

PENGGUNAAN KAMERA *THERMAL IMAGING* UNTUK PENGECEKAN KEBOCORAN REFRIGERAN PADA SISTEM REFRIGERASI

USE OF THERMAL IMAGING CAMERA TO CHECK FOR REFRIGERANT LEAK ON A REFRIGERATION SYSTEM

Windy Hermawan Mitrakusuma¹, Muhammad Raja Bara Ramadhan Siswanto², Wirenda Sekar Ayu³

¹Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia
Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559 Indonesia

*Email corresponding: windyhm@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia
Email: muhammad.raja.tptu418@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia
Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559 Indonesia
Email: wirendasekar@polban.ac.id

Cara sitasi: W. H. Mitrakusuma, M. R. B. R. Siswanto, and W. S. Ayu, "Penggunaan Kamera *Thermal imaging* untuk Pengecekan Kebocoran Refrigeran pada Sistem Refrigerasi," *Kurvatek*, vol. 7, no. 2, pp. 93-102, 2022. doi: [10.33579/krvtk.v7i2.3195](https://doi.org/10.33579/krvtk.v7i2.3195) [Online].

Abstrak — Tulisan ini menganalisis tentang penggunaan kamera *thermal imaging* untuk pengecekan kebocoran refrigeran pada sistem refrigerasi. Dalam suatu prosedur perawatan sistem RHVAC, salah satu prosesnya merupakan pengecekan kebocoran pada pipa sistem RHVAC tersebut. Ada berbagai macam metode dalam melakukan pemeriksaan kebocoran pada sistem RHVAC. Pada tugas akhir ini akan dilakukan prosedur pemeriksaan kebocoran menggunakan metode yang jarang dipakai, yaitu menggunakan kamera *thermal imaging*. Alat ini dapat menangkap gambar suatu objek menggunakan radiasi inframerah sehingga distribusi temperatur objek tersebut dapat terlihat pada foto yang dihasilkan kamera *thermal imaging* ini. Pada suatu kebocoran fluida seperti refrigeran akan terjadi proses *throttling* yang menyebabkan adanya perbedaan temperatur fluida di dalam pipa dengan temperatur fluida yang keluar melewati lubang kebocoran. Dengan kamera *thermal imaging* hasil kebocoran dapat di deteksi, namun ada beberapa batasan dari kamera tersebut yang perlu diperhatikan dalam prosedur pengecekan kebocoran agar hasil yang didapatkan optimal.

Kata kunci: Pengecekan kebocoran, kamera *thermal imaging*, proses *throttling*

Abstract — This paper analyzes the use of thermal imaging camera to check for refrigerant leak on a refrigeration system. In a RHVAC system maintenance procedure, one of the processes is checking for leaks in the RHVAC system pipe. There are various methods of conducting a leak check on the RHVAC system. In this research, a leak detection procedure will be carried out using a method that is rarely used, namely using a thermal imaging camera. This tool can capture an image of an object using infrared radiation so that the temperature distribution of the object can be seen in the photos produced by this thermal imaging camera. In a fluid leak such as refrigerant, there will be a throttling process which causes a difference in the temperature of the fluid in the pipe with the temperature of the fluid that comes out through the leak hole. With thermal imaging camera the results of the leak can be detected, but there are some limitations of the camera that need to be considered in the leak checking procedure so that the results obtained are optimal.

Keywords: Leak detection, Thermal imaging camera, Throttling process

I. PENDAHULUAN

Manusia memanfaatkan sistem mesin pendingin ataupun tata udara pada kegiatan sehari-hari baik untuk keperluan suatu instansi, ataupun di rumah masing-masing, sehingga mesin-mesin tersebut perlu dirawat agar selalu bekerja dengan optimum. Dalam prosedur perawatan suatu mesin RHVAC tersebut salah satu prosesnya merupakan pengecekan kebocoran pada pipa sistemnya. Pengecekan kebocoran dilakukan agar tidak terjadi kerusakan lingkungan seperti adanya potensi penipisan lapisan ozon dan *global warming* [1]. Metode pengecekan kebocoran yang biasa digunakan seperti menggunakan busa sabun, halida

Received May 9, 2022; Revised August 3, 2022; Accepted August 16, 2022

torch, ataupun pewarna kimia. Ada satu metode lagi yang dapat digunakan, tetapi alat ini jarang digunakan dikarenakan belum konvensional ataupun belum diketahui prosedur dan efektivitas alat tersebut dalam pengecekan kebocoran, yaitu menggunakan kamera *thermal imaging*.

Ketika terjadi kebocoran pada pipa, akan terjadi proses *throttling*. Proses *throttling* merupakan proses *irreversible* (tidak dapat diubah kembali), digunakan untuk menurunkan tekanan fluida dengan memberikan tahanan aliran [2]. Contoh dari proses *throttling* ini adalah seperti proses ekspansi yang terjadi pada katup ekspansi dalam sistem refrigerasi dan tata udara [3].

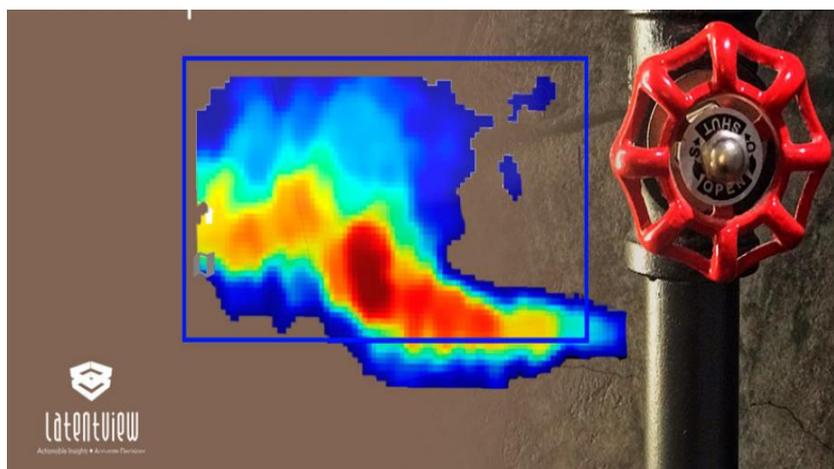
Dalam penelitian ini, pengecekan kebocoran akan dilakukan menggunakan kamera *thermal imaging*. *Thermal imaging* adalah proses di mana suatu kamera *thermal* menangkap dan membuat gambar suatu objek dengan memanfaatkan radiasi inframerah yang terpancar dari objek yang diproses, dikarenakan proses *throttling* yang telah dijelaskan, kamera *thermal* ini dapat memeriksa kebocoran memanfaatkan proses *throttling* tersebut. Dengan penelitian ini, diharapkan metode pengecekan kebocoran menggunakan kamera *thermal imaging* ini dapat digunakan untuk pengecekan kebocoran dalam pekerjaan perawatan suatu alat ataupun mesin, dan diharapkan juga agar proses pengecekan kebocoran menggunakan kamera ini dapat diketahui.

Kamera *thermal* merupakan sebuah kamera yang menangkap/memotret gambar dan memproses gambar tersebut dari sebuah objek dengan menggunakan radiasi inframerah yang dipancarkan dari objek tersebut, proses ini disebut dengan *thermal imaging*. Kamera *thermal* ini menangkap gambar dari panas, bukan dari cahaya yang tampak. [4] *Thermal imaging* sudah dipakai oleh manusia untuk kepentingan kesehatan, agrikultur, inspeksi gedung, pemeriksaan kebocoran, skala besar dalam industri, pendeteksi kebakaran dan bahkan untuk kebutuhan militer [5]. Pencitraan ilmiah seperti pencitraan inframerah dapat mewakili generasi baru dalam teknologi penyelidikan yang menunjukkan potensi yang luas dalam pendidikan sains [6].

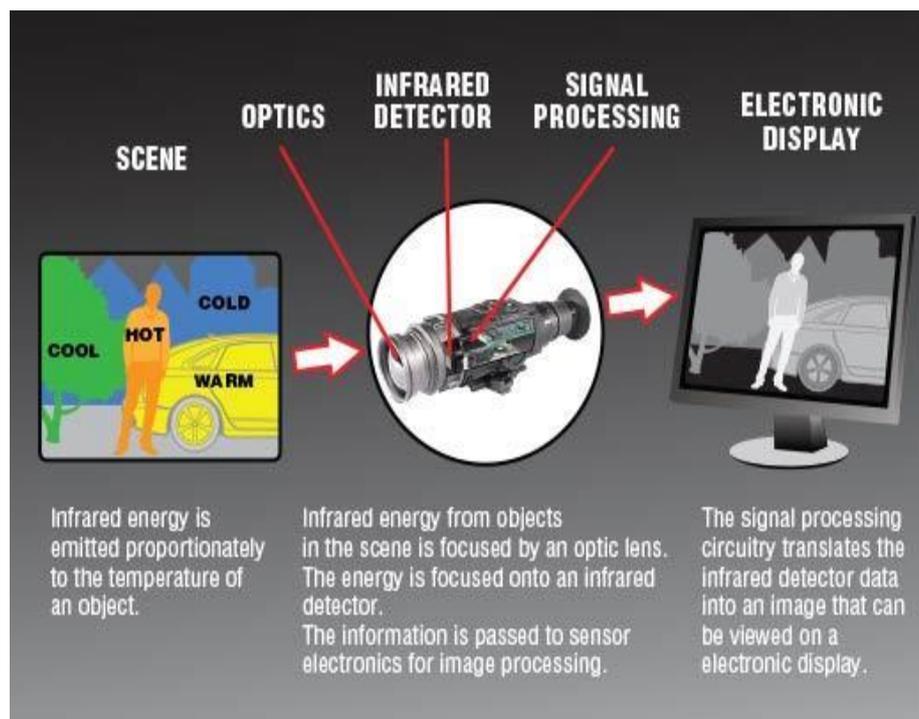
Pada dasarnya setiap objek dan benda memancarkan energi panas dalam bentuk inframerah, maka panas tersebut akan tertangkap oleh kamera termal ini. Panas (inframerah atau energi panas) dan cahaya merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik, tetapi kamera yang dapat mendeteksi cahaya tampak tidak akan melihat energi panas, dan sebaliknya. Kamera *thermal imaging* akan menangkap temperatur dari objek dalam sebuah gambar kemudian temperatur akan tervisualisasikan melalui warna.

Termografi adalah jenis pencitraan yang dapat dicapai dengan *thermal imaging* camera yang dikalibrasi untuk menampilkan nilai temperatur suatu objek. Karena itu, termografi memungkinkan seseorang untuk mengukur temperatur tanpa kontak pada suatu objek.

Berikut merupakan contoh visualisasi dari hasil proses penangkapan gambar panas/inframerah menggunakan *thermal imaging* camera pada kejadian kebocoran pipa dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh visualisasi proses penangkapan gambar kamera *thermal imaging* pada kebocoran pipa (Sumber: <https://www.latentview.com/blog/predictive-maintenance-2020-automated-gas-leak-detection-with-computer-vision/>)



Gambar 2. Cara kerja kamera *thermal*

(Sumber: <https://www.atncorp.com/howthermalimagingworks>)

Pada Gambar 2 dijelaskan bahwa untuk cara kerja kamera *thermal* yaitu objek/benda yang meradiasikan energi inframerah yang merupakan energi foton, kemudian lensa optik kamera akan memfokuskan dan mengirim pada sensor kamera, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Lalu melalui pemrosesan sinyal digital, hasil ditampilkan dalam bentuk citra *thermal*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Model Kebocoran

Untuk pengecekan kebocoran refrigeran menggunakan kamera *thermal imaging* pada sistem refrigerasi, digunakan alat uji coba kebocoran untuk melihat proses kebocoran dalam beberapa tekanan tertentu dengan memanfaatkan variasi refrigeran dengan tekanan kerja yang berbeda.

1. Alat uji coba bekerja dengan asumsi tekanan refrigeran yang mengalir pada pipa memiliki range sebesar 1~150 psi dengan aliran yang konstan.
2. Lubang refrigeran dibuat sedemikian rupa sebesar ujung jarum peniti sehingga dapat mensimulasikan kebocoran refrigeran dengan lubang yang kecil dengan bentuk lingkaran.
3. Temperatur lingkungan ketika terjadi kebocoran sama sebesar 26 °C dan perubahan fasa yang terjadi karena perbedaan tekanan diabaikan.
4. Kecepatan aliran kebocoran konstan dalam satu periode waktu dan dianalisis dengan kondisi sistem yang tidak stabil atau sementara, kebocoran sebagai fungsi waktu [1][7]
5. Pipa satu dimensional dengan model aliran *steady-state* dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran dengan mengabaikan keseimbangan massa, konservasi momentum, dan persamaan kesetimbangan energi[10].

B. Metodologi

Alat penelitian yang digunakan merupakan tabung refrigeran yang disambungkan dengan pipa tembaga yang sudah dibocorkan dan sistem refrigerasi kompresi uap sederhana yaitu trainer yang digunakan laboratorium refrigerasi di Politeknik Negeri Bandung. Adanya variasi refrigeran digunakan untuk melihat efek tekanan yang berbeda pada kebocoran digambarkan kebocoran pada display kamera *thermal imaging*, pengambilan gambar juga dilakukan pada temperatur lingkungan yang sama, dan pada waktu yang sama.

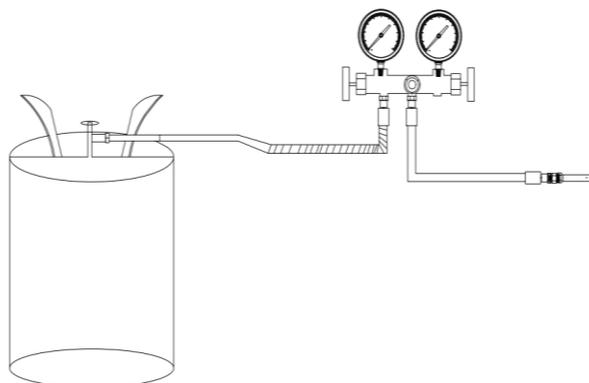
Spesifikasi alat dan bahan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tabung Refrigeran R134a, R22, dan R404a
2. Pipa tembaga $\frac{3}{8}$ "
3. *Nut* pipa tembaga $\frac{3}{8}$ "
4. Pentil pipa tembaga $\frac{1}{4}$ "
5. Penggaris 30 cm
6. Las gas dan nozzle
7. Flaring tools
8. *Manifold Gauge*
9. Kamera *thermal imaging*
10. Jarum peniti
11. Pipa yang dimodifikasi
12. Alat simulasi kebocoran pipa
13. Pompa Vakum
14. *Trainer* Refrigerasi Sederhana

Berikut gambar kamera *thermal imaging* yang dipakai, alat simulasi kebocoran pipa yang dibuat, dan trainer sistem refrigerasi sederhana yang digunakan untuk pengambilan data.



Gambar 3 Kamera *thermal imaging*



Gambar 4 Gambar teknik alat uji coba kebocoran refrigeran

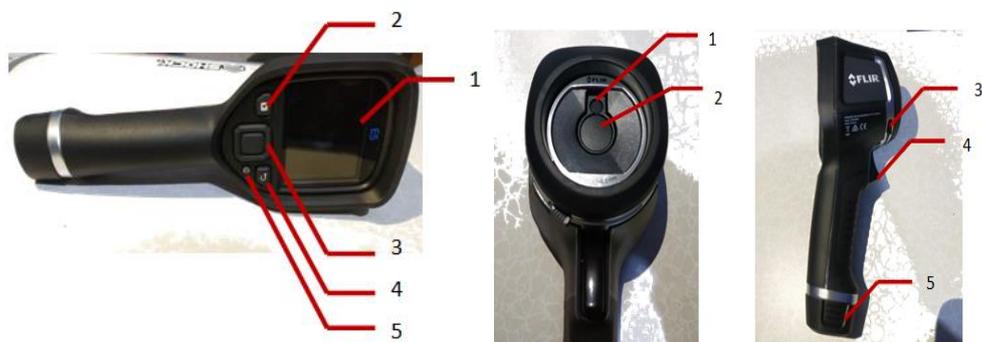


Gambar 5. Foto alat uji coba kebocoran refrigeran



Gambar 6. Mesin *trainer* refrigerasi sederhana

Berikut merupakan proses persiapan kamera *thermal imaging* sebelum digunakan untuk pengecekan kebocoran:



Gambar 7. (kiri) Bagian depan kamera dan (kanan) Bagian belakang kamera

Tabel 1. Keterangan bagian kamera *thermal imaging*

No.	Bagian depan kamera	Bagian belakang kamera
1	Layar <i>display</i>	Lensa kamera
2	Tombol penyimpanan gambar	Lensa inframerah
3	Tombol navigasi	<i>Slider</i> untuk membuka/menutup tutup lensa
4	Tombol kembali/pembatalan	Tombol untuk menangkap gambar
5	Tombol <i>power</i>	Baterai

1. Nyalakan kamera dengan menekan tombol power.
2. Pastikan baterai kamera dalam keadaan cukup untuk durasi pemakaian.
3. Gunakan tombol navigasi untuk melihat setting yang perlu digunakan menu
4. Setting measurement menjadi cold spot atau hot spot tergantung dari temperatur kebocoran yang akan diperiksa
5. Buka menu measurement parameters pada settings menggunakan tombol navigasi
6. Setting emissivity menjadi 0,85; setting reflected temperature sesuai dengan temperatur lingkungan, setting distance tergantung jarak dari objek yang dipotret
7. Setting colour palette menjadi rainbow
8. Kamera siap untuk digunakan.

Berikut proses pengambilan data yang dilakukan penulis dengan menggunakan alat simulasi kebocoran yang dibuat.

1. Siapkan alat dan bahan.
2. Sambungkan salah satu selang *manifold gauge* dengan tabung refrigeran, pastikan katup tabung dan *manifold gauge* dalam keadaan tertutup.
3. Posisikan tabung seperti biasa untuk mengambil data pada fasa refrigeran gas, atau posisikan tabung terbalik untuk mengambil data pada fasa refrigeran cair.
4. Sambungkan selang *manifold gauge* yang lain yang telah dipasang pada *manifold gauge* dengan pipa yang telah dimodifikasi. Pastikan *nut* pada pipa yang telah dimodifikasi tidak longgar agar hasil pemotretan lebih akurat.
5. Posisikan pipa yang dimodifikasi dengan arah lubang kebocoran sejajar dengan *background* pemotretan. Pastikan pipa tidak bergoyang.
6. Buka katup tabung refrigeran perlahan.
7. Lalu buka katup *manifold* sesuai dengan selang yang digunakan (jika selang kiri yang digunakan, buka katup yang di sebelah kiri, dan sebaliknya), buka dengan perlahan.
8. Ketika terjadi proses kebocoran dan proses *throttling* pada lubang pipa yang sudah disiapkan.
9. Lakukan pemotretan dengan arah lensa kamera tegak lurus dengan arah lubang kebocoran pada pipa.
10. Perhatikan tekanan yang mengalir pada *pressure gauge manifold*, ini bisa digunakan untuk melihat tekanan yang mengalir pada pipa.
11. Ukur panjang semburan kebocoran menggunakan penggaris, dan bandingkan dengan jarak lubang kebocoran dengan suatu parameter.*
12. Simpan data yang telah diambil.
13. Tutup valve pada *manifold gauge*.
14. Tutup valve pada tabung refrigeran
15. Lakukan kembali proses no.1 sampai 12 pada fasa yang berbeda (jika sebelumnya mengambil pada fasa gas, lakukan kembali pada fasa cair)*
16. Jika sudah mengambil data pada kedua fasa, lakukan kembali proses 1 sampai 14 dengan menggunakan jenis refrigeran yang lain.

*Beberapa catatan yang perlu dinformasikan adalah

- Jika mengambil data menggunakan fasa refrigeran cair terlebih dahulu, pastikan melakukan *flushing* pada selang *manifold* dan pipa untuk menghilangkan refrigeran cair agar data lebih akurat.

- Pada simulasi yang dilakukan penulis, lubang pipa ditaruh dengan jarak 15cm dari ujung ubin sebagai parameter, sehingga penulis dapat menentukan jarak semburan kebocoran yang keluar dari pipa.

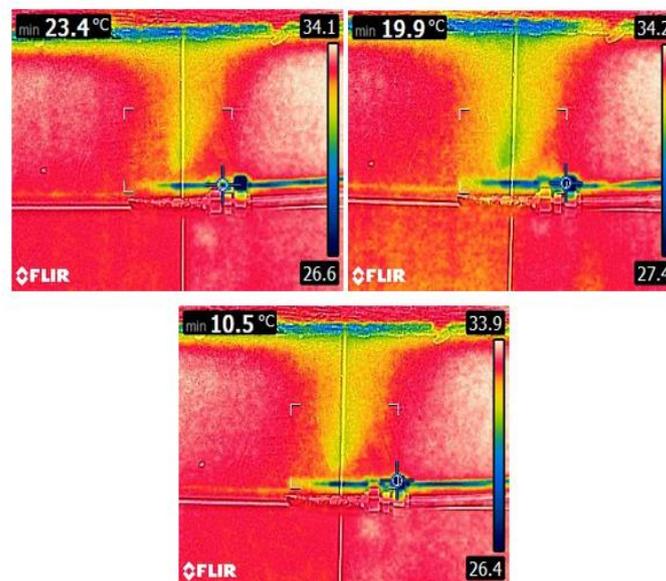
Berikut proses pengambilan data yang dilakukan penulis dengan menggunakan alat simulasi kebocoran yang dibuat.

1. Siapkan alat dan bahan, yaitu *manifold gauge*, pompa vakum, refrigeran yang akan digunakan, trainer yang akan digunakan, dan kamera *thermal imaging*.
2. Lakukan proses pemvakuman.
3. Setelah proses pemvakuman selesai, lepas selang *manifold* yang menyambung dengan pompa vakum
4. Sambungkan selang *manifold* tersebut dengan refrigeran yang akan digunakan untuk mengisi trainer.
5. Nyalakan trainer dan lakukan proses pengisian refrigeran.
6. Setelah proses pengisian refrigeran, matikan trainer dan lepas selang *manifold* setelah menutup katup servis, katup *manifold*, dan katup pada tabung refrigeran.
7. Ambil data tekanan pada trainer dan ambil data kebocoran pada trainer dalam keadaan trainer mati menggunakan kamera *thermal imaging*.
8. Nyalakan trainer dan ambil data tekanan pada trainer dan ambil data kebocoran pada trainer dalam keadaan trainer hidup menggunakan kamera *thermal imaging*.

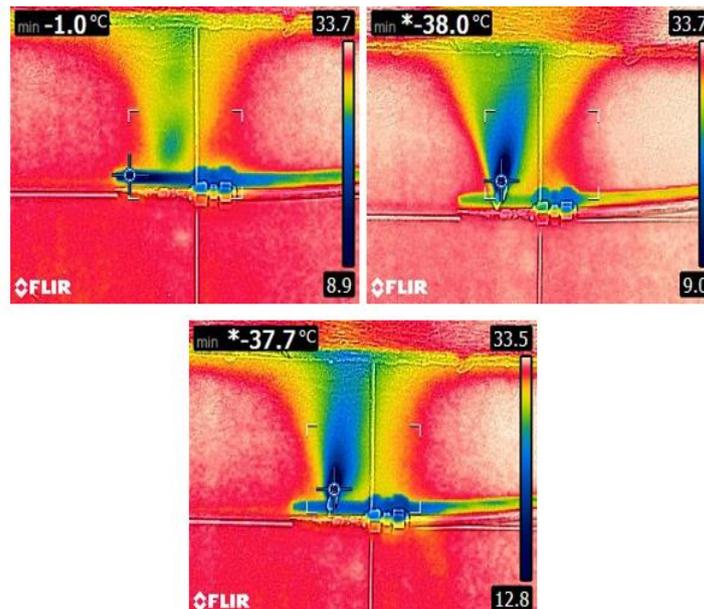
Setelah pengambilan data selesai, matikan kembali trainer.

III. HASIL DAN ANALISIS

Berikut beberapa hasil gambar yang terlihat setelah dilakukan hasil pengamatan menggunakan alat simulasi kebocoran pipa.

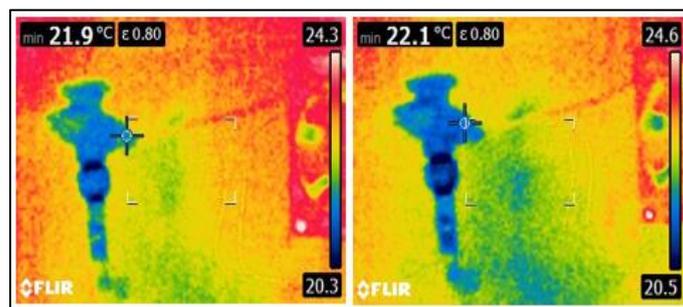


Gambar 8. Hasil pemotretan *thermal* kebocoran refrigeran pada fasa gas

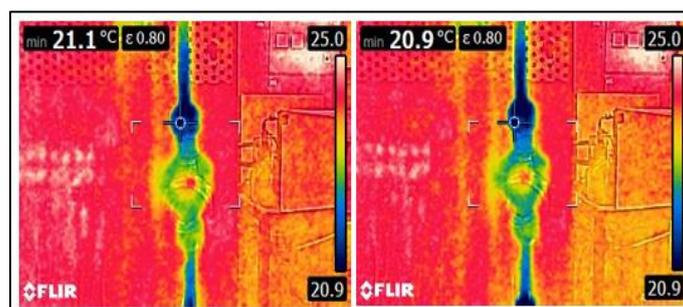


Gambar 9. Hasil pemotretan *thermal* kebocoran refrigeran pada fasa cair

Adapun hasil gambar yang terlihat setelah dilakukan hasil pengamatan menggunakan trainer refrigerasi sederhana adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Hasil pemotretan *thermal* TXV pada trainer



Gambar 11. Hasil pemotretan *thermal* sight glass pada trainer

Berdasarkan hasil gambar dan analisis gambar-gambar yang telah diambil, dapat ditemukan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Tekanan refrigeran yang pada pipa memengaruhi ukuran dan pola semburan pada titik kebocoran yang dipotret oleh kamera *thermal imaging*, semakin tinggi tekanan refrigeran yang mengalir pada pipa, maka semakin besar dan/atau semakin jauh jarak semburan refrigeran tersebut pada titik kebocoran. Semakin besar tekanan juga membuat hasil gambar kamera *thermal imaging* lebih mudah terlihat
2. Dilihat dari gambar-gambar yang telah diambil dan di analisis, dapat dilihat bahwa kebocoran fasa cair lebih mudah tergambar oleh kamera *thermal imaging* daripada kebocoran dengan fasa gas. Hal

ini juga dikarenakan partikel-partikel zat berwujud gas berjauhan dan untuk zat cair partikel nya lebih berdekatan, sehingga deteksi temperature lebih mudah untuk zat cair.

3. Kamera *thermal imaging* akan lebih mudah menangkap kebocoran jika *background* pemotretan kontras dengan temperatur fluida yang bocor. Contoh nya jika kebocoran fluida diketahui memiliki temperatur yang rendah, maka dengan menggunakan *background* yang lebih tinggi daripada fluida yang bocor, gambar kebocoran akan lebih mudah terlihat pada kamera *thermal*.
4. Semakin tinggi tekanan kerja suatu refrigeran maka semburan kebocoran nya pun akan semakin besar jika tekanan refrigeran yang mengalir sama. Namun untuk tekanan kerja yang lebih tinggi, diperlukan tekanan refrigeran yang kurang lebih mendekati tekanan kerja tersebut untuk menimbulkan efek kebocoran pada hasil pemotretan kamera untuk fasa cair.
5. Semakin rendah temperatur penguapan suatu refrigeran, semakin besar juga semburan kebocoran nya. Tetapi semakin rendah temperatur penguapan suatu refrigeran, diperlukan tekanan yang lebih besar untuk menunjukkan efek kebocoran nya pada kamera *thermal imaging*.
6. Berikut tabel hasil analisis perbandingan jarak semburan kebocoran masing-masing refrigeran pada fasa cair dengan range tekanan yang sama (digunakan fasa cair karena lebih mudah untuk pengamatan).

Tabel 2. Perbandingan jarak semburan kebocoran refrigeran pada fasa cair

Refrigeran cair Tekanan (psi)	R134a	R22	R404A
1 psi ~ 75 psi	10 cm	13 cm	17 cm
75 psi ~ 150 psi	11 cm	15 cm	18 cm

7. Berikut tabel hasil analisis perbandingan temperatur terendah kebocoran masing-masing refrigeran pada fasa cair dengan range tekanan yang sama.

Tabel 3. Perbandingan temperatur terendah refrigeran pada fasa cair

Refrigeran cair Tekanan (psi)	R134a	R22	R404A
1 psi ~ 75 psi	19,4 °C	6,8 °C	10,3 °C
75 psi ~ 150 psi	8,7 °C	-14,8 °C	-38,0 °C

8. Dari hasil analisis yang dilakukan pada trainer, ialah jika sistem dinyalakan dan refrigeran mengalir dengan adanya tekanan, maka proses pengecekan kebocoran akan lebih mudah dilakukan menggunakan kamera *thermal imaging*.
9. Pada penelitian dapat dilihat adanya penurunan tekanan pada sistem setelah sistem dihidupkan, ini dikarenakan adanya kebocoran pada sistem, sehingga tekanan pada sistem menurun.

IV. KESIMPULAN

1. Berdasarkan pengambilan data dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa batasan-batasan yang dimiliki kamera *thermal imaging* dalam prosedur pengecekan kebocoran adalah sebagai berikut:
 - a. Kamera *thermal imaging* lebih sensitif dan lebih mudah memotret gambar kebocoran fluida dalam wujud yang cair, walaupun dalam bentuk gas pun bisa terlihat. Hal ini dikarenakan kamera lebih mudah mengidentifikasi objek yang memiliki wujud fisik. Sehingga semakin padat suatu objek, maka semakin mudah kamera *thermal* untuk memeriksa temperatur objek tersebut.
 - b. Agar hasil gambar yang dihasilkan kamera lebih akurat, temperatur background objek yang dipotret lebih baik kontras dari objek yang dipotret itu sendiri, agar objek yang dipotret lebih mudah teridentifikasi oleh kamera *thermal*.
2. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan refrigeran yang mengalir pada titik kebocoran, maka pola semburan kebocorannya pun akan lebih besar dan terlihat lebih jelas pada kamera.
3. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dalam pengambilan data menggunakan trainer sistem refrigerasi sederhana, dapat disimpulkan bahwa pengecekan kebocoran akan lebih mudah dalam keadaan sistem dihidupkan, dikarenakan tekanan dalam sistem lebih tinggi saat sistem menyala.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis memberikan ucapan terima kasih kepada lembaga Politeknik Negeri Bandung dan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas untuk menerbitkan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Muliawan, A. Pasek, A. Lukitobudi, dan T. Sutandi, "Effect of leakage on refrigerant distribution in an air conditioned room using propane as working fluid", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830. 042023, 2020. doi:10.1088/1757-899X/830/4/042023
- [2] M. Baisir, "Pengujian *Throttling* Process untuk Konservasi Energi," 2008.
- [3] R. J. Dossat, "Principles of Refrigeration. Houston, Texas", Toppan Company, 1981.
- [4] I. S. Jati, dan M. Rivai, "Implementasi *Thermal* Camera pada Pengaturan Pendingin Ruangan," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 8, no. 2, pp. A66, 2019.
- [5] R. Gade dan T. B. Moeslund, "Thermal cameras and applications: a survey," *Machine vision and applications*, vol. 25, no. 1, pp. 245–262, 2014.
- [6] C. Xie, "Transforming Science Education with IR imaging", 2010
- [7] Y. Wu, E. Yu and Y. Xu, "Simulation and analysis of indoor gas leakage," *Proc IBPSA Conf* (Beijing, China)", pp. 3-6, 2007.
- [8] Ö. Özer, D. Kumlutaş, dan U. A. Yücekaya, "A method for volumetric visualization of temperature distribution: three-dimensional meshed infrared thermography," *Experiments in Fluids*, vol. 60, no. 4, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00348-019-2704-7>
- [9] T. Schäfer, M. Schubert, dan U. Hampel, "Temperature grid sensor for the measurement of spatial temperature distributions at object surfaces," *Sensors*, vol. 13, no. 2, pp. 1593–1602, 2013. <https://doi.org/10.3390/s130201593>
- [10] A. H. A. Baghdadi dan H. A. Mansy, "A mathematical model for leak location in pipelines", *Appl. Math. Model.*, vol. 12, pp. 25-30, 1998.



©2022. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)