

**PENGEMBANGAN PROTOTIPE DETEKSI KEBOCORAN PIPA MIGAS
BERBASIS KAMERA *LONG WAVE INFRARED* PADA APLIKASI
*UNMANNED AERIAL VEHICLE***

(Skripsi)

Oleh

RIZKI ALANDANI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2017

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF PIPE LEAK DETECTION BASED ON LONG WAVE INFRARED CAMERA FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE APPLICATION

By

RIZKI ALANDANI

One of pipe leak detection method is through reading infrared radiation. This study aims to detect leakage of pipe through infrared images that read radiant heat emitted from pipes and surrounding areas. Detection is done by a thermal camera with a resolution of 80x60 pixels and a mini computer flown in unmanned aerial vehicle multicopter type at a varying height of 1-10 meters with a interval of 1 meter. The leakage of the pipe is simulated by flowing water at a temperature of 60-75OC into a galvanized pipe with a length of 3 meters which has a leakage point. With a 2.5 inch pipe simulation and a 5 mm leakage diameter, the pipeline leak can be detected well at a distance below 7 meters and spatial resolution less than 8.5 cm.

Keywords: pipe leak detection, infrared camera, image processing, thermal vision

ABSTRAK

PENGEMBANGAN PROTOTIPE DETEKSI KEBOCORAN PIPA MIGAS BERBASIS KAMERA *LONG WAVE INFRARED* PADA APLIKASI *UNMANNED AERIAL VEHICLE*

Oleh

RIZKI ALANDANI

Salah satu metode deteksian kebocoran pipa yaitu melalui pembacaan radiasi inframerah. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kebocoran pipa melalui citra inframerah yang membaca radiasi panas yang terpancar dari pipa dan area sekitar. Deteksi dilakukan oleh kamera thermal dengan resolusi 80x60 piksel dan mini komputer yang diterbangkan bersama *unmanned aerial vehicle* tipe *multirotor* pada ketinggian yang variatif 1-10 meter dengan interval 1 meter. Kebocoran pipa dilakukan secara simulasi dengan mengalirkan air pada suhu 60-75^oC ke dalam pipa galvanis dengan panjang 3 meter yang memiliki titik kebocoran. Dengan simulasi pipa berukuran 2.5 inch dan diameter kebocoran 5 mm, kebocoran pipa dapat dideteksi dengan baik pada jarak dibawah 7 meter dan resolusi spasial kurang dari 8.5 cm.

Kata Kunci: deteksi kebocoran pipa, kamera inframerah, pengolahan citra, *thermal vision*

**PENGEMBANGAN PROTOTIPE DETEKSI KEBOCORAN PIPA MIGAS
BERBASIS KAMERA *LONG WAVE INFRARED* PADA APLIKASI
*UNMANNED AERIAL VEHICLE***

Oleh

Rizki Alandani

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2017

Judul Skripsi : **PENGEMBANGAN PROTOTIPE DETEKSI
KEBOCORAN PIPA MIGAS BERBASIS KAMERA
LONG WAVE INFRARED PADA APLIKASI
UNMANNED AERIAL VEHICLE**

Nama Mahasiswa : RIZKI ALANDANI

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215031065

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



Mona Arif M. B., S.T., M.T.
Mona Arif M. B., S.T., M.T.
NIP. 19711112200003 1 002

Syaiful Alam, S.T., M.T.
Syafil Alam, S.T., M.T.
NIP. 19690416199803 1 004

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ing. Ardian Ulvan, M.Sc.
Dr. Ing. Ardian Ulvan, M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

I. Tim Penguji

Ketua : **Mona Arif M. B., S.T., M.T.**

Sekretaris : **Syaiful Alam, S.T., M.T.**

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Helmy Fitriawan**



Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 November 2017**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang tertulis atau diterbitkan orang lain, kecuali tertulis dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandarlampung, 20 Desember 2017



Rizki Alandani
NPM. 1215031065

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Teluk Betung, Bandar Lampung pada tanggal 23 Juni 1995, sebagai anak pertama dari empat bersaudara, dari Bapak Almazni dan Ibu Anita Dewi.

Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Sekolah Dasar Negeri (SDN) 1 Keteguhan dari tahun 2000 dan diselesaikan pada tahun 2006. Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 3 Bandar Lampung dari tahun 2006 dan diselesaikan pada tahun 2009, dan Sekolah Menengah Kejuruan Negeri (SMKN) 1 Bandar Lampung dari tahun 2009 dan diselesaikan pada tahun 2009.

Pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Pada semester 5 penulis memilih konsentrasi Sistem Isyarat Elektronis (SIE) sebagai fokus dalam perkuliahan dan penelitian. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan antara lain:

1. Anggota Divisi Pendidikan Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (2013-2014)
2. Anggota Divisi Kajian Syiar Islam Forum Silaturahmi dan Studi Islam (FOSSI) Fakultas Teknik Universitas Lampung (2013-2014)
3. Anggota Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (2014-2015)
4. Sekretaris Wilayah Forum Komunikasi Himpunan Mahasiswa Elektro Indonesia (FKHMEI) wilayah V Sumatra Bagian Selatan

5. *Vice President* Unit Kegiatan Mahasiswa Sains dan Teknologi (UKM SAINTEK) Universitas Lampung (2015-2016)
6. *Head of Education and Application Department* Unit Kegiatan Mahasiswa Sains dan Teknologi (UKM SAINTEK) Universitas Lampung (2016-2017)
7. Tim Unila Robotika dan Otomasi (URO) dan Asisten Laboratorium Teknik Digital Universitas Lampung (2013-2017)
8. Asisten Laboratorium Teknik Kendali Universitas Lampung (2016)
9. Kerja Praktik pada bulan Februari 2015 di PT. Veritech Perdana, Gunung Sindur, Kabupaten Bogor di bidang Panel dan PLC (*Programable Logic Controller*) dan membuat laporan tentang **“Proses Perancangan Dan Pembuatan Panel Remote I/O Menggunakan Siemens ET200S Distributed I/O”**.
10. Penulis juga aktif dalam kegiatan kompetisi diantaranya IEEE Electronic Design Contest, Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan, Program Kreativitas Mahasiswa, Lomba Pemrograman PLC (*Programable Logic Controller*), Lomba Karya Tulis Ilmiah, Kontes Robot Indonesia, serta kompetisi ide bisnis Global Ideapreneur Week.

MOTTO

“Orang beriman itu bersikap ramah dan tidak ada kebaikan bagi seorang yang tidak bersikap ramah. Dan sebaik-baik manusia adalah orang yang paling bermanfaat bagi manusia.”
(HR. Thabrani dan Daruquthni)

“Cari tau tentang dirimu dan gunakan kemampuanmu untuk bermanfaat bagi masyarakat”
(Google)

Kupersembahkan karya tulis ini:

Untuk kedua orang tuaku tercinta serta semua keluargaku

Yang telah membesarkan, menyayangi, mendidik, mendo'akan serta memberikan dukungan dan segenap cintanya

SANWACANA

Segala puji bagi Allah Subhanallahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul **“PENGEMBANGAN PROTOTIPE DETEKSI KEBOCORAN PIPA MIGAS BERBASIS KAMERA *LONG WAVE INFRARED* PADA APLIKASI *UNMANNED AERIAL VEHICLE*”** merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun bila terdapat kekurangan dalam skripsi ini.

Selama melaksanakan penelitian, penulis banyak mendapatkan pengalaman yang sangat berharga. Penulis mendapat bantuan baik moril, materi, bimbingan, petunjuk serta saran dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua Orang Tua penulis beserta keluarga besar yang senantiasa memberikan doa, dukungan, cinta dan kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik;

3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Pembimbing Akademik;
4. Bapak Dr. Herman Halomoan S, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro;
5. Bapak Mona Arif M. B., S.T., M.T. selaku Pembimbing utama atas kesediaannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik serta semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Bapak Syaiful Alam, S.T.,M.T. selaku Pembimbing kedua atas kesediaannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik serta semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
7. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan selaku Pembahas Utama atas kesediaannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik serta semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas pengajaran dan bimbingannya yang diberikan selama ini kepada penulis;
9. Mbak Ning beserta seluruh jajarannya atas semua bantuannya menyelesaikan urusan administrasi di Teknik Elektro Universitas Lampung selama ini;
10. Saudara-saudara seperjuangan Elektro 2012 terima kasih atas kebersamaan dan kekeluargaan yang telah dibangun selama ini sehingga kita punya banyak cerita dan pengalaman selama 4 tahun ini;
11. Saudara-saudara seperjuangan di Laboratorium lantai 3 Isol, Didi, Fiki, Angga, Eko, Tio, Gumelar, Windu atas dukungan dan bantuannya kepada penulis;
12. Keluarga besar Unila Robotika dan Otomasi kak Aris, kak Dana, Valen, Nanang, Yasin, Nasrul, Chem, Rudi, Arya, Adit, Rifky, Iqbal Z, Rizka, Meri, Oka, Aqila,

Rika, Yuli, Suci, Dede, Iqbal Y, Zaina, Ayu, Tazkia, Nur, Muki, Fatimah, Rasyid, Mekdi, Reki, Arif, Jo dan seluruh teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas bantuan dan dukungannya kepada penulis;

13. Sahabat Eborra yang sudah lulus lebih dulu Deva, Catur, Shinta, Hanan atas dukungan, doa, dan semangat yang telah diberikan;

14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuan dan dukungannya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga kebaikan, kemurahan hati dan bantuan yang telah diberikan semua pihak mendapat balasan yang setimpal dari ALLAH SWT dan semoga hari-hari kita selalu indah dan menjadi lebih baik lagi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari kesalahan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan serta saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang. Akhirnya semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin

Bandar Lampung, 20 Desember 2017

Penulis

Rizki Alandani

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR SINGKATAN	xxii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Hipotesis	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sensor Optik dan Kamera	6
2.2 Radiasi <i>Thermal</i>	8
2.3 Spektrum <i>Infrared</i> pada Gelombang Elektromagnetik.....	12
2.4 Deteksi <i>Infrared</i> dengan Kamera LWIR (Lepton FLIR)	14
2.5 Pengolahan Citra Digital (<i>Digital Image Processing</i>).....	17

2.5.1 Definisi Citra.....	17
2.5.2 Computer vision.....	21
2.6 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV).....	24
III. METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.3. Metode Penelitian.....	27
3.3.1 Studi Literatur	28
3.3.2 Skenario Simulasi Kebocoran Pipa.....	28
3.3.4 Pengujian Alat dan Sistem	34
3.3.5 Pengambilan Data	34
3.3.6 Pendeteksian Kebocoran.....	37
3.5 Diagram Alir Penelitian	40
3.6 Kesimpulan dan Saran.....	41
IV. PEMBAHASAN.....	Error! Bookmark not defined.
4.1 Perakitan Komponen	Error! Bookmark not defined.
4.2 Uji Coba Perangkat Kamera <i>Thermal</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3 Simulasi Kebocoran Pipa.....	Error! Bookmark not defined.
4.4. Pengujian Pencitraan Kebocoran Pipa Dengan Kamera <i>Infrared</i>	Error!
	Bookmark not defined.
4.5 Perbandingan Nilai Pembacaan Kamera <i>Thermal</i> antara Kebocoran dengan Permukaan Pipa	Error! Bookmark not defined.
4.7 Pencitraan Kamera <i>Thermal</i> pada Ketinggian Variatif antara 1 – 10 Meter	Error! Bookmark not defined.

4.8 Komparasi Kamera <i>Thermal</i> dengan Kamera Cahaya Tampak	Error!
Bookmark not defined.	
4.9 Perbedaan Hasil Citra Kamera <i>Thermal</i> terhadap Jenis Permukaan Tanah yang Berbeda.....	Error! Bookmark not defined.
V. SIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Simpulan	66
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Justifikasi penggunaan komponen-komponen elektronik pada penelitian	27
3.2 Justifikasi penggunaan alat dan bahan pada penelitian	28
4.1 Data waktu dan perubahan suhu pada pipa galvanis	50
4.2 Perbandingan <i>value</i> pembacaan kamera Lepton pada titik kebocoran dan permukaan pipa	53
4.3 Spasial deteksi pada ketinggian yang berbeda.....	58
4.4 <i>Reading value</i> pencitraan kamera <i>thermal</i> pada ketinggian yang variatif.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Model dasar pemrosesan kamera.....	6
2.2 Perbedaan desain struktur kamera CCD dan CMOS pada proses <i>linescan</i>	8
2.3 Skala linier grafik kurva Planck	9
2.4 Sifat dari suatu benda terhadap radiasi yaitu <i>reflection</i> , <i>absorption</i> , dan <i>transmission</i>	11
2.5 Hubungan antara <i>velocity</i> , panjang gelombang, dan frekuensi pada gelombang elektromagnetik.....	12
2.6 Spektrum gelombang elektromagnetik.....	13
2.7 Spektrum gelombang <i>Infrared</i> dengan jenis-jenisnya (NIR, SWIR, MWIR, LWIR).....	13
2.8 Citra wajah yang ditangkap secara simultan pada (a) spektrum cahaya tampak 0.4-0.7 um dengan hasil <i>grayscale</i> , (b) <i>longwave infrared</i> 8.0 -14.0 um dengan <i>colormap</i>	15
2.9 (a) Tampilan fisik (b) Struktur desain penyusun kamera FLIR Lepton	16
2.10 Arsitektur kamera Lepton	17
2.11 Koordinat citra digital.....	19

2.12	(a) Sketsa letak komponen-komponen utama pada Raspberry Pi, (b) Diagram perangkat keras internal Raspberry Pi	24
2.13	Foto (a) <i>real unmanned aerial vehicle</i> dan (b) <i>small unmanned aerial vehicle</i>	25
3.1	Ilustrasi skenario simulasi kebocoran pada pipa migas dengan mengalirkan air panas	30
3.2	Diagram Perancangan Sistem Perangkat Keras Pendeteksi Kebocoran Pipa dengan kamera <i>thermal</i>	34
3.3	Ilustrasi pencitraan jalur pipa menggunakan wahana udara tanpa awak.....	37
3.4	Diagram alir metode pendeteksian titik kebocoran jalur pipa	41
3.5	Diagram alir penelitian	43
4.1	Pin koneksi pada (a) GPIO Raspberry Pi dan (b) Kamera Lepton FLIR	44
4.2	Raspberry pi dan Kamera FLIR Lepton yang telah dipasang <i>case</i>	45
4.3	Penempatan komponen mini komputer, kamera cahaya tampak, dan kamera <i>thermal</i>	46
4.4	Laptop sebagai <i>remote viewer</i> bagi mini komputer dan kamera <i>thermal</i>	47
4.5	Grafik hubungan suhu realitas dengan nilai pembacaan kamera <i>thermal</i>	48
4.6	Simulasi kebocoran pipa dengan memanaskan air pada <i>reservoir</i> dan mengalirkan pada pipa galvanis dengan kebocoran	49
4.7	Pengukuran suhu pada pipa galvanis di tiga titik berbeda.....	50
4.9	Hasil pencitraan kebocoran pipa dengan kamera <i>thermal</i> pada	

ketinggian (a) 1 meter, (b) 2 meter, dan (c) 3 meter.....	52
4.10 Hasil citra <i>infrared</i> pada ketinggian (a) 0.3 meter, (b) 0.5 meter, (c) 1 meter (d) 1.5 meter dengan titik kebocoran.....	54
4.11 Citra pipa galvanis tanpa kebocoran.....	55
4.12 Sampel nilai pembacaan kamera pada pencitraan pipa yang bocor dengan kamera <i>thermal</i>	56
4.13 Potongan <i>reading value</i> pada citra kebocoran pipa dengan kamera <i>thermal</i>	57
4.14 Hasil pencitraan kamera <i>thermal</i> pada ketinggian (a) 1 meter, (b) 2 meter, (c) 3 meter, (d) 4 meter, (e) 5 meter, (f) 6 meter, (g) 7 meter, (h) 8 meter, (i) 9 meter, dan (j) 10 meter	62
4.15 Hasil pencitraan kebocoran pipa secara simultan dengan kamera <i>thermal</i> (kiri) dan kamera cahaya tampak (kanan) pada ketinggian (a) 2 meter, (b) 4 meter, dan (c) 6 meter.....	63
4.16 Hasil citra kamera <i>thermal</i> pada penempatan pipa di permukaan (a) aspal, (b) rumput, dan (c) tanah liat	64

DAFTAR SINGKATAN

URO	: Unila Robotika dan Otomasi
UAV	: <i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
LWIR	: <i>Long-Wave Infrared</i>
CCD	: <i>Charge-Coupled Devices</i>
CMOS	: <i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i>
NIR	: <i>Near Infrare</i>
SWIR	: <i>Shortwave Infrared</i>
MWIR	: <i>Midwave Infrared</i>
VLWIR	: <i>Very Longwave Infrared</i>
Vox	: <i>Vanadium-oxide</i>
TCR	: <i>Suhue Coefficient Of Resistance</i>
FPA	: <i>Focal Plane Array</i>
SoC	: <i>System on Chip</i>
OpenCV	: <i>Open Source Computer Vision Library</i>
GPIO	: <i>General-Purpose Input/Output</i>
CS	: <i>Chip Select</i>
MOSI	: <i>Master Output Slave Input</i>
MISO	: <i>Master Input Slave Output</i>

CLK	: <i>serial clock</i>
GND	: <i>Ground Voltage Input</i>
VIN	: <i>positive Voltage Input</i>
SDA	: <i>Serial Data</i>
SCL	: <i>Serial Clock</i>
USB	: <i>Universal Serial Bus</i>
UBEC	: <i>Ultimate Battery Eliminator Circuit</i>
GCS	: <i>Ground Control Station</i>
HFOV	: <i>Horizontal Field Of View</i>
VFOV	: <i>Vertical Field Of View</i>

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Distribusi minyak dan gas pada industri-industri menggunakan jalur pipa dengan konstruksi besar dan jarak yang sangat panjang. Jalur-jalur pipa minyak dan gas tersebar pada kanal bawah tanah, di atas permukaan tanah, bahkan terletak jauh di bawah laut. Karena ukuran yang besar dan sangat panjang, *monitoring* pipa untuk pendeteksian kebocoran setiap mil-nya akan menjadi sulit dan tidak efisien. Jalur pipa pada industri minyak dan gas merupakan hal yang penting, berharga namun rentan terhadap bahaya dan kebocoran. Oleh karena itu, pemantauan dan perawatan rutin dilakukan untuk mengurangi insiden yang merugikan dan tidak diinginkan.

Riset menunjukkan pendeteksian kebocoran pipa dapat menggunakan teknologi pembacaan radiasi *infrared* yang dipancarkan oleh kebocoran pipa [1]. Pemetaan energi *infrared* yang diradiasikan oleh permukaan pipa memungkinkan untuk mengenali kebocoran, bahkan pada kondisi yang sulit dilihat oleh mata. Kuantifikasi dari energi *infrared* mengizinkan pengguna (*thermographer*) menentukan perilaku suhu dan *thermal* dari sebuah objek. Instrumen pengukuran dan pencitraan *infrared thermal* memungkinkan dapat mengukur serta memetakan distribusi panas pada permukaan pipa yang dimanfaatkan untuk pendeteksian kebocoran pipa.

Teknologi pendeteksian kebocoran sangat dibutuhkan pada industri-industri minyak dan gas saat ini. Oleh karena itu diperlukan riset lebih jauh untuk meningkatkan kualitas dari pengukuran panas objek melalui radiasi gelombang *infrared*. Universitas Lampung dalam pusat unggulannya yaitu Unila Robotika dan Otomasi (URO) terus mengembangkan berbagai riset dalam bidang *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Riset URO yang berfokus pada UAV dan aplikasinya berjalan sejak tahun 2005 dengan penelitian-penelitiannya seperti *aerial mapping*, *monitoring* dan *surveillance*, *antena tracker*, sistem *autopilot*, dsb. Sehingga penelitian ini merupakan bagian dari pencapaian *road map* riset di Unila Robotika dan Otomasi. Pada penelitian ini, penulis membahas tentang prototipe pendeteksian kebocoran pipa melalui pengolahan citra digital kamera *long wave infrared* terintegrasi pada *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).

1.2. Rumusan Masalah

Dalam melaksanakan penelitian ini digunakan beberapa rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana mendeteksi adanya kebocoran pada pipa gas.
2. Bagaimana memberikan solusi teknologi alternatif dalam mendeteksi kebocoran pipa gas.
3. Bagaimana menghasilkan prototipe pendeteksian kebocoran pipa.

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Pendeteksian kebocoran pipa dengan menggunakan kamera *Long-Wave Infrared* pada jalur pipa-pipa di atas tanah. Simulasi jalur pipa menggunakan pipa jenis galvanis, dan kebocorannya disimulasikan dengan memberi beberapa retakan pada pipa tersebut.
2. Data kamera *thermal infrared* diolah dengan proses pengolahan citra menggunakan *mini-computer* Raspberry Pi.
3. Tidak membahas secara detail mengenai radiasi gelombang elektromagnetik *infrared*.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu:

1. Merancang dan merealisasikan prototipe sistem pendeteksian *kebocoran jalur pipa minyak dan gas berbasis unmanned aerial vehicle (UAV)*.
2. Mengembangkan aplikasi pencitraan dan pendeteksian kebocoran jalur pipa dengan menggunakan kamera *Long-Wave Infrared (LWIR)*.
3. Mendeteksi kebocoran pipa minyak dan gas dengan mengolah citra *thermal infrared*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah menghasilkan prototipe sistem pendeteksian kebocoran jalur pipa minyak dan gas dengan pengolahan citra jarak jauh yang efisien dan efektif dalam penggunaan.

Pencitraan kamera *thermal* yang diintegrasikan dengan wahana tanpa awak dapat dikembangkan pada dunia industri minyak dan gas.

1.6. Hipotesis

Pada penelitian ini diharapkan menghasilkan prototipe sistem yang dapat mendeteksi kebocoran jalur pipa minyak dan gas dengan kamera *infrared* dan pengolahan citra digital. Hasil dari pendeteksian kebocoran pipa dengan kamera LWIR diintegrasikan dengan wahana tanpa awak (*unmanned vehicle*) diharapkan dapat dikembangkan dan diaplikasikan pada bidang industri minyak dan gas.

1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab kedua ini berisi tentang dasar teori yang akan digunakan sebagai acuan dalam perancangan alat, analisa serta pembahasan yang didapat setelah melakukan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ketiga ini mengulas tentang alat dan bahan, waktu dan tempat pelaksanaan, prosedur, serta metode perancangan yang digunakan pada penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab berikut ini berisi hasil yang didapat setelah melakukan penelitian serta menganalisa hasil penelitian tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini berisi tentang kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian serta menuliskan saran-saran yang mungkin menjadi acuan untuk perkembangan alat ini kedepannya.

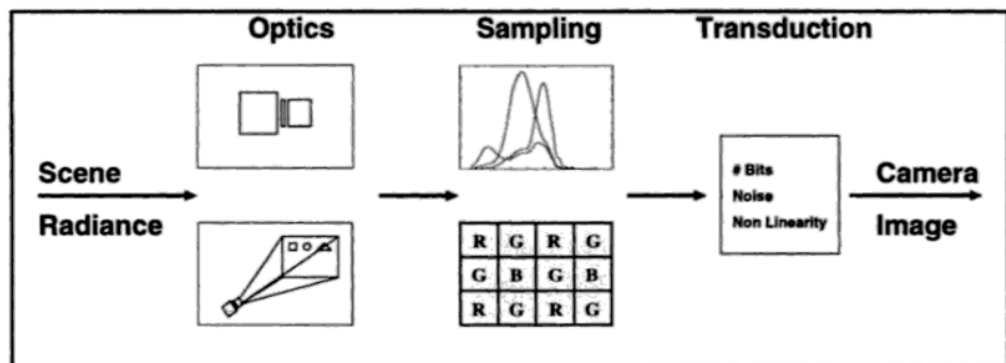
DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi-referensi yang digunakan penulis sebagai acuan dan penunjang serta parameter yang mendukung penyelesaian masalah ini baik secara praktis maupun teoritis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sensor Optik dan Kamera

Dalam tahap pencitraan diperlukan kamera sebagai piranti yang mengubah *scene* menjadi data digital yang kemudian dapat diolah secara komputasi. Cahaya dari objek dicitrakan oleh optik kamera ke dalam satu atau lebih sensor *array*. Sensor-sensor *array* akan mencuplik citra secara *spasial* dan *spectral*. Intensitas cahaya pada lokasi *sample* dikonversikan ke nilai digital melalui proses transduksi. Memodelkan proses ini memperhitungkan efisiensi dan *gain* dari sensor *array*, variabel-variabel yang mempengaruhi diantaranya noise, kuantisasi, dan non-linieritas.

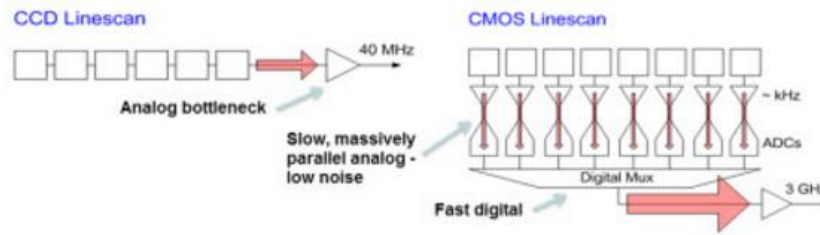


Gambar 2.1 Model dasar pemrosesan kamera [2].

Parameter-parameter penting dalam suatu kamera diantaranya jumlah sensor *array*, resolusi *spasial*, dan *spectral properties*. Sebuah kamera juga

perlu memodelkan relasi antara intensitas cahaya dan nilai digital guna mencirikan keandalan dan presisi dari representasi citra digital. Kamera memiliki tiga kelas *spectral* sensor yang berbeda (sering disebut dengan R, G, dan B), namun saat ini bisa terdapat lebih banyak. Pada banyak kamera, kelas-kelas sensor dibuat dengan menempatkan mosaik *filter* warna di atas setiap sensor *array*. Untuk setiap desain mosaik, respon hanya dari satu sensor *array* adalah pada setiap piksel citra. Pada jenis kamera lain yang telah dikembangkan, kelas-kelas sensor diproduksi dengan menggunakan teknik optikal untuk memproduksi *multiple* citra dari *scene* yang mana masing-masing terlihat pada sensor *array* yang berbeda. Sehingga seperti pada kamera yang kaya akan warna (*full colour*), respon pada banyak kelas-kelas sensor terdapat pada setiap piksel.

Sensor kamera yang dikembangkan saat ini adalah tipe semikonduktor *charge-coupled devices* (CCD) dan *complementary metal oxide semiconductor* (CMOS). Baik CCD maupun CMOS *image* sensor memiliki dua teknologi yang berbeda dalam mencitrakan citra digital. Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan yang unik dalam memberikan keuntungan pada aplikasi yang berbeda. Sensor citra akan mengubah cahaya menjadi sinyal elektrik dan memproses menjadi sinyal-sinyal elektronik. Setiap perubahan sinyal pada piksel sensor CCD ditransfer melalui *output node* untuk dikonversikan ke tegangan dan dikirim ke *chip* sebagai sinyal analog. Sedangkan pada sensor CMOS, masing-masing piksel memiliki *charge-to-voltage conversion*, *amplifier*, *noise-correction*, dan *digitization circuit*, sehingga keluaran *chip* adalah bit-bit digital [3].



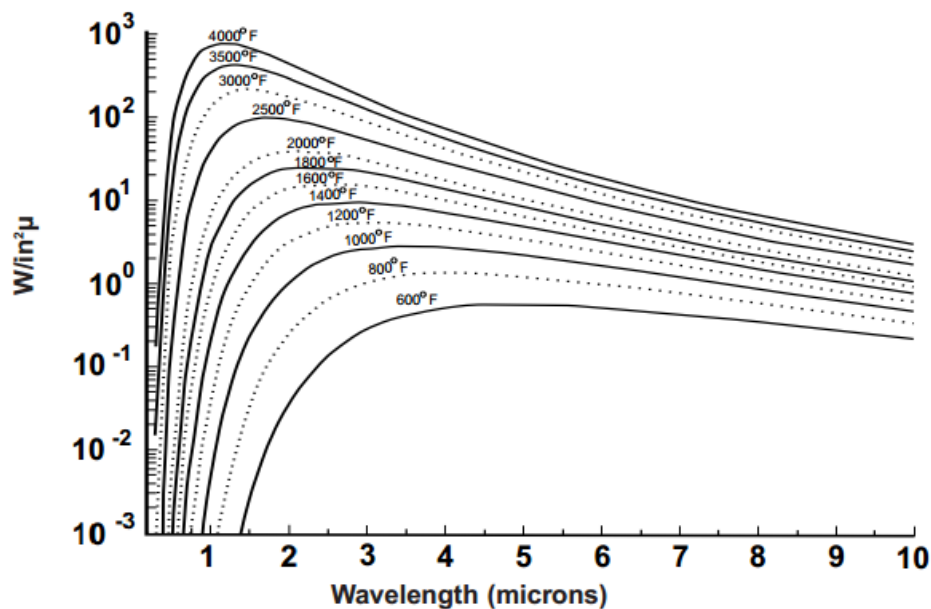
Gambar 2.2 Perbedaan desain struktur kamera CCD dan CMOS pada proses *linescan*.

CMOS dan CCD memiliki perbedaan cara untuk mengkonversikan sinyal *charge* (sinyal perubahan dari cahaya menjadi besaran elektrik) ke sinyal analog dan akhirnya menjadi sinyal digital. Namun pada penelitian ini jenis sensor yang digunakan adalah sensor CMOS.

2.2 Radiasi *Thermal*

Energi panas dapat berpindah dengan tiga metode yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Panas atau *thermal* adalah energi yang dihasilkan dari gejolak elektron, atom, ion, dan molekul dalam jumlah besar. Jika diberikan kepada material maka sejumlah energi tersebut akan ditransfer dan bergerak mengakibatkan suhu lokal meningkat. Perpindahan pada zat padat disebut konduksi panas, pada zat cair disebut konveksi, dan tanpa perantara disebut dengan radiasi. Radiasi oleh alam telah diperkenalkan oleh Maxwell sebagai *electromagnetic waves*, terbentang dari *X-rays* hingga *microwaves* melalui cahaya tampak dan *infrared*. Radiasi panas yang tampak pada mata manusia yaitu pada panjang gelombang 0.4 hingga 0.8 μm (gelombang cahaya tampak).

Setiap objek yang memancarkan radiasi *thermal* memiliki suhu yang lebih besar dari *absolute zero* (suhu dimana tidak ada *vibrational motion* pada objek atom; suhu -460-deg F). Getaran atom yang tinggi ada pada objek dengan sifat panas, sebaliknya objek dingin memiliki getaran yang rendah. Reaksi partikel elektrik positif (proton) dan negatif (elektron) membuat medan dan gelombang elektromagnetik yang sepadan dengan besar pancaran radiasi *thermal*. Ketika radiasi gelombang elektromagnetik menggapai obojek yang dingin, medan elektromagnetik dan medan listrik bereaksi pada partikel atom objek dingin. Pada kondisi ini objek dingin akan menyerap energi elektromagnetik dari objek panas. Energi ditransfer dari objek panas ke objek dingin tanpa kontak fisik dan tanpa medium diantaranya [4].



Gambar 2.3 Skala linier grafik kurva Planck.

Kebanyakan radiasi energi *thermal* dari objek yang memiliki panas berada pada spektrum *infrared*, yaitu dari 0.1 hingga 100 microns (1 microns = 10^{-6}

m). Jumlah energi yang diradiasikan dan gelombang elektromagnetik ditentukan oleh suhu objek. Hubungan antara energi radiasi dan gelombang elektromagnetik ditunjukkan pada grafik yang disebut “*Planck’s Curve*” –lihat Gambar 2.3 – yang ditemukan oleh Max Planck. Dari grafik tersebut kita dapat melihat bahwa objek panas meradiasikan energinya di atas spektrum gelombang. Semakin tinggi suhu *heater* maka *peak* energi gelombang akan semakin mengecil. Gelombang energi puncak dan suhu *heater* dan dikalkulasi menggunakan hukum perpindahan Wien:

$$\text{Peak Energy Wavelength (microns)} = \frac{5269 \text{ microns } ^\circ\text{R}}{\text{Temp. } (^\circ\text{F}) + 460} \quad (2-1)$$

Ada parameter fisik yang harus diperhatikan saat menghitung berapa banyak *heat energy* objek [5], yaitu:

Stefan-Boltzman *Equation* – digunakan untuk menghitung jumlah daya radiasi dari permukaan objek (*blackbody*) pada suhu tertentu, ditunjukkan pada formula

$$E = \sigma T^4 \quad (2-2)$$

E = energi per unit area (W m^{-2})

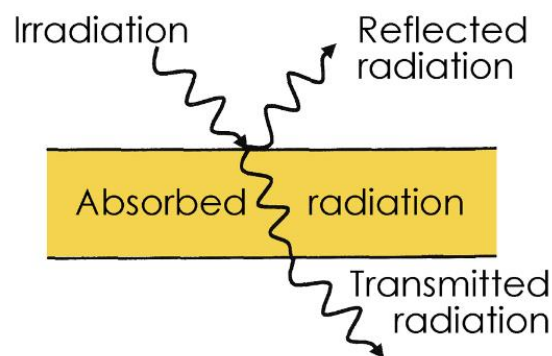
σ = konsanta ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T = suhu permukaan ($^\circ\text{K}$)

View Factor – menjelaskan prosentase energi pancaran objek yang mengenai produk. Stefan-Boltzman *equation* hanya menghitung radiasi dari sumber panas, namun tidak menghitung energi radiasi yang mengenai objek.

Terdapat hubungan geometrik antara ukuran *heater* dengan objek penerima, dan jarak diantara keduanya. Semakin dekat *heater* dengan objek penerima, maka akan semakin efisien transfer panas tersebut.

Emmissivity - menjelaskan bagaimana energi radiasi yang diserap oleh produk. Tidak semua energi yang menggapai benda itu diserap. Sebagian akan di refleksi dan sebagian lain akan diteruskan benda tersebut.



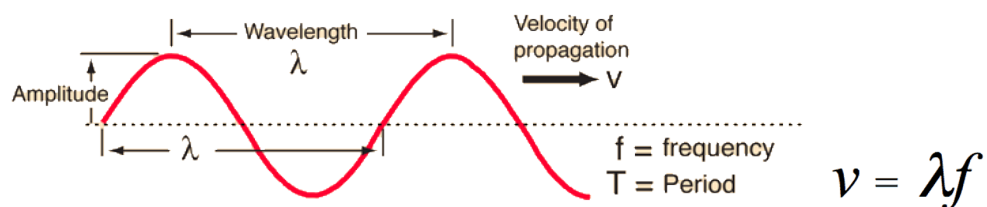
Gambar 2.4 Sifat dari suatu benda terhadap radiasi yaitu *reflection*, *absorption*, dan *transmission*.

$$\text{Total Incident Energy} = \text{Absorbed} + \text{Reflected} + \text{Transmitted}$$

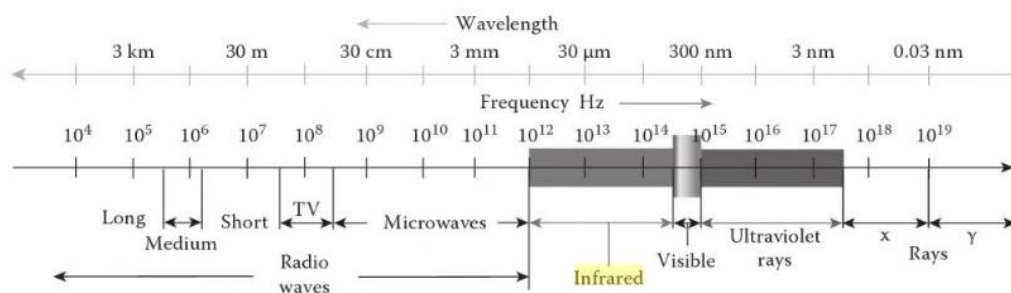
Emissivity adalah nilai numerik dengan skala antara 0 dan 1 yang menunjukkan seberapa baik kemampuan objek untuk menyerap atau memancarkan energi radiasi. Ini adalah sifat fisik produk yang menentukan seberapa baik objek menyerap energi radiasi yang mengenainya. Sifat fisik ini menentukan seberapa baik sebuah permukaan memancarkan energi radiasi. Objek yang dengan sempurna menyerap energi radiasi disebut dengan *blackbody* (memiliki *emissivity*=1).

2.3 Spektrum *Infrared* pada Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang tidak memerlukan medium transmisi dan dideskripsikan dengan *velocity*, frekuensi, dan *wavelength* (lihat Gambar 2.5). Berdasarkan perbedaan panjang gelombang dan frekuensi gelombang elektromagnetik terdiri dari sinar gamma (<0.01 nm), sinar-X (0.01-10nm), ultraviolet (10-400 nm), cahaya tampak (390-750 nm), *infrared* (0.75-1 mm), *microwave* (1 mm – 1 m), dan gelombang radio (1 mm - km) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 . Gelombang *infrared* meliputi semua radiasi elektromagnetik yang lebih dari gelombang cahaya tampak, tapi lebih pendek dari *microwaves*.

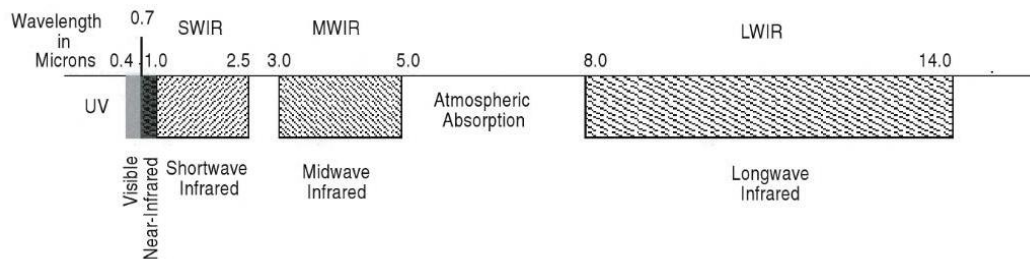


Gambar 2.5 Hubungan antara *velocity*, panjang gelombang, dan frekuensi pada gelombang elektromagnetik



Gambar 2.6 Spektrum gelombang elektromagnetik

Spektrum-spektrum *infrared* dibagi menjadi beberapa jenis diantaranya *Near Infrared* (NIR), *Shortwave Infrared* (SWIR), *Midwave Infrared* (MWIR), dan *Longwave Infrared* (LWIR). Panjang gelombang NIR memiliki bentangan antara 0.7-1.0 um, gelombang SWIR dengan bentangan panjang gelombang antara 1.0-2.5 um, MWIR pada bentangan panjang gelombang antara 3.0-5.0 um, dan panjang gelombang LWIR adalah pada bentangan 8.0-14.0 um. Bentangan spektrum gelombang *infrared* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Spektrum gelombang *Infrared* dengan jenis-jenisnya (NIR, SWIR, MWIR, LWIR) [6].

Pada panjang gelombang lebih dari 3 um, radiasi yang dicitrakan dari benda-benda memancar berdasarkan suhu secara signifikan, karenanya sering disebut dengan *thermal infrared*. Spektrum *thermal infrared* dibagi menjadi dua yaitu MWIR dan LWIR. Diantara kedua spektrum tersebut terbentang pancaran atmosfer dengan panjang gelombang antara kurang lebih 5 dan 8 um. Pada spektrum tersebut, pencitraan termal sangat sulit untuk dilakukan karena begitu kabur dengan termal udara. *Range* spektrum dengan panjang gelombang lebih dari 14 um diistilahkan dengan *Very Longwave Infrared* (VLWIR) dengan aplikasi yang lebih tinggi, namun pada penelitian ini hanya dibahas sampai spektrum LWIR.

Nilai radiasi yang dipancarkan bergantung pada suhu dan *emissivity* dari material. Sebagai contoh pada tubuh manusia dengan suhu rata-rata (37°C), melalui pengukuran empiris sedikitnya nilai *emissivity* yaitu 0.91 pada MWIR dan sekurang-kurangnya 0.97 pada LWIR. Objek dengan efisiensi tinggi memantulkan cahaya, maka akan semakin sedikit efisiensi untuk memancarkan energi termalnya (*emissivity*) [6]. Nilai *emissivity* maksimal 1.0 (biasanya $e = 0.99$ atau lebih besar) artinya objek secara sempurna menyerap dan memancarkan radiasi. Maksimum *emissivity* biasa diistilahkan dengan *blackbody*, dan *emissivity* yang lebih rendah biasa disebut *graybody*. Pada banyak kasus, deteksi objek dengan *thermal infrared* lebih baik menggunakan LWIR karena emisi LWIR lebih tinggi dari MWIR. Gambar 2.8 dapat dilihat perbandingan hasil pencitraan pada spektrum *infrared* yang berbeda.



Gambar 2.8 Citra wajah yang ditangkap secara simultan pada (a) spektrum cahaya tampak 0.4-0.7 μm dengan hasil *grayscale*, (b) *longwave infrared* 8.0-14.0 μm dengan *colormap*.

2.4 Deteksi *Infrared* dengan Kamera LWIR (Lepton FLIR)

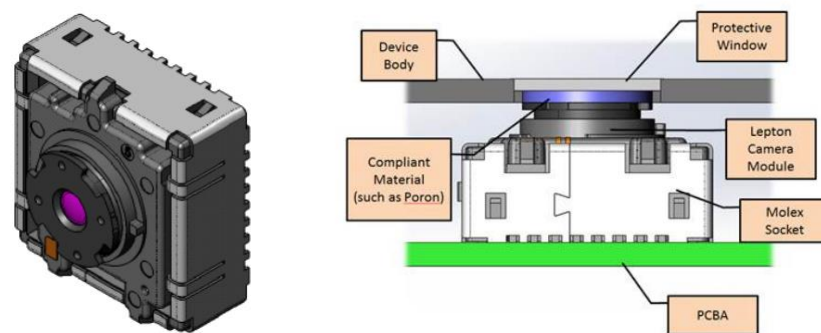
Salah satu material yang digunakan untuk deteksi *infrared* adalah jenis *bolometer*, yang dapat mengukur kekuatan radiasi elektromagnetik

berdasarkan panas material dengan hambatan listrik yang bergantung suhu. Lebih spesifik lagi, material jenis *microbolometer* digunakan sebagai detektor pada kamera *thermal* tanpa pendingin yang biasa disebut *uncooled microbolometer*. Penelitian menunjukkan bahwa *microbolometer* memiliki performa yang mendekati ideal untuk sensor *infrared* suhu ruang dan ditujukan untuk konstruksi pencitraan *infrared* tanpa pendingin yang rendah biaya [7]. *Microbolometer array* ditempatkan pada kamera untuk pendeteksian radiasi panas (*infrared*) pada objek dengan panjang gelombang 7.5-14 um.

Kebanyakan kamera *thermal* digunakan untuk *remote-sensing* adalah *cooled system*. Kelebihan dari *cooled system* ini sangat sensitif dan akurat dalam pengindraan *thermal*, namun kekurangannya sistem ini besar, mahal, dan memakan banyak *power*. Karena ukurannya dan konsumsi *power* yang besar, maka *system cooled thermal camera* tidak digunakan pada *small unmanned aerial vehicle*. Oleh karena itu, *microbolometer thermal camera* tidak lebih sensitif dan akurat dibandingkan *cooled system* [8].

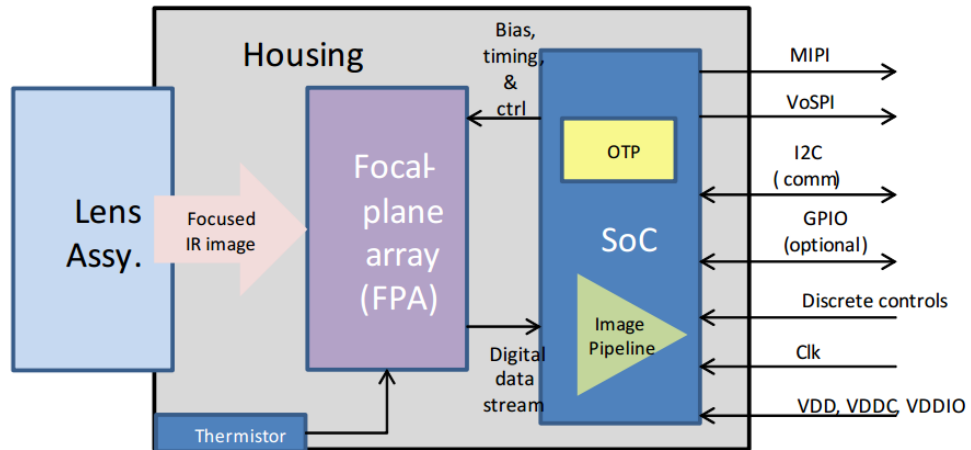
Lepton FLIR merupakan salah satu sistem kamera *infrared* yang terintegrasi dengan LWIR *microbolometer sensor array*, perakitan *fixed-focus lens*, dan elektronika *signal-processing*. Kamera Lepton FLIR telah tertanam fungsi-fungsi pengolahan citra *thermal* digital diantaranya kompensasi otomatis *thermal* lingkungan, *noise filter*, koreksi *non-uniformity*, dan *gain control* yang terintegrasi pada satu sistem. Pendeteksian panas objek menggunakan teknologi sensor *Uncooled vanadium-oxide (Vox) microbolometer* yang mana suhunya akan berfluktuasi sesuai respon fluks insiden. Perubahan suhu akan menyebabkan perubahan yang proposional pada masing-masing resistansi

microbolometer. Material *Vox microbolometer* pada kamera memiliki *suhue coefficient of resistance* (TCR) yang tinggi dan *noise* yang rendah, menyebabkan *thermal sensivity* yang sangat baik dan *uniformity* yang stabil. Sensivitas deteksi *thermal* pada kamera ini kurang dari <50 mK atau 0,050 C [9].



Gambar 2.9 (a) Tampilan fisik (b) Struktur desain penyusun kamera FLIR Lepton.

Bentuk *body* dan struktur fisik dari kamera FLIR Lepton dapat dilihat pada Gambar 2.9 Dengan ukuran 8.5 x 11.7 x 5.6 mm (tanpa *socket*), 10.6 x 11.7 x 5.9 mm (dengan *socket*). Berdasarkan spesifikasinya, bagian lensa memiliki FOV-horizontal 51-deg, dan 63.5-deg diagonal dengan piksel aktif 80 (h) × 60 (v) digunakan untuk menangkap citra yang relatif lebih besar dari kamera *thermal* pada umumnya. Hasil pencitraan dari segmen lensa dikirim ke *Focal Plane Array* (FPA) untuk dikonversi dan menghasilkan arus yang periodik. Serial *stream* dari FPA diterima oleh perangkat *system on chip* (SoC) yang menyajikan pemrosesan sinyal dan *output formatting*. Diagram arsitektur sederhana dari modul kamera Lepton ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.10 Arsitektur kamera Lepton [9].

Kamera *thermal* merupakan salah satu instrumen untuk mengukur dan mencitrakan panas suatu objek melalui radiasi *infrared* yang dipancarkannya. Sensor *array* pada kamera akan bekerja dengan memetakan radiasi tersebut sehingga menghasilkan informasi distribusi suhu dan *thermal* dari suatu objek.

2.5 Pengolahan Citra Digital (*Digital Image Processing*)

2.5.1 Definisi Citra

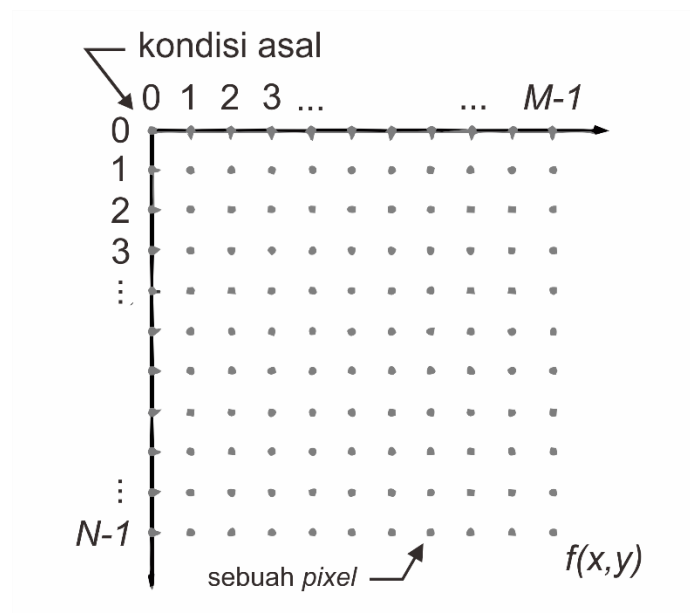
Citra merupakan kumpulan dari beberapa piksel yang disusun dalam larik dua dimensi. Sebuah piksel memiliki indeks baris dan kolom (x,y) yang dinyatakan dalam bilangan bulat. Konvensi citra merujuk pada cara penulisan larik yang digunakan dalam pemrograman komputer. Indeks x (horizontal) bergerak ke kanan dan indeks y (vertikal) bergerak ke bawah. Posisi piksel (0,0) akan selalu terletak di sudut kiri atas pada citra [10].

Sebuah citra dapat didefinisikan sebagai fungsi $f(x,y)$ dengan f

adalah amplitudo di titik koordinat (x,y) yang merepresentasikan tingkat keabuan dari citra titik tersebut. Jika nilai x,y , dan amplitudo f secara keseluruhan berhingga (*finite*) dan bernilai diskrit maka dapat dikatakan bahwa citra tersebut adalah citra digital. Citra digital dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut.

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

Matrik citra digital terdiri dari M kolom dan N baris dengan irisan diantara keduanya disebut *picture elements*, *image elements*, *pels*, atau piksel. Gambar 2.1 menunjukkan posisi koordinat citra digital. Jumlah piksel lebar M dan piksel tinggi N akan menentukan resolusi suatu citra dengan besar $M \times N$ piksel. Resolusi piksel akan memberikan angka *integer* yang mewakili kualitas atau detail dari citra tersebut [11].



Gambar 2.10 Koordinat citra digital [11].

Sebuah citra tunggal yang tidak bergerak disebut dengan citra diam (*still images*). Jika citra-citra tunggal tersebut ditampilkan secara berurutan (sekuensial) sehingga memberikan kesan pada mata kita gambar yang bergerak maka citra tersebut adalah citra bergerak (*moving images*). Setiap citra tunggal di dalam rangkaian citra bergerak itu disebut dengan *frame*. Sejatinnya objek yang ditangkap oleh sebuah optik yang menjadi citra adalah jenis citra diam.

Citra digital dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan jenisnya yaitu :

a. Citra Biner (Monokrom)

Citra biner hanya berisi 1 bit data pada setiap piksel yaitu nilai biner 0 dan 1. Warna yang dimiliki citra ini hanya dua, yaitu hitam dan putih.

b. Citra *Grayscale*

Citra *grayscale* akan menampilkan gambar dengan tingkat keabuan di setiap pikselnya. Banyaknya warna tergantung pada jumlah bit yang digunakan pada memori. Semakin besar jumlah bit warna yang disediakan di memori, semakin halus gradasi warna yang terbentuk.

c. Citra Warna (*True Color*)

Kombinasi dari tiga warna dasar yaitu merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*) yang memiliki nilai tertentu pada setiap piksel merupakan komposisi dari suatu citra warna. Pada setiap komponen matriks citra warna akan berisi 3 byte data yang mewakili nilai warna merah, hijau, dan biru (nilai RGB) dalam satu piksel. Nilai RGB

(*red, green, blue*) pada masing-masingnya memiliki range 0-255 atau sebesar 1 byte (8 bit) data, sehingga terdapat 16 juta (255^3) variasi warna yang berbeda. Dengan jumlah warna yang besar maka cukup untuk merepresentasikan hampir semua warna yang ada di alam [11], [12].

Pengolahan citra digital adalah sebuah disiplin ilmu yang mempelajari tentang teknik-teknik mengolah citra. Sebuah citra akan memberikan informasi yang kaya, baik itu warna (*red, green, blue*), kontras, kecerahan, tingkat keabuan, *threshold*, dan sebagainya. Seringkali citra yang dimiliki memiliki penurunan mutu, misalkan terdapat derau (*noise*), kurang terang, terlalu tajam, kabur (*blur*), dan sebagainya sehingga informasi yang disampaikan oleh citra tersebut menjadi berkurang.

Agar citra mudah untuk diinterpretasi (baik oleh manusia maupun oleh mesin), maka citra yang memiliki gangguan perlu dimanipulasi menjadi citra lain yang kualitasnya lebih baik. Masukan dari pengolahan citra adalah citra dan keluarannya adalah citra hasil pengolahan. Contoh pengolahan dari sebuah citra diantaranya adalah peningkatan kontras, transformasi gambar (rotasi, translasi, skala), transformasi warna, segmentasi, dan restorasi citra.

2.5.2 Computer vision

Computer vision adalah cabang ilmu kecerdasan buatan dan pengolahan citra yang berhubungan dengan pemrosesan komputer dari gambar dunia nyata. Umumnya *computer vision* memerlukan kombinasi dari pengolahan citra level rendah untuk meningkatkan kualitas citra (misal mengurangi *noise*, meningkatkan kontras) dan tingkat pengenalan pola yang lebih tinggi serta citra dapat mengenali fitur atau ciri dari citra tersebut. *Computer vision* berurusan dengan pemrosesan data citra yang menggunakan komputer seperti akuisisi citra, pengolahan, klasifikasi, dan sebagainya. Klasifikasi sel darah otomatis pada citra medikal dan kendali robot pada *lunar rover* tanpa awak adalah contoh dari aplikasi *computer vision*.

Suatu informasi baru akan dihasilkan oleh *computer vision* tentang *scene* dari proyeksi dua dimensi. Dalam prosesnya, *computer vision* mengalami 3 tahap pemrosesan sesuai dengan persamaan berikut [13]:

$$\textit{Computer vision} = \textit{Geometry} + \textit{Measurement} + \textit{Interpretation}$$

Tiga aktivitas tersebut merupakan proses-proses penting sesuai dengan deksripsi kerjanya yaitu:

1. Memperoleh atau mengakuisisi citra digital.
2. Melakukan teknik komputasi untuk memproses atau memodifikasi data citra.
3. Menganalisis dan menginterpretasi citra menggunakan hasil pengolahan untuk tujuan tertentu, misalkan mengikuti objek bergerak, mengenali posisi, mengendalikan perangkat otomatis, dan lain-lain.

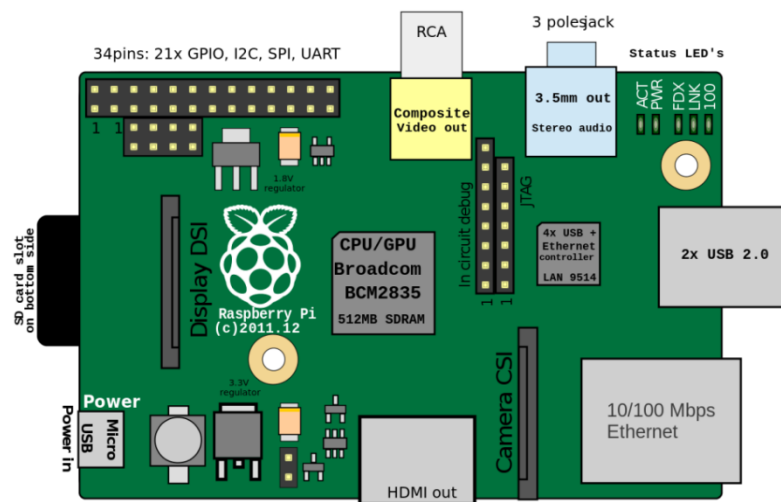
Computer vision berkaitan dengan pemodelan dan meniru penglihatan manusia dengan memanfaatkan perangkat keras sebagai penangkap citra dan perangkat lunak untuk pengolahannya [10]. Metode-metode untuk mendekati kemampuan manusia merupakan bagian penting dalam *computer vision* guna mendapatkan informasi yang dibutuhkan. Dalam sistem *computer vision* terdiri dari elemen-elemen penyusun baik itu *hardware* maupun *software*. Komponen *hardware* yang digunakan pada penelitian ini adalah Raspberry Pi sebagai main-processor pengolahan citra. Sedangkan *software* yang digunakan adalah *OpenCV* untuk proses pengolahan citra pendeteksian kebocoran pipa minyak dan gas pada penelitian ini.

a. OpenCV

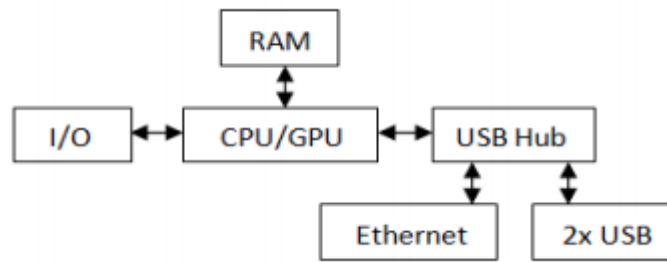
Sistem pengolahan citra pada penelitian ini menggunakan *library OpenCV* untuk pendeteksian objek. *OpenCV (Open Source Computer vision Library)* adalah *open source library* yang terdiri dari banyak algoritma *computer vision* untuk mengekstrak dan memproses data yang berarti dari sebuah citra. Dalam *library*-nya terdiri dari dokumen-dokumen digital yang digunakan untuk fungsi-fungsi pengolahan citra yang dipaketkan dalam modul-modul. Modul-modul yang tersedia pada *OpenCV* diantaranya adalah fungsi-fungsi yang terdiri dari fungsi dasar, transformasi citra, konversi warna, analisis video, deteksi objek, pendefinisian kelas, dan lain-lain [14].

b. *Raspberry Pi*

Raspberry Pi adalah mini komputer portabel yang bekerja layaknya komputer personal berbasis sistem operasi Linux. Komputer *Raspberry Pi* dikembangkan dengan tujuan agar pengguna dapat mengeksplorasi tentang komputer, belajar bahasa pemrograman dan dapat digunakan untuk berbagai tugas tertentu seperti *games*, *word processing*, *spreadsheet*, dan juga memutar video. Dalam dunia *embedded system*, *Raspberry Pi* banyak digunakan dan dirancang untuk tujuan tertentu demi meningkatkan fungsi suatu sistem [15]. Pada penelitian ini, komputer *Raspberry Pi* digunakan untuk pengolahan citra kamera *thermal* dengan tujuan menghasilkan informasi baru yang dapat diinterpretasi.



(a)



(b)

Gambar 2.11 (a) Sketsa letak komponen-komponen utama pada *Raspberry Pi*, (b) Diagram perangkat keras internal *Raspberry Pi*.

Komponen-komponen penyusun *Raspberry Pi* dapat dilihat pada Gambar 2.11. Prosesor ARM ditanam pada *board* sebagai versi *prototype* komputer generik dengan ukuran yang sama seperti *USB memory stick*. *Board Raspberry Pi* dilengkapi dengan *USB port*, *HDMI port*, dan *GPIO* (*General-purpose input/output*) untuk konektivitas *input* dan *output*. *GPIO* adalah pin pada sirkuit terpadu dengan kapasitas 40 pin pada *single board computer Raspberry Pi* yang dapat dikontrol dan diprogram oleh *user*. *GPIO* digunakan untuk memenuhi kebutuhan sistem integrator yang membutuhkan pin keluaran/masukan sebagai sinyal kontrol atau data, seperti halnya pengolahan citra menggunakan kamera *thermal* pada penelitian ini.

2.6 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Teknologi saat ini berkembang sangat pesat, salah satunya adalah teknologi wahana udara tanpa awak (*unmanned aerial vehicle*). *Unmanned*

aerial vehicle (UAV) telah dikembangkan untuk tujuan aplikasi pengawasan dan pemantauan pada bidang yang berbeda-beda [8]. Selain itu, UAV juga dikembangkan untuk deteksi, klasifikasi, dan *tracking* objek. Riset tentang UAV terus meningkat berfokus pada *embedded hardware* yang lebih kecil dan handal, membuat pengolahan data *on-board* pada UAV lebih mumpuni. Pengolahan data mampu bekerja bahkan untuk *video processing* dalam algoritma yang real-time dan cepat untuk deteksi dan pelacakan objek [16].



(a)



(b)

Gambar 2.12 Foto *real unmanned aerial vehicle* (a) dan *small unmanned aerial vehicle* (b)

UAV dengan ukuran yang lebih kecil (*small unmanned aerial vehicle*) dapat menjadi perangkat yang efisien untuk pencitraan *thermal* dengan biaya yang murah [8]. Umumnya kamera *thermal* yang digunakan pada UAV adalah sistem *cooled* yang memiliki ukuran besar, berbiaya mahal, dan mengkonsumsi banyak daya listrik. Karena kondisi tersebut, kamera *thermal* dengan sistem *uncooled* yang ringan, murah, berdaya rendah sehingga cocok untuk diterapkan pada *small unmanned aerial vehicle*.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Perancangan dan penelitian ini akan dilakukan pada Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung. Sedangkan waktu pelaksanaan penelitian diestimasikan berlangsung mulai dari bulan April 2017 hingga Juni tahun 2017.

3.2 Alat dan Bahan

Komponen-komponen utama yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel:

Tabel 3.1. Justifikasi penggunaan komponen-komponen elektronik pada penelitian

Nama Komponen	Justifikasi Penggunaan
Kamera LWIR (<i>Long Wave Infra-Red</i>) FLIR Lepton	Mencitrakan kebocoran pipa dengan kamera <i>thermal infrared</i>
Raspberry Pi 3	Sebagai <i>main controller</i> untuk pengolahan citra deteksi kebocoran pipa
Raspbian Linux-based <i>Operating System</i>	Sistem operasi untuk Raspberry Pi
<i>Software OpenCV</i> dan <i>Eclipse IDE C++</i>	Perangkat lunak untuk pengolahan citra digital
<i>Visible Light Camera</i>	Sebagai komparasi dengan citra <i>infrared</i>
Laptop Corei3 RAM 4GB	Sebagai Ground Control Station (GCS) untuk <i>remote connection</i> ke mini komputer

<i>Multirotor</i>	<i>Unmanned aerial vehicle</i> sebagai pembawa kamera <i>thermal</i> dan mini komputer
-------------------	--

Alat dan Bahan lain yang digunakan pada penelitian ini adalah dideskripsikan pada tabel

Tabel 3.2. Justifikasi penggunaan alat dan bahan pada penelitian

Alat atau Bahan	Justifikasi Penggunaan
Adaptor 5V	Power supply untuk mini komputer Raspberry Pi
Kabel HDMI to VGA	<i>converter</i> untuk koneksi Raspberry Pi ke <i>display</i> LCD Monitor
<i>Keyboard</i> dan <i>Mouse</i>	<i>input</i> karakter dan kursor untuk mini komputer
Multimeter	mengukur arus dan tegangan pada komponen elektronik
Thermometer	mengukur suhu pada air dan permukaan pipa
Laser distance meter	Mengukur ketinggian <i>multirotor</i> terhadap tanah
Light meter	Mengukur intensitas cahaya pada saat pengambilan data
Kabel Jumper	mengkoneksikan antar pin komponen elektronik
Pipa galvanis	pipa untuk simulasi kebocoran dengan panjang 3m dan diameter 2.5"
<i>Reservoir</i>	penampung air panas
Air panas	sebagai objek panas simulasi pengganti minyak dan gas
Satu set kompor gas beserta regulator dan tabung gas	Untuk memanaskan air hingga suhu tertentu
Selang	Untuk mengalirkan air panas dari reservoir ke pipa

3.3. Metode Penelitian

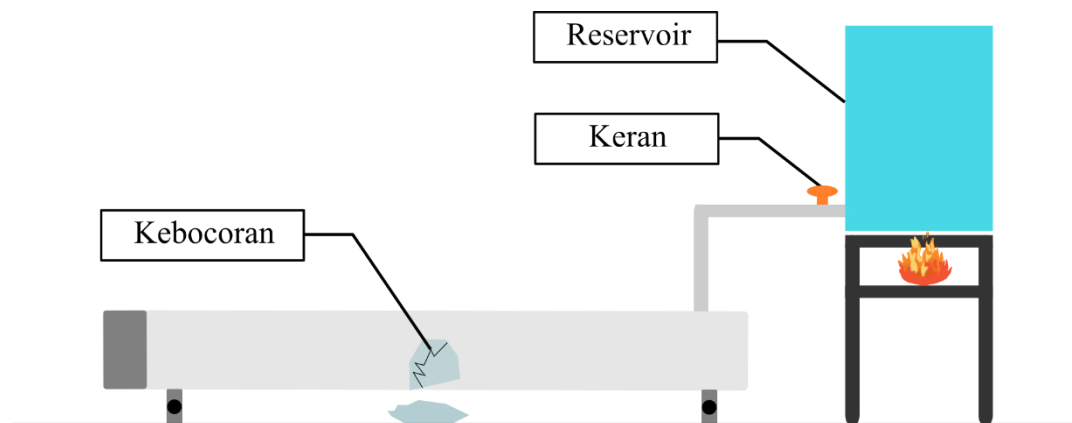
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, metode penelitian yang digunakan memiliki 4 tahapan penelitian yaitu:

3.3.1 Studi Literatur

Tahap ini bertujuan untuk mengumpulkan referensi yang relevan dengan penentuan konsep dan pelaksanaan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mencari dan mempelajari referensi tentang kamera *infrared*, teori pengolahan citra, deteksi objek, bahasa pemrograman C++ untuk koneksi komputer dengan kamera, serta bidang ilmu lain yang sesuai dengan penelitian tugas akhir yang dilakukan. Referensi yang dibutuhkan juga mengenai metode dan teknik pengolahan citra untuk pendeteksian kebocoran jalur pipa minyak dan gas.

3.3.2 Skenario Simulasi Kebocoran Pipa

Untuk skenario simulasi kebocoran pada pipa dapat diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Ilustrasi skenario simulasi kebocoran pada pipa migas dengan mengalirkan air panas.

Sebagai pengganti minyak dan gas, pada penelitian ini digunakan air yang dipanaskan sampai pada suhu kamar pipa distribusi migas. Suhu air dipertahankan pada 160°F (suhu kamar) dengan menggunakan *heater*/pemanas air dan *thermometer* untuk mendapatkan hasil yang representatif dengan kondisi di lapangan. Air yang telah dipanaskan disalurkan menggunakan pompa air ke pipa galvanis yang telah dibuat titik kebocorannya secara manual. *Spot* kebocoran pipa dibuat pada bagian atas permukaan pipa dengan diameter 5mm. Pipa galvanis dengan diameter 2.5” dengan panjang 3 meter diletakkan setengah meter di atas permukaan tanah dan reservoir diletakkan satu meter di atas permukaan tanah.

3.3.3 Perancangan Alat dan Sistem

Setelah dilakukannya pengumpulan referensi dan data, tahap selanjutnya yang dilakukan adalah perancangan alat. Pada tahap ini akan dikelompokkan menjadi 3 langkah yaitu penentuan komponen, perancangan *hardware* dan yang terakhir adalah pemilihan *software*.

3.3.3.1 Perencanaan Sistem Pendeteksi Kebocoran Pipa

Berdasarkan kasus permasalahan yang ditemui pada referensi yang didapat dari studi literatur sebelumnya, maka dapat dilakukan perancangan sistem yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi. Pendeteksian kebocoran pipa tidak dilakukan

secara konvensional (seperti menggunakan termometer, thermostat, thermocouple, dsb) namun dengan metode *non-contact measurement* yaitu menggunakan kamera sebagai instrumennya. Objek yang memiliki panas akan memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik pada panjang gelombang di bawah cahaya tampak (0,4 - 0,8 μm). Objek panas menjadi sumber pemancar gelombang *infrared* dengan panjang gelombang 0,1 – 100 microns. Dengan demikian dibutuhkan kamera khusus yang tidak menangkap cahaya tampak pada umumnya, yaitu memakai kamera pendeteksi gelombang *infrared*.

Sistem pendeteksi panas tidak hanya dibatasi oleh penggunaan kamera saja, namun memadukan dengan piranti lain baik perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*). *Output* dari kamera pendeteksi panas (kamera *thermal*) ialah sinyal-sinyal digital yang harus diolah agar dapat diinterpretasi oleh pengguna menggunakan proses komputasi. Hasil pencitraan dari kamera *thermal* dapat ditampilkan dengan *software* yang tersedia oleh sistem operasi komputer. Agar citra yang diperoleh menjadi lebih bermakna, maka diperlukan proses pengolahan citra digital untuk menghasilkan informasi objek yang dideteksi seperti suhu, distribusi panas, deteksi posisi, dan informasi lain yang dapat dimanfaatkan oleh *user*. Sistem pendeteksian panas akan menghasilkan data dan informasi yang

diharapkan dapat diaplikasikan pada banyak bidang dengan mengintegrasikannya dengan piranti-piranti lain.

3.3.3.2 Desain perangkat keras (*hardware*)

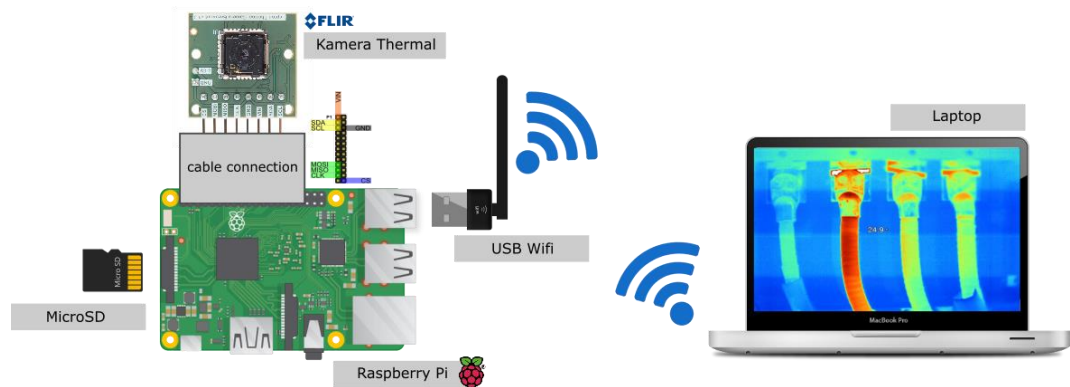
Penentuan komponen dilakukan sesuai dengan prototipe rancangan sistem pendeteksi kebocoran jalur pipa minyak dan gas. Hal yang perlu diperhatikan saat menentukan tipe komponen adalah mengetahui spesifikasi dan cara kerja dari komponen tersebut. Perhatian ini bertujuan agar pengguna dapat melihat kecocokan komponen dengan sistem yang dirancang. Spesifikasi dari komponen dapat disesuaikan dengan spesifikasi dari sistem dengan melihat *datasheet* atau *manual book* yang disediakan. Penentuan kualitas komponen mempengaruhi kualitas dari sistem yang hendak dibangun.

Sebuah sistem memiliki piranti penyusun yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Sistem secara sederhana terdiri dari masukan (*input*), proses, dan keluaran (*output*). Pada sistem pendeteksian panas objek, elemen-elemen penyusunnya diklasifikasi sebagai berikut:

Elemen masukan dari sistem adalah perangkat keras berupa sensor atau *transducer* yang mengirimkan sinyal informasi kepada prosesor utama (*main processor*). Sensor yang dipakai pada sistem pendeteksian panas ini adalah sensor *infrared* yang telah dipaketkan dengan sistem kamera digital. Pada penelitian ini

digunakan kamera *longwave infrared* LEPTON FLIR yang mendeteksi radiasi pada panjang gelombang 8 – 14 microns.

Komponen proses pada sistem bekerja sebagai otak dan pusat kendali dari sistem tersebut. Pemrosesan utama pada sistem yang hendak dibangun pada penelitian ini menggunakan mini komputer *Raspberry Pi* yang portable untuk pengolahan citra digital. Pengolahan citra digital membutuhkan kinerja prosesor yang lebih besar dibanding pemrosesan lainnya, karenanya pada penelitian ini menggunakan komputer *Raspberry Pi 3* model B dengan *processor* ARMv8 CPU 1.2GHz 64-bit quad-core.



Gambar 3.1 Diagram Perancangan Sistem Perangkat Keras Pendeteksi Kebocoran Pipa dengan kamera *thermal*.

Keluran (*output*) dari suatu sistem adalah hasil dari pemrosesan. Keluaran yang dihasilkan dari pemrosesan tersebut dapat berupa tulisan (huruf, angka, simbol khusus), *image* (dalam bentuk grafik atau gambar), suara, dan bentuk lain yang hanya dapat dibaca oleh mesin (*machine-readable form*). Komputer

Raspberry Pi akan menghasilkan keluaran berupa informasi digital mengenai citra titik kebocoran jalur pipa migas. Informasi citra panas objek mampu diterapkan dan dikombinasikan pada sistem lainnya untuk menghasilkan tujuan dan fungsi tertentu.

3.3.3.3 Pengolahan Citra Dengan Piranti Lunak

Proses pengolahan citra tidak hanya melibatkan *hardware* namun juga menggunakan *software* yang berisi algoritma *computer vision*. *Software* yang digunakan adalah *library OpenCV*; *library open-source* untuk pengolahan citra digital diprogram menggunakan bahasa C++. *Library OpenCV* diinstal pada komputer *Raspberry Pi* berbasis sistem operasi Linux. *Library OpenCV* kompatibel dengan berbagai sistem operasi sehingga dapat dijalankan pada sistem operasi resmi *Raspberry* yaitu *Raspbian Jessie*. Ada berberapa fitur *OpenCV* diantaranya pengolahan citra linier dan non-linier, penganalisis video, algoritma geometri, deteksi objek, dll. Fitur-fitur tersebut yang akan digunakan pada proses pengolahan citra *thermal* yang dihasilkan dari kamera *long-wave infrared*. Penggunaan *library OpenCV* tidak lepas dari bahasa pemrograman. Pada penelitian ini digunakan algoritma C++ yang lebih familiar dan populer pada dunia pemrograman. Dengan menggunakan *software* pengolahan citra tersebut diharapkan dapat menghasilkan kualitas citra yang lebih baik dan menghasilkan informasi yang berdaya

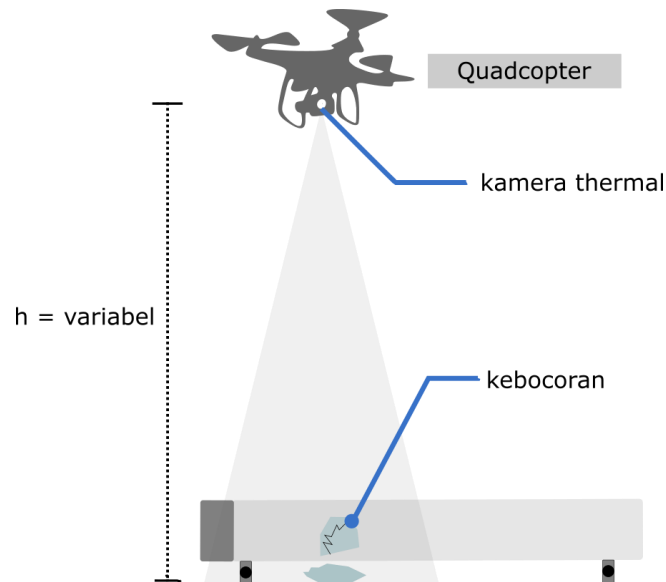
guna untuk diaplikasikan pada deteksi kebocoran jalur pipa minyak dan gas.

3.3.4 Pengujian Alat dan Sistem

Pengujian alat dan sistem dilakukan dengan simulasi mencitrakan kebocoran pipa. Kebocoran pipa minyak dan gas disimulasikan dengan mengalirkan air panas pada pipa yang disediakan. Dengan melubangi beberapa titik pada pipa dan mengalirkan air panas di dalamnya, pengujian dilakukan dengan mengambil beberapa citra pada pipa yang bocor. Untuk melihat kualitas pendeteksian maka pada penelitian ini menggunakan *infrared thermometer* sebagai referensi deteksi *thermal* pada pipa. Melalui pengujian dengan kamera *thermal* ini maka dapat dilihat bahwasannya alat dan sistem bekerja dengan baik.

3.3.5 Pengambilan Data

Deteksi kebocoran jalur pipa minyak dan gas secara realitas dilakukan pada pipa-pipa yang terbentang sesuai jalur distribusi yang dibuat oleh industri-industri minyak dan gas. Data diambil dengan mencitrakan pipa yang memiliki titik bocor dengan wahana udara. Namun pada penelitian ini hanya sebatas simulasi sehingga pengambilan data tidak dilakukan di lapangan secara nyata. Walau demikian simulasi ini tetap memperhatikan sifat dan kaidah deteksi kebocoran pipa sehingga penelitian ini representatif dengan pendeteksian di lapangan.



Gambar 3.2. Ilustrasi pencitraan jalur pipa menggunakan *unmanned aerial vehicle*.

Pengambilan data dilakukan dengan simulasi mencitrakan jalur pipa yang terdapat kebocoran. Pipa dibentangkan dengan panjang tertentu, dan dicitrakan melalui udara pada ketinggian tertentu. Ketinggian pengambilan gambar ditentukan dengan tidak jauh dari pipa untuk mempertahankan kualitas dan detail citra pipa. Dengan panjang tertentu dan resolusi kamera yang kecil (80x60 piksel) pada ketinggian tertentu maka akan didapatkan kualitas yang berbeda bergantung pada ketinggian.

Meninggikan jarak pemotretan memang akan menghasilkan citra yang menampilkan gambar pipa dengan *view* yang lebih luas, namun akan mengurangi kualitas dan kerincian citra pipa. Sehingga perlu mempertahankan ketinggian tertentu, untuk meningkatkan detail

pendeteksian. Penelitian ini akan mendefinisikan resolusi spasial yang cocok untuk pendeteksian kebocoran yang telah disimulasikan berdasarkan ketinggian.

Pencitraan pipa dilakukan dengan menerbangkan *unmanned aerial vehicle* yang membawa kamera *infrared* beserta *mini-computer*. UAV diterbangkan pada jarak yang telah ditentukan dan memotret pipa pada kondisi UAV *steady-state*. Variabel ketinggian yang digunakan yaitu pada ketinggian minimum terbang 1 hingga 10 meter dengan interval satu meter. Citra-citra *infrared* tersebut kemudian diolah untuk dianalisa apakah terdapat kebocoran. Pencitraan pipa hanya dilakukan dari permukaan atas pipa menggunakan wahana udara. Kebocoran pipa akan menyebabkan cairan di dalam pipa keluar dan menyebar menyebabkan efek kebocoran di area sekitarnya. Pengambilan data dilakukan dengan *multirotor* yang diterbangkan hanya akan mencitrakan bagian atas permukaan saja. Sifat pendeteksian pada penelitian ini yaitu mendeteksi ada atau tidaknya kebocoran pada daerah tertentu dan tidak mendeteksi posisi titik/lubang kebocorannya.

Sebelum melakukan pencitraan kebocoran pipa, dilakukan beberapa pengambilan data suhu untuk referensi. Data suhu diantaranya yaitu suhu permukaan pipa sebelum dan sesudah diisi air panas, suhu lingkungan, suhu permukaan tanah, dan suhu air panas yang keluar dari lubang kebocoran pipa.

Pada penelitian ini dilakukan tiga kali pengambilan data di tempat yang berbeda, diantaranya pada permukaan aspal, tanah liat, dan rerumputan. Ini bertujuan untuk melihat hasil citra yang berbeda-beda berdasarkan daerah penempatan pipa. Pengambilan data juga dilakukan pada kondisi cerah dan kondisi gelap di malam hari.

3.3.6 Pendeteksian Kebocoran

Citra *thermal* yang dihasilkan oleh kamera FLIR Lepton 2.0 adalah citra resolusi 80x60 piksel dengan bit *depth* 14 bit *grayscale*. Setiap piksel yang berisi pada gambar merepresentasikan *value* yang terbaca oleh sensor. Citra *thermal* kemudian dikonversi ke citra 8 bit untuk diubah ke format JPEG RGB agar lebih mudah dilihat secara visual pada *display*.

Salah satu metode yang sering digunakan adalah *contrast stretching* [17]. Pada *contrast stretching*, kita definisikan interval antara *value* minimum dengan *value* maksimum dari seluruh *frame* dan kita transformasi *thermal image* data ke dalam interval menggunakan formula:

$$I_c(x, y) = \frac{I_{thermal}(x, y) - V_{min}}{Span} \times 255 \quad (3-1)$$

Dimana I_c adalah citra yang dikonversikan, $Span$ sama dengan $V_{max} - V_{min}$, V_{min} adalah *value* minimum yang didefinisikan dan V_{max} adalah *value* maksimum dari keseluruhan citra yang didapat. Jangkauan antara V_{max} dan V_{min} harus ditentukan sesuai dengan kebutuhan. Jika

jangkauan terlalu kecil, ketajaman citra menurun dan data hilang disebabkan saturasi di luar *value* maksimum dan minimum, jika jangkauan terlalu besar maka citra akan sulit dianalisa karena kehilangan presisi pada 8 bit images [8].

Value setiap piksel pada citra *thermal* linier terhadap suhu permukaan pipa yang pada penelitian ini juga akan dilakukan pengambilan data untuk melihat linieritasnya. Citra *infrared* dengan titik kebocoran terdiri dari tiga komponen: latar belakang (*background*), titik sasaran (*target point*), dan *noise*. *Background* citra ditunjukkan sebagai frekuensi rendah dengan korelasi kuat diantara piksel-pikselya. *Target point* (titik kebocoran) dan *noise* ditampilkan sebagai frekuensi tinggi yang mana hadir pada *spot* yang terpisah dan tanpa korelasi dengan *background* [1].

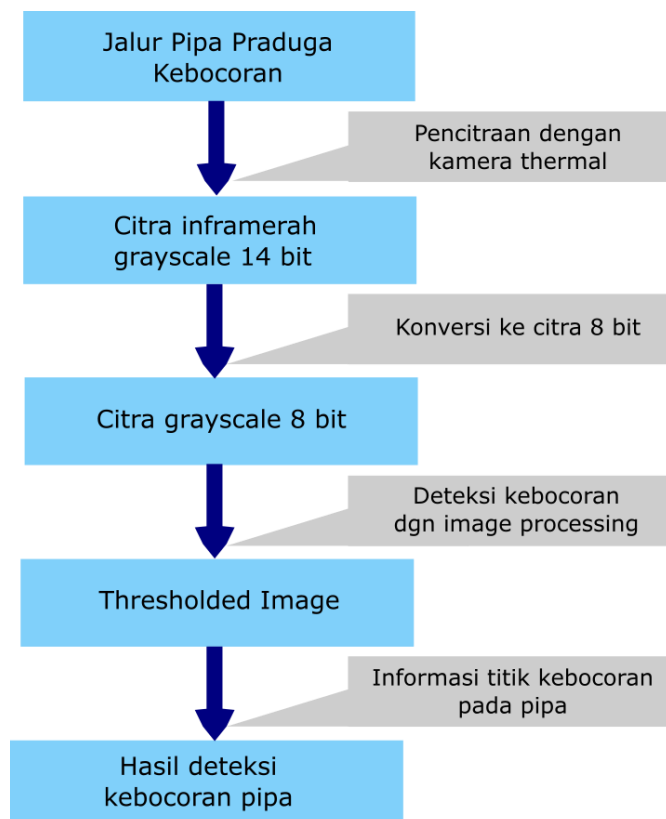
Pendeteksian kebocoran dilihat dengan membandingkan nilai pembacaan radiasi *thermal* pada permukaan pipa dengan titik kebocoran. Perbedaan *value* yang signifikan dari permukaan pipa mengindikasikan terdapat kebocoran di area tersebut. Karena secara teori, titik kebocoran memancarkan radiasi lebih besar dibanding area sekitarnya [1]. Penelitian ini akan melihat seberapa besar perbedaan nilai pembacaan permukaan pipa dengan kebocoran yang ada. Indikasi kebocoran didefinisikan jika *value* kamera berada di atas ambang batas (*threshold*) yang ditentukan secara manual. Dalam penelitian ini nilai *threshold* adalah *reading value* permukaan pipa yang besarnya tidak sama pada tiap pencitraan bergantung pada pencitraan awal. Pendeteksian kebocoran

dilakukan dengan menganalisa secara manual intensitas dari *reading value* kamera *thermal* melalui hasil cetak *reading value* kamera *thermal* yang diekspor ke *spreadsheet*. Dengan melihat rata-rata intensitas panas permukaan pipa yang dicitrakan maka kita dapat menentukan ambang batas (*threshold*) pendeteksian.

$$piksel(x,y) = \begin{cases} \text{indikasi kebocoran, jika } piksel(x,y) > \text{threshold value} \\ \text{permukaan, sebaliknya} \end{cases}$$

(3-2)

Metode pendeteksian kebocoran jalur pipa dapat ditunjukkan pada *flowchart* dibawah ini



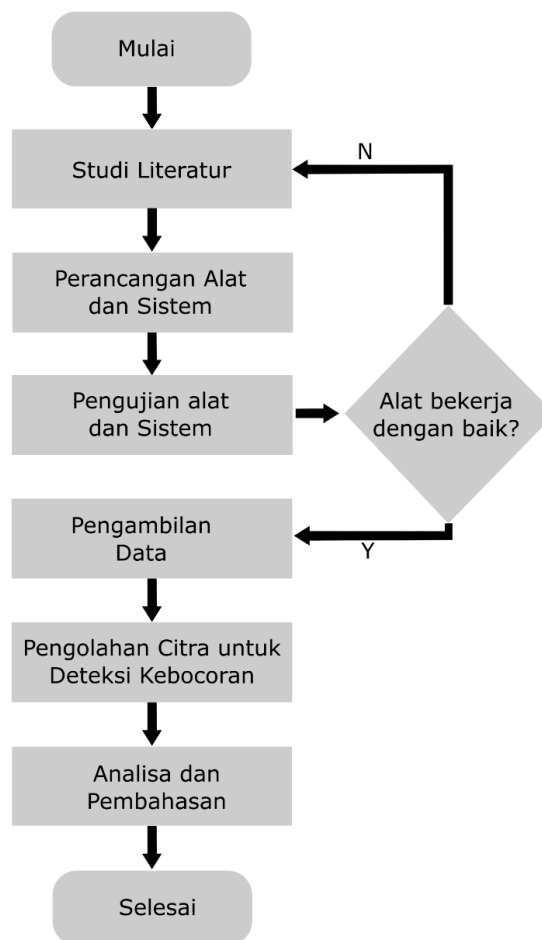
Gambar 3.3 Diagram alir metode pendeteksian titik kebocoran jalur

pipa

Hasil pendeteksian berupa *binary image* yang menampilkan target *point* atau titik kebocoran. Dari citra tersebut kita bisa mendapatkan informasi mengenai lokasi kebocoran pada jalur pipa dengan lebih efektif dan efisien.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian mulai dari studi literatur hingga menyimpulkan analisa hasil pengujian dapat direpresentasikan dengan membuat sebuah diagram alir penelitian secara keseluruhan. Diagram alir penelitian dapat dilihat dalam Gambar 3.4 berikut ini:



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

3.6 Kesimpulan dan Saran

Tahapan yang terakhir adalah kesimpulan dan saran. Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap hasil dari pengujian alat yang dilakukan. Saran untuk penelitian berikutnya akan disampaikan pasca penelitian ini selesai.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian Pengembangan Prototipee Deteksi Kebocoran Pipa Migas Berbasis Kamera *Long Wave Infrared* pada Aplikasi *Unmanned Aerial Vehicle* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kamera *thermal* dapat diaplikasikan pada *unmanned aerial vehicle* untuk pendeteksian kebocoran pipa dengan parameter radiasi panas.
2. Dengan simulasi pipa berukuran 2.5 inch, kebocoran 5 mm dapat dideteksi dengan baik pada jarak pencitraan dibawah 7 meter dengan spesifikasi kamera 80x60 piksel dan resolusi spasial kurang dari 8,5 cm.
3. Pendeteksian kebocoran dengan kamera *infrared* yaitu dengan menyadari ada nilai radiasi yang lebih tinggi daripada radiasi permukaan pipa dengan melihat *reading value* yang dihasilkan kamera *thermal*.
4. Pengaplikasian *unmanned aerial vehicle* pada deteksi kebocoran pipa lebih efisien karena bersifat lebih *mobile* dalam pergerakan dibanding hanya menggunakan kamera saja.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman selama berlangsungnya perancangan dan pengujian Prototipee Deteksi Kebocoran Pipa Migas Berbasis Kamera *Long Wave Infrared* pada Aplikasi *Unmanned Aerial Vehicle*, terdapat beberapa saran yaitu:

1. Pada penelitian berikutnya diharapkan dapat menggunakan kamera *infrared* dengan resolusi piksel lebih tinggi agar resolusi spasial meningkat untuk menghasilkan kualitas pendeteksian menjadi lebih baik.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan komunikasi antara mini komputer pemrosesan kamera *infrared* dengan komputer *ground control station*, sehingga jarak komunikasi menjadi lebih jauh.
3. Pengembangan lebih jauh dapat dilakukan dengan pendeteksian pipa secara horizontal mengikuti sepanjang pipa migas terbentang.
4. Diharapkan penelitian berikutnya dapat dilakukan pada kondisi lapangan yang sebenarnya pada pipa jalur distribusi migas.
5. Melihat efek yang terjadi pada lingkungan sekitar melalui kamera *infrared* setelah beberapa jam terjadi kebocoran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Zhao and H. Yang, "Small-target leak detection for a closed vessel via *infrared* image sequences," *Infrared Phys. Technol.*, vol. 81, pp. 109–116, Mar. 2017.
- [2] C. J. Branden Lambrecht, *Vision Models and Applications to Image and Video Processing*. Boston, MA: Springer US, 2001.
- [3] "CCD vs. CMOS - Teledyne DALSA Inc." [Online]. Available: <http://www.teledynedalsa.com/imaging/knowledge-center/appnotes/ccd-vs-cmos/>. [Accessed: 06-Mar-2017].
- [4] X. Maldague, Ed., *Infrared methodology and technology*. Yverdon, Switzerland ; Langhorne, Pa., U.S.A: Gordon and Breach Science Publishers, 1994.
- [5] "Radiant Heating With *Infrared*; A Technical Guide To Understanding And Applying *Infrared* Heaters." Watlow Electric Manufacturing Company, 1999.
- [6] B. Bhanu and I. Pavlidis, Eds., *Computer vision beyond the visible spectrum*. London: Springer, 2005.
- [7] P. W. Kruse, Ed., *Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems Volume 47*. Academic Press, 2011.
- [8] A. M. Jensen, M. McKee, and Y. Chen, "Procedures for processing *thermal* images using low-cost microbolometer cameras for small unmanned aerial

systems,” in *2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2014, pp. 2629–2632.

- [9] “FLIR LEPTON Long Wave *Infrared* (LWIR).” FLIR, 2014.
- [10] W. R. Kurniawan, B. B. Murti, S. T, and M. T, “Purwarupa sistem klasifikasi dan penghitung jumlah kendaraan bermotor menggunakan kamera webcam berbasis citra digital,” Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2015.
- [11] D. Putra, *Pengolahan Citra Digital*. Penerbit Andi.
- [12] R. Kusumanto and A. N. Tomponu, “PENGOLAHAN CITRA DIGITAL UNTUK MENDETEKSI OBYEK MENGGUNAKAN PENGOLAHAN WARNA MODEL NORMALISASI RGB,” *Semantik*, vol. 1, no. 1, Apr. 2011.
- [13] S. Nagabhushana, *Computer vision and image processing*. New Dehli: New Age International, 2005.
- [14] “OpenCV: Introduction,” 07-Sep-2016. [Online]. Available: <http://docs.opencv.org/trunk/d1/dfb/intro.html>. [Accessed: 07-Sep-2016].
- [15] A. Nayyar and V. Puri, “Raspberry Pi- A Small, Powerful, Cost Effective and Efficient Form Factor Computer: A Review,” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, vol. 5, no. 12, pp. 720–737, Dec. 2015.
- [16] F. S. Leira, T. A. Johansen, and T. I. Fossen, “Automatic detection, classification and tracking of objects in the ocean surface from UAVs using a *thermal* camera,” in *2015 IEEE Aerospace Conference*, 2015, pp. 1–10.
- [17] K. Lenac, I. Maurović, and I. Petrović, “Moving objects detection using a *thermal* Camera and IMU on a vehicle,” in *2015 International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE)*, 2015, pp. 212–219.