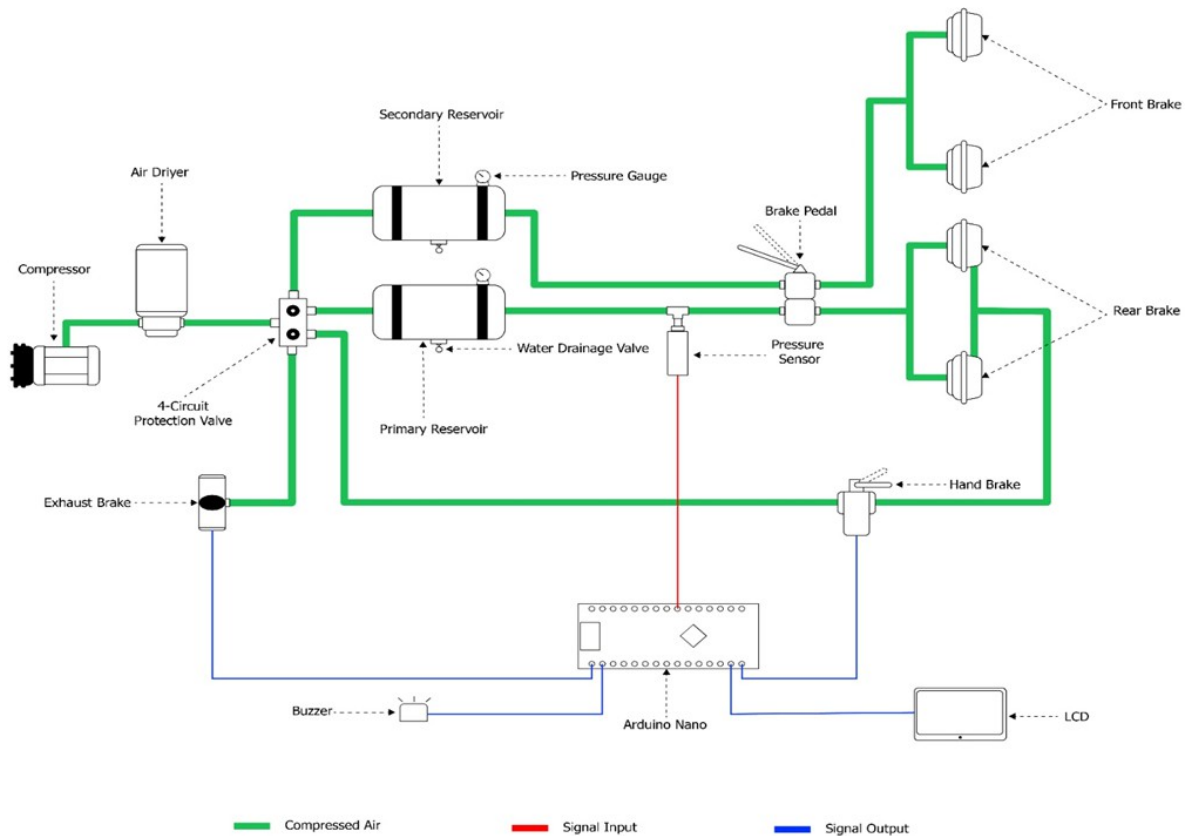
Alur kerja dari alat pendeteksi kebocoran pada sistem rem pneumatik dapat dilihat pada *flow chart* berikut :



Gambar 1. *Flow Chart* Rancang Bangun Prototype Pendeksi Kebocoran Pada Rem Penumatik

Untuk mendeteksi kebocoran pada rem pneumatik digunakan pressure sensor. Sinyal tekanan dari pressure sensor dikirim ke arduino untuk selanjutnya diolah ke dalam bentuk perubahan tekanan terhadap waktu (dP/dt) yang selanjutnya ditampilkan pada LCD. Jika nilai dP/dt lebih besar dari nol atau nilai P kurang dari 5 bar, maka arduino akan mengaktifkan buzzer dan relay, sehingga arus dari *power supply* (*battery*) akan dialirkan untuk mengaktifkan aktuator (*solenoid switch*). Selanjutnya, aktuator (*solenoid switch*) akan menarik hand brake dan exhaust brake pada posisi aktif. Pada Gambar 2 dapat dilihat

bagaimana skema rancang bangun dari alat pendeteksi kebocoran pada rem pneumatik yang dibuat.



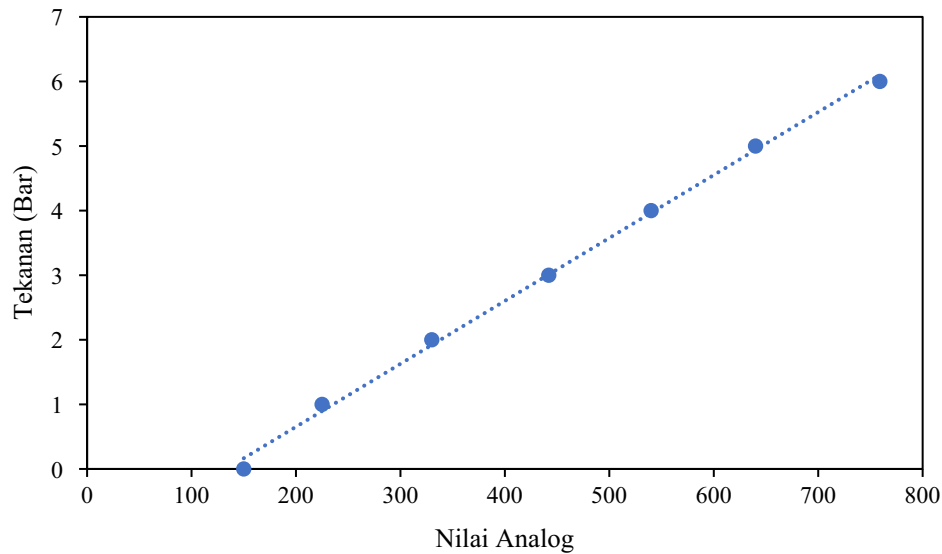
Gambar 2. Skema Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebocoran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan pengujian alat, tahapan yang dilakukan dalam merancang seistem kerja dari alat pendeteksi kebocoran adalah sebagai berikut :

Kalibrasi Pressure Sensor

Kalibrasi sensor tekanan dilakukan dengan menggunakan perangkat tambahan berupa peraga rem pneumatik yang dioperasikan dengan kompresor tekanan. Langkah awal kalibrasi dimulai dengan mengisi tekanan pada peraga rem hingga indikator tekanan mencapai 6 bar. Nilai output dari sensor tekanan yang terbaca pada serial monitor Arduino IDE kemudian dicatat sesuai dengan rentang tekanan dari 0 hingga 6 bar. Sensor dikalibrasi menggunakan metode regresi linier sehingga diperoleh persamaan yang dapat dilihat pada Gambar 3. Persamaan tersebut kemudian digunakan sebagai inputan dalam pemrograman Arduino IDE.



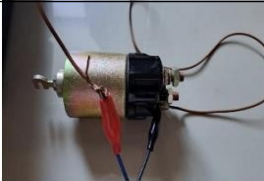
Gambar 3 Grafik Kalibrasi Sensor Tekanan

Perakitan Alat

Komponen-komponen disiapkan dan dilakukan perakitan dengan langkah-langkah yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Langkah-langkah Perakitan Alat

No	Gambar	Keterangan
1.		Tempatkan Arduino Uno, LCD, Breadboard kit, buzzer, relay pada box yang telah disiapkan. Pasangkan kabel jumper pada Arduino dan Breadboard kit sesuai dengan wiring diagram yang telah berhasil disimulasikan di Arduino IDE.
2.		Pasang pin I2C LCD 1 dan 2 ke Arduino Uno.
3.		Pemasangan Pressure Sensor pada Pin A0 Arduino uno.
4.		Sambungkan terminal COM relay ke terminal positif power supply, lalu hubungkan kabel jumper dari relay ke Arduino Nano.

No	Gambar	Keterangan
5.		Mengidentifikasi terminal solenoid dan menghubungkan terminal ST (positif) solenoid ke terminal NO relay, serta terminal negatif <i>power supply</i> ke terminal C (negatif) solenoid.
6.		Periksa semua komponen beserta sambungan kabel dan sambungkan power supply, relay dan arduino ke sumber arus AC (stop kontak). Nyalakan alat dan perhatikan responsnya. Selama uji coba, catat hasilnya dan pastikan tidak ada kegagalan fungsi.

Pengujian Tampilan Layar pada Berbagai Tingkat Penurunan Tekanan

Pengujian Tampilan Layar pada Berbagai Tingkat Penurunan Tekanan (dP/dt) dilakukan untuk menguji hasil perhitungan luas penampang kebocoran dengan persamaan (1). Besarnya tekanan udara dan Variasi laju penurunan tekanan udara (dP/dt) dioperasikan dengan menggunakan kompresor yang tersambung pada peraga rem pneumatik dan sensor tekanan sebagai pendeteksi tekanan udara yang ditampilkan pada LCD I2C dengan kode P dan dP/dt sedangkan untuk luas kebocoran ditampilkan pada kode A dan status pada kode Status.

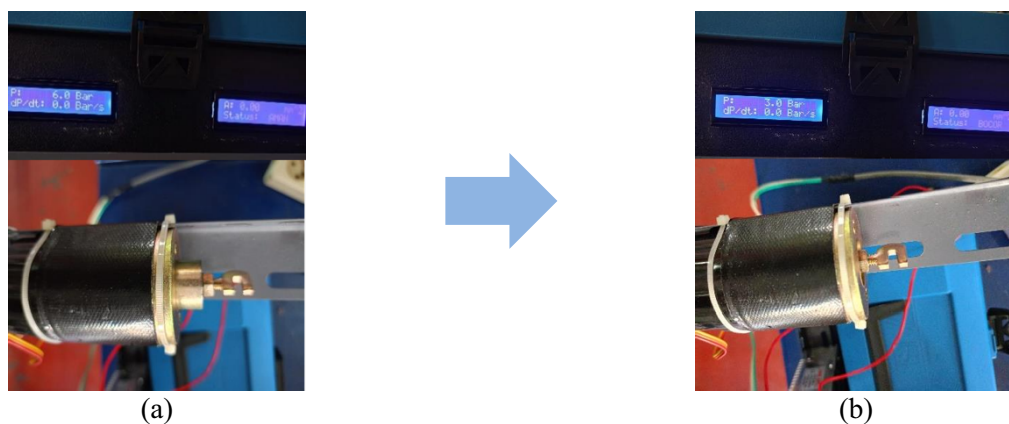
Dari hasil uji coba menunjukkan bahwa LCD dapat menampilkan nilai dari P, dP/dt dan A dengan jelas. Nilai A yang ditampilkan di LCD sesuai dengan hasil perhitungan dari persamaan (1). Contoh tampilan LCD nilai P, dP/dt dan A ditunjukkan pada Tabel 3. Saat tekanan tetap atau nilai dP/dt sama dengan nol, maka nilai A juga sama dengan nol dan status di LCD menunjukkan “AMAN”. Sementara itu, jika terjadi penurunan tekanan atau dP/dt menunjukkan nilai tertentu, maka nilai A akan tampil sesuai hasil perhitungan dengan persamaan (1) dan status di LCD menunjukkan “BOCOR”.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tampilan Layar pada Berbagai Tingkat Penurunan Tekanan Laju Penurunan Tekanan (bar/detik)

Laju Penurunan Tekanan (bar/detik)	Tampilan LCD I2C
0	
0,6	
1,2	
2,5	

Uji Coba Kinerja Alat Pendeteksi Kebocoran dan Solenoid Pengaktif Hand Brake Dan Exhaust Brake

Pada saat terjadi penurunan tekanan, LCD akan menampilkan nilai laju penurunan tekanan (dP/dt) dalam satuan Bar per detik. Nilai luas penampang kebocoran (A) dalam satuan mm^2 , yang dihitung berdasarkan persamaan (1), juga ditampilkan pada LCD bersamaan dengan status "Bocor". Pada saat yang bersamaan, buzzer, yang berperan sebagai alarm, akan berbunyi sebagai indikasi terjadinya kebocoran pada sistem pneumatic dan relay "on", sehingga arus dari sumber tegangan dialirkan melalui relay ke solenoid. Begitu solenoid mendapatkan arus listrik, maka besi penarik akan bergerak masuk sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Gerakan besi penarik tersebut nantinya akan dihubungkan menggunakan kabel untuk menarik hand brake dan exhaust brake supaya bekerja.



Gambar 4. Uji Coba Kinerja Solenoid (a) Solenoid "off" (b) Solenoid "on"

KESIMPULAN

Alat deteksi kebocoran pada sistem rem pneumatik ini mampu mendeteksi kerusakan pada sistem rem udara dengan memanfaatkan sensor tekanan. Data dari sensor akan diproses oleh Arduino dan ditampilkan pada layar. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan sistem peringatan dan tindakan otomatis. Berdasarkan hasil pengujian, alat deteksi kebocoran rem pneumatik terbukti berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Jika terjadi kebocoran, alarm akan berbunyi dan solenoid akan mengaktifkan rem tambahan untuk mencegah kecelakaan. Pada layar LCD juga akan ditampilkan status "AMAN" ataupun "BOCOR" sesuai dengan kondisi kebocoran.

DAFTAR PUSTAKA

Abela, K., Refalo, P., & Francalanza, E. (2022). Analysis of pneumatic parameters to identify leakages and faults on the demand side of a compressed air system. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, 100355. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100355>

- Deepa, N., Dasmunshi, S., Verma, S., Shukla, A., & Nanda, S. (2018). Brake failure detection and electronic auxiliary braking system. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.8), 350. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.8.10439>
- Eriksson, A. (2010). *Detecting Leakages in the Pneumatic System of Heavy Vehicles Modelling Using Simulink*.
- Exaudi, K., Passarella, R., Rendyansyah, & Zulfahmi, R. (2019). Using Pressure Sensors towards Pipeline Leakage Detection. *Proceedings of 2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science, ICECOS 2018*, 17, 89–92. <https://doi.org/10.1109/ICECOS.2018.8605251>
- Geddes, M. (2016). *Arduino Project Handbook : 25 practical projects to get you started* (S. Yang (ed.); First). No Starch Press, Inc. <https://arduinohandbook.wordpress.com/>
- Ramarathnam, S., Dhar, S., Darbha, S., & Rajagopal, K. R. (2009). Development of a model for an air brake system with leaks. *Proceedings of the American Control Conference, July*, 1134–1139. <https://doi.org/10.1109/ACC.2009.5160189>
- Saskatchewan Government Insurance. (2022). *2022-23 Air Brake Manual*.
- Wildan, A. (2023). *Kajian Teknis Rem Blong pada Bus dan Truk* (first). DIVA Press.