



TESIS - KI 142502

**DETEKSI REGION OF INTEREST (ROI) MENGGUNAKAN
MODIFIKASI TRANSFORMASI HOUGH BUTTERFLIES
UNTUK PENGENALAN ANGKA PADA CITRA
METER AIR PDAM**

ALIF AKBAR FITRAWAN
NRP. 5114201031

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom, M.Kom.
Arya Yudhi Wijaya, S.Kom, M.Kom.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN KOMPUTER CERDAS DAN VISUAL
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2016

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



TESIS - KI 142502

DETECTION REGION OF INTEREST USING HOUGH TRANSFORM BUTTERFLIES TO RECOGNITION WATER METER READING

ALIF AKBAR FITRAWAN
NRP. 5114201031

SUPERVISOR
Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom, M.Kom.
Arya Yudhi Wijaya, S.Kom, M.Kom.

MAGISTER PROGRAM
INTELLIGENCE COMPUTATIONAL AND VISUALIZATION
DEPARTMENT OF INFORMATICS ENGINEERING
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2016

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Komputer (M.Kom)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:
Alif Akbar Fitrawan
NRP. 5114201031

Dengan Judul :
Deteksi *Region of Interest* (ROI) Menggunakan Modifikasi Transformasi Hough
Butterflies untuk Pengenalan Angka pada Citra Meter Air PDAM

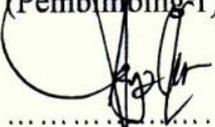
Tanggal Ujian: 29 Juni 2016
Periode Wisuda: September 2016

Disetujui oleh:

Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom., M.Kom
NIP. 197104281994122001


.....
(Pembimbing 1)

Arya Yudhi Wijaya, S.Kom, M.Kom.
NIP. 198409042010121002


.....
(Pembimbing 2)

Dr. Eng. Chastine Fatichah, S.Kom, M.Kom
NIP. 197512202001122002


.....
(Penguji 1)

Bilqis Amaliah, S.Kom, M.Kom
NIP. 197509172001122002


.....
(Penguji 2)

Dini Adni Navastara, S.Kom, M.sc
NIP. 198510172015042001


.....
(Penguji 3)



Direktor Program Pasca Sarjana,


Dinar Har Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19602021987011001

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Deteksi *Region of Interest* (ROI) Menggunakan Modifikasi Transformasi *Hough Butterflies* Untuk Pengenalan Angka Pada Citra Meter Air PDAM

Nama : Alif Akbar Fitrawan
NRP : 5114201031
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom., M.Kom.
Arya Yudhi Wijaya, S.Kom, M.Kom.

ABSTRAK

Kegiatan pengukuran meter air PDAM setiap bulannya dilakukan oleh petugas PDAM. Hasil dari pengukuran ini digunakan sebagai acuan untuk tagihan yang harus dibayarkan oleh pelanggan. Seringkali Pelanggan mengeluh dengan biaya tagihan air yang tidak sesuai dengan angka yang tertera pada meter air PDAM. Salah satu penyebabnya adalah proses pembacaan meter air yang dilakukan secara manual, sehingga memungkinkan terjadi kesalahan pencatatan angka pemakaian meter air pelanggan. Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu solusinya dengan mengembangkan aplikasi yang dapat mengenali karakter angka pada citra meter air PDAM secara otomatis. Karakteristik hasil citra meter air yang diambil dengan *smartphone* petugas seringkali kabur, pencampuran objek dengan *background* yang mengganggu, serta miring. Data input seperti ini sangat sulit diinterpretasikan untuk proses pengenalan karakter.

Oleh karena itu perlu dilakukan *enhancement* untuk memperbaiki kualitas citra yang kabur. Penentuan *Region of Interest* (ROI) dapat memisahkan objek dengan *background* yang memudahkan untuk merotasi citra yang miring. Sehingga informasi citra dapat diinterpretasikan dengan baik pada proses pengenalan karakter menggunakan algoritma *template matching correlation*. Metode Transformasi Hough Butterflies digunakan untuk mendeteksi garis sebagai acuan pembatas area meter air untuk menentukan area ROI. Metode ini memiliki keunggulan daripada metode transformasi *Hough* yaitu dapat mengatasi permasalahan pada segmentasi pada *multiple colinear* garis. Tujuan dari penelitian ini adalah mendeteksi *Region of Interest* menggunakan Modifikasi Transformasi Hough Butterflies pada pengenalan citra meter air PDAM.

Metode ini mampu mengenali garis yang *colliner* dengan hasil akurasi deteksi *Region of Interest* (ROI) sebesar 89%. Sedangkan prosentase keberhasilan pengenalan angka sebesar 82 % dengan menggunakan *template matching correlation*. Dengan hasil ini metode modifikasi transformasi hough butterflies mampu mendeteksi ROI citra meter air PDAM

Kata kunci: *transformasi hough butterflies, template matching correlation, citra meter air pdam.*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Detection Region of Interest Using Hough Transform Butterflies to Recognition Water Meter Reading

By : Alif Akbar Fitrawan
Student Identity Number : 5114201031
Supervisor : Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom., M.Kom.
Arya Yudhi Wijaya, S.Kom, M.Kom.

ABSTRACT

Measurement water meter activities conducted by officers taps each month. The results of these measurements are used as a reference for customer to paid the bill water meter consume. Often there is a complaint from Customers that water usage figures which do not correspond to meter water consume. This is caused by the water meter reading process is manually, which made possible the occurrence of recording errors customer's water meter usage. To overcome this problem one solution to develop applications that can detection the characters in the image of PDAM water meter. Characteristics of the water meter image capture results from the clerk taps are often skewed. So that the input data like this is very difficult to interpret for character recognition process. Therefore it is necessary to define the Region of Interest (ROI) image of the water meter in order to be interpreted properly in the process of character recognition using template matching algorithms correlation.

Hough transform method can be used to detect the line as a reference divider meter area of water that can be used to determine the ROI area. One of the problems is the hough transform is multiple lines colinear. The purpose of this study was to detect Region of Interest (ROI) using the Hough Transform for measurement the image water meter, with the selection of multiple colinear line hough transform results.

This method is able to recognize that colliner line with the accuracy of the detection of Region of Interest (ROI) image of PDAM water meter, with an accuracy value of 89% and the percentage of outcomes on the introduction of a figure of 82 % using a template matching correlation.

Keywords: hough transform butterflies, template matching corellation, water meter reading

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga buku tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Meski dalam menyelesaikan buku ini banyak ditemui kesulitan, namun berkat bantuan dan bimbingan berbagai pihak, akhirnya penulis berhasil menyelesaikan buku ini. Untuk itu atas segala bantuan yang telah diberikan, penulis mengucapkan terima kasih serta penghargaan yang sebesar-besarnya antara lain kepada:

1. Kedua Orang penulis, Bapak Mujib dan Ibu Nurul Lailiyah, atas segala dukungan, kasih sayanag dan doanya sehingga penulis bisa mendapatkan kemudahan dalam menyelesaikan studi ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat, kesehatan, dan keselamatan kepada kita semua.
2. Istri tercinta, Shelly Nur Azizah yang senantiasa memberi cinta, dukungan, do'a, harapan, serta mencurahkan segala-segalanya untuk penulis dalam menyelesaikan studi.
3. Ibu Dr. Eng Nanik Suciati, S.Kom., M.Kom., dan Bapak Arya Yudhi Wijaya, S.Kom, M.Kom., selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu dan pikiran sampai terselesaikannya tesis ini. Semoga Allah SWT senantiasa merahmati bapak, ibu dan keluarga.
4. Ibu Dr. Eng. Chastine Fatichah, S.Kom, M.Kom, Ibu Bilqis Amaliah, S.Kom, M.Kom, dan Ibu Dini Adni Navastara, S.Kom, M.sc selaku dosen penguji yang telah banyak membantu saya untuk bisa menjadi lebih baik.
5. Seluruh dosen S2 Teknik Informatika ITS yang telah memberikan wawasan serta ilmu pengetahuan baru bagi saya selama menempuh masa studi pascasarjana.
6. Seluruh Tim Ngorder dan PT Ayo Techno Idea yang telah memberikan kesempatan penulis untuk lebih fokus mengerjakan tesis.

7. Ketiga Adikku Bimly Akbar Shafara, Gamma Akbar Sya'bana dan Rachma Safira Al-Mecda yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada masnya setiap waktu.
8. Teman seperjuangan angkatan 2014 dan Kecebong yang telah berbagi dan saling mendukung serta menyemangati dalam masa masa perkuliahan hingga masa penulisan thesis. Semoga persaudaraan ini terus berlanjut dan tetap dalam perjuangan.
9. Semua pihak yang telah banyak membantu proses menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan tesis ini masih banyak kekurangannya, karena itu masukan, saran demi perbaikan dan penerapan tesis ini dimasa mendatang tetap penulis harapkan. Semoga tesis ini dapat benar-benar bermanfaat bagi penulis khususnya lebih-lebih pada masyarakat, bangsa dan negara.

Banyuwangi, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Kontribusi Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Deteksi Tepi <i>Canny</i>	7
2.2 Operasi Morfologi Pada Citra	10
2.3 Transformasi Hough	11
2.4 Transformasi Hough Butterflies	16
2.5 Template Matching	17
2.6 Template Matching Corellation	19
2.7 Pembuatan Model <i>Template</i>	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Rancangan Sistem	23
3.2 Input Citra	24
3.3 <i>Preprocessing</i>	24
3.4 Deteksi <i>Region of Interest</i> (ROI) Meter Air	25
3.5 Segmentasi Karakter Angka	30
3.6 Template Matching Corellation	31
3.7 Uji Coba	33

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Lingkungan Uji Coba.....	35
4.2 Data Uji Coba	35
4.3 Skenario Uji Coba.....	36
4.4 Hasil Uji Coba	36
4.5 Pembahasan Uji Coba.....	44
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	51
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh <i>Gaussian Filter Noise</i>	8
Gambar 2.2 Contoh <i>Gaussian Filter</i>	9
Gambar 2.3 Proses Menghubungkan <i>Edge</i> Kearah a.....	9
Gambar 2.4 Arah Setengah Lingkaran.....	10
Gambar 2.5 Ilustrasi Transformasi <i>Hough</i> untuk garis.....	14
Gambar 2.6 Penentuan Polar Sebuah Garis.....	15
Gambar 2.7 Citra Hitam Putih dengan Nilai Pixel 1 dan 0.....	18
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem.....	23
Gambar 3.2 Contoh Dataset Citra Meter Air PDAM.....	24
Gambar 3.3 Proses <i>Preprocessing</i>	25
Gambar 3.4 Alur Deteksi Garis dengan Transformasi <i>Hough</i>	25
Gambar 3.5 Garis Kolinear <i>Transformasi Hough</i>	27
Gambar 3.6 Flowchart Pemilihan Garis Kolinear.....	28
Gambar 3.7 Hasil Penentuan Kolinear Garis.....	28
Gambar 3.8 Deteksi <i>Region of Interest</i>	29
Gambar 3.9 Perpanjangan Hasil Segemenasi Garis.....	29
Gambar 3.10 Hasil Deteksi Sudut ROI.....	30
Gambar 3.11 Tahap Segmentasi Karakter.....	30
Gambar 3.12 Contoh Hasil Segmentasi.....	31
Gambar 3.13 Metode <i>Template Matching Corellation</i>	32
Gambar 3.14 Contoh Data Latih Tahap <i>Feature Extraction</i>	32
Gambar 4.1 Contoh data citra meter air pelanggan PDAM.....	35
Gambar 4.2 Penambahan custom template.....	42
Gambar 4.3 Hasil akurasi Region of Interest (ROI).....	44
Gambar 4.4 Template pada pengenalan angka pada meter air PDAM.....	45
Gambar 4.5 Hasil Prosentase akurasi pengenalan angka.....	45

Gambar 4.6 Citra yang mengalami kegagalan proses pengenalan 46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh Deretan Angka Biner Citra Karakter Template.....	19
Tabel 2.2 Contoh Perhitungan Error Citra Karakter Masukan	19
Tabel 2.3 Hasil Analisa Pembuatan Template	21
Tabel 4.1 Hasil uji coba <i>threshold peak</i> dan panjang garis.....	37
Tabel 4.2 Hasil uji coba visual threshold theta dan rho	38
Tabel 4.3 Hasil akurasi Region of Interest.....	41
Tabel 4.4 Hasil pengenalan angka	43

[Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meter air merupakan alat yang digunakan untuk menghitung volume air yang didistribusikan oleh PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) ke pelanggan, sehingga dapat ditentukan jumlah uang yang harus dibayar. Pengukuran meter digunakan untuk mengidentifikasi kebocoran air dengan membandingkan jumlah air yang diukur dalam proses produksi dengan jumlah air yang dikirim ke pelanggan (Nazar, 2012). Kegiatan pengukuran meter air dilakukan dengan pembacaan dan pencatatan meter air oleh petugas PDAM. Seringkali terjadi keluhan Pelanggan PDAM bahwa angka pemakaian air yang tidak sesuai dengan meter air PDAM. Hal ini disebabkan oleh proses pembacaan meter air dilakukan secara manual, yang dimungkinkan terjadinya kesalahan pencatatan angka pemakaian meteran air pelanggan. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan pembacaan pemakaian air pelanggan adalah dengan membuat aplikasi untuk membaca angka pemakaian pelanggan pada meter air PDAM. Aplikasi tersebut dapat mengenali karakter berupa angka yang tertera pada meter air dari input citra yang meter air PDAM hasil pembacaan petugas. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengenali karakter dengan *Optical Character Recognition* (OCR). OCR pada dasarnya ialah pengenalan karakter *alphanumeric* dari karakter pada citra menjadi teks (Woods, 1984)

Permasalahan yang muncul dalam melakukan proses pengenalan karakter adalah bagaimana sebuah teknik pengenalan dapat mengenali berbagai jenis huruf dengan ukuran, ketebalan, dan bentuk yang berbeda (A. Hajdu, 2007). Secara umum terdapat dua hal utama yang mempengaruhi proses OCR yaitu mekanisme ekstraksi ciri dan mekanisme pengenalan. Mekanisme ekstraksi ciri dilakukan untuk mendapatkan ciri atau identitas dari suatu karakter atau huruf. Proses pengenalan dilakukan setelah mekanisme ekstraksi ciri. Proses pengenalan bertujuan untuk mencocokkan pola huruf yang berasal dari inputan dengan pola yang ada dalam basis pengetahuan. Beberapa algoritma yang dapat digunakan

untuk proses pengenalan antara lain, jaringan syaraf tiruan (Y. Zhang, 2008), logika *fuzzy* (Feng Wang, 2008), *SIFT Feature* (Morteza Zahedi, 2010), *template matching* (Jae-Chern Yoo, 2013) dan lain-lain.

Dari beberapa algoritma tersebut, algoritma *template matching* merupakan salah satu algoritma yang efektif untuk diterapkan dalam sistem OCR (Michael Ryan, 2015). Algoritma pengenalan ini cukup sederhana dan dapat diterapkan tanpa harus melakukan proses ekstraksi ciri terlebih dahulu, serta komputasi yang tidak terlalu besar (Jae-Chern Yoo, 2013). Namun dibalik kelebihan itu, algoritma *template matching* memiliki kekurangan. Kekurangannya adalah membutuhkan data referensi atau basis data yang banyak untuk mendapatkan hasil yang optimal (Erik Johansson, 2015). Semakin banyak jenis karakter yang berhasil terdeteksi maka semakin banyak data referensi yang harus disimpan. Algoritma ini juga tidak akan berhasil mengenali citra yang memiliki banyak *noise* (Jae-Chern Yoo, 2013).

Karakteristik citra meter air hasil dari kegiatan pencatatan oleh petugas PDAM seringkali mengalami penurunan mutu seperti kabur (*blurring*), mengandung *noise*, objek angka pada meter air yang bercampur dengan *background*, serta posisi meter air yang miring. Sehingga citra semacam ini akan menjadi lebih sulit diinterpretasi karena informasi yang disampaikan oleh citra tersebut menjadi berkurang. Agar citra yang mengalami gangguan mudah diinterpretasi, maka citra tersebut perlu dilakukan *enhancement* agar kualitasnya lebih baik untuk diproses pada tahapan pengenalan karakter angka.

Dengan karakteristik di atas, maka penentuan Region of Interest (ROI) sangat penting, agar objek yang signifikan tidak bercampur dengan *background* yang dapat mengganggu proses pengenalan karakter angka. Pada penelitian (Robert Gunawan, 2014) menggunakan Template Matching Correlation berhasil mengenali dengan baik karakter angka pada meter listrik dengan akurasi 95%, tetapi tidak dapat mengenali citra meter listrik dengan kondisi miring. Filter Gabor dapat mendeteksi dengan baik ROI pada citra plat nomer kendaraan (Tadic, 2014), yang memiliki karakteristik yang hampir sama dengan citra meter air. Dengan karakter citra meter air PDAM yang miring maka perlu merotasi citra menjadi horizontal agar dapat dikenali dengan baik. Hough *transform* merupakan

teknik pengalokasian bentuk-bentuk dalam gambar (Zezhong Xu, 2015). Teknik ini dapat mendeteksi garis lurus maupun lingkaran. Permasalahan menggunakan transformasi Hough pada *multiple line segment* adalah kesalahan hasil segmentasi garis kolinear yang berbeda yang sebenarnya berasal dari 1 garis panjang yang sama (Kamat V, 1998). Penelitian (Shengzhi Du., 2012) mengusulkan Transformasi Hough Butterflies dengan memperhatikan parameter hasil segmentasi seperti posisi, *slope*, lebar, panjang, *continuitas*, dan keseragaman garis pada *multiple line segment*. Pada penelitian (Tran Duc Duan, 2014) berhasil mengkombinasi Transformasi Hough dengan algoritma *contour* pada deteksi ROI plat nomor kendaraan dengan akurasi sebesar 99%. Dengan adanya garis-garis lurus pembatas ROI yang berhasil terdeteksi tentunya akan lebih mudah untuk merotasi citra.

Dengan permasalahan karakteristik citra meter air PDAM yang ada, maka pada penelitian ini diusulkan metode Modifikasi Transformasi Hough Butterflies untuk mendeteksi ROI untuk pengenalan karakter angka pada meter air pelanggan PDAM. Metode ini akan memperbaiki hasil segmentasi garis yang terdeteksi dengan memperhatikan parameter transformasi hough butterflies untuk mengatasi permasalahan pada *multiple line segment*. Hasil deteksi ROI ini digunakan sebagai masukan dalam proses pengenalan karakter dengan menggunakan algoritma Template Matching Correlation.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam Tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendeteksi *Region of Interest* (ROI) citra meter air PDAM dengan menggunakan metode modifikasi Transformasi Hough Butterflies ?
2. Bagaimana mengenali karakter citra meter air PDAM dengan menggunakan metode Template Matching Correlation ?

1.3 Batasan Masalah

1. Data citra dalam penelitian ini menggunakan 100 citra meter air PDAM Kabupaten Pasuruan, dengan ukuran 800 x 600 piksel.

2. Pengambilan citra dilakukan oleh petugas PDAM menggunakan *Smartphone Android Samsung Galaxy Young*.
3. Aplikasi dibangun dengan menggunakan Matlab 2012.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah mendeteksi *Region of Interest* (ROI) menggunakan modifikasi Transformasi Hough Butterflies pada citra meter air PDAM. Hasil dari deteksi ROI ini sebagai masukan pada proses pengenalan karakter angka.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini menghasilkan aplikasi pengenalan meter air PDAM yang diharapkan dapat mengurangi kesalahan pembacaan meter air PDAM pelanggan yang dilakukan secara manual

1.6 Kontribusi Penelitian

Kontribusi pada penelitian ini adalah mendeteksi *Region of Interest* menggunakan modifikasi Transformasi Hough Butterflies untuk pengenalan angka pada citra meter air PDAM.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan dari Tesis ini direncanakan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini Menguraikan tentang latar belakang permasalahan dalam penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, kontribusi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas terhadap teori-teori yang berhubungan dengan penelitian dengan tujuan memberikan penjelasan-penjelasan yang bisa

membantu pembaca memahami dan mendalami teori yang terkait penelitian

BAB III METODE PENELITIAN

Menguraikan tentang tahapan penelitian yaitu, pengumpulan data, identifikasi masalah, perumusan masalah, study literature, analisa penyelesaian masalah, pengujian penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil uji coba yang telah dilaksanakan dan melakukan analisis terhadap hasil dari uji coba

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengerjaan tugas akhir ini, dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori penunjang dalam melakukan deteksi *Region of Interest* (ROI) citra meter air PDAM. Teori yang dibahas meliputi Deteksi tepi *Canny*, operasi morfologi pada citra, Transformasi *Hough*, Transformasi *Hough Butterflies*, *Template Matching*, dan *Template Matching Correlation*.

2.1 Deteksi Tepi *Canny*

Deteksi tepi *Canny* (*Canny Edge Detection*) adalah salah satu algoritma deteksi tepi yang bisa menghasilkan *edge* pada citra dengan nilai yang sangat optimal untuk saat ini dengan proses yang sederhana (Wen Jiang, 2015). Ada beberapa kriteria yang digunakan dalam deteksi tepi *Canny* sebagai berikut:

1. Mengurangi nilai kesalahan dasar (*low error rate*) ini sangat penting karena *edge* yang terdapat pada suatu citra tidak boleh dihilangkan.
2. Titik *edge* pada suatu citra akan tepat terdeteksi, dengan kata lain jarak antara *edge* piksel sudah terdeteksi dan *edge* yang sebenarnya (*actual edge*) adalah yang paling *minimum*.
3. Merespon atau menghasilkan satu *edge* saja, ini sudah diimplementasikan karena dua dari kriteria penting yang disebutkan masih belum cukup untuk mengeleminasi nilai kemungkinan dari *edge*.

Berdasarkan kriteria diatas, deteksi tepi *Canny* adalah deteksi tepi yang cara kerjanya pertama memperhalus citra (*smoothes*) untuk menghilangkan *noise*. Selanjutnya cari *gradient* dari citra untuk ditandai, daerah mana yang mempunyai nilai *spatial derivatives* yang sangat tinggi. Algoritma tersebut kemudian *tracking* seluruh daerah dan menghilangkan tiap piksel yang bukan maksimum (*nonmaximum suppression*). Selanjutnya *gradient* array dikurangi dengan *hysteresis*. *Hysteresis* digunakan untuk *tracking* seluruh piksel dari citra yang belum tereleminasi. *Hysteresis* menggunakan dua *threshold*, jika *magnitude* besarnya dibawah *threshold* pertama maka di set dengan *zero* (*made nonedge*).

Untuk mengimplementasikan algoritma *Canny Edge Detection* ada beberapa langkah yang harus diikuti yaitu sebagai berikut (Wen Jiang, 2015):

1. *Filter* semua *noise* pada citra asli sebelum mencari dan mendeteksi tiap *edge*. Karena *gaussian filter* Gambar 2.1 bisa diimplementasikan menggunakan *simple mask*, maka kita gunakan metode ini didalam algoritma *Canny*. Setelah *simple mask* sudah didapatkan selanjutnya *gaussian smoothing* bisa dipakai menggunakan standar *convolution methods*. *Convolution mask* biasanya harus lebih kecil dari citra yang sebenarnya (*actual image*). Selanjutnya geser *mask* keseluruhan bagian citra dari kiri ke kanan, atas ke bawah.
2. Setelah citra diperhalus (*smoothing*) dan dihilangkan *noise*-nya, selanjutnya cari *edge* yang mempunyai intensitas paling besar berdasarkan *gradient* citra. Gunakan operator 2-D *spatial gradient* citra seperti pada deteksi tepi Sobel, dan tetapkan besarnya nilai *gradient* adalah *edge strength* pada tiap titik piksel yang telah ditemukan. Pada deteksi tepi Sobel menggunakan dua pasangan 3x3 *convolution masks*, satu digunakan untuk menghitung *gradient* pada koordinat *X* (*columns*) dan yang kedua digunakan untuk menghitung *gradient* pada koordinat *Y* (*rows*). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. *Edge Strength* dari *gradient* dicari dengan menggunakan Persamaan 2.1

$$|G| = |G_x| + |G_y|, \tag{2.1}$$

dimana:

$|G|$ = Gradient.

$|G_x|$ = Gradient filter koordinat X.

$|G_y|$ = Gradient filter koordinat Y.

	2	4	5	4	2
	4	9	12	9	4
$\frac{1}{115}$	5	12	15	12	5
	4	9	12	9	4
	2	4	5	4	2

Gambar 2.1 Contoh *Gaussian Filter Noise*

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

G_x

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

G_y

Gambar 2.2 Contoh *Gaussian Filter*

- Setelah *gradient* koordiant *X* dan *Y* diketahui selanjutnya cari *edgenya*. Kita akan menemukan nilai *error* ketika *sumX* sama dengan 0, bila *gradient* koordinat *X* sama dengan 0 maka, arah dari *edge* sama dengan 90 derajat atau 0 derajat, tergantung juga dengan nilai koordiant *gradient Y*. Jika *G_y* mempunyai nilai 0, maka arah *edge* sama dengan 0 derajat. Dan sebaliknya bila arah *edge* sama dengan 90 derajat. Berikut Persamaan 2.2 untuk mencari arah *edge* adalah:

$$Theta = \text{invtan} (G_y / G_x), \tag{2.2}$$

dimana:

G_y = Gradient *Y*.

G_x = Gradient *X*.

- Setelah arah dari *edge* diketahui, langkah selanjutnya adalah menghubungkan arah dar *edge* ke arah **a** yang akan di-*traced* pada citra. Jadi jika piksel **a** berada pada citra berukuran 5x5 seperti pada Gambar 2.3.

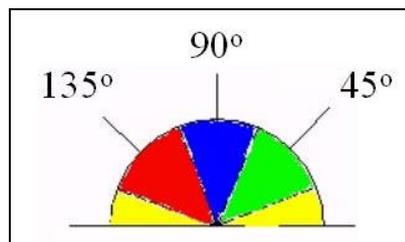
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X
X	X	a	X	X
X	X	X	X	X
X	X	X	X	X

Gambar 2.3 Proses Menghubungkan Edge Kearah **a**

- Bisa dilihat posisi dari piksel **a** pada Gambar 2.3 hanya ada lima kemungkinan arah yang mengelilinginya, 0 derajat (*horizontal direction*), 45 derajat (*along the positive diagonal*), 90 derajat (*vertical direction*) atau 135 derajat (*along the negative diagonal*). Jadi orientasi dari *edge* sekarang adalah untuk menciptakan 1 *edge* dari 5 arah yang sudah ada, tergantung arah mana yang

paling mendekati (jika ditemukan sudut 3 derajat maka set dengan 0 derajat). Gambar 2.4 setengah lingkaran yang dibagi dengan 5 daerah.

Untuk itu, tiap arah dari *edge* yang berada pada daerah *yellow range* (0 derajat - 22.5 derajat dan 157.5 derajat - 180 derajat) diset dengan 0 derajat, *green range* (22.5 derajat - 67.5 derajat) diset dengan 45 derajat, *blue range* (67.5 derajat - 112.5 derajat) diset dengan 90 derajat. Dan yang terakhir berada pada daerah *red range* (112.5 derajat - 157.5 derajat) diset 135 derajat.



Gambar 2.4 Arah Setengah lingkaran

- Setelah arah dari *edge* diketahui selanjutnya implementasikan *nonmaximum suppression*. *Nonmaximum Suppression* digunakan untuk men-*trace* arah dari *edge* dan menghapus nilai piksel (sama dengan 0) karena dianggap bukan sebagai *edge*.

Yang terakhir *Hysteresis* digunakan untuk menghilangkan *streaking*. *Streaking* adalah bentuk *edge* yang terputus disebabkan oleh nilai operator output yang naik turun diatas dan dibawah *threshold*. Jika hanya satu *threshold* maka, T_1 digunakan untuk citra dan *edge* adalah nilai *strength* rata-rata sama dengan T_1 , kemudian bersihkan *noise*, itu merupakan contoh bila nilai *edge* turun dibawah *threshold*. Kemudian tiap piksel yang terhubung dengan *edge* piksel dan mempunyai nilai lebih besar dari T_2 maka, anggap sebagai *edge* piksel.

2.2 Operasi Morfologi pada Citra

Dalam teknik pencitraan, morfologi digunakan untuk mendapatkan komponen citra seperti tepi *skeleton*, dan *convex hull*. Konsep yang digunakan dalam operasi morfologi merupakan konsep himpunan. Di dalam operasi morfologi dikenal istilah struktur elemen. Struktur elemen yang digunakan dalam

suatu operasi morfologi berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan. (J.E. Arcod, 2014).

Struktur elemen berbentuk *disk*, cakram, dan *diamond*, selain itu masih banyak struktur elemen yang lain. Seorang pengguna bisa membuat suatu struktur elemen sendiri untuk suatu operasi morfologi.

Contoh Operasi Morfologi:

1. Dilasi dan Erosi

Dilasi dan erosi merupakan operasi yang sangat dasar pada proses morfologi. Beberapa algoritma morfologi lain berbasis pada kedua operasi morfologi ini.

2. Dilasi

Misal A dan B adalah himpunan pada ruang Z_2 , operasi dilasi A oleh struktur elemen B dilambangkan dengan $A \oplus B$ seperti Persamaan 2.4 yang artinya adalah:

$$A \oplus B = \{z | (B)_z \cap A \neq \emptyset\}, \quad (2.3)$$

dimana z adalah titik pusat dari B . Selama $(B)_z$ beririsan dengan A maka B akan menumpuki A . Citra hasil dilasi biasanya lebih besar dari pada citra asli.

3. Erosi

Misal A dan B adalah himpunan pada ruang Z_2 , operasi erosi A oleh struktur elemen B dilambangkan dengan $A \ominus B$ seperti Persamaan 2.4 yang artinya adalah:

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \cap A \neq \emptyset\}. \quad (2.4)$$

Jadi erosi dari A oleh B merupakan himpunan semua titik z dimana B merupakan himpunan bagian dari A . Pada operasi erosi, jika $(B)_z$ tidak beririsan dengan A maka bagian A yang ditumpuki B akan dihapus. Citra hasil erosi lebih kecil dari pada citra asli.

2.3 Transformasi Hough

Transformasi Hough (TH) merupakan teknik pengalokasian bentuk-bentuk dalam gambar (Shengzhi Du, 2012). Secara khusus, transformasi ini digunakan

untuk ekstraksi garis, lingkaran, dan elips. Untuk ekstraksi garis, definisi matematisnya ekuivalen dengan transformasi Radon. TH diperkenalkan oleh Hough dan kemudian digunakan untuk menemukan *bubble tracks*. Namun Rosenfeld memperkenalkan kemampuan potensialnya untuk mengolah citra digital. TH kemudian diimplementasikan untuk menemukan garis-garis dalam gambar (Duda, 1972) dan kemudian meluas, karena transformasi ini memiliki banyak kelebihan dan banyak potensi untuk pengembangan lebih lanjut. Kelebihan utamanya yaitu dapat memberikan hasil yang sama dalam pencocokan pola, tetapi lebih cepat. Beberapa kelemahan mendasar dari *hough transform* yaitu

- a. Semua piksel dipetakan, dan setiap bin di dalam grid memerlukan sebuah akumulator. Jika terdapat d parameter yang masing-masing direpresentasikan oleh M bin atau *grid point*, maka diperlukan M^d akumulator.
- b. Untuk mengurangi biaya komputasi, resolusi kuantisasi tidak boleh tinggi, dimana akan mengaburkan puncak dan akan menyebabkan akurasi deteksi rendah.
- c. Setiap piksel mengaktifasi setiap akumulator yang terletak di dalam sebuah garis, tetapi hanya ada satu yang merepresentasikan hasil yang benar sedangkan lainnya adalah pengganggu
- d. Jika *grid window* di tetapkan secara tidak tepat, sebagian objek bila terletak di luar *window* dan mengakibatkan tidak bisa dideteksi.
- e. Piksel pengganggu atau *noise* dapat menyebabkan banyak akumulasi interferensi.

Implementasi TH menjelaskan sebuah pemetaan dari titik-titik gambar menuju sebuah ruang akumulator (ruang *hough*). Pemetaan tersebut diperoleh dalam bentuk yang efisien secara matematis, berdasarkan fungsi yang menjelaskan kondisi dari target. Pemetaan ini membutuhkan jauh lebih sedikit sumber perhitungan matematis dibandingkan dengan pencocokan pola. Bagaimanapun, TH membutuhkan penyimpanan signifikan dan perhitungan matematis tingkat tinggi. Masalah-masalah ini diselesaikan kemudian, karena

mereka memfokuskan untuk pengembangan TH secara kontinu. Bagaimanapun, fakta bahwa TH ekuivalen dengan pencocokan pola telah menjadikannya salah satu dari teknik-teknik ekstraksi bentuk yang terpopuler yang ada.

Dalam parameter kartesius, titik-titik kolinier dalam sebuah gambar dengan koordinat (x, y) dihubungkan dengan kemiringan m dan konstanta c sebagai berikut:

$$y = mx + c \quad (2.5)$$

Persamaan ini juga dapat dituliskan dalam bentuk:

$$Ay - Bx - 1 = 0 \quad (2.6)$$

Dimana $A = -\frac{1}{c}$ dan $B = \frac{m}{c}$. Dengan demikian, sebuah garis didefinisikan dengan memberikan sepasang nilai (A, B) . Kita juga dapat mengamati sebuah simetri dalam definisi pada Persamaan 2.6. Persamaan ini simetris karena sepasang koordinat (x, y) juga mendefinisikan sebuah garis dalam ruang yang sama dengan parameter (A, B) . Persamaan 2.5 dan 2.6 dapat dilihat sebagai Persamaan sebuah garis untuk koordinat tetap (x, y) atau sebagai Persamaan sebuah garis untuk parameter tetap (A, B) . dengan demikian, keduanya dapat digunakan untuk mendefinisikan titik-titik dan garis-garis secara simultan. TH mengumpulkan keterangan dari titik (A, B) dengan mempertimbangkan bahwa semua titik-titik (x, y) mendefinisikan semua garis yang sama dalam ruang (A, B) tersebut. Di mana, jika himpunan titik-titik kolinier $\{(x_i, y_i)\}$ mendefinisikan garis (A, B) , maka

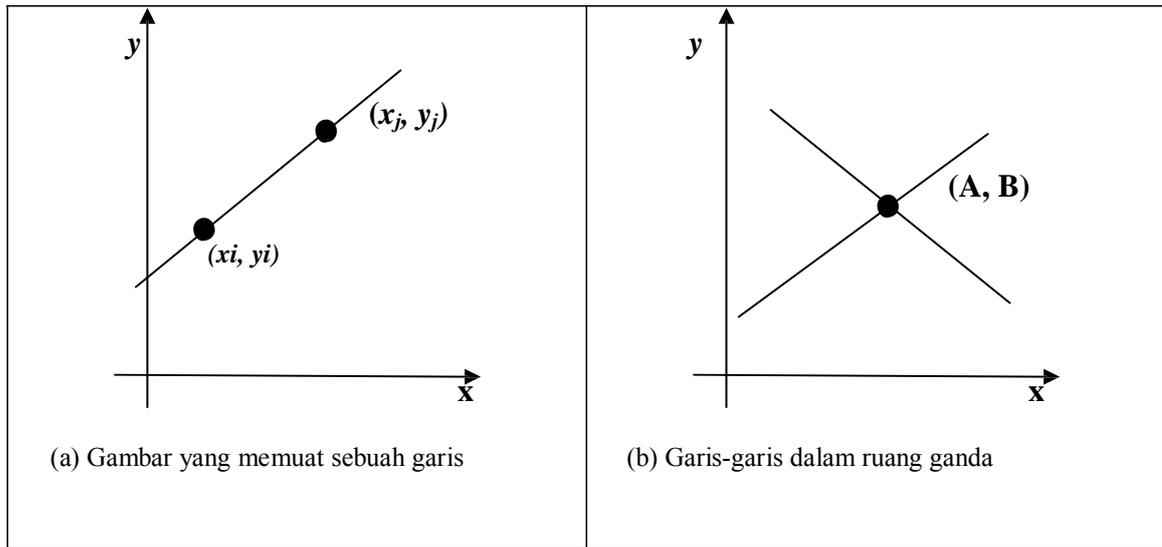
$$Ay_i - Bx_i - 1 = 0 \quad (2.7)$$

Persamaan ini dapat dilihat sebagai sebuah sistem dan dapat dituliskan secara sederhana dalam parameter kartesius sebagai

$$c = -x_i m - y_i \quad (2.8)$$

Maka untuk menemukan garisnya kita harus menemukan nilai-nilai dari parameter (m, c) (atau (A, B) dalam bentuk yang homogen) yang memenuhi Persamaan 2.8 (atau 2.3). Hubungan antara sebuah titik (x_i, y_i) dalam sebuah gambar dan

garis dalam Persamaan 2.5 sampai 2.8 seperti yang terlihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5. Ilustrasi Transformasi *Hough* untuk garis

Poros dalam ruang ganda mewakili parameter-parameter dari garis. Dalam parameter kartesius m memiliki nilai yang tak terbatas, karena garis dapat terbentuk vertikal maupun horizontal. Karena pemilihan dilakukan dalam himpunan diskrit, maka hal ini dapat mengakibatkan *bias errors*. Batas pemilihan dapat ditentukan dalam ruang akumulator yang melingkupi semua kemungkinan nilai. Hal ini berhubungan dengan teknik anti penggandaan dan dapat mengembangkan strategi pengumpulan informasi.

Perlu diperhatikan bahwa Persamaan 2.8 tidak cocok untuk implementasi karena parameter-parameternya memiliki nilai tak terbatas. Untuk mengatasi ketidakterbatasan nilai c , kita menggunakan 2 himpunan (*array*). Saat nilai gradien m berkisar di antara -45^0 dan 45^0 , maka nilai c tidak terlalu luas. Untuk nilai m di luar kisaran tersebut nilai c menjadi sangat luas. Oleh karena itu, dipertimbangkan sebuah akumulator untuk setiap kasus. Dalam kasus yang kedua, digunakan sebuah himpunan yang menyimpan nilai konstanta tersebut dengan sumbu x .

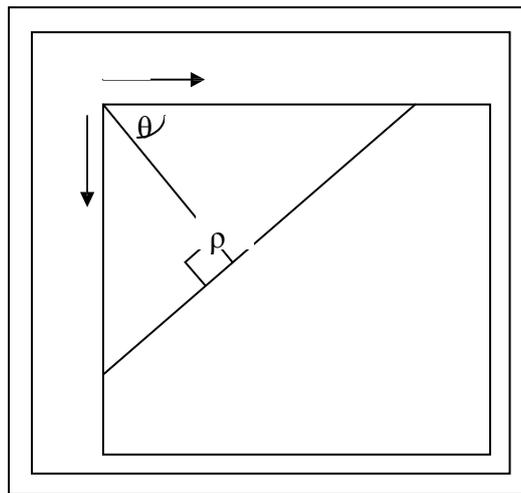
Kita dapat melihat bahwa TH memberikan respon yang tepat. Namun, tidak linear dan diskritnya nilai parameter menghasilkan akumulator-akumulator yang tidak jernih. Masalah utama dalam implementasi TH dasar untuk garis

adalah definisi ruang akumulator yang sesuai.

Satu cara untuk mengatasi masalah penggunaan parameter kartesius untuk TH yaitu dengan mendasarkan fungsi pemetaan pada parameter alternatif. Teknik yang paling terbukti ketepatannya dikenal dengan *foot-of-normal parameterisation*. Teknik ini memformulasikan sebuah garis dengan menentukan titik (x, y) sebagai fungsi dari sebuah sudut normal terhadap garis, melewati daerah dari gambar. Ini memberikan bentuk dari TH untuk garis yang dikenal dengan *polar Hough transform for lines*, dimana garis ini berpotongan dengan garis pada gambar diberikan sebagai

$$\rho = x \cos \theta \quad (2.9)$$

Di mana θ adalah sudut yang dibentuk oleh garis normal dengan garis pada gambar dan ρ adalah jarak antara daerah dan titik di mana garis-garis tersebut berpotongan.



Gambar 2.6. Penentuan polar sebuah garis

Dengan mengetahui bahwa 2 buah garis dinyatakan tegak lurus jika hasil kali dari kemiringannya adalah -1, dan mempertimbangkan bentuk bangun pada gambar di atas, maka didapatkan

$$c = \frac{\rho}{\sin \theta}, m = \frac{1}{\tan \theta} \quad (2.10)$$

Dengan substitusi pada Persamaan 2.3 diperoleh bentuk polar pada Persamaan 2.9. Hal ini memberikan fungsi pemetaan yang berbeda dalam bentuk sinusoidal. Rentang dari ρ adalah 1800; nilai-nilai kemungkinan ρ tergantung pada ukuran dari gambar, karena panjang maksimal sebuah garis adalah $\sqrt{2xN}$, di mana N adalah luas permukaan gambar. Rentang nilai-nilainya sekarang telah ditentukan, sehingga teknik ini sekarang dapat digunakan.

Himpunan akumulatornya merupakan himpunan nilai θ dari 0° sampai 180° , dan untuk ρ dari 0 sampai $\sqrt{N^2 \times M^2}$, di mana $N \times M$ adalah ukuran gambar. Kemudian, untuk titik-titik yang bernilai lebih besar dari rentang yang telah ditentukan, sudut yang berhubungan dengan himpunan akumulator akan dievaluasi (sebagai radian dengan rentang 0 sampai π) dan kemudian nilai dari ρ dievaluasi dari Persamaan 2.10 dan sel akumulator yang sesuai ditambahkan menurut parameter yang masih berada dalam rentang yang ditentukan.

2.4 Transformasi Hough Butterflies

Berdasarkan hasil diskretisasi ruang HT resolusi $\Delta\rho$ dan $\Delta\theta$, dengan fitur titik (x, y) untuk setiap sel yang terletak pada kurva. Setelah proses *vote*, posisi sel menerima suara terbanyak yaitu puncak dianggap sebagai (θ, ρ) , yang merupakan nilai-nilai *segment*. Proses *vote* ini sangatlah penting guna memilih puncak kurva yang sangat menentukan garis yang akan dikenali. Tentunya hal ini akan mengalami kesulitan apabila kualitas gambar tidak sempurna, seperti mengandung *noise* dan objek yang masih bercampur dengan *background*. Proses penentuan puncak memiliki kompleksitas perhitungan yang tinggi dengan membutuhkan waktu komputasi dan *memory* yang besar (Song J, 2005). Penelitian (Shengzhi Du, 2012) mengusulkan metode transformasi Hough Butterflies dengan memperhatikan parameter hasil segmentasi dalam proses deteksi garis lurus. Pada penelitian ini berhasil mengatasi permasalahan pada hasil segmentasi pada kolinear garis lurus. Dengan memperhatikan parameter hasil segmentasi seperti posisi, *slope*, lebar, panjang, *continuitas*, dan keseragaman garis pada *multiple line segment*. Alur algoritma pemilihan *peak* segmentasi dari *HT Array* dijelaskan pada Algoritma 2.1.

Require : H {HT array},
 $(\Delta\theta, \Delta\rho)$, P_{Th} (threshold peak), θ_{Th} (lebar butterfly)
Ensure : $\theta_0, \rho_0, \omega, l, (x_c, y_c)$ {parameter segment}
Pencarian HT peak $C(\theta_0, \rho_0)$

While $C(\theta_0, \rho_0) > P_{Th}$ **do**
Sub-HT space H' dengan metode *windowing*
 (θ_0, ρ_0)
For $i=1$ to θ_{Th} **do**
 $\delta 0 = i * \pi / 180^\circ$
If $|\theta_0| > 45^\circ$ **then**
 $\delta_{\delta 0}^0 = \Delta\rho \cos \theta_0 / \sin \delta 0$
Else
 $\delta_{\delta 0}^0 = \Delta\rho \sin \theta_0 / \sin \delta 0$
End if
 $(\omega_{\delta 0}, \delta_{\delta 0}, \rho_c)$
 $l(i) = \omega_{\delta 0} \Delta\rho / \sin(\delta 0)$
 $\omega(i) = \delta 0 / \delta_{\delta 0}^0$
 $x_c(i) = (\rho_c \sin \theta_0 - \rho_0 \sin(\theta_0 - \delta 0)) / \sin(\delta 0)$
 $y_c(i) = (x_c(i) \cos \theta_0 - \rho_0) / \sin \theta_0$
End for
End while

Algoritma 2.1 Segmentasi HT array

2.5 Template Matching

Pada dasarnya Template Matching adalah proses yang sederhana. Suatu citra masukan yang mengandung *template* tertentu dibandingkan dengan *template* pada basis data. *Template* ditempatkan pada pusat bagian citra yang akan dibandingkan dan dihitung seberapa banyak titik yang paling sesuai dengan *Template*. Langkah ini diulangi terhadap keseluruhan citra masukan yang akan dibandingkan. Nilai kesesuaian titik yang paling besar antara citra masukan dan citra *Template* menandakan bahwa *template* tersebut merupakan citra *template* yang paling sesuai dengan citra masukan (Michael Ryan, 2015)

Metode Template Matching merupakan salah satu metode yang cukup populer digunakan dalam permasalahan pencocokan pola pada pengolahan citra

digital. Banyak peneliti yang telah menerapkan implementasi Template Matching ini untuk berbagai aplikasi di masyarakat. Salah satu penelitian yang pernah dilakukan adalah penerapan metode Template Matching untuk pendeteksian plat nomor kendaraan (Tran Duc Duan, 2014) Alur kerja algoritma *Template Maching* adalah *Template* diposisikan pada citra yang akan dibandingkan dan dihitung derajat kesesuaian pola pada citra masukan dengan pola pada citra *template*. Tingkat kesesuaian antara citra masukan dan citra *template* bisa dihitung berdasarkan nilai *error* terkecil dengan menggunakan Persamaan.

$$\min e = \sum_{(x,y) \in w} (I_{x,y} - T_{x,y})^2 \quad (2.11)$$

I adalah pola pixel citra masukan yang akan dibandingkan. T adalah pola pixel citra *template*. *Template* dengan nilai *error* paling kecil adalah *template* yang paling sesuai dengan citra masukan yang akan dibandingkan. Citra masukan dihitung berdasarkan banyaknya titik yang sesuai dengan citra *template*.

Pixel citra biner ditelusuri mulai dari kiri atas hingga ke kanan bawah. Citra biner dengan pixel berwarna hitam akan direpresentasikan dengan nilai 1. Sedangkan pixel citra yang berwarna putih akan direpresentasikan dengan nilai 0. Gambar 2.7 adalah gambar yang mengilustrasikan angka 1 dan 0 yang mewakili nilai pixel citra.

0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0	0	1	1	0
0	1	1	1	0	0	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0

Gambar 2.7 Citra Hitam Putih dengan Nilai Pixel 1 dan 0

Deretan angka biner pada citra masukan akan dihitung dengan deretan angka biner pada citra *template*. *Template* dengan nilai *error* terkecil merupakan *template* citra yang paling sesuai dengan citra masukan.

Contoh berikut ini adalah penerapan pengenalan karakter dengan menggunakan metode Template Matching yang menggunakan Persamaan 2.11. Tabel 2.1 adalah tabel contoh deretan angka biner citra karakter *template*

Tabel 2.1 Contoh deretan angka biner citra karakter *template*

Karakter	Deretan Angka Biner Citra <i>Template</i>
0	0 0 1 1 1 0 0 0 0
1	1 1 1 0 0 0 1 1 0
2	1 0 1 0 0 0 1 1 1

Deretan berikut ini adalah angka biner citra karakter masukan.

0 0 0 1 0 1 0 1 0

Tabel 2.2 Contoh perhitungan *error* citra karakter masukan

Karakter	Perhitungan Nilai <i>Error</i>
0	$(0-0)^2 + (0-0)^2 + (0-1)^2 + (1-1)^2 + (0-1)^2 + (1-0)^2 + (0-0)^2 + (1-0)^2 + (0-0)^2 = 4$
1	$(0-1)^2 + (0-1)^2 + (0-1)^2 + (1-0)^2 + (0-0)^2 + (1-0)^2 + (0-1)^2 + (1-1)^2 + (0-0)^2 = 6$
2	$(0-1)^2 + (0-0)^2 + (0-1)^2 + (1-0)^2 + (0-0)^2 + (1-0)^2 + (0-1)^2 + (1-1)^2 + (0-1)^2 = 6$

Jika nilai *error* masing-masing *Template* sudah diketahui, maka cari nilai *error* terkecil. Nilai *error* terkecil adalah *Template* yang paling sesuai dengan karakter. Nilai terkecil dari hasil perhitungan pada tabel 2 adalah 4. Maka citra *Template* yang paling sesuai dengan citra masukan adalah citra karakter 0.

2.6 Template Matching Correlation

Template Matching Correlation merupakan metode pencocokan setiap piksel pada suatu matriks citra digital dengan citra yang menjadi acuan untuk menguji kemiripan sebuah data dengan yang lain. Metode ini lebih baik

dibandingkan dengan metode Template Matching biasa (Rezki Trianto, 2012). Pencocokan citra yang menghasilkan tingkat kemiripan / kesamaan yang tinggi menentukan suatu citra tersebut dikenali sebagai salah satu dari citra *Template*. Data inputan dan *Template* gambar, nantinya akan menghasilkan data berupa matriks. Dan akan dicari nilai kesamaan antar dua buah matriks tersebut dengan menghitung nilai korelasinya. Nilai korelasi dua buah matriks didapatkan dengan menggunakan rumus korelasi seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.12 sedangkan Nilai \bar{x}_i dan \bar{x}_j dirumuskan dengan Persamaan 2.13 (Gyeongdong Baek, 2009)

$$r = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i) \cdot (x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{l=1}^n (x_{il} - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{k=1}^n (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (2.12)$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik}, \quad \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{jk} \quad (2.13)$$

Keterangan :

- r adalah nilai korelasi antara dua buah matriks (rentang nilai antara -1 dan +1)
- x_{ij} adalah nilai piksel ke-k dalam matriks i
- x_{jk} adalah nilai piksel ke-k dalam matriks j
- \bar{x}_i adalah rata-rata nilai piksel matriks i
- \bar{x}_j adalah rata-rata nilai piksel matriks j

Hasil dari proses ini sangat menentukan klasifikasi citra yang akan diuji. Dari semua nilai korelasi yang telah dihitung, diambil yang memiliki nilai korelasi tertinggi karena semakin besar nilai korelasi, maka semakin besar pula kemiripan citra inputan dengan *template* citra yang bersangkutan.

2.7 Pembuatan Model *Template*

Pembuatan model template sangat signifikan dan penting dalam proses pengenalan menggunakan metode Template Matching. Hal ini dikarenakan Template Matching adalah sebuah teknik dalam pengolahan citra digital untuk

menemukan bagian-bagian kecil dari citra yang cocok dengan *template* yang telah didefinisikan sebelumnya (Anil K. Jain, 1996).

Metode *template matching* memiliki kekurangan terhadap citra yang memiliki banyak *noise* serta iluminasi. Hal ini dikarenakan hasil dari proses pengenalan karakter sangat bergantung dari kualitas hasil segmentasi citra. Tujuan dari pembuatan *template* ini adalah menghasilkan *template* yang mampu mengatasi terhadap segala bentuk *noise*, iluminasi dan ketidakmampuan untuk menangani karakter jika diputar dengan posisi citra yang tidak horizontal.

Pada penelitian (Shreeja Chakraborty, 2015) tentang teknik untuk memperbaiki hasil dari pengenalan plat nomor kendaraan, dalam pembuatan *template* melalui 4 tahapan yaitu *preprocessing*, *training*, *testing* dan *classification*. Hasil percobaannya ditunjukkan pada tabel 2.3 bahwa hasil terbaik pembuatan *template* menggunakan lebih dari 1 model *template* hasil dari proses segmentasi pada pengenalan karakter yang benar.

Tabel 2.3 Hasil Analisa Pembuatan *Template*

Model <i>Template</i>	Hasil Pengenalan
Template pada penelitian (Ronak, 2013) (Rajesh, 2010) (Renuka, 2011)	23.33%
Template dengan 1 model pada tiap karakter	77.77%
Template dengan 3 model pada tiap karakter sebelum hasil <i>recognition</i>	90%
Template dengan 3 model pada tiap karakter setelah hasil <i>recognition</i>	100%

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

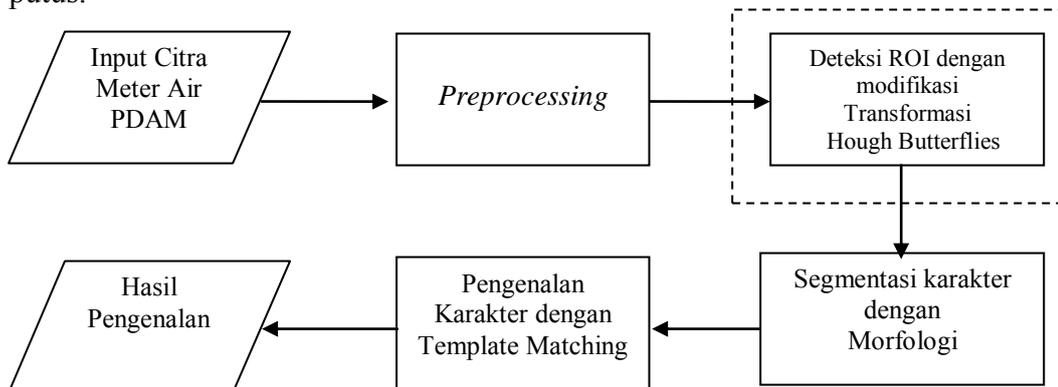
BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan diberikan beberapa penjelasan mengenai metodologi penelitian untuk merancang metode baru untuk mendeteksi ROI menggunakan modifikasi Transformasi Hough Butterflies pada proses pengenalan meter air PDAM.

3.1 Rancangan Sistem

Gambaran sistem yang dibangun mengenai algoritma Transformasi *Hough* yang digunakan untuk mendeteksi *Region of Interest* (ROI) citra meter air PDAM. Gambar 3.1 menjelaskan diagram blok sistem yang akan dibangun, sedangkan kontribusi penelitian ini terdapat pada bagian yang ditandai dengan garis putus-putus.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Input citra meter air PDAM yang berupa RGB, selanjutnya dilakukan *preprocessing* dengan proses awal merubah citra ke bentuk *grayscale* kemudian dilakukan penajaman warna untuk menghasilkan detail yang jelas dari area meter air yang selanjutnya diproses dengan menggunakan modifikasi Transformasi *Hough* untuk mendapatkan fitur garis. Pada tahap ini akan menghilangkan redundansi garis dari hasil pengenalan garis yang tidak sempurna, lalu garis tersebut akan diperpanjang untuk mendapatkan titik perpotongan garis yang merupakan area *Region of Interest* (ROI). Hasil dari *Cropping* ROI disegmentasi

dengan metode morfologi untuk selanjutnya diproses pada tahap pengenalan karakter menggunakan Template Matching Correlation.

3.2 Input Citra

Pada penelitian ini, data yang digunakan sebanyak 200 citra meter air PDAM Kabupaten Pasuruan. Citra ini merupakan hasil foto dari petugas pembacaan meter air dengan menggunakan kamera *smartphone* dengan resolusi 800x600 pixel.

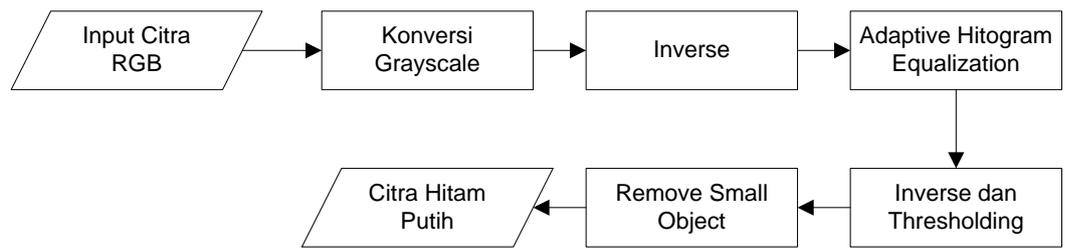
Data citra ini diperoleh dengan mengambil (*grab*) citra pada server *Water Meter Reading* PDAM Kabupaten Pasuruan pada periode bulan januari 2016 sampai bulan maret 2016. Gambar 3.2 merupakan contoh dari citra hasil pembacaan petugas, dengan berbagai bentuk kemiringan citra meter air.



Gambar 3.2 Contoh dataset citra meter air PDAM

3.3 Preprocessing

Input citra meter air PDAM seringkali mengalami penurunan mutu seperti kabur (*blurring*), mengandung *noise*, objek angka pada meter air yang bercampur dengan *background*, serta posisi meteran air yang miring. Oleh karena itu perlu dilakukan *preprocessing* agar citra mudah untuk diinterpretasi. Tahapan proses *preprocessing* citra meter air sebagai berikut. Citra awal berbentuk RGB, untuk meningkatkan kontras pada citra dengan menggunakan *adaptive histogram equalisation*. Hasilnya berupa nilai citra dengan nilai kecerahan maksimum baru yang lebih tinggi dari nilai maksimum awal, dan nilai minimum baru yang (pada umumnya) lebih rendah dari nilai minimum awal.



Gambar 3.3 Proses *preprocessing*

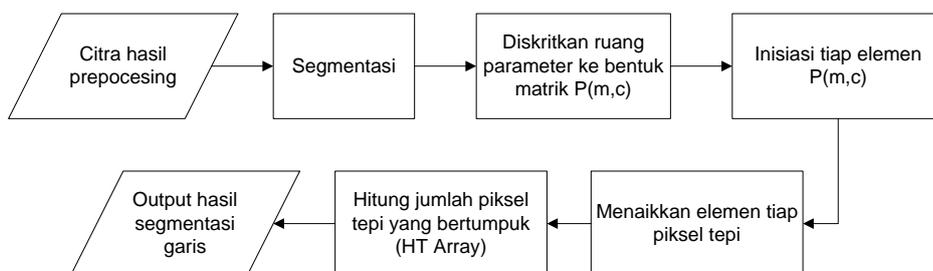
Hasil dari penajaman kontras lalu kemudian dilakukan proses *inverse* citra dan *thresholding* dengan metode *otsu thresholding*. Kemudian untuk mendapatkan hasil yang baik perlu menghilangkan area yang dapat mengganggu dengan menghilangkan objek dengan luasan tertentu seperti yang terlihat pada Gambar 3.3.

3.4 Deteksi Region of Interest (ROI) Meter Air

Tahapan ini adalah salah satu tahapan yang signifikan pada proses pengenalan meter air PDAM yaitu deteksi ROI dengan modifikasi transformasi *hough butterflies* yang memiliki 3 bagian penting yaitu deteksi garis awal dengan transformasi *Hough*, pemilihan kolinear garis hasil segmentasi dan penentuan titik sudut ROI.

3.4.1 Deteksi Garis Awal dengan Transformasi *Hough*

Penelitian ini menggunakan transformasi *hough* untuk mendeteksi area angka pada meter air yang merupakan *Region of Interest (ROI)* pada proses pengenalan karakter meter air PDAM. Area angka pada meter air yang berbentuk persegi panjang diharapkan akan terdeteksi dengan garis lurus hasil dari Transformasi *Hough*.



Gambar 3.4 Alur Deteksi Garis dengan Transformasi *Hough*

Proses kerja transformasi *Hough* seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Prosedur mendeteksi garis lurus area angka pada meter air adalah sebagai berikut :

1. Hasil *preprocessing* citra kemudian dilakukan segmentasi dengan konversi citra hitam putih dilanjutkan dengan deteksi tepi *canny*.
2. Dari citra hasil segmentasi, ruang parameter didiskritkan sebagai matriks $P(m, c)$, yang di dalam hal ini $m_1 \leq m \leq m_k$ dan $c_1 \leq c \leq c_L$. Untuk k adalah banyaknya m yang didapat, untuk l adalah banyaknya c yang didapatkan.
2. Tiap elemen pada ruang parameter diasumsikan sebagai akumulator. Inisialisasi setiap elemen $P(m, c)$ dengan 0.
3. Untuk setiap piksel tepi (x_i, y_i) – piksel tepi dicirikan mempunyai nilai intensitas putih (1) dalam skala (0 – 1) – hitung nilai $c = y_i - mx_i$. Untuk setiap nilai parameter m , $m_1 \leq m \leq m_k$, yang berkoresponden dengan nilai c , maka elemen matriks $P(m,c)$ yang bersesuaian dinaikkan satu :

$$P(m, c) = P(m, c) + 1 \quad (3.2)$$

Dengan kata lain, tambahkan satu suara pada ruang parameter m,c .

4. Ulangi langkah 3 sampai seluruh piksel di dalam citra tepi ditelusuri .
5. Pada akhir prosedur, tiap elemen matriks $P(m, c)$ menyatakan jumlah piksel tepi yang memenuhi Persamaan (3.1) yang terdapat dalam HT array matrik. Tentukan elemen matriks yang memiliki penumpukan suara cukup besar (yang nilainya di atas ambang tertentu). Misalkan tempat- tempat itu adalah $\{(m_1, c_1), (m_2, c_2), \dots, (m_k, c_k)\}$ Hal ini berarti terdapat k garis lurus yang terdeteksi pada citra.

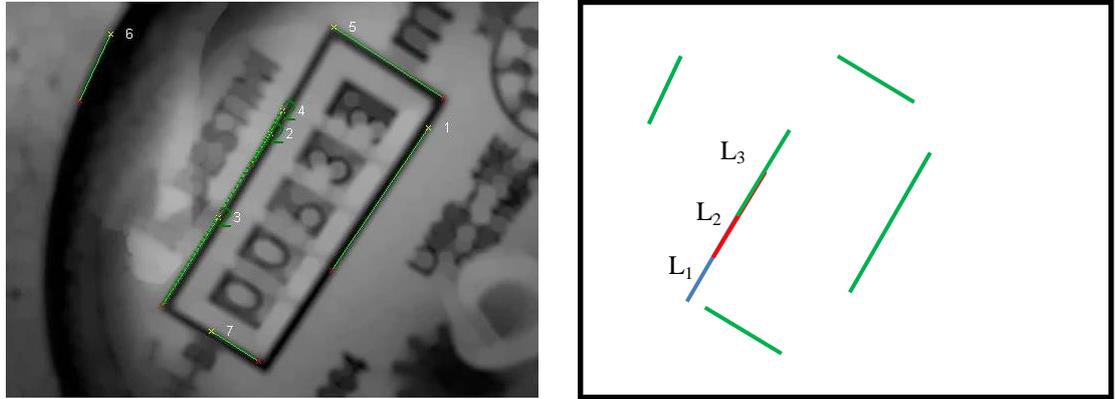
Tingkat ketelitian dari Transformasi *Hough* bergantung pada ukuran matriks $P(m,c)$, yaitu $K \times L$. Model parametrik pada persamaan $y = mx + c$ tidak dapat digunakan untuk mendeteksi garis vertikal atau hampir vertikal. Hal ini dikarenakan gradiennya (m) menuju nilai tak terhingga. Kerena itu garis dinyatakan dalam representasi polar :

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3.3)$$

3.4.2 Pemilihan Kolinear Garis dengan Transformasi *Hough Butterflies*

Hasil dari segmentasi garis lurus dengan menggunakan *Transformasi Hough* (TH) tidak selalu memberikan hasil yang optimal.. Terkadang ditemukan

garis-garis yang kolinear yang tidak seragam, dengan panjang garis yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan Gambar 3.5, bahwa garis L₁, L₂, dan L₃ yang terdeteksi saling berdekatan yang mengakibatkan hasil segmentasi garis ini akan mengganggu

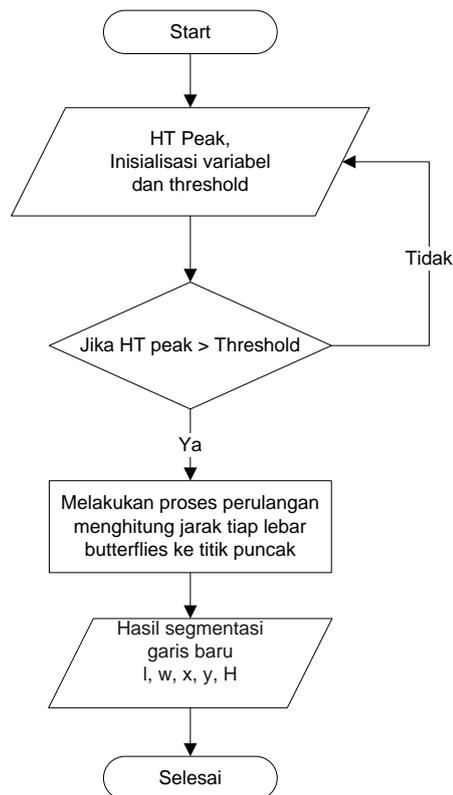


Gambar 3.5 Garis Kolinear Transformasi Hough

proses pemilihan area *Region of Interest* angka pada meter air. Algoritma transformasi Hough *butterflies* menggunakan beberapa parameter posisi, slope, lebar, panjang, kontinuitas, dan keseragaman garis pada *multiple line segment*. Pada penelitian ini mengambil beberapa parameter yaitu posisi serta keseragaman ρ dan θ agar proses komputasinya lebih efisien. Adapun proses untuk pemilihan garis yang terdeteksi kolinear, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.6. Tahapan pemilihan garis kolinear adalah sebagai berikut:

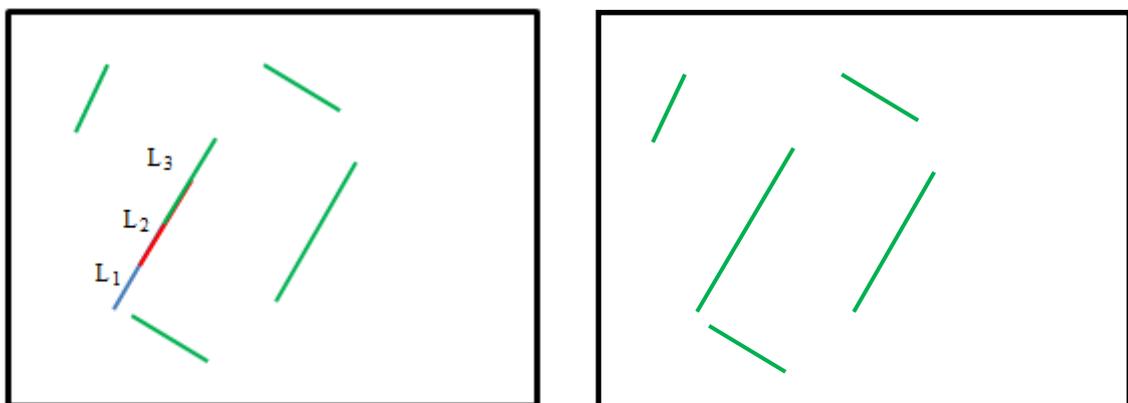
1. Inisialisasi HT array, $(\Delta\theta, \Delta\rho)$, P_{Th} (*threshold peak*), θ_{Th} (*lebar butterflies*) hasil dari segmentasi garis transformasi Hough dengan parameter θ_0 , ρ_0 , ω , l , (x_c, y_c) .
2. Pencarian HT *peak* $C(\theta_0, \rho_0)$, jika $C(\theta_0, \rho_0)$ lebih besar dari P_{Th} (*threshold peak*)
3. Melakukan perulangan, menghitung jarak tiap lebar dari *butterflies* ke titik puncak/peak (P) dengan perhitungan jika $|\theta_0|$ diatas 45° dengan rumus $\delta_{\delta_0}^0 = \Delta\rho \cos \theta_0 / \sin \delta_0$, apabila dibawahnya dengan $\delta_{\delta_0}^0 = \Delta\rho \sin \theta_0 / \sin \delta_0$
4. Kemudian menghitung nilai panjang (l), lebar (ω), titik x_c dan y_c , $C(\theta_0, \rho_0)$ yang baru dengan Persamaan 3.4.

$$\begin{aligned}
 l &= \omega_{\delta_0} \Delta\rho / \sin(\delta_0) \\
 \omega &= \delta_0 / \delta_{\delta_0}^0 \\
 x_c &= (\rho_c \sin \theta_0 - \rho_0 \sin(\theta_0 - \delta_0) / \sin(\delta_0)) \\
 y_c &= (x_c(i) \cos \theta_0 - \rho_0) / \sin \theta_0
 \end{aligned} \tag{3.4}$$



Gambar 3.6 Flowchart proses pemilihan garis kolinear

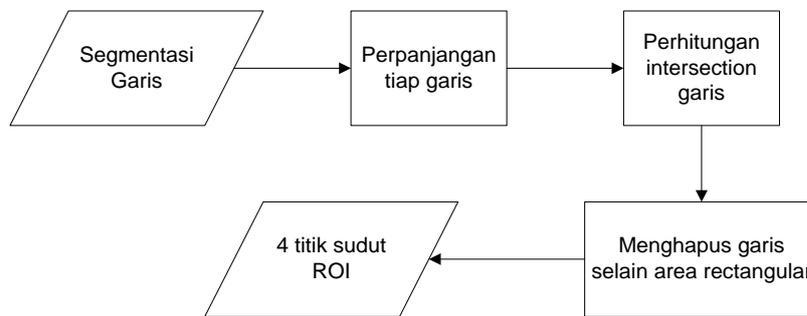
Setelah menemukan *peak* data TH akan mudah untuk menentukan *variable butterflies* dengan mengabaikan semua sel yang berada di bawah *threshol* puncak. Sebuah garis lurus yang mengandung beberapa segmen kolinear berarti terdapat jarak di antara segmen ini. Elemen *butterflies* dari segmen dipetakan ke beberapa *butterflies* kecil. Jumlah segmen collinear dapat diperoleh dengan menghitung jumlah *butterflies* kecil dengan puncak yang sama yang terlihat pada Gambar 3.7. Parameter dari setiap segmen dapat dideteksi menggunakan metode diatas.



Gambar 3.7 Hasil penentuan kolinear garis

3.4.3 Penentuan Titik Sudut ROI

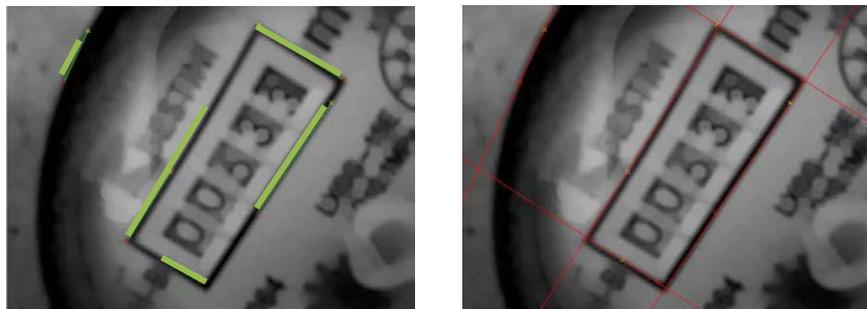
Menentukan *Region of Interest* (ROI) merupakan fase awal yang sangat menentukan dari proses pengenalan karakter angka pada meter air secara keseluruhan, kegagalan proses penentuan ROI menyebabkan sistem pengenalan tidak dapat memberikan hasil yang kita harapkan. Deteksi ini bertujuan untuk menentukan posisi angka pada meter air dengan menghilangkan *background* yang tidak signifikan serta merotasi hasil ROI menjadi horizontal, untuk proses pengenalan menggunakan metode *Template Matching Correlation*.



Gambar 3.8 Deteksi *Region of Interest*

Tahapan dalam proses deteksi ROI adalah sebagai berikut :

1. Hasil dari transformasi *Hough* setelah proses pemilihan *multiple* kolinear dengan panjang garis yang masih belum sempurna. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.9 dilakukan proses perpanjangan yang bertujuan untuk menentukan perpotongan garis sehingga dapat ditentukan tiap sudut tepi untuk penentuan ROI.

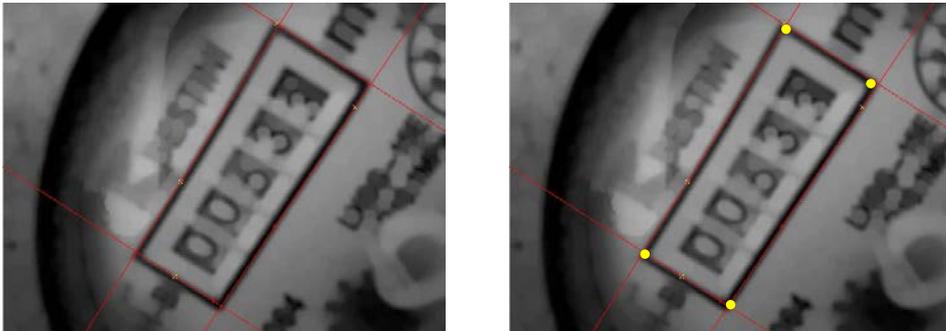


Gambar 3.9 Perpanjangan hasil segmentasi garis

2. Selanjutnya proses menentukan titik perpotongan garis $L_1(x_1, y_1)$ dan (x_2, y_2) , serta $L_2(x_3, y_3)$ dan (x_4, y_5) , ditunjukkan dengan Persamaan 3.5.

$$(P_x, P_y) = \left(\frac{(x_1 y_1 - y_1 x_2)(x_3 - x_4) - (x_1 - x_2)(x_3 y_4 - y_3 x_4)}{(x_1 - x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 - x_4)}, \frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 y_4 - y_3 x_4)}{(x_1 - x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 - x_4)} \right) \quad (3.5)$$

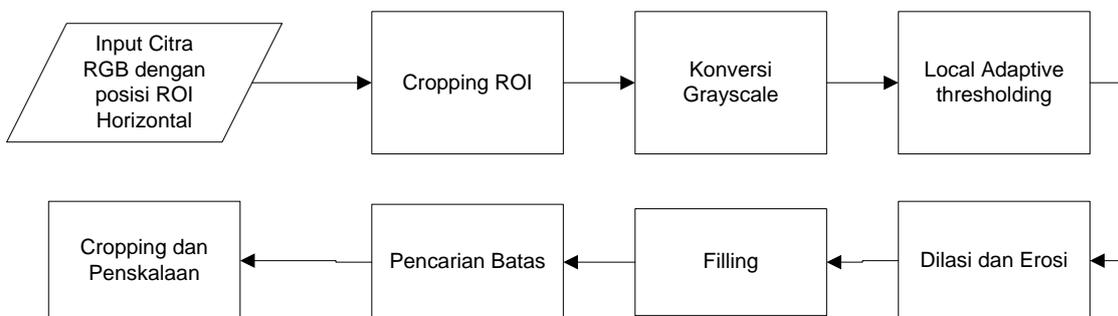
3. Perulangan dilakukan sebanyak garis yang ada dengan Persamaan 3.5. Pada tahap ini juga menghilangkan garis yang tidak termasuk area *rectangular* pada hasil deteksi sudut ROI dengan membandingkan 2 buah garis yang saling sejajar dengan minimal terdapat 2 buah titik perpotongan.
4. Dari 4 titik perpotongan yang ada maka, titik-titik tersebut merupakan sudut ROI meter air PDAM, seperti yang terlihat pada Gambar 3.10. Kemudian merotasi untuk proses selanjutnya. Rotasi ini berdasarkan sudut garis terpanjang.



Gambar 3.10 Hasil deteksi sudut ROI

3.5 Segmentasi Karakter Angka

Pada penelitian ini, tahapan segmentasi karakter adalah salah satu proses yang signifikan yang menentukan berhasil tidaknya proses pengenalan karakter, semakin jelas dan bagus hasil segmentasinya maka semakin tinggi tingkat akurasi dan begitu pula sebaliknya. Gambar 3.11 menjelaskan bagaimana alur pada proses segmentasi.



Gambar 3.11 Tahap Segmentasi karakter

Tahap proses segmentasi adalah sebagai berikut:

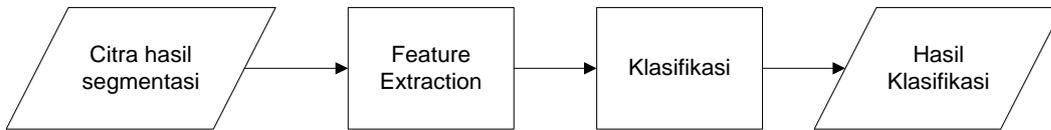
1. Input citra RGB akan dirotasi horizontal berdasarkan kemiringan sudut ROI. Kemudian dilakukan *cropping*.
2. Setelah *cropping* ROI dilanjutkan dengan proses *preprocessing* citra yang berbentuk RGB kemudian diubah ke bentuk *grayscale* (keabuan).
3. Dilakukan proses pengubahan citra menjadi hitam putih dengan local adaptive thresholding.
4. Proses operasi matematika morfologi selanjutnya adalah dilasi yang kemudian dilanjutkan dengan erosi.
5. Tahap berikutnya penggunaan operasi *filling* untuk mengisi objek yang kosong yang masih terbuka.
6. Seperti yang terlihat pada Gambar 3.12 Setelah karakter tersegmentasi, maka karakter akan dicari batas atas, bawah, kiri, dan kanannya. Pencarian batas digunakan untuk mengetahui resolusi karakter.
7. Batas-batas yang ada akan digunakan pada saat proses penskalaan pengambilan ciri-ciri karakter. Selanjutnya tahap penskalaan dilakukan jika karakter hasil segmentasi memiliki tinggi dan lebar lebih atau kurang dari resolusi citra *template*. Kemudian dilakukan proses pelabelan tiap karakter yang dikenali sebagai input pada proses pengenalan karakter dengan menggunakan Template Matching Correlation.



Gambar 3.12 Contoh Hasil Segmentasi

3.6 Template Matching Correlation

Pengenalan pola karakter angka pada meter air PDAM dengan menggunakan metode Template Matching Correlation. Gambar 3.13 menunjukkan tahapan pada proses Template Matching Correlation.



Gambar 3.13 Metode Template Matching Correlation

1. Feature Extraction

Proses ini untuk mendapatkan fitur atau ciri dari gambar yang nantinya akan dilakukan proses klasifikasi dengan menggunakan algoritma Template Matching Correlation. Kelas yang dilatih adalah 10 karakter yaitu 0,1,2,3,4,5,6,7,8, dan 9. Sedangkan fitur yang digunakan merupakan nilai masing-masing pixel pada citra yang digunakan sebagai data latihnya yang jumlah fiturnya disesuaikan dengan data citra *template*. Contoh data latih seperti yang ditunjukkan Gambar 3.14



Gambar 3.14 Contoh data latih tahap *feature extraction*

2. Klasifikasi

Proses klasifikasi menggunakan metode *Template Matcing Correlation*, algoritma yang sederhana untuk diterapkan pada pengenalan pola citra digital dan memiliki tingkat keakuratan yang tinggi. Proses Penentuan klasifikasi citra yang telah diuji dengan menggunakan algoritma *Template Matcing Correlation* dengan menggunakan persamaan korelasi sebagai berikut

$$r = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i) \cdot (x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{l=1}^n (x_{il} - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{k=1}^n (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (3.5)$$

Keterangan :

- r adalah nilai korelasi antara dua buah matriks (rentang nilai antara -1 dan +1)
- x_{ij} adalah nilai piksel ke- k dalam matriks i
- x_{jk} adalah nilai piksel ke- k dalam matriks j
- \bar{x}_i adalah rata-rata nilai piksel matriks i

- \bar{x}_j adalah rata-rata nilai piksel matriks j

Nilai korelasi antara dua buah matriks dengan rentang nilai antara -1 dan +1, semakin tinggi nilai r maka akan semakin sesuai dengan data latih.

3.7 Uji Coba

Uji coba yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari 2 skenario sebagai berikut:

1. Pada skenario pertama, parameter pengujian yang digunakan adalah *threshold peak*, panjang garis minimum, *threshold theta* dan *threshold rho*. Tujuan yang diharapkan adalah menemukan *threshold* yang optimal dalam penentuan hasil segmentasi garis.
2. Pada skenario kedua, parameter pengujian yang digunakan adalah ukuran template karakter dan jumlah model karakter untuk melihat performa hasil akurasi pengenalan karakter angka meter air PDAM.

Performa keberhasilan sistem yang diusulkan diukur berdasarkan:

- Presentase keberhasilan deteksi ROI

Presentase keberhasilan area ROI menggunakan Persamaan 2.6 dengan menggunakan *Sensitivity* dan *False Negatif Rate (FNR)* (Surya, 2008).

$$Sensitivity \% = \frac{TP}{TP + FN} * 100$$

$$FNR \% = \frac{FN}{TP + FN} * 100 \quad (3.6)$$

- Akurasi pengenalan karakter angka.

Nilai akurasi diperoleh menggunakan Persamaan 3.7, dengan menggunakan perbandingan jumlah hasil klasifikasi pengenalan yang benar terhadap jumlah keseluruhan dataset.

$$akurasi = \frac{Jumlah\ klasifikasi\ benar}{Jumlah\ dataset} * 100\% \quad (3.7)$$

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang hasil uji coba dari penelitian yang telah dilakukan. Berdasarkan dari hasil uji coba maka akan dilakukan proses analisis untuk mengetahui beberapa hal yang akan menjadi kesimpulan dari penelitian ini.

4.1 Lingkungan Uji Coba

Untuk uji coba pada penelitian ini, spesifikasi dari perangkat keras yang digunakan dalam implementasi perangkat lunak terdiri dari *prosesor Intel Core i3* 2.20 GHz, memori berkapasitas 4 GB dan kapasitas *harddisk* sebesar 320 GB. Sedangkan untuk spesifikasi perangkat lunak yang digunakan dalam implementasi perangkat lunak yakni Matlab R2013a.

4.2 Data Uji Coba

Pada penelitian ini, dataset uji coba yang digunakan sebanyak 70 citra meter air PDAM Kabupaten Pasuruan. Citra ini merupakan hasil foto dari petugas pembacaan meter air dengan menggunakan kamera *smartphone* dengan resolusi 800x600 pixel. Untuk keperluan uji coba digunakan 25 citra meter air PDAM dan 45 untuk tahap testing. Gambar 4.1 merupakan contoh dari citra hasil pembacaan petugas, dengan berbagai bentuk kemiringan citra meter air.



Gambar 4.1 Contoh data citra meter air pelanggan PDAM

4.3 Skenario Uji Coba

Pada tahap ini, akan dilakukan uji coba terhadap sistem yang telah dikerjakan. Tujuan dari uji coba ini adalah untuk mendapatkan akurasi terbaik dalam penentuan ROI meter air pelanggan dan hasil pengenalan angka yang optimal. Pengukuran kinerja dalam uji coba ini perhitungan akurasi pada area *Region of Interest* (ROI) citra meter air yang selanjutnya menjadi inputan pada proses pengenalan karakter menggunakan template matching correlation. Skenario pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian parameter pada modifikasi transformasi hough butterflies

Pada uji coba pertama, parameter pengujian yang digunakan adalah *threshold peak*, panjang garis minimum, *threshold theta* serta *threshold rho*. Tujuan yang diharapkan adalah menemukan *threshold* serta parameter yang optimal dalam penentuan hasil segmentasi garis.

2. Pengujian hasil pengenalan karakter

Selanjutnya uji coba kedua, parameter pengujian yang digunakan adalah ukuran karakter dan jumlah model yang dijadikan *template*. Untuk melihat hasil akurasi pengenalan karakter angka meter air PDAM digunakan 3 jenis percobaan yaitu , (a) model *template* Diego, yang terdiri dari 10 *template* ukuran 42x24. (b) model custom *template* ukuran 21x12. Sedangkan (c) model custom *template* dengan ukuran 42x24.

4.4 Hasil Uji Coba

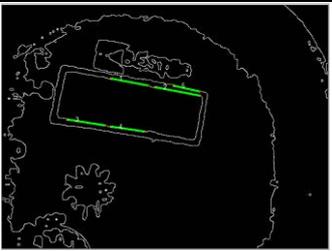
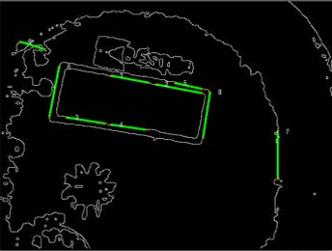
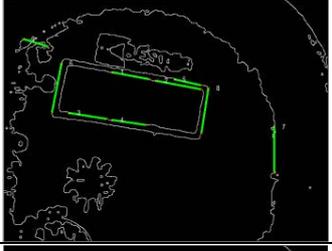
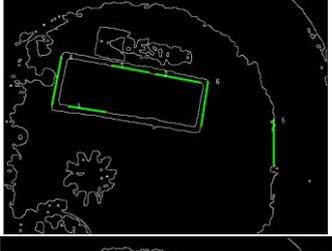
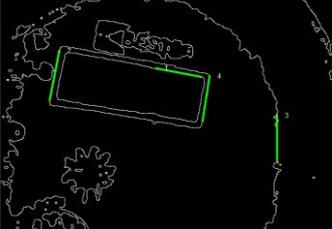
Pada sub bab ini akan ditunjukkan hasil uji coba yang sudah dilakukan dimulai dari *threshold peak*, panjang garis minimum, *threshold theta*, *threshold rho* serta ukuran *template* karakter.

4.4.1 Uji Coba Visual *Threshold Peak* dan Panjang Garis

Pada bagian ini dilakukan uji coba penentuan segmentasi garis hasil dari modifikasi hough transform butterflies. Citra yang digunakan sebagai input adalah citra awal yang berformat RGB kemudian dilakukan *preprocessing*. Tujuan dari uji coba ini adalah untuk menentukan garis yang paling sesuai untuk membatasi letak ROI pada citra meter air PDAM. Semakin sesuai banyaknya garis yang membentuk area ROI pada citra meter air maka akan semakin akurat hasilnya.

Pada uji coba ini seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dilakukan perbandingan secara visual hasil segmentasi garis dengan pemilihan berbagai nilai *threshold peak* dan panjang garis yang diujikan. *Threshold peak* merupakan nilai puncak minimal yang ditentukan dalam penentuan segmentasi garis berdasarkan nilai puncak tertinggi. Pemilihan segmentantasi garis terbaik adalah minimum satu garis terdeteksi di setiap sisi *Region of Interest*.

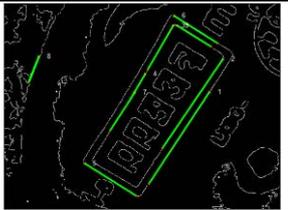
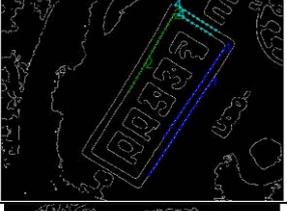
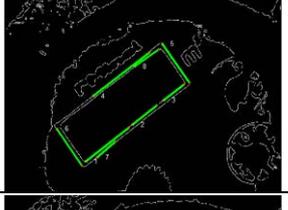
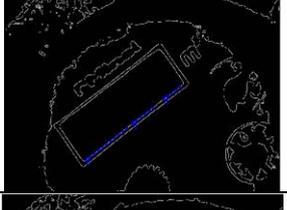
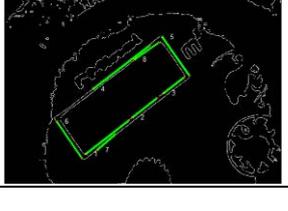
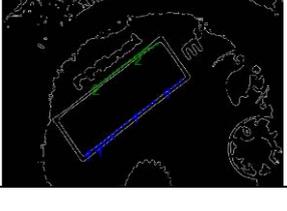
Tabel 4.1 Hasil uji coba *threshold peak* dan panjang garis

<i>Threshold</i>	Panjang Garis	Citra RGB	Hasil Segementasi	Jumlah Garis
0.5	50			5
0.3	50			9
0.1	50			11
0.1	70			6
0.1	90			4

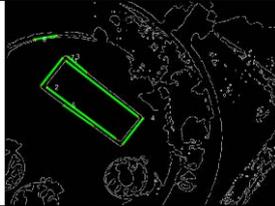
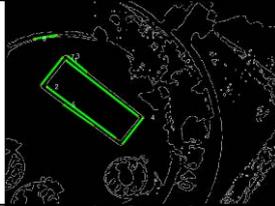
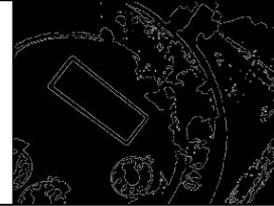
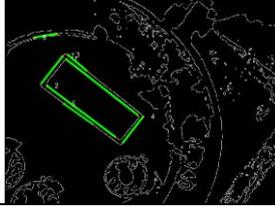
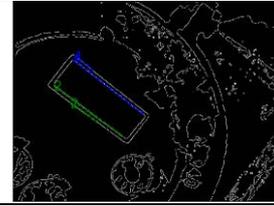
4.4.2 Uji Coba Visual *Threshold* Theta dan Rho

Pada bagian ini dilakukan uji coba garis-garis yang kolinear berdasarkan kombinasi penggunaan parameter *threshold theta* dan *rho*. Tujuan dari uji coba ini seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 adalah untuk menentukan *threshold* yang optimum sehingga terdeteksi garis-garis yang kolinear. *Threshold rho* (T_{Rho}) menunjukkan nilai maksimal jarak antar garis yang diinisialisasi sehingga garis tersebut sebagai garis yang kolinear. Semakin tinggi nilai T_{Theta} maka semakin jauh jarak antar 2 buah garis akan terdeteksi kolinear.

Tabel 4.2 Hasil uji coba visual *threshold* theta dan rho

T_{Theta}	T_{Rho}	Citra RGB	Hasil Segementasi	Hasil Deteksi Kolinear	Jumlah Garis yang tidak Terdeteksi
1	10				4
1	20				4
1	30				0
3	10				2
3	20				0

Lanjutan Tabel 4.2 Hasil uji coba visual *threshold* theta dan rho

T_{Theta}	T_{Rho}	Citra RGB	Hasil Segementasi	Hasil Deteksi Kolinear	Jumlah Garis yang tidak Terdeteksi
5	10				4
5	20				4
5	30				0

Threshold theta (T_{Theta}) merupakan parameter yang menunjukkan sudut kemiringan dari sebuah garis. Semakin sama sudutnya maka garis tersebut merupakan kolinear. Pada percobaan ini dilakukan inisialisi T_{Theta} mulai dari 1,3 dan 5. Sedangkan untuk T_{Rho} inisialisasi mulai dari 10,20, dan 30.

4.4.3 Uji Coba Nilai Akurasi ROI Citra Meter Air PDAM

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan proses segmentasi garis yang dilakukan. Parameter keberhasilan tentunya diperlukan agar kinerja dari metode segmentasi garis yang dilakukan dalam tahap implementasi dapat diukur. Parameter keberhasilan yang digunakan berupa komputasi numerik dan bersifat kuantitatif dengan menghitung *Sensitivity* serta *False Negative Rate*.

Berikut ini adalah definisi setiap elemen yang digunakan dalam perhitungan *sensitivity* maupun *false negative rate* (FNR).

- FN, atau *False Negative* terhadap ROI, menyatakan area ROI dari *ground truth* yang tidak termasuk/tidak anggota dari ROI yang berhasil terdeteksi

- FP, atau *False Positive* terhadap ROI, menyatakan area ROI yang terdeteksi yang tidak termasuk/tidak merupakan anggota dari Area ROI *Ground Truth*
- TP, atau *True Positive* terhadap ROI, menyatakan area ROI yang terdeteksi yang berisikan dengan Area ROI *Ground Truth*
- TN, atau *True Negative* terhadap ROI, menyatakan area ROI yang tidak termasuk area ROI dari *ground truth* dan area ROI yang berhasil terdeteksi

Adapun nilai TN tidak dapat dihitung, karena pada citra acuan tidak terdapat ROI yang negatif. Dalam pengukuran akurasi menggunakan *sensitivity* yang digunakan sebagai persentase keberhasilan, untuk mendapatkan nilainya digunakan persamaan 4.1.

$$\text{Sensitivity \%} = \frac{TP}{TP+FN} * 100 \quad (4.1)$$

Selain menggunakan *Sensitivity*, dalam penelitian ini juga menggunakan presentasi *False Negative Rate* (FNR) yang ditunjukkan pada persamaan 4.2. Biasanya selain *False Negative*, perhitungan *False Positive* juga dilakukan sehingga persentase *Overall Error* bisa diperoleh juga. Akan tetapi, pada penelitian ini hal tersebut tidak dapat dilakukan karena perhitungan persentase *False Positive* memerlukan nilai *True Negative*.

$$\text{False Negative Rate \%} = \frac{FN}{TP+FN} * 100 \quad (4.2)$$

Pada Tabel 4.3 menggambarkan perhitungan akurasi ROI citra meter air PDAM. Citra 1 memiliki *ground truth* [118 126, 400 173, 389 274, 97 232] kemudian setelah dilakukan proses deteksi ROI dengan modifikasi transformasi *hough butterflies* dengan koordinat [115 127, 405 182, 97 222, 392 268]. Kemudian dihitung luas dari kedua area tersebut yang digunakan dalam menghitung *sensitivity* dan *false negative rate*. Dari prosentase kedua area yang bersinggungan antara *ground truth* dan hasil deteksinya maka ditemukan area luas 945 pixel, sedangkan area yang gagal teridentifikasi dengan luas 22. Sehingga dari nilai tersebut dapat dihitung *sensitivity* dengan prosentase sebesar 97,73%. Begitu juga untuk citra 2 hingga citra ke 45. Untuk data keseluruhan citra secara lebih detail berada pada halaman lampiran.

Dari hasil pengujian 45 citra tersebut dihasilkan rata-rata nilai *sensitivity* 89,7% sedangkan *false negative rate* 10,3%. Semakin tinggi *sensitivity* menandakan hasil akurasinya semakin baik begitu juga sebaliknya *false negative rate* semakin rendah maka hasil akurasinya semakin baik.

Tabel 4.3 Hasil akurasi Region of Interest

Dataset	TP	FN	Sensitivity	False Negative Rate
<p>Citra 1</p>  <p>[118 126, 400 173, 389 274, 97 232]</p>  <p>[115 127, 405 182, 97 222, 392 268]</p>	945	22	97,73%	2,27%
<p>Citra 17</p>  <p>[160 441, 388 5, 548 108, 311 512]</p>  <p>[170 439, 391 20, 540 122, 333 511]</p>	855	16	98,16%	1,84%

4.4.4 Uji Coba Hasil Pengenalan Karakter

Pada uji coba pengenalan karakter angka pada meter air PDAM dengan menggunakan metode *Template Matching Corellation* dengan menghitung nilai korelasi tiap karakter yang dibandingkan. Semakin tinggi nilai korelasi karakter dengan *template* yang digunakan maka semakin baik dalam proses pengenalannya.

Karakter *template* ini digunakan pada uji coba ini berdasarkan model *template* dan ukuran *template* yang digunakan. Karakter *template* tersebut yang akan dibandingkan dengan hasil segmentasi karakter yang telah dilakukan proses *preprocessing* sebelumnya. Terdapat 3 jenis *template* yang diuji dalam percobaan ini, yaitu penggunaan *template* dari penelitian Diego (2016) dengan ukuran 42x24 yang terdiri dari 10 *template*, penggunaan *template* custom dengan ukuran 21x12 yang terdiri dari 19 *template*, dan penggunaan *template* custom dengan ukuran 42x24 yang terdiri dari 19 *template*. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 karakter *template* custom terdiri dari 10 *template* dari penelitian diego ditambahkan dengan 4 karakter hasil uji coba dari karakter yang banyak ditemukan kesalahan pengenalan untuk dijadikan sebagai *template*.



Gambar 4.2 Penambahan *custom template*

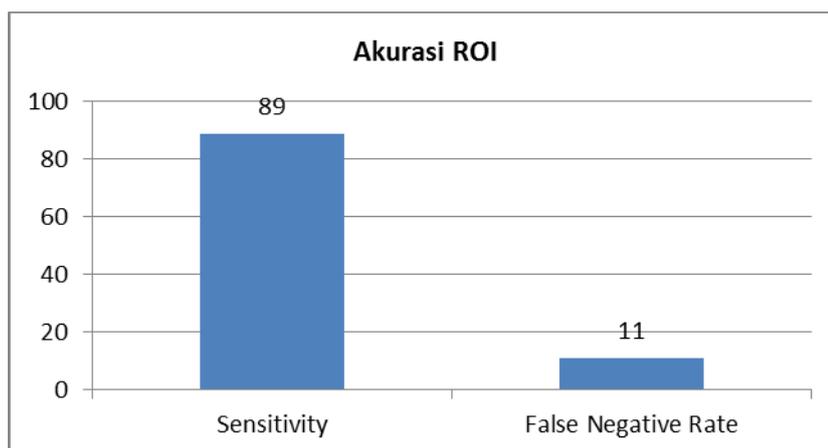
Dalam menghitung tingkat keberhasilan pengenalan karakter angka meter air pelanggan PDAM menggunakan prosenstase akurasi, jumlah karakter angka yang berhasil dideteksi dengan benar dibagi dengan jumlah keseluruhan dataset karakter angka pada meter air pelanggan. Dari percobaan tersebut dengan *template* custom dengan ukuran 42x24 memiliki hasil yang lebih baik daripada menggunakan *template* ukuran 21x12 yang ditunjukkan dengan hasil akurasi yang lebih tinggi dengan nilai 82 % dengan rata-rata waktu pengenalan yang dibutuhkan 4,742 detik. Hasil percobaan tersebut seperti yang terlihat pada Tabel 4.4 serta pada halaman lampiran untuk hasil detailnya.

Tabel 4.4 Hasil pengenalan angka

Dataset	Hasil Pengenalan			Prosentase		
	<i>Template Diego</i> 2006 42x24	<i>Custom Template</i> 21x12	<i>Custom Template</i> 42x24	<i>Template Diego</i> 2006 42x24	<i>Custom Template</i> 21x12	<i>Custom Template</i> 42x24
Citra 1 	00001	00601	00607	60%	80%	100%
Citra 12 	01132	01132	01105	60%	60%	100%
Citra 19 	98127	00303	00100	0%	60%	20%
Citra 20 	00581	00587	00587	80%	100%	100%
Rata-rata pengenalan citra 1-45				50,5%	63%	82%
Rata-rata waktu				3.832 s	3.502 s	4.742 s

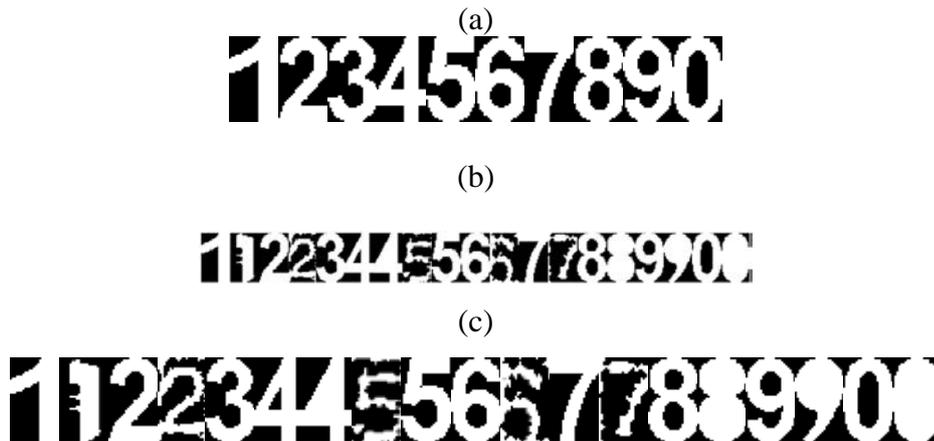
4.5 Pembahasan Hasil Uji Coba

Hasil pengujian terhadap akurasi ROI pada pengenalan meter air pelanggan dengan menggunakan modifikasi transformasi *hough butterflies* menggunakan 4 parameter yaitu *threshold peak*, panjang minimum garis, *threshold theta*, dan *threshold rho*. Dari uji coba yang telah dilakukan ditemukan koefisien terbaik yaitu nilai *threshold peak* sebesar 0,1 dari *peak* tertinggi, nilai minimum garis 70 pixel, *threshold theta* sebesar 15, dan *threshold rho* sebesar 70. Dengan kombinasi parameter parameter tersebut menghasilkan akurasi dengan nilai *sensitivity* sebesar 89% dan *false negative rate* sebesar 11% seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Hasil ini cukup baik dikarenakan data citra awal yang penuh dengan iluminasi dan *noise*.



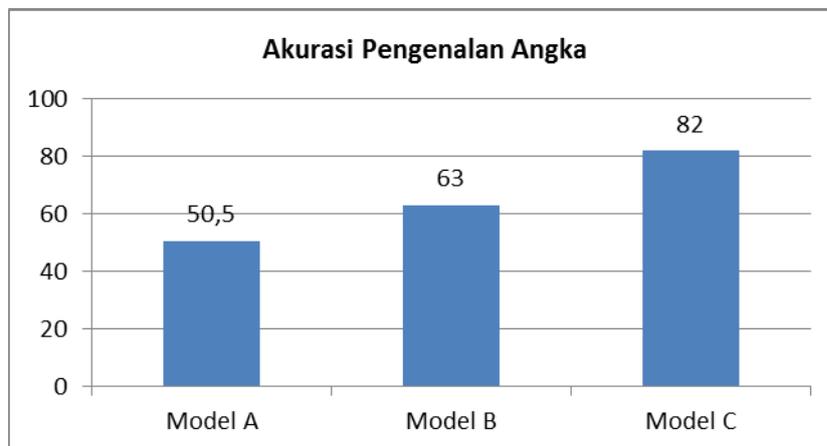
Gambar 4.3 Hasil akurasi *Region of Interest* (ROI)

Selanjutnya dari hasil pengenalan ROI tersebut citra akan dilakukan proses *cropping* dan rotasi. Untuk proses pengenalan pada angka meter air. Untuk melihat kinerja dari akurasi dilakukan uji coba dengan parameter ukuran *template*, yaitu 42x24 dan 21x12, serta banyaknya model *template*. Hasil dari percobaan tersebut terlihat pada Gambar 4.4 yang menunjukkan jenis *template* dan ukuran yang digunakan. Ukuran karakter *template* sangat mempengaruhi terhadap waktu. Sedangkan *template* berpengaruh pada hasil pengenalan menggunakan *template matching correlation*. Karena tidak semua model karakter *template* cocok untuk digunakan pada dataset citra.



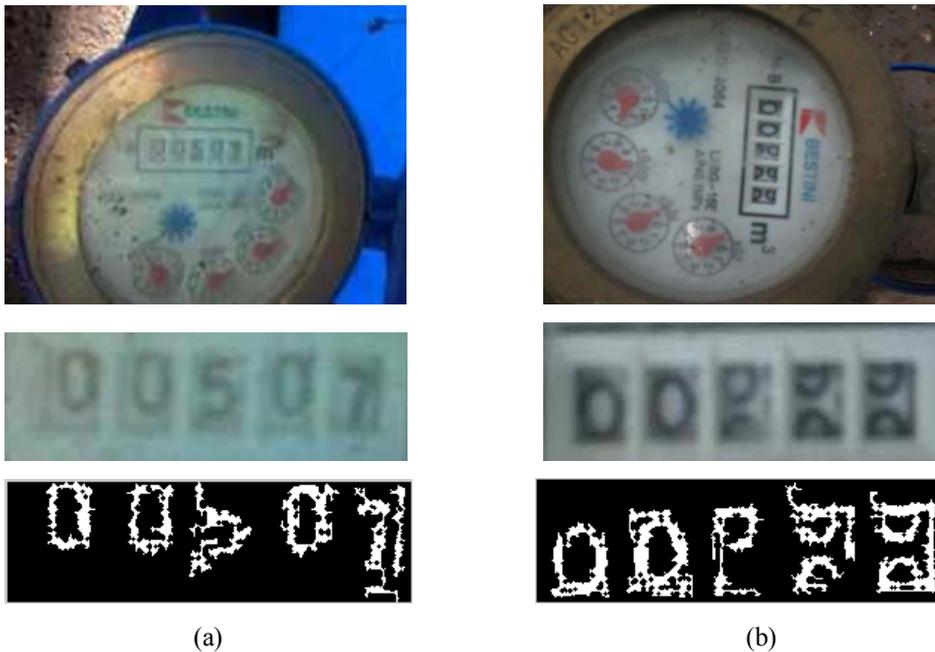
Gambar 4.4 *Template* pada pengenalan angka pada meter air PDAM

Model *template* yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 3 model data *template*, Model A merupakan *template* terdiri dari 10 *template* dengan masing-masing 1 model tiap karakternya dengan ukuran 42x24. Model B merupakan *template* custom hasil uji coba dengan ukuran 21x12 yang terdiri dari 19 data *template*. Sedangkan Model C merupakan *template* custom hasil uji coba dengan ukuran 42x24 yang terdiri dari 19 data *template*. Custom *template* merupakan dari hasil testing pengenalan angka sebanyak 25 citra meter air PDAM. Pembuatan karakter *template* baru ini berdasarkan kesalahan pengenalan kemudian disesuaikan untuk dijadikan sebagai model *template*.



Gambar 4.5 Hasil prosentase akurasi pengenalan angka

Hasil akurasi terbaik adalah 82%, penyebabnya adalah citra meter air PDAM pelanggan yang digunakan sebagai dataset tidak cukup representatif dalam proses pengenalan karakter. Hal ini dikarenakan banyak terdapat iluminasi pada citra. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 yang menyebabkan proses *preprocessing* dalam pemilihan segmentasi karakter tidak berjalan dengan optimal. Salah satu penyebab lainnya adalah angka pada meter air pada saat pengambilan citra sedang dalam posisi transisi, sehingga citra angka tidak dapat terlihat sempurna, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Pada Gambar (a) angka 5 dan angka 7 tidak dapat tersegmentasi dengan sempurna hal ini dikarenakan citra yang sangat kabur dan banyak mengandung *noise*, sedangkan pada Gambar (b) kesalahan pengenalan dikarenakan angka pada meter air berupa pada 3 karakter akhir pada saat posisi transisi sehingga dari hasil segmentasi yang dihasilkan, terjadi kesalahan pengenalan karakter angka.



Gambar 4.6 Citra yang mengalami kegagalan proses pengenalan

LAMPIRAN

No	Citra	Ground Truth	TP	FN	Akurasi ROI	Template (42x24)	Custom Template (21x12)	Custom Template (42x24)
1		118 126 400 173 389 274 97 232	945	120	89%	00001 60%	00601 80%	00607 100%
2		214 323 304 368 448 125 349 72	855	16	98%	00010 40%	00020 40%	02070 60%
3		336 420 543 181 631 265 415 495	956	142	87%	07333 60%	01334 100%	01334 100%
4		201 179 490 157 506 271 203 285	798	85	90%	07100 40%	02193 80%	02195 100%
5		464 86 655 53 677 127 471 149	971	130	88%	00111 40%	00112 60%	00112 60%

No	Citra	Ground Truth	TP	FN	Akurasi ROI	Template (42x24)	Custom Template (21x12)	Custom Template (42x24)
6		319 9 561 119 524 208 271 87	778	60	93%	00591 60%	00381 60%	00584 100%
7		456 164 558 403 476 445 368 201	813	88	90%	00312 40%	00381 40%	00592 80%
8		489 138 639 221 610 303 394 210	739	103	88%	20592 40%	00381 60%	00081 80%
9		229 27 469 25 472 117 227 111	723	106	87%	00122 40%	00132 40%	00452 80%
10		272 222 245 238 327 242 342	752	500	60%	00003 40%	00603 60%	00695 100%

No	Citra	Ground Truth	TP	FN	Akurasi ROI	Template (42x24)	Custom Template (21x12)	Custom Template (42x24)	
11		252 532 539 254	155 154 265 252	854	129	87%	01123 60%	01721 40%	01133 80%
12		282 502 506 280	159 158 243 233	962	181	84%	00310 60%	00319 60%	00379 80%
13		298 519 526 301	156 143 231 233	953	71	93%	01132 60%	01132 60%	01105 100%
14		268 433 458 289	234 169 234 290	906	118	88%	01221 60%	01429 80%	01422 80%
15		249 438 434 236	203 224 301 267	955	75	93%	00188 60%	00186 80%	00166 100%

No	Citra	Ground Truth	TP	FN	Akurasi ROI	Template (42x24)	Custom Template (21x12)	Custom Template (42x24)
16		319 251 546 239 556 328 322 327	962	67	93%	00874 100%	00874 100%	00874 100%
17		160 441 388 5 548 108 311 512	726	145	83%	00035 40%	00856 100%	00856 100%
18		205 245 595 238 607 387 203 383	854	158	84%	00555 40%	00534 60%	00339 80%
19		264 246 487 244 490 334 259 324	916	51	95%	98127 0%	00303 60%	00100 20%
20		258 243 244 145 407 417 409 581	933	150	86%	00581 80%	00587 100%	00587 100%

No	Citra	Ground Truth	TP	FN	Akurasi ROI	Template (42x24)	Custom Template (21x12)	Custom Template (42x24)
21		448 240 234 262 324 500 451 401	962	40	96%	38830 60%	38820 60%	18820 60%
22		246 237 238 229 241 583 362 355	986	200	83%	00201 60%	00297 100%	00291 80%
23		486 234 481 229 158 546 395 411	919	63	94%	00931 40%	00338 40%	00519 80%
24		234 231 376 121 350 426 340 124	815	157	84%	00888 40%	00886 40%	00333 80%
25		228 228 293 362 237 268 538 233	896	24	97%	03303 20%	03205 40%	02292 100%

No	Citra	Ground Truth	TP	FN	Akurasi ROI	Template (42x24)	Custom Template (21x12)	Custom Template (42x24)
26		18 126 400 173 389 274 97 232	945	120	89%	00324 40%	00174 80%	00174 100%
27		214 323 304 368 448 125 349 72	855	16	98%	00153 80%	00153 80%	00165 80%
28		336 420 543 181 631 265 415 495	956	142	87%	00288 0%	57666 0%	62400 60%
29		201 179 490 157 506 271 203 285	798	85	90%	00200 60%	00200 60%	00282 80%
30		464 86 655 53 677 127 471 149	971	130	88%	00333 80%	00333 80%	00332 80%

No	Citra	Ground Truth	TP	FN	Akurasi ROI	Template (42x24)	Custom Template (21x12)	Custom Template (42x24)	
31		319 561 524 271	9 119 208 87	778	60	93%	00333 40%	00832 40%	00888 40%
32		456 558 476 368	164 403 445 201	813	88	90%	00730 40%	08150 40%	00130 40%
33		489 639 610 394	138 221 303 210	739	103	88%	00920 80%	00052 40%	00820 100%
34		229 469 472 227	237 235 117 111	723	106	87%	00820 100%	00820 100%	02421 100%
35		310 522 538 314	272 245 327 342	752	500	60%	00995 80%	00393 60%	00395 100%

No	Citra	Ground Truth	TP	FN	Akurasi ROI	Template (42x24)	Custom Template (21x12)	Custom Template (42x24)	
36		252 532 539 254	155 154 265 252	854	129	87%	07783 20%	01103 80%	01193 60%
37		282 502 506 280	159 158 243 233	962	181	84%	80932 40%	00933 60%	00935 60%
38		298 519 526 301	156 143 231 233	953	71	93%	00915 60%	00855 40%	00316 100%
39		268 433 458 289	234 169 234 290	906	118	88%	00559 40%	00550 40%	00229 80%
40		249 438 434 236	203 224 301 267	955	75	93%	60557 20%	08553 40%	00333 100%

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan yang diperoleh setelah melakukan serangkaian uji coba dan analisis, serta saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan analisis terhadap penentuan parameter dalam penentuan Region of Interest (ROI) citra meter air pelanggan PDAM menggunakan modifikasi transformasi hough butterflies. Serta hasil pengenalan angka pada meter air menggunakan template matching correlation. Dari hasil analisis uji coba yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada uji coba parameter dalam modifikasi transformasi hough butterflies guna mendapatkan hasil akurasi ROI terbaik berhasil mengenali garis yang kolinear dengan akurasi yang ditunjukkan dengan nilai *sensitivity* sebesar 89%.
2. Pada proses pengenalan karakter angka pada meter air pelanggan PDAM, menggunakan *custom template* dengan ukuran *template* 42x24 menunjukkan hasil yang terbaik dengan nilai akurasi sebesar 82 %, *custom template* dengan ukuran *template* 24x12 menunjukkan hasil yang terbaik dengan nilai akurasi sebesar 63 %, dan data *template* dari penelitian (Diego, 2006) dengan ukuran *template* 42x24 menunjukkan hasil akurasi sebesar 50,5%.
3. Dengan hasil akurasi diatas maka penggunaan modifikasi transformasi hough butterflies dapat mengenali dengan baik ROI pada meter air pelanggan PDAM dengan penggunaan *custom template* hasil uji coba training dengan ukuran *template* 42x24.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari penelitian ini, terdapat beberapa saran yang berguna untuk penelitian-penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Akurasi hasil pengenalan meter air masih rendah, hal ini disebabkan banyaknya iluminasi dan *noise* pada dataset yang ada. Kedepannya pada saat pemilihan dataset diusahakan meminimalisir iluminasi dan *noise*.
2. Proses pengenalan angka pada meter air PDAM pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengenali karakter angka yang menunjukkan sedang pada saat transisi.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Hajdu, I. P. (2007). Optimal approach for fast object-template matching. *IEEE*, Anil K. Jain, Fellow, IEEE, Yu Zhong, and Sridhar Laskshmanan. 1996. Object Matching Using Deformable Templates. IEEE
- Diego Orlando Barragan Guerrero (2006), Optical Character Recognition (OCR), MatLab Central, Files Exchange. Available: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18169-optical-characterrecognition-ocr>. Accessed: November 2010.
- BIBLIOGRAPHY Duda, R. a. (1972). User of The *Hough* Transform to Detect Lines and Curves in Picture. *CACM*.
- Erik Johansson, T. P. (2015). Fast visual recognition of Scots pine boards using template matching. *Computers and Electronics in Agriculture*.
- Feng Wang, L. M. (2008). Fuzzy-based algorithm for color recognition of license plates. *Science Direct*.
- Gyeongdong Baek, S. K. (2009). Two Step Template Matching Method with Correlation Coefficient and Genetic Algorithm. *Springer*.
- Jae-Chern Yoo, C. W. (2013). Template matching of occluded object under low PSNR. *Digital Signal Processing*.
- J.E. Arcod, J. G. (2014). Digital image analysis for automatic enumeration of malaria parasites using morphological operations. *Elsevier*.
- Kamat V, G. S. (1998). A robust *Hough* transform technique for description of multiple line segments in an image. *Proceedings*.
- M. Rabindra Surya. (2008). Deteksi Paranodus pada Citra Jaringan Saraf Gigi Manusia. Fakultas Ilmu Komputer. Universitas Indonesia.
- Michael Ryan, N. H. (2015). An Examination of Character Recognition on ID card using Template Matching Approach. *Science Direct*.
- Morteza Zahedi, S. M. (2010). License Plate Recognition System Based on SIFT Features. *Elsevier*.
- Nazar, L. T. (2012). Studi Pengaruh Akurasi Meter Air Terhadap Tingkat Kehilangan Air. *Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Rezki Trianto, N. N. (2012). KLASIFIKASI HURUF KATAKANA DENGAN METODE TEMPLATE MATCHING CORRELATION. *Universitas Brawijaya*.
- Robert Gunawan, S. S. (2014). PENERAPAN OPTICAL CHARACTER RECOGNITION (OCR) UNTUK PEMBACAAN METERAN LISTRIK PLN. *INFORMATIKA*.
- Shengzhi Du., C. T. (2012). Measuring Straight Line Segments Using HT Butterflies. *plos one*.
- Song J, L. M. (2005). A *Hough* transform based line recognition method utilizing both parameter space and image space. *Pattern Recognition*.
- Shreeja Chakraborty, Ranjan Parekh. 2015. An Improved Template Matching Algorithm for Car License Plate Recognition. *International Journal of Computer Applications*

- Tadic, V. (2014). Fuzzified Gabor filter for license plate detection. *Elsevier*.
- Tran Duc Duan, D. A. (2014). Combining *Hough* Transform and Contour Algorithm for detecting Vehicles's License Plates. *Proceedings*.
- Wen Jiang, H. Z. (2015). Image segmentation with pulse-coupled neural network and Canny operators. *Elsevier*.
- Woods, J. (1984). OCR has a place in data processing. *Elsevier*.
- Y. Zhang, Y. T. (2008). License Plate Character Recognition Algorithm based on Filled. *Proc. CCDC*.
- Zezhong Xu, B.-S. R. (2015). Closed formline-segment extraction using the *Hough* transform. *Pattern Recognition*.



ALIF AKBAR FITRAWAN lahir di Pamekasan pada tanggal 20 April 1991, Putra pertama dari empat bersaudara. Pendidikan Sekolah Dasar di MI Islamiyah Rogojampi dan tamat pada tahun 2003, sekolah pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Rogojampi dan tamat pada tahun 2006 serta menempuh pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Rogojampi yang diselesaikan pada tahun 2009 dengan jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), semua jenjang pendidikan diatas ditempuh di Kabupaten Banyuwangi. Lulus dari sekolah menengah atas, penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan Sarjana (S1) di Universitas Negeri Malang di Kota Malang dengan jurusan Pendidikan Teknik Informatika dan lulus pada tahun 2013.

Kemudian setelah lulus di tahun 2013 penulis diterima bekerja di PT Pratama Kinerja Perkasa, sebagai Programmer. Kemudian pada tahun 2014, penulis diberikan kesempatan untuk melanjutkan studi di Magister Teknik Informatika Fakultas Teknologi Informasi ITS dan berhasil menyelesaikan studi pada tahun 2016 dengan bidang minat KCV (Komputasi Cerdas dan Visualisasi). Saat ini penulis memilih aktif dalam mengembangkan *startup* dibidang teknologi informasi. Penulis dapat dihubungi melalui email : alief.ring3@gmail.com