



Efektivitas *Seal* pada Uji Kebocoran Kepala Radiator dan Prosedur Standar Operasional pada Mesin Uji Kebocoran

The Effectiveness of Seals in Radiator Header Leak Tests and Standard Operational Procedures on Leak Test Machines

Raihan Habib Saifullah¹, Achmad Arifin¹, dan Joko Prabowo²

¹Departemen Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

²CV C-Maxi Alloycast

*Penulis Koresponden: raihanhabib.2020@student.uny.ac.id

Abstrak

Pemilihan jenis bahan *seal* yang tepat untuk meningkatkan efektivitas dari kinerja mesin uji kebocoran sangat penting. Selain itu, standar operasional prosedur sangat diperlukan untuk mencegah kesalahan penggunaan mesin uji kebocoran yang akan berakibat terjadinya kerusakan mesin yang menghambat proses serta menambah biaya untuk perbaikan. Penelitian ini bertujuan untuk (1) memperoleh desain mesin uji kebocoran untuk uji kebocoran kepala radiator; (2) menghasilkan mesin *leak test* yang dapat dioperasikan untuk uji kebocoran kepala radiator; (3) menghasilkan *standard operational procedure* (SOP) yang bersifat *user-friendly*; (4) mengetahui jenis bahan *seal* untuk meningkatkan kinerja mesin uji kebocoran. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. SOP disusun kemudian diverifikasi untuk diujicobakan pada 11 orang partisipan melalui angket. Selanjutnya pada 5 jenis *seal* dilakukan percobaan dengan variasi tekanan udara sebesar 1-4 Bar dengan observasi dan dilakukan analisis deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan: (1) diperoleh desain mesin uji kebocoran yang sesuai untuk uji kebocoran kepala radiator; (2) dihasilkan mesin uji kebocoran yang dapat dioperasikan untuk uji kebocoran kepala radiator; (3) SOP mesin uji kebocoran untuk kepala radiator mendapat presentase kelayakan 84% dengan kriteria “Sangat Layak” oleh ahli dan mendapat presentase kepuasan 92% dengan kriteria “Sangat Memuaskan”; (4) bahan *seal* dari silikon dapat meningkatkan kinerja mesin uji kebocoran.

Kata kunci: kepala radiator, uji kebocoran, prosedur standar operasional, tekanan udara, *seal*

Abstract

The selection of the right type of seal material to improve the effectiveness of the leak test machine performance is very important. In addition, standard operating procedures are needed to prevent misuse of the leak test machine which will result in machine damage that hinders the process and increases repair costs. This study aims to (1) obtain a leak test machine design for radiator header leak testing; (2) produce a leak test machine that can be operated for radiator header leak testing; (3) produce a user-friendly standard operating procedure (SOP); (4) determine the type of seal material to improve the performance of the leak test machine. This study is an experimental study. The SOP was prepared and then verified to be tested on 11 participants through a questionnaire. Furthermore, experiments were carried out on 5 types of seals with variations in air pressure of 1-4 Bar with observation and quantitative descriptive analysis. The results of the study show: (1) a leak test machine design is obtained that is suitable for radiator header leak testing; (2) a leak test machine is produced that can be operated for radiator header leak testing; (3) The SOP for the radiator header leak test machine received a feasibility percentage of 84% with the criteria of "Very Feasible" by experts and received a satisfaction percentage of 92% with the criteria of "Very Satisfactory"; (4) the silicone seal material can improve the performance of the leak test machine.

Keyword: : radiator header, leak test, standard operational procedure, air pressure, seal

Diterima: 27 Mei 2024; **Disetujui:** 06 Juni 2024; **Dipublikasikan:** 30 Juli 2024

PENDAHULUAN

Header radiator adalah komponen penting dalam sistem pendingin radiator. Karakteristik header radiator dapat diketahui melalui sifat fisik dan mekanik. Material aluminium merupakan material yang dipilih untuk header radiator. Material yang digunakan pada header radiator ini harus memiliki ketahanan terhadap korosi, panas dan tekanan (Dubey, 2015). Untuk memastikan keselamatan dan kinerja dari header radiator harus dilakukan pengujian dengan tekanan.

Pengujian Kebocoran adalah proses jaminan kualitas yang penting - komponen bocor yang lolos dari celah menyebabkan masalah atau klaim garansi. Namun perusahaan sering kali kekurangan keahlian dan peralatan untuk memastikan segel yang dapat diandalkan secara konsisten antara komponen dan stasiun pengujian. Hal ini dapat merusak hasil pengujian, memungkinkan komponen yang rusak lolos dan gagal dengan baik sekali, serta mengurangi kepercayaan pada sistem pengujian kebocoran meskipun itu bukan sumber masalahnya (Gowardipe et al., 2008).

Perangkat utama dalam proses pengujian kebocoran adalah mesin *leak test*. Mesin *leak test* berfungsi untuk memastikan tidak ada kebocoran pada komponen yang dibuat. Mesin *leak test* dirancang khusus untuk pengujian kebocoran suatu komponen tertentu. Terdapat tiga fungsi dasar mesin *leak test* adalah 1) Mendeteksi kebocoran 2) Pengukuran laju kebocoran 3) Lokasi kebocoran. Dalam kasus ini untuk mendeteksi kebocoran tidak diperlukan pengukuran laju kebocoran. Ada dua jenis metode umum yang digunakan untuk pengujian kebocoran yaitu pengujian kering dan pengujian basah (Gowardipe et al., 2008).

Uji kebocoran merupakan suatu proses dalam tahap *quality control*. Uji kebocoran perlu dilakukan untuk menentukan dan memastikan bahwa cacat dalam material tidak sampai ke permukaan material. Pengujian dilakukan dengan tekanan yang lebih tinggi dari tekanan operasi maksimum, dengan begitu cacat dalam material tidak akan berkembang saat beroperasi pada tekanan normal (Singh, 2017). Uji kebocoran header radiator digunakan untuk mengidentifikasi dan mengatasi masalah yang mungkin terjadi saat proses produksi.

Header radiator ini merupakan produk yang dibuat secara massal, maka untuk meningkatkan efektivitas pengujian kebocoran diperlukan manufaktur mesin *leak test* yang disesuaikan dengan header radiator ini. Akan tetapi mesin *leak test* yang dibuat khusus untuk pengujian header radiator ini menemui masalah karena munculnya udara pada sela *seal* yang berfungsi untuk menutup lubang pada header radiator saat pengujian. Maka diperlukan pemilihan jenis bahan *seal* yang tepat untuk meningkatkan efektivitas dari kinerja mesin *leak test*. Jenis bahan *seal* yang baik dapat meningkatkan kerapatan saat pengujian kebocoran berlangsung sehingga udara bertekanan akan terfokus pada header radiator. Dengan begitu apabila terjadi kebocoran maka akan mudah bagi operator untuk melakukan *marking* dan *mapping* header radiator yang akan masuk tahap repair.

Dalam pengujian kebocoran terutama pada mesin *leak test* yang *customize* atau dibuat khusus untuk suatu komponen maka diperlukan penyusunan standar operasional prosedur mesin *leak test* ini.

Dengan adanya standar operasional prosedur ini diharapkan operator dapat menjalankan mesin dengan baik dan efisien.

Tjipto (2011) menjelaskan bahwa SOP merupakan pedoman atau referensi untuk melaksanakan tugas-tugas yang berkaitan dengan fungsi dan alat penilaian kinerja instansi pemerintah berdasarkan indikator teknik, administrative, dan prosedural sesuai dengan tata kerja, prosedur kerja, dan sistem kerja unit kerja. Sailendra (2015:11) menyatakan Standar Operasional Prosedur (SOP) adalah pedoman yang dipakai untuk membenarkan bahwa aktivitas operasional organisasi maupun perusahaan dapat berjalan secara baik dan lancar. Selain itu, dengan adanya standar operasional prosedur dapat mencegah dari kesalahan saat penggunaan mesin *leak test* yang akan berakibat terjadinya kerusakan mesin yang akan menghambat dari proses uji kebocoran serta menambah biaya untuk perbaikan.

Dari deskripsi permasalahan yang telah dipaparkan, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai bahan *seal* yang akan digunakan. Serta melakukan penyusunan standar operasional prosedur mesin untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi mesin. Pokok analisis dengan menguji bahan *seal* untuk mengetahui ketahanan dan elastisitas yang tepat saat pengujian.

METODOLOGI

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen dengan menggunakan data-data kuantitatif. Metode penelitian eksperimen adalah metode penelitian dengan memberikan perlakuan terhadap satu variabel atau lebih pada objek penelitian dan melihat pengaruhnya terhadap variable tertentu yang menjadi pengamatan dalam penelitian untuk mendapatkan hubungan sebab dan akibat antara kejadian dengan membentuk hipotesis (Rikatsih et al., 2021). Penelitian ini dilakukan mulai dari bulan November 2023 – April 2024 di CV. C-Maxi *Alloycast* yang beralamat di Jalan Ki Guno Mrico No. 414, Giwangan, Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta Kode Pos 55163.

Variabel Penelitian

Dalam konteks penelitian ini, variabel yang dianalisis dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yakni variabel independent dan variabel dependen. Variabel independen merupakan faktor yang sengaja diubah oleh peneliti, sementara variabel dependen adalah faktor yang diukur sebagai tanggapan terhadap perubahan pada variabel independen. Pada penelitian eksperimen variabel kontrol perlu dikendalikan agar tidak mempengaruhi hasil penelitian (Anam, 2023).

1. Variabel Independen

Variabel independen merupakan variabel yang sengaja di ubah atau dimanipulasi oleh peneliti. Dalam penelitian ini, variabel independen yang digunakan adalah jenis bahan yang akan digunakan sebagai *seal*. Variasi yang digunakan berupa bahan karet alam, karet alam dengan serat benang, polyurethane, silikon, dan busa eva.

2. Variabel Dependen

Variabel dependen merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel lain (variabel independen). Dalam konteks penelitian ini, variabel dependen adalah kemampuan maksimal setiap bahan *seal* dalam menahan tekanan udara.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel independen terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Dalam penelitian ini, variabel kontrol yaitu variasi besaran tekanan udara dari 1 Bar hingga 4 Bar dalam pengujian dilakukan 7 kali percobaan pada setiap bahan *seal*.

Prosedur Penelitian

1. Proses Desain

Pada penelitian ini proses desain merupakan langkah awal yang dilakukan untuk membuat desain. Proses ini dilakukan dengan pencarian literatur yang terkait dengan mesin *leak test*. Pembuatan desain ini dilakukan untuk meningkatkan efektivitas dari pengujian kebocoran header radiator. Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan *software* Autodesk Inventor 2020. Serta dilakukan pemilihan material yang tepat sesuai dengan peruntukannya.

2. Analisis Desain Mesin *Leak Test*

Proses analisis desain dilakukan menggunakan Ansys Workbench 2023 dengan simulasi pemberian beban untuk memastikan keamanan dan kelayakan manufaktur mesin *leak test*. Pengujian kebocoran radiator header menggunakan tekanan udara 0.3 Mpa untuk keamanan, namun juga diuji dengan tekanan 1 Mpa untuk validitas lebih lanjut. Analisis statis menggunakan metode total deformation dan equivalent stress untuk memahami perubahan struktur dan distribusi tegangan.

3. Proses Manufaktur

Setelah desain dipastikan aman dan memenuhi persyaratan maka dapat dilakukan proses manufaktur berupa pemesinan menggunakan mesin *milling* CNC Feeler FVP-1000 dan mesin *turning* CNC Feeler FTC-350. Sebelum proses pemesinan dilakukan perlu dilakukan *toolpathing* berupa pemilihan alat potong, perencanaan strategi pemotongan, penentuan *toolpath* atau jalur Gerakan alat pemotong, dan pengaturan kecepatan. *Software* yang digunakan untuk *toolpathing* adalah Inventor CAM.

4. Proses *Assembly*

Proses *assembly* atau perakitan adalah proses penggabungan komponen yang telah diproduksi menjadi produk akhir yang fungsional. Seluruh komponen dirakit sesuai dengan rencana perakitan menggunakan alat yang diperlukan. Selanjutnya instalasi pneumatik agar mesin *leak test* dapat melakukan gerakan dan clamping.

5. Uji Coba Mesin *Leak Test*

Dalam penelitian ini mesin *leak test* yang telah dirakit dilakukan uji coba untuk mengetahui permasalahan pada mesin *leak test*. Dilakukan penentuan parameter pengujian berupa tekanan udara dan durasi pengujian sesuai ambang batas yang ditentukan.

6. Penyusunan SOP Mesin *Leak test*

Pada penelitian ini setelah mesin *leak test* dapat berjalan dengan baik dan sebagaimana mestinya perlu pembuatan standar operasional prosedur karena mesin *leak test* ini dibuat secara *customized* atau hanya disesuaikan dengan pengujian kebocoran header radiator. Dengan adanya SOP ini diharapkan dapat menjadi pedoman dalam menggunakan mesin *leak test* dan dapat mencegah mesin *leak test* dari kerusakan. Pengujian Standar Operasional Prosedur adalah proses pengujian yang dilakukan untuk memastikan bahwa SOP yang telah dibuat dapat dilaksanakan dan menghasilkan hasil yang diharapkan. Proses pengujian SOP melibatkan langkah-langkah berikut:

a. Persiapan SOP

Standar Operasional Prosedur yang telah disiapkan sudah lengkap dan jelas seperti instruksi, prosedur, dan langkah – langkah yang akan diikuti

b. Pengujian SOP

Dalam pengujian SOP ini dilakukan pencacatan setiap masalah atau kesulitan yang ditemui.

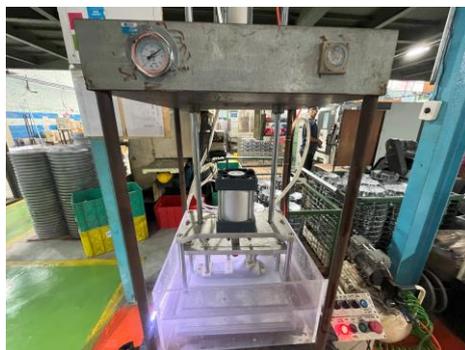
c. Diskusi dan Revisi

Dilakukan pembahasan dari hasil pengujian sebelumnya yang bertujuan untuk memperbaiki SOP agar lebih efektif dan mudah diimplementasikan.

d. Penerapan SOP

Selanjutnya SOP diterapkan pada situasi nyata yang bertujuan untuk memvalidasi keefektifan SOP.

7. Uji Kinerja Mesin *Leak Test* Dengan 5 Jenis Bahan *Seal*



Gambar 1. *Experimental Set Up* pada Mesin *Leak Test*

Gambar 1 merupakan set up mesin untuk pengujian *seal*. Percobaan dilakukan untuk menguji kinerja mesin *leak test* dengan variasi bahan *seal* yang akan diujikan. Pada proses ini dilakukan dengan langkah-langkah percobaan sebagai berikut:

- a. Menghidupkan kompresor dan mesin *leak test* agar pneumatik terisi udara;
- b. Memasang *seal* pada tatakan header radiator serta penutup lubang samping *radiator header* pada pneumatik;
- c. Meletakkan header radiator pada *jig*;
- d. *Clamping* header radiator agar terkunci;
- e. Mengatur tekanan udara pada *air pressure regulator*;

- f. Alirkan udara bertekanan dengan menekan tombol press pada panel;
- g. Atur tuas menjadi down agar header radiator tenggelam pada media air;
- h. Lakukan pengamatan pada *seal* akan muncul gelembung udara jika terjadi kebocoran;
- i. Amati manometer jika terjadi kebocoran akan terjadi besaran tekanan yang diatur pada air pressure regulator tidak tercapai;

8. Ulangi langkah di atas untuk variasi jenis bahan *seal* lainnya Analisis Data

Uji coba dalam penelitian ini dilakukan variasi 5 jenis bahan. Setiap bahan *seal* dikenai perlakuan serupa. Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk kurva mengenai kemampuan bahan ketika diberikan tekanan 1-4 Bar. Dokumentasi gambar-gambar selama penelitian juga disertakan sebagai bukti. Analisis data dilakukan menggunakan metode analisis dekriptif kuantitatif untuk menjelaskan kinerja mesin *leak test*

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan metode observasi, yaitu dengan mengamati setiap bahan *seal* ketika diberi tekanan udara. Instrumen yang digunakan selama penelitian adalah *pressure gauge wiebrock* 4 kg untuk membaca besaran tekanan udara pada uji kebocoran header radiator. Pengaturan tekanan udara dilakukan menggunakan regulator Air Tac Ar-2000 yang terhubung dengan *pressure gauge wiebrock* 4 kg.

Teknik Analisis Data

1. Analisis Pengujian *Seal*

Dalam penelitian ini, dilakukan variasi dari 5 jenis bahan. Setiap bahan *seal* dikenai perlakuan serupa. Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk kurva mengenai kemampuan bahan ketika diberikan tekanan 1-4 Bar. Dokumentasi gambar-gambar selama penelitian juga disertakan sebagai bukti. Analisis data dilakukan menggunakan metode analisis dekriptif kuantitatif untuk menjelaskan kinerja mesin *leak test*

2. Teknik Analisis SOP

a. Analisis Hasil Validasi SOP

Jumlah data kuantitatif, yang terdiri dari angka hasil perhitungan atau pengukuran, dapat diproses dengan membandingkannya dengan jumlah yang diharapkan dan mendapatkan presentase. Peneliti membuat lembar validasi yang berisi butiran soal. Selanjutnya validator menjawab dengan memberi tanda centang pada kategori yang disediakan oleh peneliti berdasarkan skala likert yang terdiri dari 5 skala penelitian sebagaimana pada Tabel 1.

Keterangan	Skor
Sangat Baik	5
Baik	4
Cukup	3
Kurang	2
Sangat Kurang	1

Presentase kelayakan ditentukan dengan persamaan 1.

$$P = \frac{f}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

P = angka presentase data angket

f = jumlah skor yang diperoleh

N = jumlah skor maksimum

Kemudian presentase tersebut dikelompokkan dalam kriteria interpretasi skor menurut skala likert sehingga akan diperoleh kesimpulan tentang kelayakan SOP, kriteria interpretasi skor berdasarkan skala likert sebagaimana pada Tabel 2.

Penilaian	Kriteria Interpretasi
$80\% < x \leq 100\%$	Sangat Layak
$60\% < x \leq 80\%$	Layak
$40\% < x \leq 60\%$	Cukup Layak
$20\% < x \leq 40\%$	Tidak Layak
$0\% < x \leq 20\%$	Sangat Tidak Layak

b. Teknik Analisis Hasil Angket Operator Mesin

Peneliti membuat angket respon operator mesin yang berisi butriian soal. Angket tersebut dijawab dengan memberi tanda centang pada kategori yang disediakan oleh peneliti berdasarkan skala likert yang terdiri dari 5 skala penelitian sebagaimana pada Tabel 3.

Keterangan	Skor
Sangat Setuju	5
Setuju	4
Kurang Setuju	3
Tidak Setuju	2
Sangat Tidak Setuju	1

Presentase kelayakan ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{f}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

P = angka presentase data angket

f = jumlah skor yang diperoleh

N = jumlah skor maksimum

Kemudian presentase tersebut dikelompokkan dalam kriteria interpretasi skor menurut skala likert sehingga akan diperoleh kesimpulan tentang SOP yang telah dibuat, kriteria interpretasi skor berdasarkan skala likert sebagaimana pada Tabel 4.

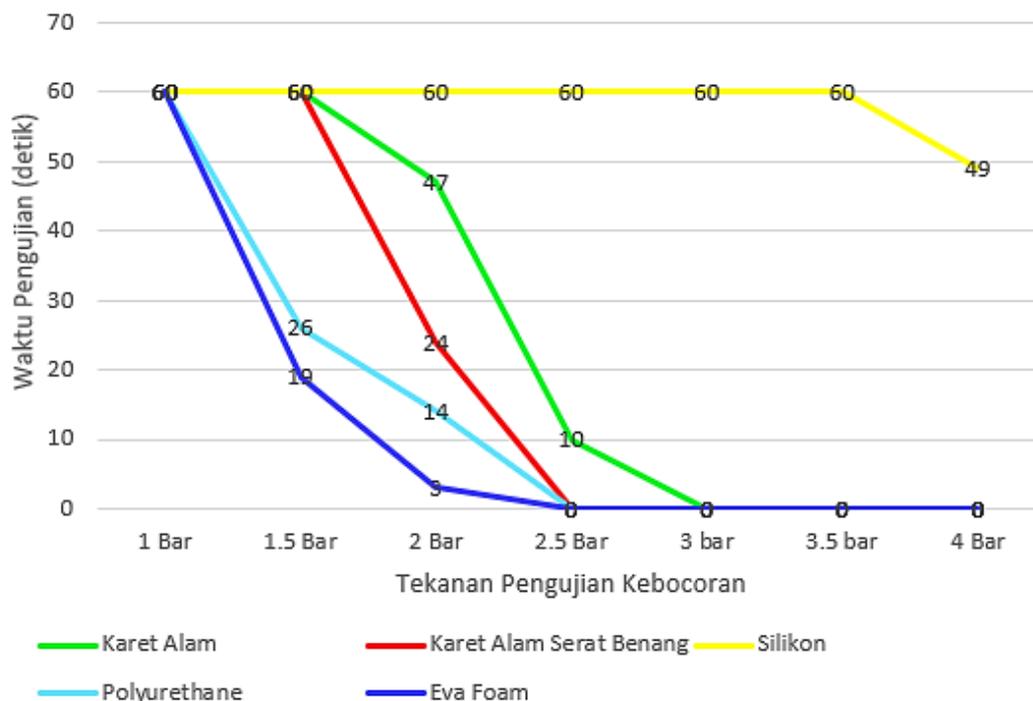
Penilaian	Kriteria Interpretasi
$80\% < x \leq 100\%$	Sangat Layak
$60\% < x \leq 80\%$	Layak
$40\% < x \leq 60\%$	Cukup Layak
$20\% < x \leq 40\%$	Tidak Layak
$0\% < x \leq 20\%$	Sangat Tidak Layak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Seal

Kurniawan et al., (2023) telah mengembangkan alat uji kebocoran pada *after cooler* D375-6R Komatsu. Alat ini berhasil mencapai untuk meningkatkan efisiensi waktu maupun efektivitas *man power*. Sumiyanto & Achyadi (2023) menjelaskan bahwa dengan melakukan perancangan dan pemilihan komponen *seal* pemampat lubang. Kemampuan bahan *seal* yang tepat untuk memampatkan lubang dapat meningkatkan efisiensi mesin serta menekan biaya pergantian.

Variasi bahan *seal* dalam penelitian ini berupa karet alam, karet alam dengan serat benang, silikon, silikon, *polyurethane*, dan *eva foam*. Data diambil untuk membandingkan kinerja tiap bahan selama proses uji kebocoran. Pengukuran ditampilkan melalui grafik pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Pengukuran Kemampuan Seal Terhadap Tekanan Udara

Gambar 2 menjelaskan bahwa warna garis masing-masing menunjukkan kemampuan bahan dalam menahan tekanan. Waktu pengujian dilakukan selama 60 detik sebagai indikator jika bahan *seal* mampu menahan tekanan selama 60 detik maka bahan tersebut merupakan bahan yang tepat untuk digunakan sebagai *seal*. Pada garis hijau adalah karet alam yang mampu menahan tekanan selama 60 detik hanya pada tekanan 1-1,5 bar kemudian pada tekanan yang lebih besar mengalami penurunan performa dimana pada tekanan 2 bar hanya mampu menahan selama 47 detik kemudian mengalami kebocoran selanjutnya

pada tekanan 2,5 bar hanya mampu menahan selama 10 detik dan pada tekanan 3-4 bar mengalami kebocoran.

Garis biru muda adalah bahan polyurethane pada grafik menunjukkan hanya mampu menahan tekanan selama 60 detik pada tekanan 1 bar, selanjutnya pada tekanan 1,5 bar mampu menahan selama 26 detik kemudian mengalami kebocoran dan pada tekanan 2 bar hanya mampu menahan tekanan selama 14 detik kemudian mengalami kebocoran. Bahan polyurethane pada tekanan selanjutnya mengalami kebocoran saat udara bertekanan dimasukkan.

Garis merah adalah bahan karet alam dengan serat benang didalamnya. Menunjukkan mampu menahan tekanan selama 60 detik pada tekanan 1-1.5 Bar. Kemudian pada tekanan 2 bar mengalami kebocoran setelah 24 detik udara bertekanan di masukkan. Pada tekanan 2.5-4 bar mengalami kebocoran.

Garis biru tua menunjukkan bahan busa eva yang mampu menahan tekanan selama 60 detik hanya pada tekanan 1 bar. Selanjutnya pada tekanan 1.5 bar mengalami kebocoran setelah 19 detik udara bertekanan dimasukkan dan pada tekanan 2 bar hanya mampu menahan selama 3 detik. Kemudian pada tekanan 2.5-4 bar mengalami kebocoran ketika udara bertekanan dimasukan.

Garis kuning menunjukkan bahan silikon yang mampu menahan tekanan selama 60 detik mulai dari tekanan 1-3,5 bar kemudian pada 4 bar mengalami kebocoran setelah 49 detik udara bertekanan dimasukkan.

Berdasarkan hasil penelitian ini variasi jenis bahan terhadap kemampuan terhadap tekanan dari grafik-grafik di atas, Dari segi nilai ekonomi bahan silikon merupakan bahan yang paling mahal dibanding bahan *seal* lain. Akan tetapi bahan *seal* silikon merupakan bahan yang mampu menahan tekanan dari 1 hingga 3,5 bar dengan begitu bahan ini cocok dan dapat digunakan sebagai bahan *seal* karena telah lolos untuk pengujian header radiator tekanan yang diijinkan sebesar 3 bar atau 42-50 psi selama 60 detik.

Pengujian SOP

Arif Rakhman (2023) membahas tentang berbagai teori dan prinsip yang relevan untuk penyusunan SOP yang efektif dan efisien. SOP diperlukan sebagai pedoman untuk mengurangi risiko penyimpangan dan memastikan proses penggunaan berjalan sesuai dengan prinsip-prinsip yang telah ditetapkan.

1. Hasil Validasi dan Verifikasi oleh Ahli

SOP yang telah disusun dilakukan verifikasi oleh 2 ahli SOP dengan diberikan angket berisi butir soal pertanyaan yang berisi tentang kelayakan SOP. Hasil penilaian angket pertanyaan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Validasi dan Verifikasi Oleh Ahli

Nomor Soal	Validator dan Verifikator	
	1	2
1	4	2
2	4	3
3	5	4
4	3	3
5	3	4
6	4	5
7	5	4
8	4	5
9	4	5
10	5	5
Skor Total	41	43
Presentase	82%	86%
Rerata Presentase Keseluruhan	84%	
Kategori	Sangat Layak	

Berdasarkan Tabel 5 di atas didapati skor total dari verifikator 1 sebesar 41 dan verifikator 2 sebesar 43. Untuk menentukan tingkat kelayakan maka dilakukan perhitungan rerata persentase keseluruhan Berdasarkan hasil dari persentase keseluruhan didapati penilaian sebesar 84% dengan kategori “Sangat Layak” untuk digunakan.

2. Hasil Uji Coba dan *Feedback* SOP

Pada penelitian ini para partisipan diminta untuk memberikan feedback dengan menjawab 10 butir pertanyaan pada Tabel 4.3. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kepuasan dari SOP yang telah direvisi. Kemudian hasil penilaian disajikan pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil Uji Coba SOP

No	Skor Total	Presentase	Kategori
1	48	96%	Sangat Memuaskan
2	47	94%	Sangat Memuaskan
3	49	98%	Sangat Memuaskan
4	46	92%	Sangat Memuaskan
5	48	96%	Sangat Memuaskan
6	44	88%	Sangat Memuaskan
7	48	96%	Sangat Memuaskan
8	46	92%	Sangat Memuaskan
9	47	94%	Sangat Memuaskan
10	44	88%	Sangat Memuaskan
11	39	78%	Memuaskan
Rerata Presentase Keseluruhan		92%	Sangat Memuaskan

Berdasarkan hasil uji coba 11 orang partisipan diperoleh skor total dengan nilai tertinggi sebesar 49 kemudian dilakukan perhitungan dan mendapat presentase penilaian dengan nilai sebesar 98% dengan kriteria “Sangat Memuaskan”. Selanjutnya untuk nilai terendah dengan nilai 39 memperoleh presentase penilaian dengan nilai sebesar 78% dengan kategori “Memuaskan”. Untuk menentukan kategori keefektifan SOP maka dilakukan perhitungan rerata persentase keseluruhan. Rerata persentase keseluruhan sebesar 92% sehingga Tingkat keefektifan masuk kategori “Sangat Memuaskan”, dengan

demikian SOP yang telah dibuat dapat meningkatkan efektifitas penggunaan mesin serta menjadi SOP yang mudah dipahami bagi pembacanya.

SIMPULAN

Batas maksimal dari total deformasi yang dapat diterima desain mesin *leak test* adalah 1,652 mm. Berdasarkan skala angka menunjukkan skala 1,3912 mm dimana hal tersebut menunjukkan masih dibawah ambang batas maksimal dari deformasi total. Kemampuan desain dan bahan yang dipilih dapat menerima hingga 2177 MPa pada peta warna tampak tidak ada warna merah yang berarti mendekati kemampuan maksimal. Dengan begitu bahan yang dipilih serta desain dipastikan aman untuk dilanjutkan pada proses manufaktur.

Mesin *leak test* ini memiliki dimensi total dengan ukuran panjang 54 cm dan lebar 54 cm dengan tinggi 132,5 cm. Pada proses uji coba ditemui silinder pneumatik kurang kuat untuk *clamping* header radiator. Untuk mengatasi masalah tersebut diganti dengan silinder pneumatik dengan ukuran yang lebih besar dengan daya dorong 1 Mpa sehingga header radiator dapat terklem. Proses manufaktur menghasilkan mesin *leak test* yang dapat dioperasikan dengan efektif dan efisien untuk uji kebocoran header radiator. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa SOP yang telah dibuat dapat meningkatkan efektifitas penggunaan mesin. Selain itu SOP yang telah disusun terbukti mudah dipahami oleh operator yang akan menjalankan mesin serta dapat mencegah dari kecelakaan kerja.

Pada penelitian ini bahan *seal* dari silikon merupakan bahan yang terbaik untuk dijadikan *seal* uji kebocoran header radiator. Hal ini terjadi karena dibandingkan dari bahan karet alam, karet alam serat benang, busa eva, dan polyurethane. Bahan *seal* silikon mampu menahan tekanan udara sampai dengan 3,5 bar sedangkan standar yang diijinkan hanya 3 bar dengan demikian *seal* silikon merupakan bahan yang paling sesuai untuk *seal* uji kebocoran header radiator.

Pada penelitian berikutnya, diharapkan dapat dilakukan pengujian dengan pengaruh perbedaan ketebalan bahan *seal* yang berbeda terhadap tekanan udara. Pengujian dapat dilakukan dengan berbagai variasi ketebalan bahan. Selain itu diharapkan dapat dilakukan pengujian ketahanan *seal* untuk mengetahui siklus pergantian *seal* dilakukan setiap berapa kali pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, S. (2023). *Metode Penelitian (Kualitatif, Kuantitatif, Eksperimen, dan R&D)* (S. Anam, H. Nashihin, A. Taufik, H. S. Sitompul, Y. M. Manik, I. Arsid, S. Jumini, M. I. Nurhab, N. E. Widiyastuti, & Y. Laturmas, Eds.). Global Eksekutif Teknologi.
- Arif Rakhman, A. (2023). *Penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP)* 2(1), 47–63.
- Dubey, A. (2015). *Investigation on Suitability of Aluminium to Copper in a Radiator*. 3, 13–26.
- Gowardipe, A. N., Deshmukh, A., Dimble, P., Deshmukh, A., & Garje, N. (2008). Leakage Testing Machine. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3957. www.irjet.net
- Kurniawan, Y., Vivina Mithaya Sumartono, Y., Arya David Saputra, M., Teknik Mesin Politeknik Negeri Balikpapan, J., & Soekarno Hatta, J. K. (2023). *Rancang Bangun Test Leak After Cooler D375-6r Komatsu Design And Building Of The Leak After Cooler Test D375-6r Komatsu*.

- Rikatsih, N., Andary, R. W., Shaleh Z, M., Hadiningrum, L. P., Dewi Priskusanti, R., E. Nggaba, M., Hadi, P., Sihombing, B., Setiawan, J., & Saloom, G. (2021). *Metodologi Penelitian Di Berbagai Bidang* (R. Rante Rerung, Ed.). Media Sains Indonesia.
- Sailendra, A. (2015). *Langkah - Langkah Praktik Membuat SOP* (Cetakan Pertama). Trans Ide Publishing.
- Singh, R. (2017). Pressure Testing. In *Pipeline Integrity Handbook* (pp. 231–239). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813045-2.00016-8>
- Sumiyanto, & Achyadi, H. (2023). *Redesign Leak Test Machine For Part Cover Comp Head*. 1(4). <https://doi.org/10.38035/ijam.v1i4>
- Tjipto, A. (2011). *Standar Operasional Prosedur (SOP) dan Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah*. Unpad.