



TESIS - SM 142501

**METODE HYBRID BERBASIS MODIFIKASI  
SUBREGION ILLUMINATION TRANSFER DAN  
GAUSSIAN MIXTURE MODEL UNTUK  
MENGHILANGKAN BAYANGAN**

HASANUDDIN AL-HABIB  
NRP 06111550012011

DOSEN PEMBIMBING:  
Dr. Budi Setiyono, S.Si, MT

PROGRAM MAGISTER  
DEPARTEMEN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018





THESIS - SM 142501

**HYBRID METHOD BASED ON MODIFIED OF  
SUBREGION ILLUMINATION TRANSFER AND  
GAUSSIAN MIXTURE MODEL FOR SHADOW  
REMOVAL**

HASANUDDIN AL-HABIB  
NRP 06111550012011

SUPERVISOR:  
Dr. Budi Setiyono, S.Si, MT

MASTER PROGRAM  
DEPARTMENT OF MATHEMATICS  
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTATIONS, AND DATA SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2018



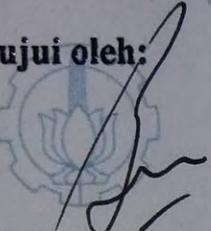
Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains (M.Si.)

di  
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

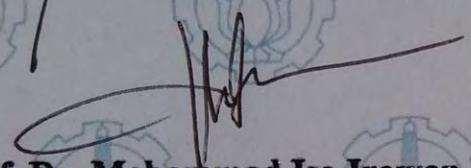
oleh:  
**HASANUDDIN AL-HABIB**  
NRP. 06111550012011

Tanggal Ujian : 29 Januari 2018  
Periode Wisuda : Maret 2018

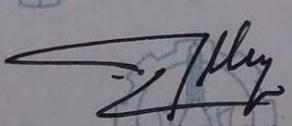
Disetujui oleh:

  
Dr. Budi Setiyono, S.Si, M.T.  
NIP. 19720207 199702 1 001

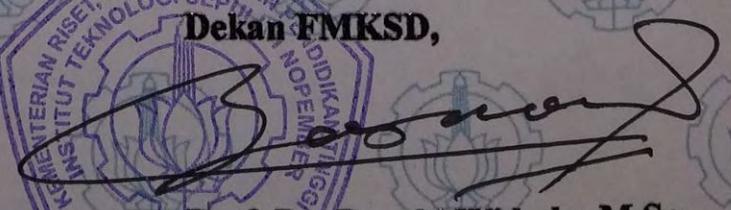
(Pembimbing)

  
Prof. Dr. Mohammad Isa Irawan, M.T.  
NIP. 19631225 198903 1 001

(Penguji)

  
Dr. Dwi Ratna S., S.Si, M. T.  
NIP. 19690405 199403 2 003

(Penguji)

  
Dekan FMKSD,

  
Prof. Dr. Basuki Widodo, M.Sc.  
NIP. 19650605 198903 1 002



***METODE HYBRID BERBASIS MODIFIKASI SUBREGION  
ILLUMINATION TRANSFER DAN GAUSSIAN MIXTURE  
MODEL UNTUK MENGHILANGKAN BAYANGAN***

Nama Mahasiswa : Hasanuddin Al-Habib  
NRP : 06111550012011  
Pembimbing : Dr. Budi Setiyono, S.Si, MT

**Abstrak**

Konsep kota cerdas (*smart city*) merupakan salah satu dampak perkembangan teknologi informasi. konsep ini dikembangkan untuk mengelola berbagai sumber daya yang ada agar lebih efektif dan efisien. Salah satunya adalah pengelolaan transportasi atau yang lebih dikenal dengan *Intelligent Transportation System* (ITS). Sistem ini pada umumnya memanfaatkan CCTV yang berbasis video digital dalam melakukan pengambilan informasi berupa pengamatan jalan raya, perhitungan kendaraan, dan sebagainya. Akan tetapi pemanfaatan video digital memiliki beberapa kendala, diantaranya adalah adanya bayangan. Oleh sebab itu, diperlukan adanya metode untuk menghilangkan bayangan. Dalam beberapa penelitian sebelumnya yang terkait dengan permasalahan ini, proses menghilangkan bayangan dilakukan dengan beberapa konsep diantaranya adalah dengan metode *subregion illumination transfer* dan substraksi *background* dengan *gaussian mixture model*. Dalam penelitian ini kedua metode tersebut akan dikombinasikan dalam memisahkan piksel benda dan piksel bayangannya, sehingga piksel bayangan dapat dihilangkan. Metode Hybrid berbasis *subregion illumination transfer* dan *gaussian mixture model* dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah arah gerak benda, intensitas cahaya dan lebar bayangan benda. Rata-rata PSNR yang diperoleh untuk benda bergerak dengan variasi intensitas cahaya adalah 53.47115 dB dengan intensitas cahaya = 0.8 dan arah gerakan mendekati kamera. sehingga skenario ini merupakan skenario terbaik untuk metode *shadow removal* pada penelitian ini dan sehingga jika lebar bayangan berkurang maka hasil penghilangan bayangan menjadi lebih baik, sebab nilai intensitas piksel bayangan yang diproses dalam metode berkurang dan intensitas piksel bayangan yang sama dengan *background* menjadi lebih banyak

***Kata-kunci:*** Metode Hybrid , Menghilangkan Bayangan , Intelligent Transportation System



**HYBRID METHOD BASED ON MODIFIED OF SUBREGION  
ILLUMINATION TRANSFER AND GAUSSIAN MIXTURE  
MODEL FOR SHADOW REMOVAL**

Name : Hasanuddin Al-Habib  
NRP : 06111550012011  
Supervisor : Dr. Budi Setiyono, S.Si, MT

**Abstract**

*The concept of smart city is one of the effects of information technology development. This concept was developed to manage existing resources more effectively and efficiently. One of its is the management of transport, or more known as intelligent transportation system (ITS). These systems generally use CCTV-based digital video in the observations for an information highway, vehicle counting, and so on. But the use of digital video has several problems, including the presence of a shadow. Therefore, it is necessary to have a method to eliminate shadows. In some previous studies related to these issues, the process of removing the shadow performed with some of the concepts which are the subregion illumination transfer method and background subtraction with Gaussian mixture models. In this study, both of these methods will be combined to determine object pixels and pixel shadow, so the shadow pixels can be eliminated. Hybrid method based on subregion illumination transfer and gaussian mixture model is influenced by several factors, such as the direction of motion of objects, the intensity of light and the width of the shadow of the object. The average PSNR obtained for moving objects with variations in light intensity is 53.47115 dB with the intensity of light = 0.8 and the direction of movement approaching the camera. so this scenario is the best scenario for the shadow removal method in this study, if shadow width smaller then the shadow removal result is better, because the intensity value of the shadow pixel that processed in the method was less and the same shadow pixel intensity with the background becomes higher.*

**Key-words:** Hybrid Method , Shadow Removal , Intelligent Transportation System



## KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah SWT yang telah memberikan karunia, rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul: "METODE HYBRID BERBASIS SUBREGION MATCHING DAN GAUSSIAN MIXTURE MODEL UNTUK MENGHILANGKAN BAYANGAN" yang merupakan salah satu persyaratan akademis dalam menyelesaikan Program Magister pada Departemen Matematika Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tesis ini dapat diselesaikan dengan berkat kerjasama, bantuan, dan dukungan dari banyak pihak. Sehubungan dengan hal itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Budi Setiyono, S.Si, MT selaku dosen pembimbing.
2. Bapak Dr. Imam Mukhlash, S.Si, M.T. selaku Ketua Departemen Matematika.
3. Bapak Dr. Mahmud Yunus, M.Si, selaku koordinator program studi S2 Matematika FMKSD ITS sekaligus dosen pengajar
4. Bapak Dr. Dieky Adzkiya, M.Si selaku Dosen Wali.
5. Bapak Prof. Dr. M. Isa Irawan, S.Si, M.T, dan Ibu Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, S.Si, MT selaku dosen penguji Tesis ini.
6. Ayah Drs. Mohamad Subandi dan Ibu Ngarti, S.Pd serta Nenek dan adik-adik yang selalu mendoakan untuk kelancaran dan keberkahan dalam mencari ilmu.
7. Teman-teman Magister Matematika ITS, .
8. Semua pihak yang berperan baik secara langsung maupun secara tidak langsung dalam penyusunan tesis ini.

Akhir kata, dalam penulisan Tesis ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik membangun dari pembaca sebagai perbaikan. Semoga Tesis ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Citra Digital	6
2.3 Video Digital	7
2.4 Pengertian Bayangan	8
2.5 Ruang Warna	8
2.5.1 Warna RGB	9
2.5.2 Warna CMY	9
2.5.3 Warna HSV ( <i>Hue Saturation Value</i> )	9
2.6 Frame Difference Method	10
2.7 Metode <i>Sub Region Matching Illumination Transfer</i>	10
2.8 Modifikasi Metode <i>Sub-Region Matching Illumination Transfer</i>	11
2.8.1 Metode <i>Gamma Decoding</i>	12
2.8.2 Thresholding Otsu	13
2.9 Metode Gaussian Mixture Model	14
2.9.1 Tahap pencocokan input terhadap distribusi	14
2.9.2 Tahap pemilihan distribusi yang mencerminkan background	15

BAB 3	METODE PENELITIAN	17
3.1	Studi Literatur	17
3.2	Perumusan Masalah	17
3.2.1	Shadow Detection	17
3.2.2	Shadow Removal	17
3.3	Implementasi Sistem	17
3.4	Proses pengujian	17
3.5	Penarikan Kesimpulan	18
BAB 4	PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	21
4.1	Perancangan Algoritma	21
4.1.1	Perancangan <i>Background Subtraction</i> dengan metode <i>Gaussian Mixture Model</i> (GMM)	21
4.1.2	Perancangan <i>Frame Difference</i>	26
4.1.3	Perancangan Metode <i>Sub-Region Illumination Transfer</i>	27
4.1.4	Perancangan Proses Identifikasi Bayangan	30
4.1.5	Perancangan Proses Shadow Removal	32
4.2	Perancangan Proses Pengujian	32
4.2.1	Pengujian Dengan Data Video Simulasi	32
4.2.2	Pengujian Dengan Data Video Uji Lapangan	34
4.3	Perancangan <i>User Interface</i> Sistem	34
4.4	Implementasi metode Pada Program	35
4.4.1	Impelementasi Proses Akuisisi Citra	35
4.4.2	Implementasi Metode <i>Sub-Region Matching Illumination Transfer</i>	35
4.4.3	Implementasi Metode <i>Gaussian Mixture Model</i> (GMM)	36
4.4.4	Implementasi Proses Pengujian pada Video Simulasi dengan Nilai PSNR	37
BAB 5	uji coba dan pembahasan	39
5.1	Pengujian tahap <i>Pre-Processing</i>	39
5.2	Pengujian Kualitas Hasil Metode Shadow Removal	40
5.2.1	Pengujian Dengan Objek Statis Tunggal	40
5.2.2	Pengujian Dengan Objek Sederhana Bergerak Menjauhi Kamera	41
5.2.3	Pengujian Dengan Data Simulasi Video Objek Tunggal Bergerak	42
5.2.4	Pengujian Dengan Data Simulasi Video Dua Objek Bergerak Mendekati Kamera	66
5.2.5	Pengujian Dengan Video Uji Lapangan	68
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	77
6.1	Kesimpulan	77
6.2	Saran	78
LAMPIRAN		81

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses sampling dan kuantisasi. (a) Citra Digital, (b) Citra Digital Disampling Menjadi 14 Baris dan 12 Kolom, (c) Citra Digital Hasil Sampling Berukuran 14 x 12 Piksel . . . . .	7
Gambar 2.2	Representasi Komponen Bayangan (Zhang, 2014) . . . . .	8
Gambar 2.3	Hasil Proses Sub-region Illumination Transfer. (a) Citra masukan (b) <i>shadow detection</i> (c) hasil <i>Smoothing</i> pada deteksi bayangan . . . . .	11
Gambar 2.4	Contoh citra dengan iluminasi, kompleks bayangan, dan struktur materi yang bervariasi . . . . .	12
Gambar 2.5	Beberapa contoh citra dengan perubahan nilai gamma . . . . .	12
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode Yang Digunakan Dalam Penelitian	18
Gambar 3.2	Diagram Proses Pengujian Metode . . . . .	19
Gambar 4.1	Algoritma Shadow Removal . . . . .	21
Gambar 4.2	Proses <i>Gaussian Mixture Model</i> . . . . .	22
Gambar 4.3	Contoh inialisasi parameter GMM (Charisma, B.,2016)	24
Gambar 4.4	Matriks Selisih Intensitas Frame Input dan Mean . . . . .	24
Gambar 4.5	Hasil Pembaruan Parameter GMM . . . . .	25
Gambar 4.6	Hasil Normalisasi Bobot GMM . . . . .	25
Gambar 4.7	Hasil Perhitungan Pencarian Background . . . . .	26
Gambar 4.8	<i>Frame background</i> dan <i>Frame foreground</i> . . . . .	27
Gambar 4.9	hasil <i>Frame difference</i> . . . . .	27
Gambar 4.10	Proses <i>Sub-Region Illumination Transfer</i> (Xiao, 2013) . . . . .	27
Gambar 4.11	Pengambilan Sampel Citra . . . . .	28
Gambar 4.12	Hasil Visual Untuk <i>Gamma Decoding</i> . . . . .	31
Gambar 4.13	Skenario Proses Pengujian . . . . .	33
Gambar 4.14	Posisi Pengambilan Video . . . . .	34
Gambar 4.15	Interface Program . . . . .	35
Gambar 5.1	Hasil Ekstraksi <i>Frame</i> . . . . .	39
Gambar 5.2	Diagram Proses Pengujian Metode . . . . .	40
Gambar 5.3	Hasil Pengujian Pada Objek Tunggal Statis . . . . .	41
Gambar 5.4	Grafik Perbandingan PSNR pada Benda Bergerak Sederhana . . . . .	42
Gambar 5.5	Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan nilai intensitas = 1 . . . . .	43
Gambar 5.6	Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan nilai intensitas = 0.8 . . . . .	43

Gambar 5.7	Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan nilai intensitas = 0.5.....	43
Gambar 5.8	Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan kategori bayangan 1 .....	44
Gambar 5.9	Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan kategori bayangan 2 .....	44
Gambar 5.10	Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan kategori bayangan 3 .....	44
Gambar 5.11	Data Video dengan arah gerak menjauhi kamera.....	45
Gambar 5.12	Data Video dengan arah gerak melintas didepan kamera	45
Gambar 5.13	Skenario Perhitungan PSNR .....	45
Gambar 5.14	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 1	47
Gambar 5.15	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 2	48
Gambar 5.16	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 3	49
Gambar 5.17	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 4	50
Gambar 5.18	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 5	51
Gambar 5.19	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 6	52
Gambar 5.20	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 7	53
Gambar 5.21	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 8	54
Gambar 5.22	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 9	55
Gambar 5.23	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 10	56
Gambar 5.24	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 11	58
Gambar 5.25	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 12	59
Gambar 5.26	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 13	60
Gambar 5.27	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 14	61
Gambar 5.28	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 15	62
Gambar 5.29	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 16	63
Gambar 5.30	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 17	64
Gambar 5.31	Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 18	65
Gambar 5.32	Perbandingan perubahan PSNR pada objek ganda bergerak mendekati kamera dalam satuan dB .....	67
Gambar 5.33	hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan .....	68
Gambar 5.34	citra biner hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan .....	68
Gambar 5.35	citra biner hasil deteksi pada video uji1 sebelum dan sesudah proses .....	69
Gambar 5.36	citra RGB hasil deteksi pada video uji1 sesudah proses .	69
Gambar 5.37	hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan .....	70
Gambar 5.38	citra biner hasil deteksi pada video uji2 sebelum dan sesudah proses .....	70
Gambar 5.39	citra RGB hasil deteksi pada video uji2 sesudah proses .	70
Gambar 5.40	hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan .....	71
Gambar 5.41	citra biner hasil deteksi pada video uji2 sebelum dan sesudah proses .....	71
Gambar 5.42	citra RGB hasil deteksi pada video uji1 sesudah proses .	72

Gambar 5.43 hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan . . . . .	72
Gambar 5.44 citra biner hasil deteksi pada video uji2 sebelum dan sesudah proses . . . . .	73
Gambar 5.45 hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan . . . . .	73
Gambar 5.46 (a) hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan (b) hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan . . .	74
Gambar 5.47 (a) hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan (b) hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan . . .	74
Gambar 5.48 (a) hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan (b) hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan . . .	75
Gambar 5.49 (a) hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan (b) hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan . . .	75



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Contoh inialisasi Mean .....	23
Tabel 4.2	Inialisasi Parameter Gaussian Mixture Model .....	23
Tabel 4.3	Tabel Skenario Pengujian Dengan Data Simulasi .....	33
Tabel 5.1	Perbandingan data PSNR dengan urutan frame video uji dalam satuan dB .....	41
Tabel 5.2	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 1 dalam satuan dB .....	46
Tabel 5.3	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 2 dalam satuan dB .....	47
Tabel 5.4	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 3 dalam satuan dB .....	48
Tabel 5.5	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 4 dalam satuan dB .....	49
Tabel 5.6	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 5 dalam satuan dB .....	51
Tabel 5.7	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 6 dalam satuan dB .....	52
Tabel 5.8	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 7 dalam satuan dB .....	53
Tabel 5.9	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 8 dalam satuan dB .....	54
Tabel 5.10	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 9 dalam satuan dB .....	55
Tabel 5.11	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 10 dalam satuan dB .....	56
Tabel 5.12	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 11 dalam satuan dB .....	57
Tabel 5.13	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 12 dalam satuan dB .....	58
Tabel 5.14	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 13 dalam satuan dB .....	59
Tabel 5.15	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 14 dalam satuan dB .....	60
Tabel 5.16	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 15 dalam satuan dB .....	61
Tabel 5.17	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 16 dalam satuan dB .....	62
Tabel 5.18	Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 17 dalam satuan dB .....	63

Tabel 5.19 Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 18 dalam satuan dB .....	64
Tabel 5.20 Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 18 dalam satuan dB .....	65
Tabel 5.21 Perbandingan perubahan PSNR pada simulasi dua objek bergerak mendekati kamera dalam satuan dB .....	67

# BAB 1

## PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan mengenai latar belakang yang mendasari usulan penelitian ini dan berdasarkan latar belakang masalah maka dapat disusun rumusan masalah yang mendasari tujuan penelitian serta manfaat penelitian.

### 1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan teknologi informasi yang terus meningkat, multimedia sebagai media digital penyebaran informasi dan telekomunikasi dimanfaatkan dalam berbagai bidang. Sejalan dengan hal tersebut, sebuah konsep kota cerdas (*smart city*) dikembangkan di beberapa negara maju dan berkembang untuk mengelola sumber daya yang ada agar lebih efektif dan efisien. Salah satu komponen smart city adalah smart transportation yang dikenal dengan *Intelligent Transport System* (ITS).

Menurut data Dinas Perhubungan Kota Surabaya, volume kendaraan di Jl. Achmad Yani pada tahun 2014, volume penggunaan ruang jalan raya kendaraan jenis sepeda motor telah mencapai 53.02%, mobil pribadi sebanyak 38.77% dan sisanya kendaraan jenis angkutan umum dan truk (Dishub Surabaya, 2017). Hal ini merupakan penyebab timbulnya kemacetan, berkurangnya lahan parkir, dan dapat meningkatkan prosentase kecelakaan lalu lintas. Oleh sebab itu, konsep *Intelligent Transport System* (ITS) merupakan solusi tepat untuk mengatasi hal tersebut. Intelligent transport system sebagai sebuah sistem manajemen dan *monitoring* jalan raya secara digital pada umumnya memanfaatkan kamera CCTV ( *Closed Circuit Television* ) yang berbasis video digital. Akan tetapi, pemanfaatan video dalam sistem tersebut masih memiliki beberapa kendala, diantaranya adalah adanya bayangan. Hal ini mengakibatkan adanya kesalahan pengenalan pada objek sebab seringkali bayangan dianggap sebagai bagian dari objek. Sehingga informasi yang diperoleh menjadi berkurang dan tidak sesuai yang diharapkan. Selain itu, adanya bayangan juga mengubah ukuran geometris objek, sehingga pada beberapa kasus klasifikasi atau pengenalan objek terjadi kesalahan pengenalan.

Perkembangan ilmu pengetahuan terutama bidang pengolahan citra digital maupun video digital memberikan inovasi dalam menanggapi masalah tersebut. Beberapa metode telah dikembangkan agar pengenalan bayangan objek pada citra maupun video dapat dilakukan. Sehingga akurasi sistem pengenalan objek berbasis citra maupun video dapat meningkat dan sistem rekayasa lalu lintas dapat lebih efektif dan efisien.

Beberapa penelitian sebelumnya terkait dengan penelitian ini dilakukan oleh Chin-Teng Lin pada 2010 yang berjudul *An Efficient and Robust moving*

*shadow removal and its application in ITS*, dalam penelitian ini digunakan metode gaussian mixture model sebagai metode substraksi *background* dan *foreground*, serta penelitian ini dilakukan dengan distribusi cahaya yang tidak seragam (Lin, 2010). Penelitian oleh Scot Tattersall dan Kenneth Dawson-Howe pada tahun 2003 berjudul *Adaptive Shadow Removal identification through automatic parameter estimation in video sequence* berhasil memperkenalkan metode baru dalam mengestimasi parameter untuk mengenali bayangan pada ruang warna HSV (Hue Saturation Value) untuk membedakan objek bergerak dan bayangannya (Tattersal, 2003). Pada tahun 2013, Chunxia Xiao dkk melakukan penelitian berjudul *Efficient Shadow Removal Using Subregion matching illumination transfer*. Dalam penelitian tersebut, peneliti menggunakan metode *subregion matching* untuk memperoleh piksel transisi antara objek dan bayangannya (Xiao, 2013). Mohamad Toha dkk (Taha, M, 2014), melakukan penelitian untuk menghapus bayangan benda bergerak dengan cara mengestimasi citra *foreground* dengan *frame different* dan mengaplikasikan metode *gamma decoding* untuk mensegmentasi daerah berbayangan dan daerah objek. Pada tahun 2016, Budi Setiyono dkk melakukan penelitian terkait topik menghilangkan bayangan dengan judul *a new approach algorithm for counting of vehicle moving based on image processing* dengan cara melakukan updating nilai parameter *gaussian mixture model* agar piksel bayangan tereduksi (Setiyono, Budi, 2016). Penelitian lain berjudul *An Approach for Shadow Removal in Moving Object* dilakukan oleh Prajapati dkk. Pada penelitian ini dilakukan kombinasi *averaging method* dan gaussian mixture model sebagai metode substraksi *background* dan *foreground* dalam ruang warna HSV (Prajapati, 2016).

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini akan mengkombinasikan metode *gaussian mixture model* sebagai metode substraksi *background* dan mengimplementasikan metode *subregion illumination transfer* untuk melakukan segmentasi dan penghapusan bayangan pada tiap piksel dalam video. Metode *Subregion illumination transfer* merupakan metode yang dapat digunakan untuk memperoleh piksel transisi antara objek dan bayangannya sehingga pemisahan piksel bayangan dan benda lebih akurat pada sebuah citra digital. Sehingga metode ini dapat diterapkan pada video digital dengan melalui ekstraksi *frame* video. Proses *Subregion illumination transfer* akan dilakukan pada tiap *frame* untuk menghilangkan bayangan. Serangkaian *frame* yang telah melalui metode tersebut akan menjadi masukan untuk metode berikutnya yaitu *Gaussian mixture model* untuk *smoothing* piksel yang terindikasi sebagai bayangan. Hasil akhir dari penelitian ini adalah video dengan objek tanpa bayangan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Bagaimana membangun metode *hybrid* berdasarkan metode *subregion illumination transfer* dan *gaussian mixture model* untuk menghilangkan bayangan
2. Bagaimana menganalisis kinerja hasil rekonstruksi metode tersebut

## 1.3 Batasan Masalah

Penulisan tesis ini difokuskan pada pembahasan dengan beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Citra masukan berupa video yang diproses secara *offline* hasil keluaran dari CCTV yang pada umumnya bertipe .mpeg dan berukuran 320x240 piksel
2. Sudut pandang pengambilan video yang digunakan adalah satu arah, diambil pada siang hari, cuaca cerah, serta bayangan tampak jelas.
3. Metode yang di-*hybrid* adalah metode *subregion illumination transfer* dan metode *gaussian mixture model*.
4. Pengambilan Video uji lapangan dilakukan di jalan Ahmad Yani, Surabaya

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Membangun metode *hybrid* berdasarkan metode *subregion illumination transfer* dan *gaussian mixture model* untuk menghilangkan bayangan.
2. Melakukan analisis kinerja hasil rekonstruksi metode *hybrid shadow removal*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan tesis ini adalah dapat memberikan informasi tentang penghitungan kendaraan dan klasifikasi kendaraan yang lebih efektif untuk instansi terkait sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan mengenai manajemen transportasi terutama pada kota yang sudah menerapkan konsep *smart city*.



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan materi-materi penunjang yang yang digunakan dalam pengerjaan tesis ini, yang meliputi penelitian sebelumnya, dasar-dasar pengolahan citra digital, pengertian bayangan, ruang warna dalam pengolahan citra digital, metode *gaussian mixture model*, serta pengembangannya.

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian sebelumnya terkait dengan penelitian ini dilakukan oleh Chin-teng Lin pada tahun 2010 yang berjudul *an efficient and robust moving shadow removal and its application in ITS*, dalam penelitian ini digunakan metode gaussian mixture model sebagai metode pemisahan *background* dan *foreground*, serta penelitian ini dilakukan pada citra dengan distribusi cahaya yang tidak seragam (Lin, 2010). Dalam penelitian tersebut dikenalkan sebuah metode baru dalam penghapusan bayangan yaitu dengan memanfaatkan struktur lengkap dalam kombinasi fitur sebagai orientasi dan pelabelan dari objek bergerak agar mudah dikenali dan dihapus bayangannya pada setiap frame video. Pada dasarnya penelitian ini menggunakan metode GMM sebagai metode substraksi *background*. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan peningkatan kinerja algoritma yang digunakan sebesar 13,84 ms/frame dan meningkatkan akurasi sebesar 4%-10% dalam proses perhitungan kendaraan.

Penelitian oleh Scott Tattersall dan Kenneth Dawson-Howe pada tahun 2003 yang berjudul *adaptive shadow identification trough automatic parameter estimation in video sequence* berhasil memperkenalkan algoritma baru yang dilakukan di ruang warna HSV (*Hue Saturation Value*) untuk membedakan objek bergerak dan bayangannya (Tattersal, 2003). Penelitian ini berhasil memisahkan objek dan bayangannya baik dalam lingkungan *indoor* ataupun *outdoor* dengan dengan perubahan iluminasi cahaya tanpa membutuhkan perubahan kalibrasi sistem secara manual pada setiap parameter yang digunakan. Algoritma yang diusulkan dalam penelitian tersebut memperoleh akurasi sebesar 94,51% dan merupakan akurasi tertinggi yang diperoleh dibandingkan dengan beberapa metode lain yang digunakan. Pada tahun 2013, Chunxia Xiao dkk melakukan penelitian berjudul *Efficient Shadow Removal Using Subregion matching illumination transfer*. Dalam penelitian tersebut, peneliti menggunakan metode *subregion matching* untuk memperoleh piksel transisi antara objek dan bayangannya (Xiao, 2013).

Pada tahun 2016, Budi Setiyono dkk melakukan penelitian terkait topik menghilangkan bayangan dengan judul *a new approach algorithm for counting of vehicle moving based on image processing* dengan cara melakukan updating nilai parameter agar piksel bayangan tereduksi (Setiyono, Budi, 2016). Dalam

penelitian tersebut *updating* parameter yang dilakukan memberikan dampak berkurangnya piksel bayangan pada benda, sehingga proses *counting* yang dilakukan lebih spesifik pada objek kendaraan bergerak. Penelitian lain berjudul *An Approach for Shadow Removal in Moving Object* dilakukan oleh Prajapati dkk. Pada penelitian ini dilakukan kombinasi *averaging method* dan *gaussian mixture model* sebagai metode substraksi *background* dan *foreground* dalam ruang warna HSV (Prajapati, 2016).

## 2.2 Citra Digital

Citra menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia memiliki makna rupa, gambar, atau gambaran. Sedangkan menurut kamus Webster citra adalah suatu representasi, kemiripan, atau imitasi dari suatu objek atau benda. Citra terbagi menjadi dua yaitu citra diam dan citra bergerak. Citra diam adalah citra tunggal yang tidak bergerak. Sedangkan, citra bergerak adalah rangkaian citra diam yang ditampilkan secara beruntun sehingga memberi kesan pada mata kita sebagai gambar yang bergerak.

Dalam beberapa masa, citra yang dikenal manusia berbentuk citra kontinu. Suatu representasi objek yang dihasilkan dari sistem optik yang menerima sinyal analog dan dinyatakan dalam bidang dua dimensi. Nilai cahaya yang ditransmisikan pada citra kontinu memiliki rentang nilai yang tak terbatas. Contoh dari citra kontinu adalah mata manusia dan kamera analog.

Sebuah citra analog tidak dapat direpresentasikan secara langsung oleh komputer. Oleh sebab itu dilakukan sebuah proses untuk merubah nilai-nilai yang ada pada citra analog agar komputer dapat membaca dan menerjemahkan informasi yang terdapat pada citra analog. Hasil dari pemrosesan tersebut dinamakan sebagai citra digital.

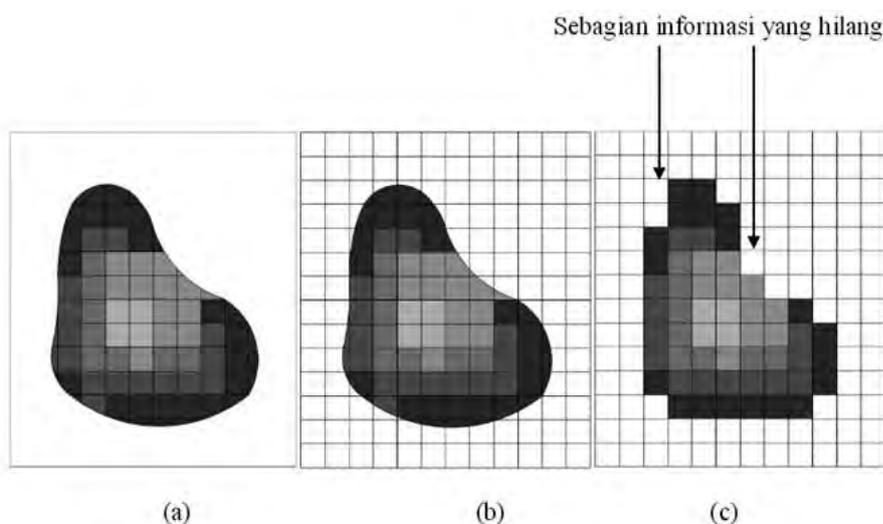
Citra digital merupakan fungsi dua dimensi yang dapat dinyatakan dengan fungsi  $f(x,y)$ , dimana  $x$  dan  $y$  merupakan titik koordinat spasial. Dan amplitudo dari fungsi  $f$  pada sembarang koordinat  $(x,y)$  merupakan nilai intensitas cahaya, yang merupakan representasi dari warna cahaya yang ada pada citra analog. Citra digital adalah suatu citra dimana  $(x,y)$  dan nilai intensitas dari  $f$  terbatas (*discrete quantities*), dan telah dilakukan proses digitalisasi spasial dan digitalisasi kuantitas (Gonzalez, 2002). Beberapa bidang penelitian dalam citra digital yaitu meliputi peningkatan kualitas citra, kompresi citra, proses morfologi citra, segmentasi citra, dan pengenalan objek, baik objek statis maupun objek bergerak.

Digitalisasi Spasial (*Sampling*) Sampling merupakan proses pengambilan informasi dari citra analog yang memiliki panjang dan lebar tertentu untuk membaginya ke beberapa blok kecil. Blok-blok tersebut disebut sebagai piksel. Sehingga citra digital yang lazim dinyatakan dalam bentuk matriks memiliki ukuran  $M \times N$  dengan  $M$  sebagai baris dan  $N$  kolom. Bisa juga disebut sebagai citra digital yang memiliki  $M \times N$  buah piksel. Notasi matriks citra digital

dapat dinyatakan sebagai berikut (Gonzalez, 2002) :

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

Sedangkan proses kuantisasi adalah proses pemberian nilai derajat keabuan di setiap titik piksel yang merupakan representasi dari warna asli dari citra analog dengan rentang nilai keabuan adalah 0 255.



Gambar 2.1: Proses sampling dan kuantisasi. (a) Citra Digital, (b) Citra Digital Disampling Menjadi 14 Baris dan 12 Kolom, (c) Citra Digital Hasil Sampling Berukuran 14 x 12 Piksel

### 2.3 Video Digital

Video adalah teknologi untuk menangkap, merekam, memproses, menyimpan, dan merekonstruksi suatu urutan dari beberapa citra. Alan C. Bovik dalam bukunya *Handbook of Image and Video Processing* menjelaskan bahwa video digital merupakan hasil *sampling* dan kuantisasi dari video analog. Secara mendasar, tidak ada perbedaan proses *sampling* dan kuantisasi antara citra digital dan video digital (Al Bovik, 2000).

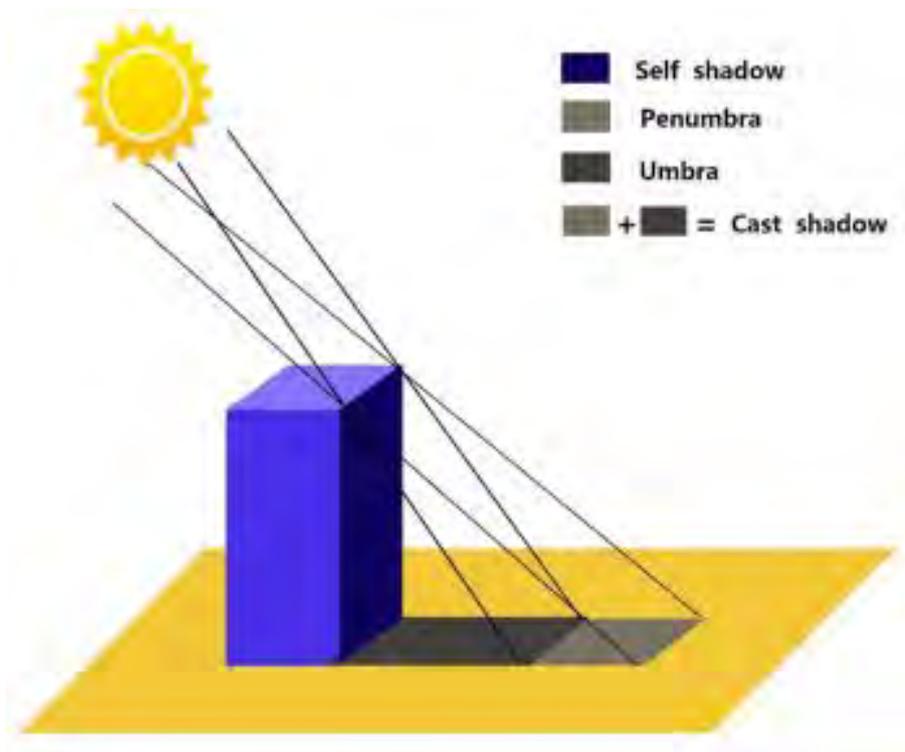
Bagaimanapun juga, video analog yang kita lihat sehari-sehari seperti tampilan pada TV analog, sebenarnya bukan sesuatu yang benar-benar kontinu, melainkan terdiri dari beberapa *frame* yang ditampilkan dengan kecepatan tertentu. Setiap *frame* merupakan citra analog dan kecepatan untuk menampilkan citra-citra yang ada disebut sebagai *frame rate* dengan satuan fps (*frame per second*). Jika frame rate cukup tinggi, maka akan terlihat sebagai rangkaian yang kontinu sehingga tercipta ilusi gerak yang halus.

Video analog dapat dinyatakan dengan fungsi  $I(x, y, t)$ , dimana  $(x, y)$  adalah nilai kontinu dari fungsi I dan t menyatakan waktu. Sebenarnya

tampilan video analog di TV maupun monitor merupakan representasi dari fungsi sinyal elektrik satu dimensi  $V(t)$ . Dimana sinyal elektrik satu dimensi tersebut terdiri dari beberapa citra analog  $I(x, y, t)$  dengan jumlah citra  $(x, y)$  tertentu dan waktu  $(t)$  tertentu. Proses pemisahan video ke beberapa unit *frame* citra disebut sebagai *scanning* (Al Bovik, 2000).

## 2.4 Pengertian Bayangan

Dalam citra digital, bayangan merupakan suatu daerah yang terkena perubahan pencahayaan. Dengan kata lain ketika objek diletakkan diantara sumber cahaya dan permukaan *background*, maka objek tersebut akan menghalangi cahaya untuk sampai ke permukaan *background*. Pada dasarnya bayangan terdiri dari dua kategori, yaitu umbra dan penumbra. Umbra merupakan daerah gelap hasil dari tertutupnya cahaya utama (*dominant lights*) secara langsung. Penumbra merupakan daerah yang terpapar cahaya utama (*dominant lights*) dan cahaya bias (*ambient lights*) sehingga membentuk bayangan (Russel, 2016).



Gambar 2.2: Representasi Komponen Bayangan (Zhang, 2014)

## 2.5 Ruang Warna

Warna merupakan representasi intensitas tiap nilai piksel citra. Dalam konteks ini, warna merupakan hal penting dalam proses penghilangan bayangan. Sebab dengan representasi warna ini proses penghilangan bayangan dapat dilakukan dengan lebih mudah. Pada umumnya citra yang digunakan

dalam proses adalah citra *grayscale* yaitu citra 2 dimensi dengan intensitas piksel antara 0 - 255 dan citra RGB (*Red Green Blue*) dengan nilai masing masing channel antara 0 255. Akan tetapi tidak hanya *grayscale* dan RGB, terdapat beberapa ruang warna pada citra digital, yaitu :

### 2.5.1 Warna RGB

Warna RGB terdiri dari *red*, *green* dan *blue* merupakan nilai intensitas piksel citra dalam tiga channel warna dalam rentang 0 255 masing masing channel warna. RGB adalah *channel* warna yang paling umum digunakan (Gonzalez, 2002).

### 2.5.2 Warna CMY

CMY (*Cyan Magenta Yellow*) merupakan representasi channel warna sekunder dari cahaya atau dapat dikatakan sebagai warna alternatif pengganti warna primer RGB. Sebagai contoh, jika permukaan dengan warna *cyan* terpapar cahaya putih maka tidak ada cahaya merah yang dibiaskan. Sebab cyan mengurangi cahaya merah dari pembiasan cahaya putih. *Cyan* terdiri dari *red*, *green* dan *blue* dengan komposisi yang sama. Formula yang digunakan untuk mengkonversi warna RGB ke CMY adalah sebagai berikut (Gonzalez, 2002):

$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

### 2.5.3 Warna HSV (*Hue Saturation Value*)

HSV didefinisikan dalam terminologi *hue*, *saturation* dan *value*. Keuntungan HSV adalah terdapat warna warna yang sama yang ditangkap oleh indra manusia. Sedangkan warna yang dibentuk model lain seperti RGB merupakan hasil campuran dari warna warna primer. *Hue* menyatakan warna sebenarnya seperti merah, violet dan kuning. Digunakan untuk menentukan kemerahan (*redness*), kehijauan (*greenness*), dsb. *Saturation* disebut juga *chroma*, adalah kemurnian atau kekuatan warna. *Value* adalah kecerahan dari warna. Nilainya berkisar dari 0 - 100%. Apabila nilainya 0 maka warnanya menjadi hitam, semakin besar nilainya maka semakin cerah dan muncul variasi variasi baru dari warna tersebut. Konversi nilai dari RGB ke HSV dapat didefinisikan dengan persamaan berikut (Gonzalez, 2002):

$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B}, b = \frac{B}{R+G+B}$$

$$V = \max(r, g, b)$$

$$S = \begin{cases} 0 & , \text{jika } V = 0 \\ 1 - \frac{\min(r,g,b)}{V} & , \text{Jika } V > 0 \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} 0 & , \text{jika } S = 0 \\ \frac{60*(g-b)}{S*V} & , \text{Jika } V = r \\ 60 * [2 + \frac{b-r}{S*V}] & , V = g \\ 60 * [4 + \frac{r-g}{S*V}] & , V = b \end{cases}$$

jika nilai  $H < 0$  maka  $H_{baru} = H + 360$

## 2.6 Frame Difference Method

Metode *frame difference* merupakan metode yang mengacu pada perbedaan frame dalam rentang waktu yang relatif kecil dan kemudian melakukan penentuan ambang batas untuk memperoleh daerah citra yang bergerak berdasarkan pada perubahan yang spesifik pada tiap intensitas piksel citra.

Metode ini melakukan perhitungan suatu citra pada citra ke-k dan k+1 untuk mencari perbedaan yang signifikan pada tiap intensitas citra. Pada dasarnya metode ini memiliki dua kategori yaitu perbedaan negatif dan perbedaan penuh yang secara matematis disajikan dalam persamaan berikut :

$$D_k = \begin{cases} f_k - f_{k-1} & , \text{jika } f_k - f_{k-1} > Threshold \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases}$$

Perbedaan Negatif :

$$D_k = \begin{cases} |f_k - f_{k-1}| & , \text{jika } f_k - f_{k-1} < Threshold \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases}$$

Perbedaan Penuh :

$$D_k = |f_k - f_{k-1}|$$

dengan  $D_k$  menyatakan perbedaan piksel,  $f_k$  adalah *frame* ke-k dan  $f_{k-1}$  adalah *frame* ke-k-1. Pada tesis ini, persamaan *frame difference* yang digunakan adalah perbedaan penuh.

## 2.7 Metode *Sub Region Matching Illumination Transfer*

Metode *subregion matching* merupakan metode untuk memisahkan piksel bayangan dan piksel objek dengan membentuk beberapa region (daerah) sebagai acuan untuk memperoleh daerah objek dan bayagannya. Langkah pertama dalam metode ini adalah dengan mensegmentasi daerah objek dan daerah bayangan berdasarkan perbedaan tekstur (distribusi warna, perbedaan nilai intensitas *value* pada ruang warna HSI) (Xiao, 2013).

Citra masukan pada metode ini awalnya dilakukan proses *filtering* terlebih dahulu untuk menghilangkan *noise* yang ada, agar tidak mempengaruhi hasil yang diperoleh. Selanjutnya untuk membedakan perbedaan intensitas citra pada daerah bayangan, maka digunakan persamaan rasio untuk memetakan setiap nilai intensitas citra pada posisi x,y,t di ruang HSI((Xiao, 2013)). Persamaan tersebut secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

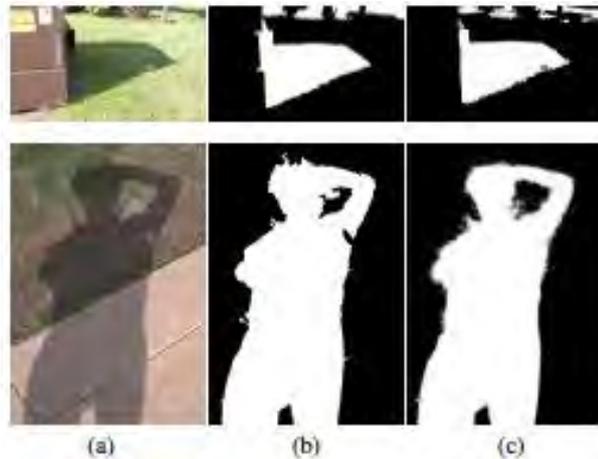
$$r(x) = H(x)/(I(x) + 0.01) \quad (2.1)$$

$r(x)$  adalah rasio pemetaan yang digunakan,  $I(x)$  dan  $H(x)$  secara berurutan menyatakan nilai intensitas dan *hue* dari piksel  $x$ . Selanjutnya hasil dari pemetaan ini dibatasi dengan  $r(x) = [0, 255]$  agar lebih mudah dalam proses selanjutnya (Xiao, 2013). Berdasarkan hasil dari pemetaan rasio ini, maka metode *thresholding Otsu* dimanfaatkan untuk memisahkan daerah bayangan dan daerah objek. Nilai *Threshold* ( $T$ ) yang diperoleh akan digunakan dalam proses pemisahan piksel bayangan dan piksel objek berdasarkan kondisi berikut :

$$s(x) = \begin{cases} 1 & , \text{jika } r(x) > T \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases}$$

$s(x) = 1$  menyatakan piksel yang teridentifikasi sebagai piksel objek, sedangkan  $s(x) = 0$  menyatakan piksel yang teridentifikasi sebagai bayangan.

Kelemahan dari metode ini adalah dengan data citra yang memiliki struktur kompleks, baik adanya variasi umbra, penumbra, dan berbagai struktur warna yang tidak seragam, serta kondisi iluminasi (pencahayaannya) yang berubah-ubah, maka metode ini memerlukan pengembangan. Hal ini seperti yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh (Xiao, 2013).



Gambar 2.3: Hasil Proses Sub-region Illumination Transfer. (a) Citra masukan (b) *shadow detection* (c) hasil *Smoothing* pada deteksi bayangan

## 2.8 Modifikasi Metode *Sub-Region Matching Illumination Transfer*

Dengan adanya kekurangan pada metode *Sub-Region Matching Illumination Transfer* maka pada penelitian tesis ini dilakukan modifikasi atau pengembangan proses hasil dari metode tersebut. Sehingga hasil yang diperoleh akan diproses kembali dalam sebuah algoritma *shadow removal* dengan memanfaatkan *gamma decoding*.



Gambar 2.4: Contoh citra dengan iluminasi, kompleks bayangan, dan struktur materi yang bervariasi

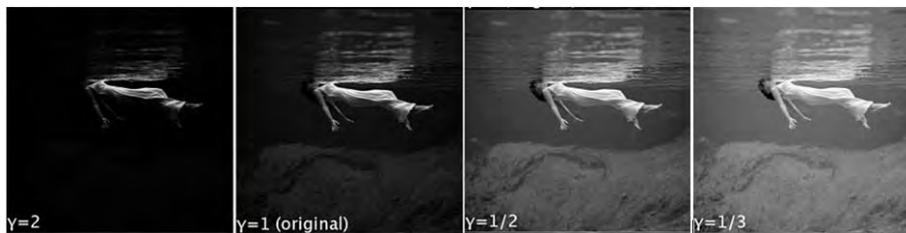
### 2.8.1 Metode *Gamma Decoding*

Gamma Correction atau yang lebih dikenal dengan Gamma adalah sebuah fungsi nonlinier yang digunakan untuk menandai (*encode*) dan membaca tanda (*decode*) luminansi pada sebuah citra, baik video ataupun citra tunggal (Charles A. Poynton, 2003). *Gamma Correction* secara sederhana didefinisikan sebagai hasil pangkat gamma pada setiap nilai piksel citra.

$$V_{out} = A * V_{in}^{\gamma} \quad (2.2)$$

dimana hasil non-negatif dari nilai masukan  $V_{in}$  akan ditingkatkan dengan pangkat  $\gamma$  dan dikalikan dengan konstanta A. Pada umumnya nilai A=1 dan hasil yang diperoleh berada dalam rentang  $[0, 1]$ . Nilai gamma ( $\gamma$ )  $< 1$  disebut dengan *encoding gamma* yang seringkali digunakan dalam proses kompresi, sedangkan nilai gamma ( $\gamma$ )  $> 1$  disebut dengan proses *decoding gamma* yang penerapannya lebih pada ekspansi gamma.

Metode *Gamma Decoding* inilah yang akan digunakan dalam proses identifikasi piksel bayangan pada objek. Sebab berdasarkan informasi dasar tentang iluminasi bayangan pada citra, metode gamma decoding mampu "mempergelap" bayangan benda. Sehingga proses *thresholding otsu* dapat dilakukan secara optimal dan bayangan benda dapat diidentifikasi.



Gambar 2.5: Beberapa contoh citra dengan perubahan nilai gamma

Pada tesis ini, pemanfaatan *gamma decoding* digunakan untuk memperoleh piksel bayangan benda dan hasilnya akan dikombinasikan dengan hasil dari *sub region matching illumination transfer*, sehingga piksel bayangan yang teridentifikasi oleh metode *sub region matching illumination transfer* dan metode *gamma decoding* akan diperoleh.

### 2.8.2 Thresholding Otsu

Metode thresholding Otsu merupakan metode untuk segmentasi berdasarkan histogram citra. Metode Otsu sering digunakan untuk melakukan pemisahan antara *background* dan *foreground*. Cara kerja metode Otsu dengan memaksimalkan varians antar kelas (between-class variance). Varians antar kelas ini cocok digunakan untuk analisa diskriminan kelas secara statistik (Budisanjaya, 2013).

Metode Otsu menggunakan histogram untuk melakukan pengelompokkan terhadap piksel-piksel dalam citra. Pengelompokkan ini berdasarkan pada nilai ambang atau *threshold*. Nilai *threshold* ini menjadi objektif atau tujuan dari metode Otsu. Dasar dari metode Otsu adalah perbedaan intensitas dari piksel-piksel yang dipisahkan dalam kelas-kelas tertentu.

Berikut adalah algoritma dari metode *thresholding Otsu* untuk pemilihan satu threshold (Gonzalez, 2002) :

1. Hitung histogram ternormalisasi dari citra yang menggunakan persamaan berikut :

$$p_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^{L-1} n_i} \quad (2.3)$$

dengan

$p_i$  : histogram ternormalisasi dari citra

$n_i$  : jumlah piksel pada intensitas ke- $i$  untuk  $i=0,1,2,,L-1$ .

2. Hitung jumlah kumulatif (*Cumulative Sum*) dengan persamaan berikut :

$$p_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i \quad (2.4)$$

$$p_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i \quad (2.5)$$

3. Hitung rata-rata kumulatif.

$$m_1(k) = \frac{1}{P_1(k)} \sum_{i=0}^k i * p_i \quad (2.6)$$

$$m_2(k) = \frac{1}{P_2(k)} \sum_{i=k+1}^{L-1} i * p_i \quad (2.7)$$

4. Hitung rata-rata intensitas keseluruhan atau intensitas global yang disajikan pada Persamaan berikut:

$$m_G(k) = \sum_{i=0}^{L-1} i * p_i \quad (2.8)$$

5. Hitung varians antar kelas (*between-class variance*) pada Persamaan berikut :

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[m_G P_1(k) - m(k)]^2}{p_1(k)[1 - p_1(k)]} \quad (2.9)$$

6. Pilih nilai threshold  $k^*$  yang merupakan indeks dimana nilai varians antar kelas maksimum,  $\sigma_B^2(k) \rightarrow \max$ . Apabila terdapat lebih dari satu nilai  $k^*$  maka menghitung nilai *threshold* dengan menghitung rata-ratanya.

Setelah mendapatkan nilai ambang batas atau *threshold* maka kita gunakan untuk segmentasi citra. Metode Otsu hanya untuk menemukan *threshold* yang optimum. Teknik segmentasi menggunakan Persamaan berikut :

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & , \text{jika } f(x, y) > k^* \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases}$$

Hasil segmentasi adalah citra biner yang memiliki nilai intensitas hanya 0 dan 1. Nilai intensitas 0 menyatakan warna hitam dan (dalam tesis ini dianggap *background*) sedangkan nilai intensitas 1 menyatakan warna putih (dianggap foreground atau objek).

## 2.9 Metode Gaussian Mixture Model

*Gaussian Mixture Model* merupakan salah satu metode yang efektif dalam hal substraksi *background* dimana dalam metode ini memuat k fungsi distribusi Gauss. Model-model GMM terbentuk dari data warna piksel berdasarkan waktu. Hasil model tersebut akan menjadi 2 bagian, model yang mencerminkan *background* dan *non-background*. Jumlah model GM yang digunakan mempengaruhi jumlah model *background*. Semakin besar jumlah model GMM yang dipakai semakin banyak model *background* yang dimiliki suatu piksel. GMM memproses tiap piksel citra baik yang berupa scalar (grayscale) maupun vector (RGB). Untuk sebarang waktu t, citra tersebut dimodelkan sebagai berikut (Stauffer, 1999):

$$X_1, \dots, X_t = I(x_0, y_0, i); 1 \leq i \leq t \quad (2.10)$$

dengan  $X_t$  adalah citra scalar maupun vector dan I adalah serangkaian citra. Untuk setiap piksel dimodelkan dengan  $X_1, \dots, X_t$  mixture K distribusi *Gaussian*. Dengan K merupakan banyak model *Gaussian* yang dibangun dan bernilai 3 hingga 5. Secara singkat, terdapat dua proses pada GMM yaitu tahap pencocokan input terhadap distribusidan tahap pemilihan distribusi yang mencerminkan *background*. Beberapa tahapan dalam GMM akan dijelaskan sebagai berikut (Stauffer, 1999) :

### 2.9.1 Tahap pencocokan input terhadap distribusi

Pada tahap ini dilakukan update parameter GMM yang digunakan untuk memproses input selanjutnya. Berikut model matematis GMM dari tahap pencocokan input hingga update parameter (Stauffer, 1999) :

1. Tahap pencocokan input terhadap distribusi suatu piksel masuk dalam distribusi jika nilai piksel masuk dalam jarak 2,5 dikalikan standar deviasi dari sebuah distribusi

$$\mu_i - 2.5\sigma_i < X_t < \mu_i + 2.5\sigma_i \quad (2.11)$$

$\mu_i$  adalah nilai mean citra RGB dari Gaussian ke-i,  $\sigma_i$  adalah standar deviasi dari Gaussian ke-I dan  $X_t$  adalah vector citra RGB

2. Tahap update komponen GMM. Pada tahap ini terdapat beberapa parameter GMM yang akan di-update nilainya adalah  $\omega_{i,t}$  (weight) ,  $\mu_{i,t}$  (mean) ,  $\sigma_{i,t}$  (standar deviasi). Update weight dilakukan dengan persamaan :

$$\omega(i, t) = (1 - \alpha)\omega_{i,t-1} + \alpha(M_{i,t}) \quad (2.12)$$

$\alpha$  adalah learning rate dan  $M_{i,t}$  bernilai 1 untuk model yang cocok dan 0 untuk lainnya. Update mean dilakukan dengan persamaan berikut :

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho)\mu_{i,t-1} + \rho X_t \quad (2.13)$$

update standar deviasi hanya dilakukan jika dan hanya jika ada model yang cocok dengan persamaan berikut :

$$\sigma_{i,t} = \text{sqr}t((1 - \rho)\sigma_{i,t-1}^2 + \rho(X_t - \mu_{i,t})^T(X_t - \mu_{i,t})) \quad (2.14)$$

dengan,

$$\rho = \frac{\alpha}{\omega_{i,t}} \quad (2.15)$$

### 2.9.2 Tahap pemilihan distribusi yang mencerminkan background

Pada tahap ini akan dipilih model yang menyerupai background. Model akan diurutkan berdasarkan  $\frac{\omega}{\sigma^2}$  sehingga distribusi yang menyerupai background akan berada di urutan atas sedangkan yang tidak akan berada di urutan bawah yang nantinya kan diganti dengan distribusi lain yang cocok. Model matematis untuk memilih B distribusi pertama yang dijadikan background adalah :

$$B = \text{argmin}_b \left( \sum_{k=1}^b \omega_k > \tau \right) \quad (2.16)$$

Pada persamaan 2.16, kondisi  $\omega_k$  dengan k dimulai dari 1 sampai b dibandingkan dengan dilai  $\tau$ , dimana nilai default  $\tau$  berkisar antara 0.25 sampai 0.75 (Stauffer, 1999). Hal ini dilakukan untuk memperoleh nilai b sehingga argumen minimal b pada kondisi  $\omega_k > \tau$  terpenuhi dan b pada kondisi tersebut dianggap sebagai background. Sigma pada persamaan tersebut digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan distribusi background yang ada dengan nilai varians yang relatif kecil.



## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai metode penelitian yang akan digunakan. Pembahasan metode penelitian diawali dengan studi literatur, perumusan metode *Gaussian mixture model*, penentuan piksel objek dan piksel bayangan oleh sistem, implementasi sistem, analisis dan pembahasan sistem, dan penarikan kesimpulan.

#### 3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur tentang metode *subregion illumination transfer* dalam menentukan piksel bayangan dan piksel objek dalam citra. Selanjutnya dengan memanfaatkan metode *gaussian mixture model* dan implementasinya dalam tahap substraksi *background* dan *foreground*. Selain itu, akan dilakukan studi literatur tentang penentuan bayangan benda serta metode adaptif dalam penghapusan bayangan.

#### 3.2 Perumusan Masalah

Pada tahap ini citra inputan dilakukan pembentukan model background dengan Gaussian mixture model. Selanjutnya dilakukan ekstraksi *frame* pada video serta mengimplementasikan metode *subregion illumination transfer* untuk mendeteksi piksel bayangan dan piksel benda pada tiap *frame* citra.

##### 3.2.1 Shadow Detection

Pada tahap ini akan dilakukan segmentasi *subregion* pada citra sehingga piksel bayangan citra dapat dideteksi dan dipisahkan dengan piksel objek. *Subregion* tersebut akan dicocokkan dengan nilai tiap piksel citra untuk mendapatkan piksel citra yang terindikasi sebagai bayangan dan bukan.

##### 3.2.2 Shadow Removal

Setelah daerah piksel bayangan diperoleh maka proses penghilangan bayangan dilakukan. Sehingga pada hasil tersebut diperoleh *frame* citra dengan piksel objek bayangan yang telah tereduksi.

#### 3.3 Implementasi Sistem

Proses yang telah dilakukan pada sub bab di atas selanjutnya akan diimplementasikan dalam sebuah program simulasi menggunakan software MATLAB .

#### 3.4 Proses pengujian

Pada subbab ini metode yang digunakan akan diuji dengan dua cara, yaitu :

1. Metode *shadow removal* yang digunakan dalam penelitian ini diuji dengan menghitung nilai PSNR (*Peak Signal To Noise Ratio*). Pengujian

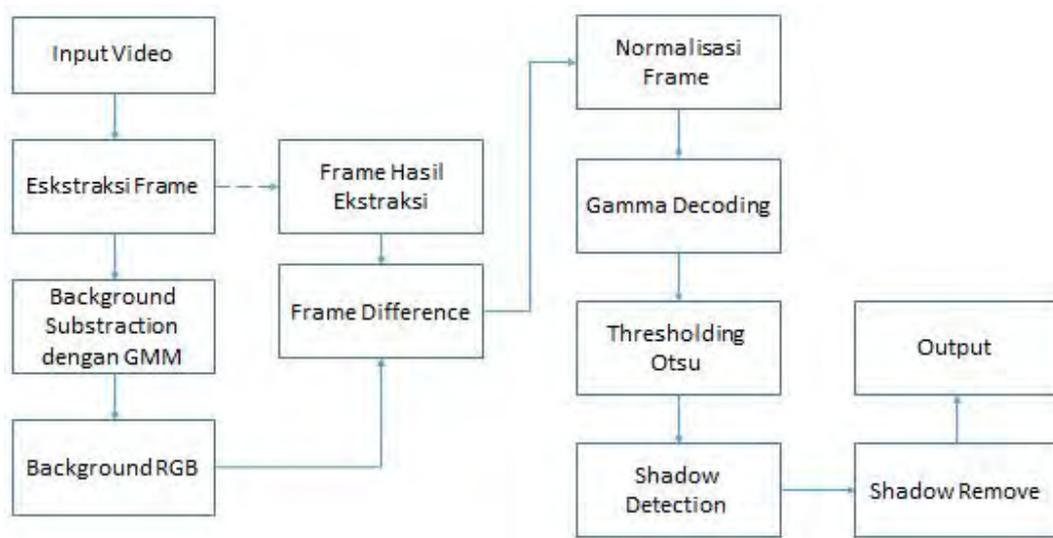
ini dilakukan dengan membandingkan citra tanpa bayangan dan citra dengan bayangan yang akan dihilangkan dengan metode *subregion illumination transfer*. Sehingga hasil yang diperoleh dapat menunjukkan tingkat kualitas rekonstruksi citra yang diperoleh dengan metode tersebut. Pada pengujian ini data yang digunakan adalah data video simulasi yang dibuat menggunakan *software 3Ds Max Community*.

- Selain pengujian diatas, metode *shadow removal* ini diuji dengan data video uji lapangan yang diambil di jalan A. Yani, Surabaya.

### 3.5 Penarikan Kesimpulan

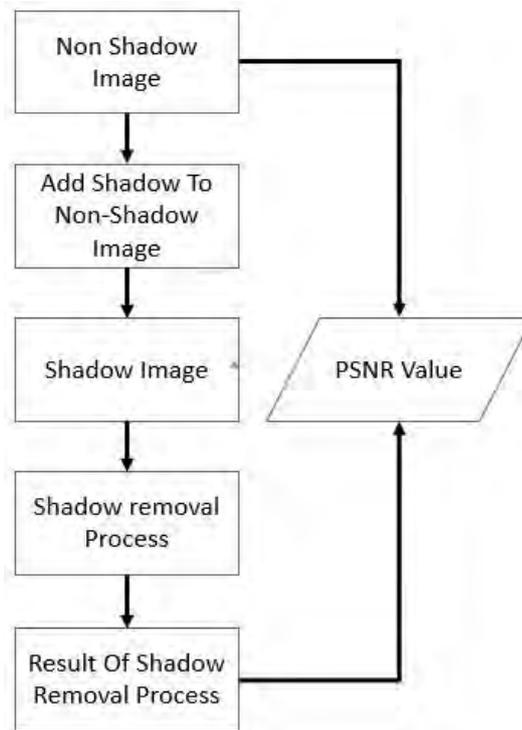
Penarikan kesimpulan dilakukan dengan memperhatikan hasil dan pembahasan yang telah diselesaikan pada tahap-tahap sebelumnya. Sehingga diharapkan pada penelitian ini diperoleh sebuah metode baru yang dapat digunakan dalam ekstraksi bayangan dan objek, serta dapat dimanfaatkan untuk kepentingan pengolahan citra yang lain.

Berdasarkan uraian metodologi penelitian diatas dapat dibentuk diagram flowchart metode penelitian pada gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram Alir Metode Yang Digunakan Dalam Penelitian

Hasil dari proses diatas akan diuji dengan menggunakan diagram pengujian pada gambar 3.2.



Gambar 3.2: Diagram Proses Pengujian Metode



## BAB 4

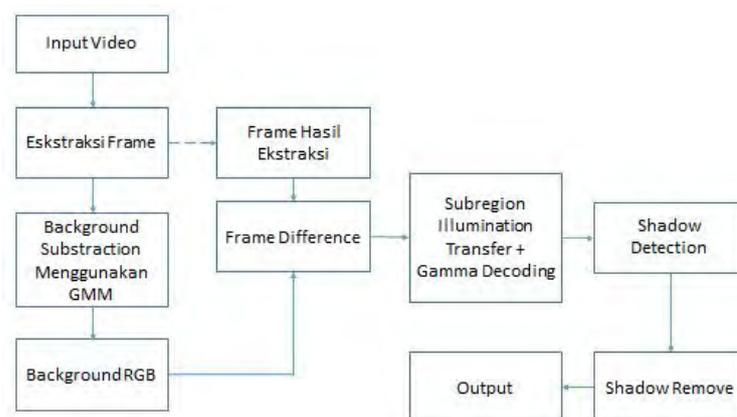
### PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis perancangan dan implementasi sistem yang digunakan dalam penelitian tesis ini yang terdiri dari analisis sistem, perancangan data masukan dan data keluaran, perancangan desain algoritma yang meliputi algoritma *background subtraction*, algoritma penghapusan bayangan menggunakan metode *subregion illumination transfer* dan memodifikasinya dengan metode *gamma decoding*, perancangan proses *background subtraction* menggunakan algoritma *gaussian mixture model* serta perancangan proses pengujian yang dilakukan dengan simulasi untuk memperoleh nilai PSNR sebagai ukuran kualitas citra hasil metode *shadow removal*.

Hasil dari perancangan diatas akan diimplementasikan dalam sebuah program untuk memperoleh hasil empirik sistem dan dapat diukur secara kuantitatif.

#### 4.1 Perancangan Algoritma

Perancangan algoritma dalam penelitian ini meliputi perancangan proses ekstraksi *frame*, proses identifikasi bayangan berdasarkan *illumination* (distribusi cahaya), perancangan proses *gaussian mixture model*, perancangan penghapusan bayangan, dan perancangan metode pengujian.

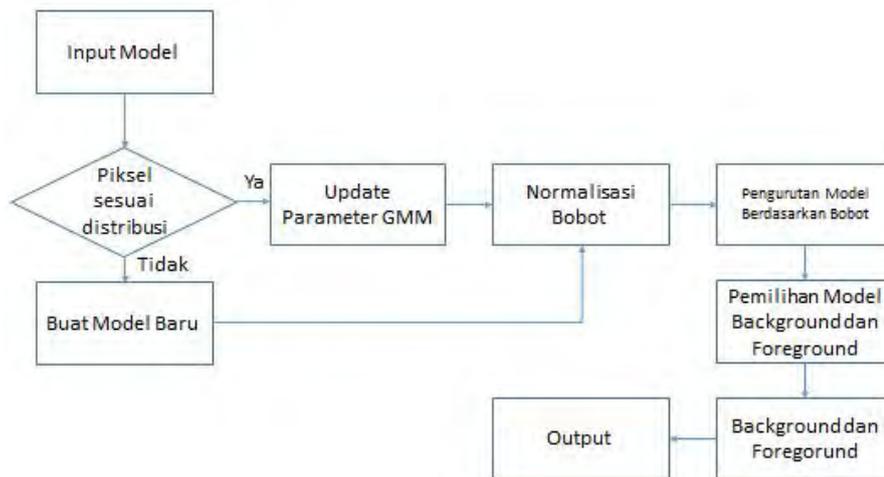


Gambar 4.1: Algoritma Shadow Removal

#### 4.1.1 Perancangan *Background Substraction* dengan metode *Gaussian Mixture Model* (GMM)

Metode ini digunakan untuk memperoleh *background* agar pemisahan objek bergerak pada suatu video dapat terdeteksi atau yang lebih dikenal

dengan *foreground*. Konsep GMM adalah berdasarkan distribusi gaussian yang digunakan untuk melakukan pengelompokan data pada tiap-tiap piksel frame video agar diperoleh model *background* yang sesuai. Proses pemisahan *background* dan *foreground* ini membutuhkan beberapa parameter yang harus didefinisikan sebelumnya. Secara umum, Proses GMM dapat dilihat pada diagram 4.2.



Gambar 4.2: Proses *Gaussian Mixture Model*

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Stauffer (1999), parameter tersebut diantaranya adalah  $\alpha$  (*learning rate*) sebesar 0.01, jumlah komponen gaussian adalah 3, *threshold* dengan nilai 0.4. Selain parameter tersebut, terdapat inisialisasi bobot gaussian ( $\omega_k$ ) yang merupakan bobot tiap piksel pada *gaussian* ke-k dengan nilai  $\frac{1}{k}$ , dengan k adalah jumlah komponen gaussian. Inisialisasi  $\mu_k$  yang merupakan mean atau nilai rata-rata pada setiap piksel pada gaussian ke-k dimana masing-masing piksel dari setiap gaussian bernilai acak dalam range  $[0,255]$ . Inisialisasi  $\sigma_k$  yang merupakan standart deviasi piksel pada gaussian ke-k yang bernilai 6. Misalkan diberikan matriks citra *grayscale* dengan intensitas sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 100 & 120 & 150 \\ 75 & 90 & 60 \\ 50 & 70 & 80 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya, dilakukan inisialisasi nilai mean, bobot, dan standar deviasi sebanyak K model gaussian yang dibentuk. Misal nilai awal diinisialisasi sebagai berikut :

$$Mean = \begin{bmatrix} Mean(1, 1, k) & \dots & Mean(1, N, k) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Mean(M, 1, k) & \dots & Mean(M, N, k) \end{bmatrix}$$

dengan  $i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, N$  dan  $k = 1, \dots, K$  dimana  $i$  dan  $j$  menyatakan kordinat piksel dan  $k$  menyatakan gaussian ke- $K$  dari banyaknya distribusi gaussian yang diinginkan. Dengan nilai inisialisasi mean acak dalam interval  $0 \leq Mean(1, 1, k) \leq 255$ . Misal nilai mean tersebut adalah sebagai berikut (Setiyono, Budi, 2016):

Tabel 4.1: Contoh inisialisasi Mean

102	89	95
97	100	120
130	105	96

Sedangkan untuk menginisialisasi bobot dilakukan dengan matriks seragam sesuai persamaan  $\frac{1}{K}$  sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{K} & \frac{1}{K} & \frac{1}{K} \\ \frac{1}{K} & \frac{1}{K} & \frac{1}{K} \\ \frac{1}{K} & \frac{1}{K} & \frac{1}{K} \end{bmatrix}$$

Standar deviasi diberikan nilai seragam yaitu :  $\sigma_0$

$$\begin{bmatrix} \sigma_0 & \sigma_0 & \sigma_0 \\ \sigma_0 & \sigma_0 & \sigma_0 \\ \sigma_0 & \sigma_0 & \sigma_0 \end{bmatrix}$$

Proses GMM ini akan dilakukan pada masing-masing piksel dalam masing-masing distribusi. Sehingga persamaan 2.11 dapat dikonstruksi kedalam bentuk persamaan :

$$|A(i, j) - Mean(i, j, k)| < 2.5 * Standardeviasi(i, j, k) \quad (4.1)$$

Berikut adalah contoh proses background subtraction menggunakan metode *gaussian mixture model* dalam sebuah matriks citra.

1. Seperti yang telah dijelaskan diatas, proses *background subtraction* menggunakan metode *gaussian mixture model* membutuhkan beberapa inisialisasi parameter diantaranya :

Tabel 4.2: Inisialisasi Parameter *Gaussian Mixture Model*

No.	Parameter	Nilai
1.	$\alpha$ (Learning rate)	0.01
2.	K (Komponen gaussian)	3
3.	T ( <i>Threshold</i> )	0.4
4.	$\omega_k$ (bobot tiap piksel)	$\frac{1}{K}$
5.	$\mu_k$ (mean)	antara [0,255]
6.	$\sigma_k$ (varian piksel)	6

2. Misal diberikan inialisasi awal bobot, mean, dan standar deviasi gaussian sebagai berikut :

Inialisasi Awal Bobot ( $\omega$ )								
Gaussian 1			Gaussian 2			Gaussian 3		
1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3

Inialisasi Awal Mean ( $\mu$ )								
Gaussian 1			Gaussian 2			Gaussian 3		
156	2	23	99	12	12	146	23	33
198	15	41	32	200	44	212	152	142
202	211	112	142	42	222	51	75	163

Inialisasi Awal Standar Deviasi ( $\sigma$ )								
Gaussian 1			Gaussian 2			Gaussian 3		
6	6	6	6	6	6	6	6	6
6	6	6	6	6	6	6	6	6
6	6	6	6	6	6	6	6	6

Gambar 4.3: Contoh inialisasi parameter GMM (Charisma, B.,2016)

dimana nilai intensitas X pada piksel (i,j) dari *frame* masukan memenuhi pertidaksamaan 4.1, maka termasuk dalam distribusi. dari inialisai awal  $\sigma$  yaitu 6, diperoleh nilai dari ruas kanan pertidaksamaan 4.1 adalah sebesar 15. sedangkan ruas kiri merupakan selisih antara intensitas *frame* masukan dan intensitas mean pada *frame* sebelumnya yang masing-masing diberikan. Misal diberikan piksel citra sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 150 & 17 & 26 \\ 200 & 191 & 43 \\ 187 & 66 & 223 \end{bmatrix}$$

3. Selanjutnya diperoleh selisih intensitas frame input terhadap mean yang telah diinisialisasi sebelumnya  $\mu_{diff}$  sebagai berikut :

Gaussian 1			Gaussian 2			Gaussian 3		
6	15	3	51	5	14	4	8	7
2	176	2	168	9	1	12	39	99
15	145	111	45	24	1	136	9	60

Gambar 4.4: Matriks Selisih Intensitas Frame Input dan Mean

4. Selanjutnya proses gaussian mixture model dilakukan pada tiap-tiap piksel frame yang ada. Misal pada piksel(1,1), dilakukan update

bobot dari masing-masing gaussian dengan menggunakan persamaan 2.12. Kesesuaian matriks citra terhadap distribusi yang ada didasarkan pada ruas kanan pertidaksamaan 4.1 yang bernilai 15. Sehingga jika intensitas pada matriks citra kurang dari 15 akan dianggap sesuai dengan distribusi gauss yang ada. pada contoh diatas yang sesuai dengan distribusi yang diinginkan adalah gaussian 1 dan gaussian 3, sehingga  $\mu_{1,1,k}$  dan  $\sigma_{(1,1,k)}$  dengan  $k = 1$  dan  $k = 3$  dapat diperbarui dengan menggunakan persamaan 2.13 dan persamaan 2.14. Hasil pembaruan parameter tersebut dapat dilihat sebagai berikut (Charisma, B, 2016) :

Pembaruan bobot ( $\omega$ )			Gaussian 2			Gaussian 3		
Gaussian 1			Gaussian 2			Gaussian 3		
0.34			0.33			0.34		

Pembaruan Mean ( $\mu$ )			Gaussian 2			Gaussian 3		
Gaussian 1			Gaussian 2			Gaussian 3		
155.823			99			146.118		

Pembaruan Standar Deviasi ( $\omega$ )			Gaussian 2			Gaussian 3		
Gaussian 1			Gaussian 2			Gaussian 3		
5.995			6			5.948		

Gambar 4.5: Hasil Pembaruan Parameter GMM

- Selanjutnya, bobot yang telah diperbarui dinormalisasi agar nilainya tepat 1.

Normalisasi bobot ( $\omega$ )			Gaussian 2			Gaussian 3		
Gaussian 1			Gaussian 2			Gaussian 3		
$\frac{0.34}{(0.34+0.33+0.34)} = 0.337$			$\frac{0.33}{(0.34+0.33+0.34)} = 0.326$			$\frac{0.34}{(0.34+0.33+0.34)} = 0.337$		

Gambar 4.6: Hasil Normalisasi Bobot GMM

6. Untuk memilih model mana yang merupakan representasi *background*, maka dilakukan pengurutan bobot berdasarkan persamaan  $\frac{\omega}{\sigma^2}$ . Sehingga diperoleh urutan dari yang terkecil adalah gaussian 2, gaussian 1, dan gaussian 3. Selanjutnya dicari beberapa distribusi pertama yang terurut menggunakan persamaan 2.16 dengan  $\tau$  (*threshold*) adalah 0.4, sehingga pada contoh distribusi yang dipilih adalah gaussian 3 dan gaussian 1. kemudian semua gaussian yang terpilih dicocokkan dengan intensitas *frame* masukan dengan menggunakan pertidaksamaan 4.1. Jika distribusi gaussian cocok, maka dianggap sebagai *background*, jika tidak maka *foreground*.

Normalisasi bobot ( $\omega$ )		
Gaussian 1	Gaussian 2	Gaussian 3
$\frac{0.337}{5.995^2} = 0.00938$	$\frac{0.326}{6^2} = 0.00906$	$\frac{0.337}{5.948^2} = 0.00953$

Gambar 4.7: Hasil Perhitungan Pencarian Background

Berdasarkan persamaan 2.16, hasil pengurutan *gaussian 2* merepresentasikan  $b = 1$ , *gaussian 1* merepresentasikan  $b = 2$ , dan *gaussian 3* merepresentasikan  $b = 3$  dihitung nilai akumulasinya dengan nilai  $\tau = 0.4$ . Pada  $b = 1$ , nilai bobot 0.33 tidak lebih besar dari 0.4 sehingga  $b$  berjalan menuju 2. Pada  $b = 2$ , nilai akumulasi menjadi  $0.33 + 0.34 > 0.4$ . kondisi tersebut memenuhi persamaan 2.16. Sehingga diperoleh bahwa pada  $b = 2$  sudah merepresentasikan *background* dan dapat disimpulkan bahwa *gaussian 2* adalah *foreground*, gaussian 1 dan 3 adalah *background*.

#### 4.1.2 Perancangan *Frame Difference*

Pada penelitian ini dilakukan proses segmentasi objek menggunakan metode *frame difference*. Dengan metode tersebut piksel *foreground* dipisahkan dengan *background* dalam tiap *frame* berdasarkan hasil pengurangan piksel citra pada frame ke- $k$  dan frame ke- $k-1$ .

$$D_k = |f_k - f_{k-1}|$$

dengan  $D_k$  adalah citra hasil *frame difference*,  $f_k$  adalah *frame* pada posisi ke- $k$  dan  $f_{k-1}$  adalah *frame* pada posisi ke- $k-1$  yang ketiganya berdimensi tiga dalam ruang warna RGB. Selanjutnya proses tersebut akan menghasilkan piksel bernilai 0 untuk piksel dengan dengan nilai intensitas yang sama pada *frame foreground* dan *background*. Sedangkan piksel dengan nilai tidak nol adalah representasi dari objek yang ada.



Gambar 4.8: *Frame background* dan *Frame foreground*

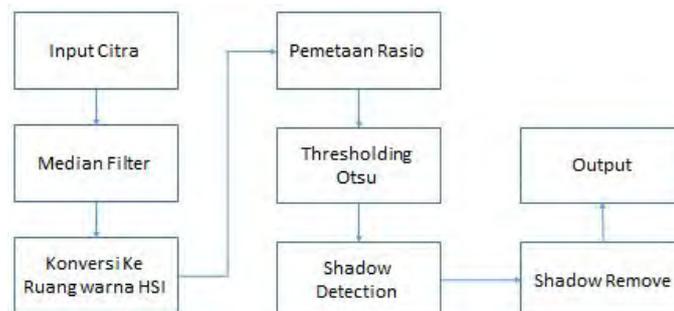
Hasil *frame difference* dari kedua *frame* diatas akan dikonversi menjadi biner untuk memudahkan segmentasi piksel bayangan dan piksel objek.



Gambar 4.9: hasil *Frame difference*

#### 4.1.3 Perancangan Metode *Sub-Region Illumination Transfer*

Konsep utama pengenalan bayangan adalah adanya pengaruh iluminasi (efek pencahayaan) terhadap benda. Dalam pengolahan citra digital, hal ini memberikan informasi perbedaan intensitas citra pada suatu titik (x,y) pada waktu t. Sehingga proses penghilangan bayangan juga dapat dilakukan pada video digital dengan cara pemrosesan tiap *frame* video setelah proses ekstraksi *frame* dilakukan. Secara umum proses metode ini dapat dilihat pada diagram berikut :



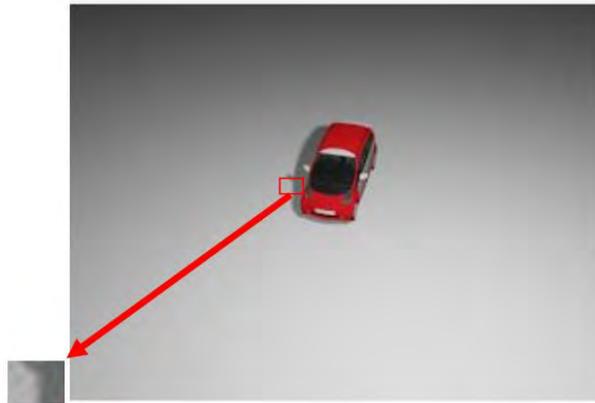
Gambar 4.10: Proses *Sub-Region Illumination Transfer* (Xiao, 2013)

Metode *Sub-region Illumination Transfer* merupakan metode yang dapat digunakan dalam penghapusan bayangan pada ruang HSI. Cara kerja metode ini adalah dengan melakukan *filtering* pada citra masukan untuk mereduksi *noise*, selanjutnya dilakukan pemetaan rasio berdasarkan persamaan 2.1 setelah citra masukan dikonversi ke dalam ruang warna HSI (Xiao, 2013).

$$r(x) = H(x)/(I(x) + 0.01)$$

Hasil dari pemetaan tersebut masih berupa citra dalam ruang HSI yaitu dalam range [0,255], yang kemudian dilakukan proses *thresholding* menggunakan *thresholding otsu*.

Metode *thresholding* ini memberikan nilai *threshold* berdasarkan persebaran histogram citra hasil pemetaan dan mendefinisikannya dalam bentuk citra biner ternormalisasi, yaitu bernilai 1 untuk nilai piksel yang teridentifikasi sebagai piksel objek dan 0 untuk nilai piksel yang teridentifikasi sebagai piksel bayangan.



Gambar 4.11: Pengambilan Sampel Citra

Misal diambil bagian dari matriks citra diatas dan diperoleh nilai pikselnya sebagai berikut pada masing-masing *channel* warna:

Red :

$$\begin{bmatrix} 81 & 82 & 80 & 79 & 79 & 77 & 78 \\ 78 & 75 & 83 & 80 & 79 & 76 & 75 \\ 91 & 85 & 89 & 85 & 82 & 77 & 76 \\ 124 & 116 & 100 & 96 & 91 & 87 & 84 \\ 140 & 139 & 142 & 141 & 139 & 134 & 127 \\ 142 & 140 & 141 & 139 & 140 & 142 & 145 \\ 144 & 143 & 146 & 144 & 144 & 143 & 148 \\ 145 & 144 & 152 & 149 & 147 & 143 & 143 \end{bmatrix}$$

Green :

$$\begin{bmatrix} 95 & 93 & 94 & 94 & 95 & 93 & \\ 90 & 87 & 94 & 94 & 93 & 92 & 89 \\ 102 & 96 & 99 & 97 & 94 & 92 & 88 \\ 131 & 126 & 109 & 107 & 102 & 98 & 95 \\ 145 & 146 & 149 & 148 & 146 & 144 & 136 \\ 145 & 146 & 144 & 144 & 145 & 149 & 150 \\ 146 & 146 & 148 & 147 & 147 & 149 & 151 \\ 145 & 146 & 152 & 151 & 148 & 146 & 144 \end{bmatrix}$$

Blue :

$$\begin{bmatrix} 98 & 99 & 99 & 99 & 99 & 99 & 100 \\ 90 & 87 & 96 & 95 & 94 & 92 & 92 \\ 98 & 92 & 98 & 95 & 92 & 89 & 88 \\ 124 & 118 & 104 & 101 & 96 & 92 & 91 \\ 138 & 138 & 142 & 141 & 139 & 136 & 131 \\ 136 & 136 & 135 & 137 & 138 & 141 & 143 \\ 135 & 135 & 137 & 138 & 138 & 139 & 142 \\ 133 & 133 & 142 & 140 & 140 & 137 & 136 \end{bmatrix}$$

berdasarkan matriks citra diatas, selanjutnya adalah proses median filter. Untuk mask 3x3 yang pertama, yaitu matriks yang meliputi koordinat (0,0);(0,1);(0,2);(1,0);(1,1);(1,2);(2,0);(2,1);(2,2), yang nilai-nilainya adalah

$$\begin{bmatrix} 81 & 82 & 80 \\ 78 & 75 & 83 \\ 91 & 85 & 89 \end{bmatrix}$$

selanjutnya nilai tersebut diurutkan dari nilai terkecil ke yang terbesar sebagai berikut :

$$[75 \ 78 \ 81 \ 82 \ 80 \ 83 \ 85 \ 89 \ 91]$$

sehingga diperoleh nilai tengahnya adalah 80 dan digunakan untuk mengganti piksel pada koordinat (1,1). Proses tersebut dilakukan untuk semua kordinat piksel pada tiap channel. Setelah itu, hasil median filter pada ruang *channel* RGB menjadi HSV.

Berikut hasil konversi tersebut untuk channel hue :

$$\begin{bmatrix} 0.5111 & 0.5 & 0.5111 & 0.5 & 0.5111 & 0.5111 & 0.5111 \\ 0.505 & 0.5 & 0.5119 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & \\ 0.4861 & 0.4861 & 0.4744 & 0.5 & 0.4744 & 0.5 & 0.4861 \\ 0.4667 & 0.4667 & 0.4545 & 0.4667 & 0.4545 & 0.4545 & 0.4667 \\ 0.4259 & 0.4167 & 0.4074 & 0.4259 & 0.4167 & 0.4259 & 0.4167 \\ 0.3333 & 0.3611 & 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 & 0.3611 \\ 0.25 & 0.2619 & 0.2619 & 0.2619 & 0.2619 & 0.2619 & 0.2619 \\ 0.2407 & 0.2292 & 0.2292 & 0.2407 & 0.2407 & 0.2292 & 0.2407 \end{bmatrix}$$

Berikut hasil konversi tersebut untuk channel value :

0.3686	0.3686	0.3725	0.3725	0.3725	0.3686	0.3647
0.3804	0.3804	0.3765	0.3765	0.3686	0.3647	0.3608
0.4118	0.4078	0.4000	0.3843	0.3765	0.3647	0.3608
0.4980	0.4902	0.4784	0.4588	0.4471	0.4353	0.4275
0.5490	0.5412	0.5333	0.5216	0.5098	0.5059	0.5020
0.5804	0.5765	0.5765	0.5765	0.5765	0.5804	0.5804
0.5686	0.5686	0.5725	0.5765	0.5804	0.5843	0.5843
0.5765	0.5765	0.5804	0.5843	0.5843	0.5804	0.5804

Selanjutnya brdasarkan persamaan pemetaan rasio diatas, tiap nilai piksel citra dalam channel hue dan value digunakan sebagai bahan pemetaan sebagai berikut.  $i$  dan  $j$  adalah representasi koordinat piksel citra. Berdasarkan kondisi bahwa jika  $r(i, j) > 255$ , maka nilai  $r(i, j) = 255$  dan jika  $r(i, j) < 0$  maka  $r(i, j) = 0$ . Berikut hasil perhitungan tersebut :

1.3499	1.3206	1.3361	1.3070	1.3361	1.3499	1.3640
1.2808	1.2808	1.2938	1.3246	1.3206	1.3344	1.3485
1.1526	1.1634	1.1570	1.2680	1.2274	1.3344	1.3110
0.9186	0.9330	0.9306	0.9954	0.9945	1.0208	1.0668
0.7619	0.7560	0.7498	0.8013	0.8016	0.8256	0.8139
0.5646	0.6157	0.5684	0.5684	0.5684	0.5646	0.6116
0.4321	0.4526	0.4496	0.4466	0.4436	0.4407	0.4407
0.4105	0.3908	0.3882	0.4051	0.4051	0.3882	0.4078

dengan matriks hasil pemetaan rasio tersebut dihitung histogram ternormalisasi. selanjutnya hasil pemetaan tersebut dihitung *threshold*,  $T$ , untuk mengidentifikasi piksel bayangan dan piksel citra.

#### 4.1.4 Perancangan Proses Identifikasi Bayangan

Hasil proses pada metode *subregion matching illumination transfer* diatas tidaklah optimal, sebab adanya beberapa kendala seperti yang telah disebutkan pada bab 2. Sehingga, proses identifikasi bayangan juga dilakukan dengan metode *gamma decoding*. Dengan menggunakan metode *gamma decoding* ini piksel bayangan dan piksel benda akan tersegmentasi. Berdasarkan pada informasi kriteria bayangan utama pada kondisi luar ruangan, piksel daerah bayangan yang pada umumnya lebih gelap dari piksel *background* dapat diperoleh. Piksel bayangan tersebut relatif lebih terang daripada piksel objek bergerak. Penggunaan *Gamma Decoding* dimaksudkan untuk memfokuskan piksel daerah bayangan dan membuatnya lebih jelas untuk dapat dipisahkan menggunakan proses *thresholding*.

Mekanisme utama dalam identifikasi bayangan ini adalah berdasarkan hasil dari metode *gamma decoding*. Sehingga piksel bayangan adalah piksel pada posisi  $x, y, t$  dengan intensitas citra yang dianggap sebagai bayangan pada metode *gamma decoding*.

Berikut adalah perhitungan manual untuk metode gamma decoding. Langkah pertama dari metode ini adalah dengan menginisialisasi konstanta A dan parameter gamma = 5. Selanjutnya dilakukan proses *frame different* berdasarkan hasil pembentukan *background* pada metode *gaussian mixture model*. Misal diberikan matriks citra berikut :

$$\begin{bmatrix} 81 & 82 & 80 \\ 78 & 56 & 83 \\ 62 & 55 & 89 \end{bmatrix}$$

dan matriks citra background berikut :

$$\begin{bmatrix} 81 & 82 & 80 \\ 78 & 76 & 83 \\ 91 & 85 & 89 \end{bmatrix}$$

maka hasil differensiasi tersebut adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 \\ 29 & 30 & 0 \end{bmatrix}$$

dengan piksel bernilai 0 adalah *background* dan selain itu adalah piksel objek. Setelah itu dilakukan normalisasi piksel citra dengan membagi tiap piksel citra awal dengan piksel background pada posisi yang sama lalu hasilnya dikalikan dengan 255 sebagai representasi *range* nilai piksel citra. Metode *gamma decoding* diimplementasikan pada langkah ini dengan mengangkat tiap piksel citra dengan gamma.



Gambar 4.12: Hasil Visual Untuk *Gamma Decoding*

Selanjutnya dilakukan proses binerisasi dengan kondisi berikut :

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & , \text{jika } f(x, y) > 0 \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases}$$

dengan  $f(x,y)$  adalah nilai piksel hasil normalisasi.

#### 4.1.5 Perancangan Proses Shadow Removal

Berdasarkan hasil identifikasi diatas maka proses removal dilakukan dengan cara mengganti piksel citra pada posisi  $(x,y)$  dengan piksel background pada titik  $(x,y)$ . Sehingga pada saat frame ke-t piksel bayangan tersebut sudah tergantikan dengan piksel background. Misal pada proses identifikasi diatas diperoleh submatriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

dengan piksel bernilai 1 adalah piksel bayangan dan 0 adalah piksel objek. Berikut piksel *background*:

$$\begin{bmatrix} 81 & 82 & 80 \\ 78 & 76 & 83 \\ 91 & 85 & 89 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya piksel-piksel bernilai satu tersebut diganti dengan piksel background pada posisi  $i,j$  yang sama. Sehingga piksel yang teridentifikasi sebagai bayangan diatas tergantikan dengan piksel *background* dan hanya piksel objek saja yang tersisa.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 76 & 0 \\ 0 & 85 & 0 \end{bmatrix}$$

piksel bernilai 0 adalah piksel objek. Hasil akhir adalah frame piksel bayangan yang telah dihilangkan.

## 4.2 Perancangan Proses Pengujian

Proses pengujian dalam tesis ini dilakukan dalam beberapa metode sebagai berikut :

### 4.2.1 Pengujian Dengan Data Video Simulasi

Metode *shadow removal* akan diuji dengan menghitung nilai PSNR (Peak Signal To Noise Ratio). Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan citra tanpa bayangan dan citra dengan bayangan yang sudah dihilangkan dengan metode *hybrid* pada penelitian ini.

Dalam pengujian ini, metode shadow removal yang digunakan diuji menggunakan data simulasi yang dibuat menggunakan software 3ds Max

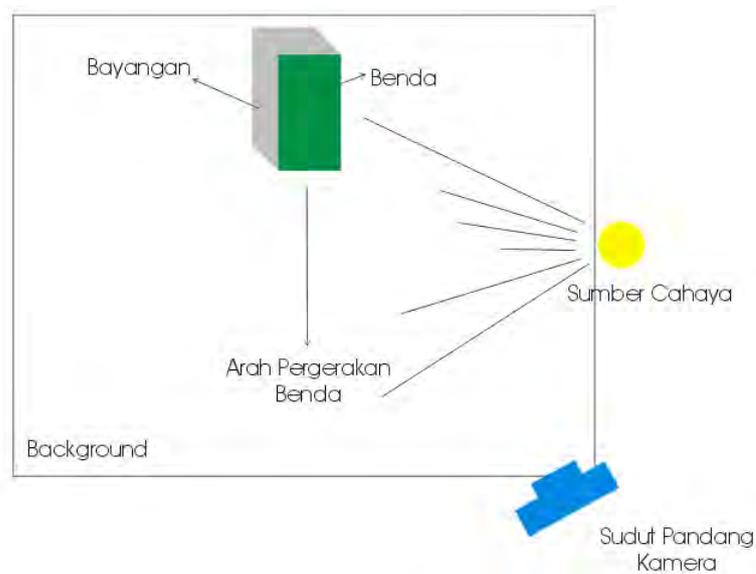
Community. Hal ini dilakukan untuk memperoleh data video tanpa bayangan dan data video berbayangan. Pada pengujian ini dilakukan penghitungan PSNR sebagai ukuran kualitas citra hasil metode shadow removal.

Pengujian ini dilakukan dalam beberapa skenario sebagai berikut :

Tabel 4.3: Tabel Skenario Pengujian Dengan Data Simulasi

No.	Nama Pengujian	Arah Pergerakan Benda			Intensitas Cahaya			Lebar Bayangan		
		Mendekati Kamera	Menjauhi Kamera	Melintas Di Depan Kamera	1	0.8	0.5	1	2	3
1	Skenario 1	v			v					
2	Skenario 2	v				v				
3	Skenario 3	v					v			
4	Skenario 4		v		v					
5	Skenario 5		v			v				
6	Skenario 6		v				v			
7	Skenario 7			v	v					
8	Skenario 8			v		v				
9	Skenario 9			v			v			
10	Skenario 10	v						v		
11	Skenario 11	v							v	
12	Skenario 12	v								v
13	Skenario 13		v					v		
14	Skenario 14		v						v	
15	Skenario 15		v							v
16	Skenario 16			v				v		
17	Skenario 17			v					v	
18	Skenario 18			v						v

Berikut adalah gambar skenario pengujian yang dilakukan :



Gambar 4.13: Skenario Proses Pengujian

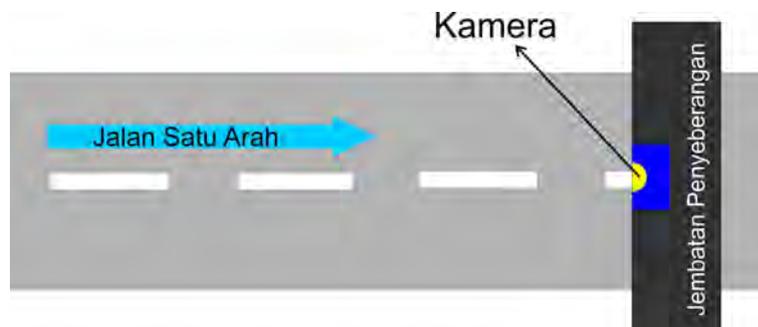
#### 4.2.2 Pengujian Dengan Data Video Uji Lapangan

Pengujian menggunakan Data Video Uji Lapangan Pada pengujian ini data yang digunakan adalah data rekaman kendaraan bergerak di jalan raya sehingga hasil shadow removal dapat diamati secara visual.

Data masukan berupa rekaman video digital *offline* yang kemudian di-*scanning*. *Scanning* adalah proses pemecahan video menjadi beberapa rangkaian citra yang sering disebut dengan *frame*. Data video input tersebut harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Kamera dalam keadaan statis, artinya kamera berada dalam satu posisi dan tidak berubah selama perekaman.
2. Video input berformat .mpeg
3. Rekaman video memiliki resolusi 320x240 pixel dan *framerate* 29fps (*frame per second*).

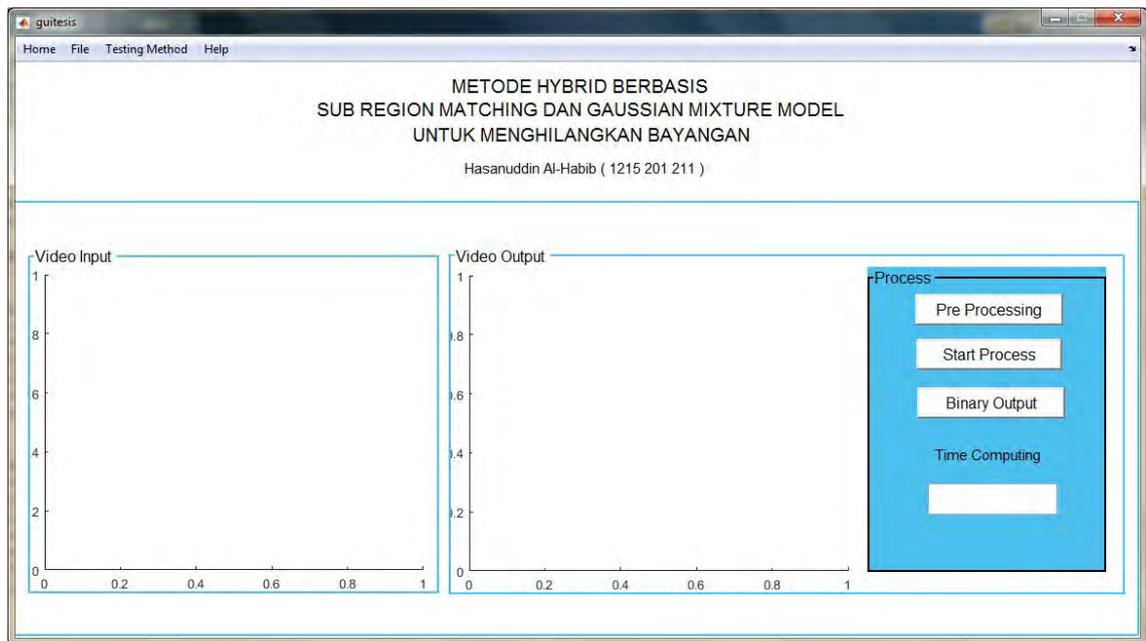
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Setiyono, Budi, 2016), posisi pengambilan video yang dilakukan seperti pada gambar berikut:



Gambar 4.14: Posisi Pengambilan Video

#### 4.3 Perancangan *User Interface* Sistem

Perancangan ini dimaksudkan agar penggunaan program simulasi yang dibuat dapat *user friendly* dan mudah digunakan. Gambar berikut merupakan gambar interface dari program, hasil yang akan ditampilkan pada program tersebut adalah video hasil proses penghilangan bayangan, citra foreground hasil GMM, citra biner hasil proses penghilangan bayangan pada area ROI, serta interface pengujian.



Gambar 4.15: Interface Program

#### 4.4 Implementasi metode Pada Program

Pada sub bab ini, perancangan metode diatas akan diimplementasikan dalam sebuah program simulasi menggunakan software MATLAB.

##### 4.4.1 Impelementasi Proses Akuisisi Citra

Proses ini merupakan proses pengambilan data citra sebagai masukan pada program. Dianjurkan untuk menggunakan video yang memiliki kecepatan minimal 25 fps, supaya proses pengolahan informasi digital berlangsung dengan baik. Proses tersebut diimplementasikan dalam program berikut :

##### 4.4.2 Implementasi Metode *Sub-Region Matching Illumination Transfer*

Perbedaan intensitas citra bayangan, objek, serta background pada suatu titik (x,y) pada waktu t adalah kunci dari proses identifikasi bayangan dengan metode ini. Pemanfaatan ruang warna HSI dalam mensegmentasi kasus tersebut telah dilakukan dalam sebuah program simulasi. Pemetaan rasio

```

global vid obj
[filename, pathname] = uigetfile({'*avi'; '*mp4'; '*mpeg'}, 'Pilih Video');
vid=strcat(pathname, filename);
obj.reader = vision.VideoFileReader(vid)
% menampilkan file pertama pada axes1
img = step(obj.reader);
axes(handles.axes1);
imshow(img);

```

intensitas citra menggunakan persamaan 2.1 telah diimplementasikan dalam fungsi sebagai berikut :

```

function s = subreg(bk, fr_shadow1)

```

Selanjutnya proses identifikasi bayangan juga dilakukan dengan metode *gamma decoding*. Dengan menggunakan persamaan 2.2, piksel bayangan dan piksel benda dapat dipisahkan. Sehingga proses binerisasi dari hasil *gamma decoding* ini dapat dilakukan dan menunjukkan piksel bayangan secara signifikan. Metode ini diimplementasikan dalam sebuah fungsi sebagai berikut :

```

[fr_shadow1, bin] = bayangan(bk, fr_shadow1);

```

#### 4.4.3 Implementasi Metode *Gaussian Mixture Model* (GMM)

Proses GMM hanya digunakan untuk memperoleh *foreground*, yaitu citra yang merepresentasikan keadaan objek bergerak dengan beberapa parameter metode, diantaranya adalah banyaknya komponen gaussian dan nilai learning rate. Code untuk proses GMM adalah sebagai berikut :

```

foregroundDetector = vision.ForegroundDetector('NumGaussians', 3, ...
    'NumTrainingFrames', 50);

videoReader = vision.VideoFileReader(vid);
for i = 1:numframes
    frame = step(videoReader); % read the next video frame
    foreground = step(foregroundDetector, frame);
    se = strel('square', 3);
    filteredForeground = imopen(foreground, se);
    blobAnalysis = vision.BlobAnalysis('BoundingBoxOutputPort', true, ...
        'AreaOutputPort', false, 'CentroidOutputPort', false, ...
        'MinimumBlobArea', 150);
    bbox = step(blobAnalysis, filteredForeground);
    result = insertShape(frame, 'Rectangle', bbox, 'Color', 'green');
    axes(handles.axes1);
    imshow(result);
    drawnow
    filename=[sprintf('gmm%d',i), '.jpg'];
    fullname=fullfile(workingDir3,filename);
    imwrite(filteredForeground,fullname);
end

```

#### 4.4.4 Implementasi Proses Pengujian pada Video Simulasi dengan Nilai PSNR

Proses pengujian dari sistem dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu:

Pengujian ini adalah pengujian kualitas video hasil penghilangan bayangan yang dibandingkan dengan video tanpa bayangan. Perhitungan nilai PSNR dilakukan pada tiap frame ke- $i$  di kedua video uji. Sehingga untuk nilai PSNR pada video merupakan hasil rata-rata nilai PSNR tiap frame uji pada tiap *channel* warna RGB. Hal ini disebabkan proses sistem yang dilakukan pada ruang warna RGB dengan 3 *channel*, sehingga nilai PSNR merupakan nilai pada tiap *channel* tersebut.



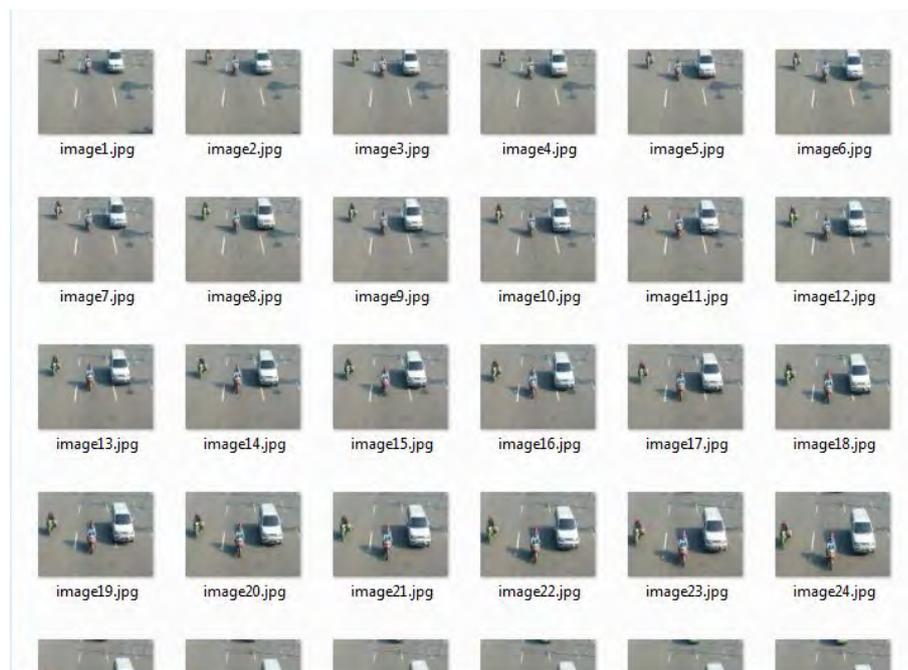
## BAB 5

### UJI COBA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakuakn pengujian program serta pembahasan hasil eksperimen terhadap beberapa jenis video dengan objek berbayangan. Uji coba ini dilakukan terhadap video dengan tingkat illuminasi (pencahayaan) yang berbeda dan lebar bayangan yang berbeda. Video uji pada penelitian ini terdapat dua kategori, yaitu video uji simulasi yang dibuat dengan *software* 3Ds Max Community untuk memperoleh nilai PSNR dan video uji lapangan yang diambil di jalan Ahmad Yani, Surabaya dan beberapa video uji lainnya.

#### 5.1 Pengujian tahap *Pre-Processing*

Pada tahap ini setiap video uji akan dilakukan pra-prosesing dimana setiap video akan diekstraksi ke dalam *frame-frame* yang nantinya akan digunakan sebagai citra masukan untuk metode selanjutnya. Selain itu, dilakukan proses estimasi *background* RGB dengan cara pemilihan nilai modus pada tiap intensitas frame ke-i dalam keseluruhan video.

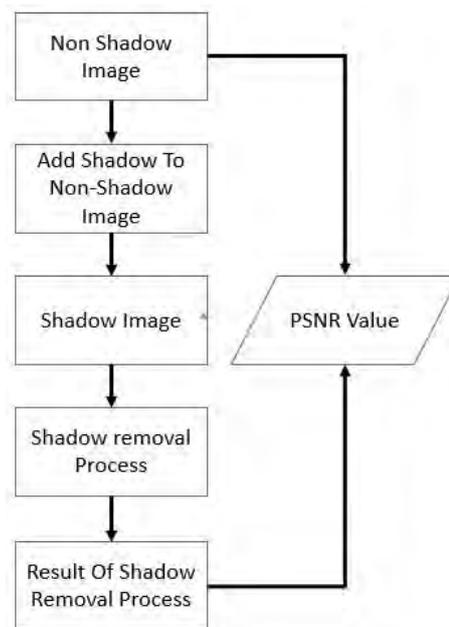


Gambar 5.1: Hasil Ekstraksi *Frame*

Selanjutnya, tiap frame diatas di proses sebagai citra masukan untuk metode *shadow removal*.

## 5.2 Pengujian Kualitas Hasil Metode Shadow Removal

Pengujian kualitas metode yang digunakan dilakukan dengan menghitung nilai PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) video. Data video yang digunakan dalam pengujian ini adalah video dengan bayangan dan video tanpa bayangan. Kedua video tersebut dibuat sebagai simulasi untuk mengetahui nilai kualitas citra hasil penghilangan bayangan. Berikut adalah diagram pengujian kualitas metode yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 5.2.



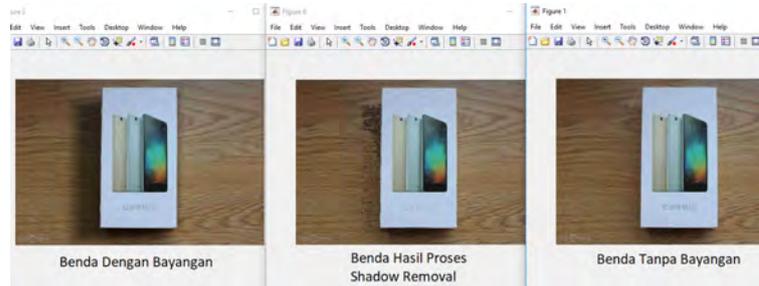
Gambar 5.2: Diagram Proses Pengujian Metode

Berdasarkan diagram diatas, proses pengujian dilakukan dengan membuat sebuah video simulasi yang merepresentasikan objek bergerak berbayangan dan objek bergerak tanpa bayangan. Hal ini dilakukan agar nilai piksel pada *frame* video pada waktu ke-*n* dalam video berbayangan dan video tanpa bayangan dapat sesuai, sehingga perhitungan nilai PSNR pada *frame-frame* video tersebut juga sesuai. Proses pengujian ini dilakukan terhadap dua video uji, yang pertama adalah video uji dengan bentuk objek bergerak sederhana dan yang kedua adalah video uji dengan objek bergerak berupa mobil.

### 5.2.1 Pengujian Dengan Objek Statis Tunggal

Pada pengujian ini data yang digunakan adalah objek statis tunggal sederhana untuk memperoleh nilai PSNR. Pengujian ini dilakukan dengan data berupa gambar benda dengan bayangan dan gambar benda tanpa bayangan yang selanjutnya gambar berbayangan tersebut diproses dalam metode shadow removal sehingga memperoleh gambar tanpa bayangan hasil proses shadow removal dan dihitung psnrnya. Hasil psnr yang diperoleh adalah 47.0717 dB pada channel Red, 46.9290 dB pada channel Green, dan 46.3442 dB pada channel Blue.

Berikut adalah gambar hasil pengujian yang dilakukan :



Gambar 5.3: Hasil Pengujian Pada Objek Tunggal Statis

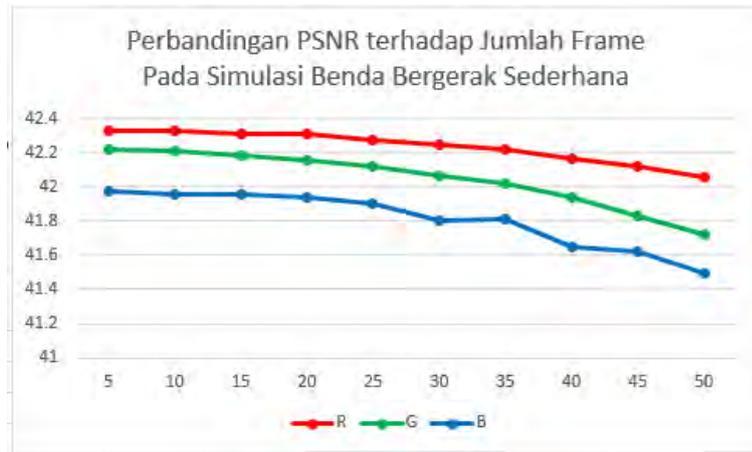
### 5.2.2 Pengujian Dengan Objek Sederhana Bergerak Menjauhi Kamera

Pada pengujian ini data berupa video simulasi digunakan untuk memperoleh nilai PSNR sebagai ukuran tingkat kualitas citra hasil rekonstruksi metode *shadow removal*. Rata-rata hasil PSNR yang diperoleh pada data video uji dengan objek sederhana adalah 42.8499 dB pada channel Red, 42.80996 dB pada channel Green, dan 41.20689 dB pada channel Blue. Berikut hasil PSNR yang diperoleh disajikan dalam tabel :

Tabel 5.1: Perbandingan data PSNR dengan urutan frame video uji dalam satuan dB

Frame ke-	Red	Green	Blue
5	43.559	43.5218	43.6993
10	43.4112	43.3937	43.6105
15	43.332	43.2671	43.5574
20	43.1764	43.1371	43.4359
25	42.9892	42.9408	43.2926
30	42.8294	42.8136	43.2336
35	42.6637	42.5895	43.0884
40	42.4375	42.4068	42.9275
45	42.1712	42.1246	42.7294
50	41.9285	41.9046	42.4943
Rata-rata	42.8499	42.80996	43.20689

Berikut Grafik perbandingan PSNR pada benda bergerak sederhana.



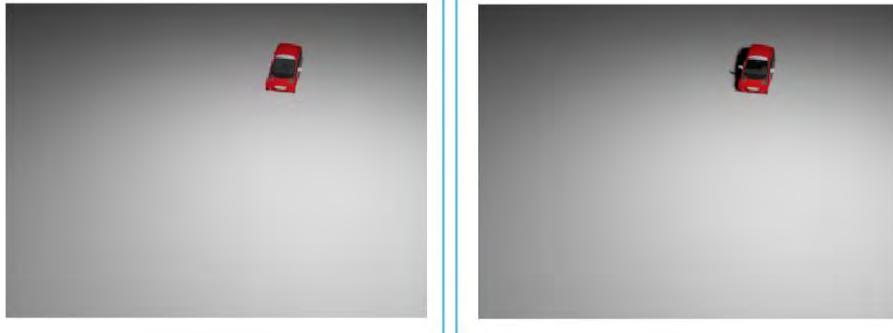
Gambar 5.4: Grafik Perbandingan PSNR pada Benda Bergerak Sederhana

Jika dilihat dari hasil PSNR diatas, terdapat perubahan nilai PSNR pada tiap jumlah frame uji yang mana nilai tersebut semakin turun jika jumlah frame yang diuji semakin banyak. Hal ini dipengaruhi oleh sudut pandang kamera pada saat benda tersebut bergerak. Benda yang jauh dari kamera terlihat lebih kecil dan dimensi matriks citra yang dimiliki juga lebih kecil. Oleh karena itu, saat benda bergerak mendekati kamera dimensi matriks citra pada frame tersebut lebih besar. Sehingga piksel bayangan yang diproses juga semakin banyak.

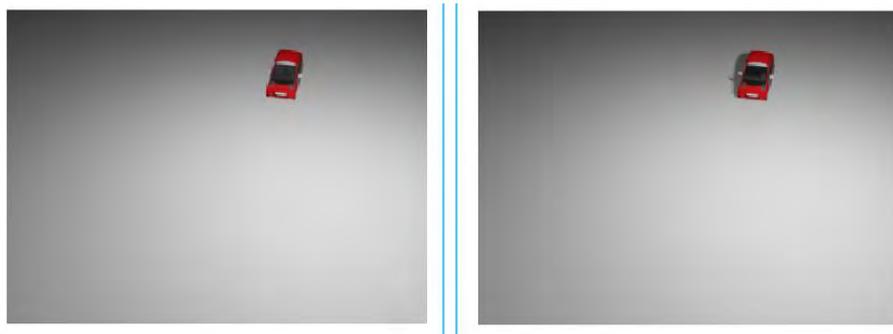
### 5.2.3 Pengujian Dengan Data Simulasi Video Objek Tunggal Bergerak

Sebagai mana yang telah dijelaskan pada bab IV, pengujian metode *shadow removal* yang dilakukan memenuhi beberapa Skenario yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan pada beberapa video simulasi dengan perbedaan intensitas cahaya digunakan untuk memperoleh PSNR pada tiap *frame* uji. Sehingga dapat diketahui pengaruh perubahan intensitas cahaya terhadap kinerja metode. Variasi intensitas yang digunakan adalah 1 (bayangan gelap), 0,8, dan 0,5 yang mana masing-masing penurunan nilai tersebut mempengaruhi intensitas cahaya yang mempengaruhi bayangan. Selain perbedaan intensitas cahaya tersebut, terdapat beberapa variasi lebar bayangan.

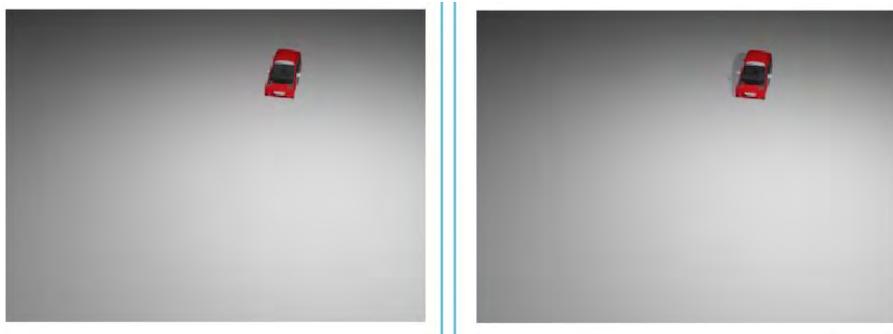
Berikut adalah beberapa sampel data simulasi video bergerak yang dibuat menggunakan software 3ds Max Community dapat dilihat pada gambar 5.5 - 5.10.



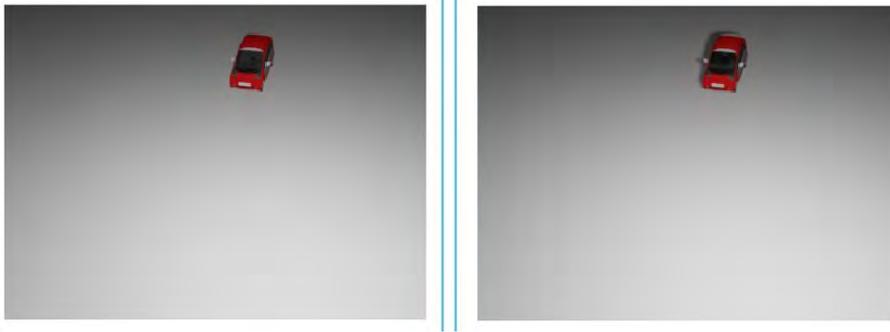
Gambar 5.5: Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan nilai intensitas = 1



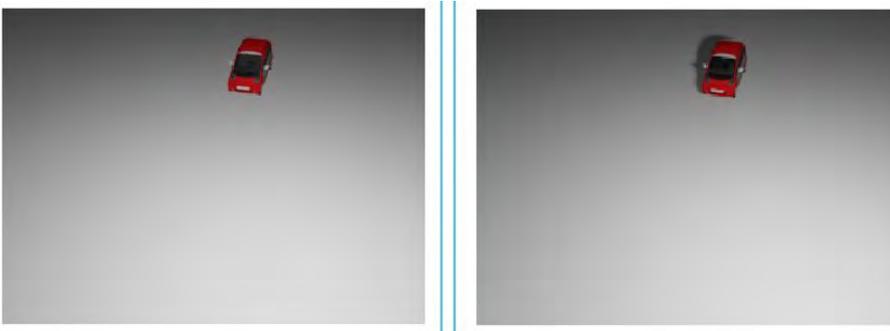
Gambar 5.6: Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan nilai intensitas = 0.8



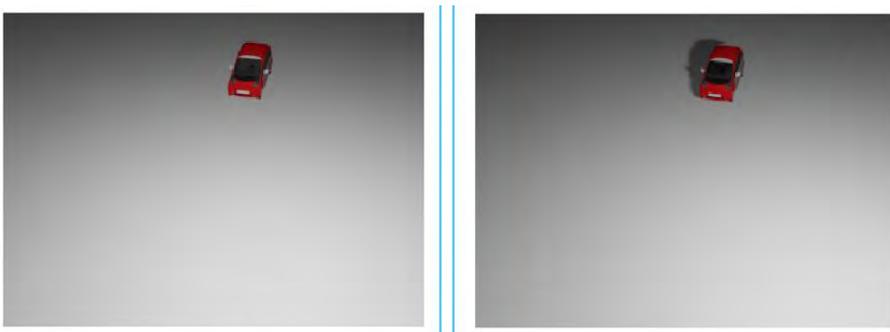
Gambar 5.7: Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan nilai intensitas = 0.5



Gambar 5.8: Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan kategori bayangan 1

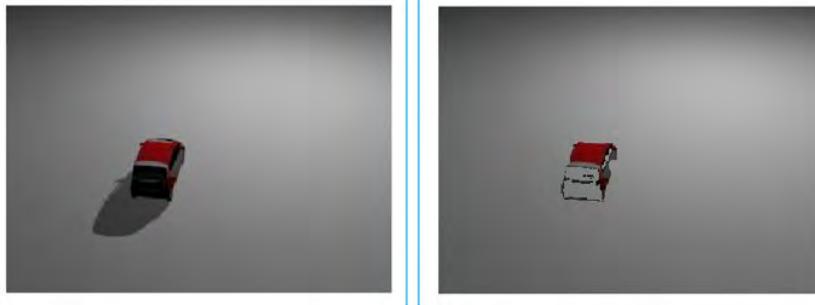


Gambar 5.9: Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan kategori bayangan 2

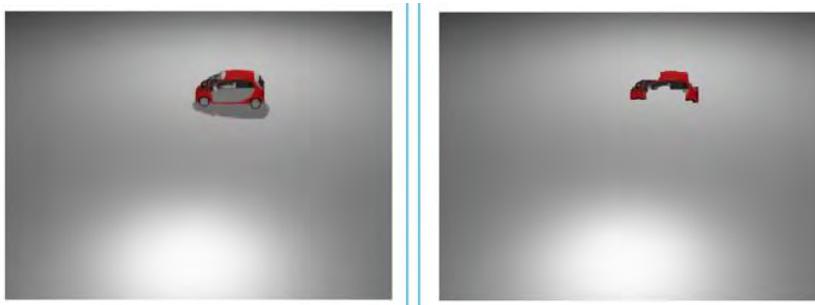


Gambar 5.10: Data Video dengan arah gerak mendekati kamera dan kategori bayangan 3

Dari beberapa variasi intensitas cahaya dan kategori bayangan diatas, beberapa variasi arah gerak benda juga dilakukan sebagai berikut dapat dilihat pada gambar 5.11 dan 5.12.

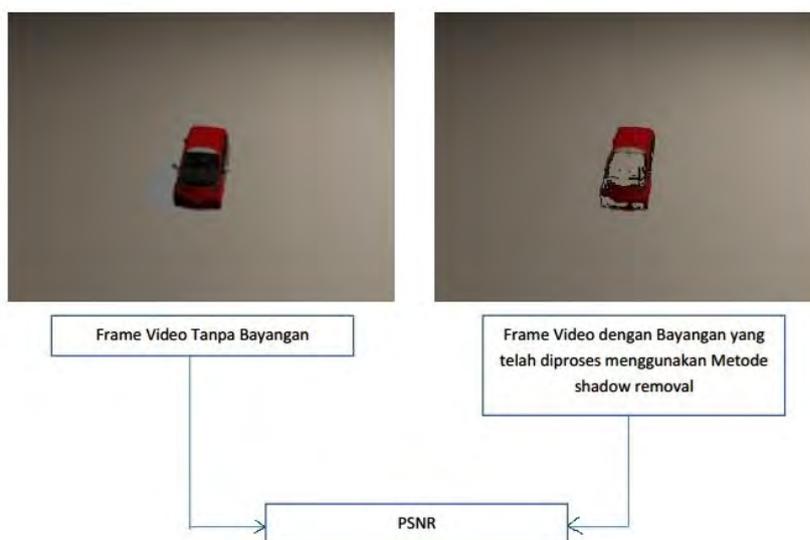


Gambar 5.11: Data Video dengan arah gerak menjauhi kamera



Gambar 5.12: Data Video dengan arah gerak melintas didepan kamera

Selanjutnya data diatas diproses dalam metode shadow removal dan dihitung nilai PSNRnya dengan skenario sebagai berikut dapat dilihat pada gambar 5.13.



Gambar 5.13: Skenario Perhitungan PSNR

Dalam skenario tersebut perhitungan PSNR dilakukan dengan membandingkan video tanpa bayangan dan video dengan bayangan yang telah diproses dalam metode pada setiap frame. Sehingga pada data hasil uji yang akan disajikan pada subbab selanjutnya, nilai PSNR yang disajikan tidak berurutan, sebab pada frame ke-n dan n+1 relatif sama. Oleh karena itu dilakukan pengambilan data PSNR yang memiliki jarak tiap lima frame dan tiga frame.

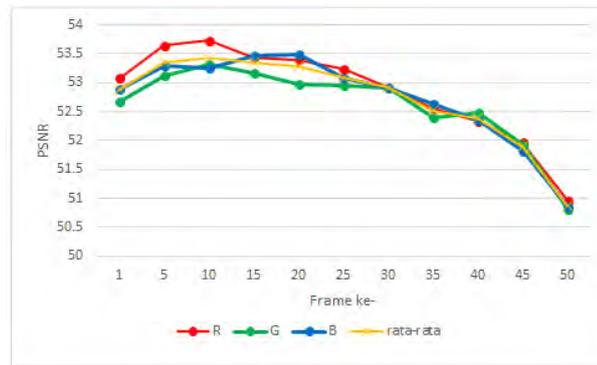
### 5.2.3.1 Uji Coba Skenario 1

Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan intensitas cahaya = 1, artinya bayangan yang dihasilkan gelap, dan arah pergerakan benda mendekati kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 1 dalam satuan dB

skenario 1				
	R	G	B	rata-rata
1	53.0778	52.6773	52.8994	52.88483
5	53.6452	53.1168	53.3006	53.3542
10	53.7291	53.3231	53.2526	53.43493
15	53.4367	53.1639	53.4647	53.3551
20	53.4006	52.9811	53.4997	53.2938
25	53.2334	52.9506	53.082	53.08867
30	52.9128	52.9013	52.9192	52.9111
35	52.5574	52.388	52.628	52.52447
40	52.3321	52.4899	52.3439	52.38863
45	51.967	51.9143	51.8257	51.90233
50	50.9657	50.8101	50.8449	50.87357
Rata-Rata	52.84162	52.61058	52.73279	52.72833

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 1 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 52.84162 dB pada channel R, 52.61058 dB pada channel G, dan 52.73279 dB pada channel B.



Gambar 5.14: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 1

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 1. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

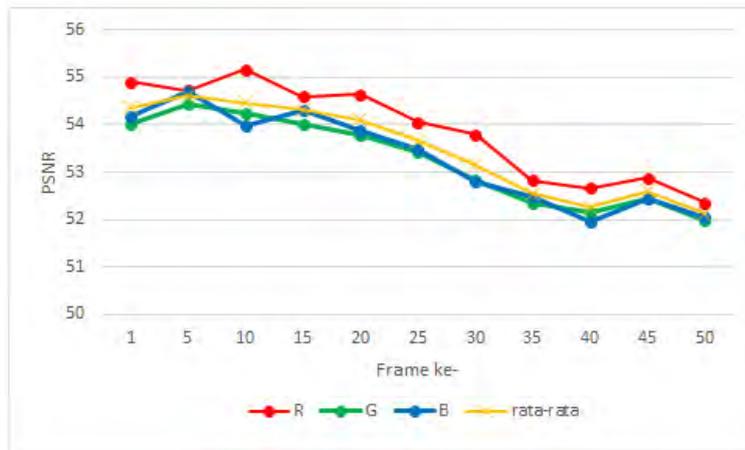
### 5.2.3.2 Uji Coba Skenario 2

Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan intensitas cahaya = 0.8, artinya bayangan yang dihasilkan memiliki bayangan dengan intensitas sedang, dan arah pergerakan benda mendekati kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dapat dilihat pada tabel 5.3 dan gambar 5.15.

Tabel 5.3: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 2 dalam satuan dB

skenario 2				
	R	G	B	rata-rata
1	54.898	54.0111	54.1717	54.36027
5	54.7176	54.4403	54.6857	54.61453
10	55.1719	54.2424	53.9722	54.46217
15	54.5944	54.0118	54.3187	54.3083
20	54.643	53.7726	53.8917	54.10243
25	54.0496	53.4144	53.4954	53.65313
30	53.7934	52.8399	52.8128	53.1487
35	52.8358	52.3489	52.4708	52.55183
40	52.6692	52.1379	51.9618	52.2563
45	52.8786	52.4392	52.46	52.5926
50	52.3557	51.9978	52.0436	52.13237
Rata-Rata	53.87338	53.24148	53.29858	53.47115

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 2 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 53.87338 dB pada channel R, 53.24148 dB pada channel G, dan 53.29858 dB pada channel B.



Gambar 5.15: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 2

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 2. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

### 5.2.3.3 Uji Coba Skenario 3

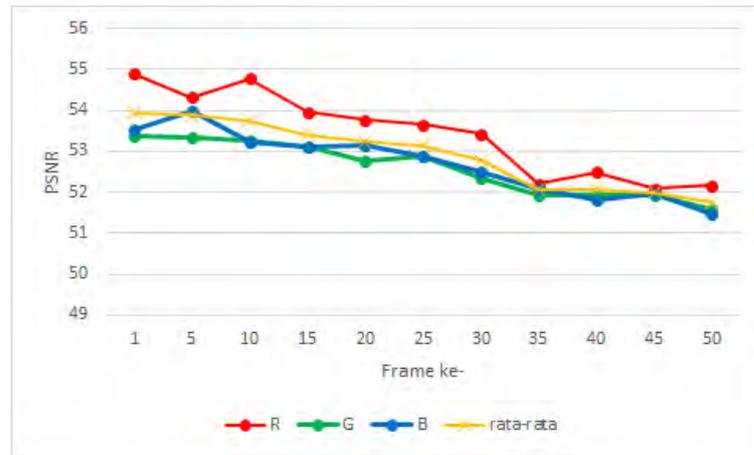
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan intensitas cahaya = 0.5, artinya bayangan yang dihasilkan memiliki bayangan dengan intensitas rendah, dan arah pergerakan benda mendekati kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.4 dan gambar 5.16.

Tabel 5.4: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 3 dalam satuan dB

skenario 3				
	R	G	B	rata-rata
1	54.8952	53.3723	53.5305	53.93267
5	54.3265	53.3295	53.9851	53.88037
10	54.7675	53.2597	53.2222	53.7498
15	53.9626	53.1249	53.1245	53.404
20	53.76	52.766	53.1621	53.22937
25	53.6575	52.8775	52.8687	53.13457
30	53.4284	52.3571	52.5137	52.7664
35	52.2001	51.9318	52.0757	52.0692
40	52.4987	51.9123	51.7975	52.0695
45	52.0865	51.9193	51.982	51.99593
50	52.1663	51.6019	51.4826	51.75027
Rata-Rata	53.43175	52.58657	52.70405	52.90746

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 3 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai

PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 53.43175 dB pada channel R, 52.58657 dB pada channel G, dan 52.70405 dB pada channel B.



Gambar 5.16: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 3

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 3. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

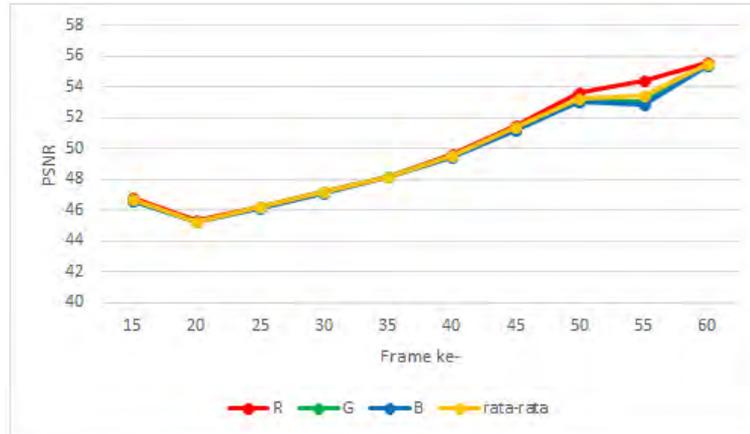
#### 5.2.3.4 Uji Coba Skenario 4

Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan intensitas cahaya = 1, artinya bayangan yang dihasilkan gelap, dan arah pergerakan benda menjauhi kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.5 dan gambar 5.17.

Tabel 5.5: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 4 dalam satuan dB

skenario 4				
	R	G	B	rata-rata
15	46.7717	46.6096	46.6493	46.67687
20	45.3231	45.1999	45.24	45.25433
25	46.264	46.1727	46.1316	46.18943
30	47.2388	47.2036	47.1278	47.19007
35	48.1914	48.1568	48.2155	48.1879
40	49.653	49.4869	49.4156	49.5185
45	51.5046	51.3415	51.2379	51.36133
50	53.6131	53.0679	53.0817	53.25423
55	54.4091	53.0494	52.8126	53.4237
60	55.5836	55.43	55.3635	55.45903
Rata-Rata	47.84951	47.73871	47.71681	47.76835

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 4 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 47.84951 dB pada channel R, 47.71681 dB pada channel G, dan 47.71681 dB pada channel B.



Gambar 5.17: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 4

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 4. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

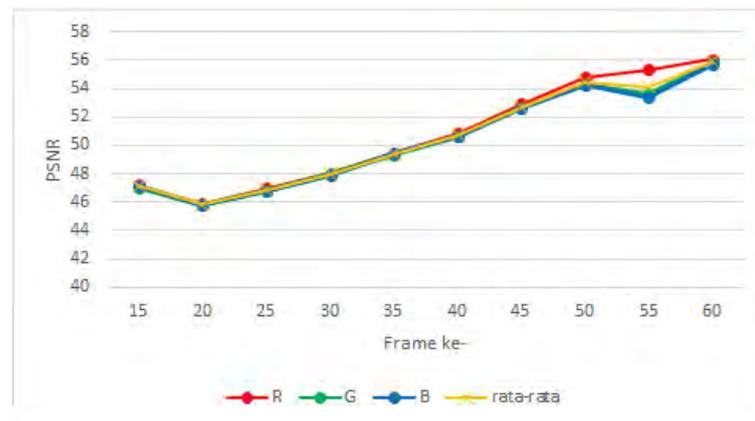
### 5.2.3.5 Uji Coba Skenario 5

Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan intensitas cahaya = 0.8, artinya bayangan yang dihasilkan memiliki bayangan dengan intensitas sedang, dan arah pergerakan benda menjauhi kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.6 dan gambar 5.18.

Tabel 5.6: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 5 dalam satuan dB

Skenario 5				
	R	G	B	rata-rata
15	47.2321	47.0688	47.0981	47.133
20	45.9049	45.7651	45.8327	45.83423
25	46.986	46.8362	46.8161	46.87943
30	48.0476	47.9843	47.8884	47.97343
35	49.4903	49.3484	49.399	49.41257
40	50.8379	50.6746	50.6707	50.72773
45	52.9447	52.634	52.5972	52.7253
50	54.8193	54.2545	54.3094	54.46107
55	55.3614	53.6443	53.4232	54.14297
60	56.0551	55.8328	55.7566	55.8815
Rata-Rata	49.53285	49.32074	49.32645	49.39335

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 5 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 49.53285 dB pada channel R, 49.32074 dB pada channel G, dan 49.32645 dB pada channel B.



Gambar 5.18: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 5

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 5. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

### 5.2.3.6 Uji Coba Skenario 6

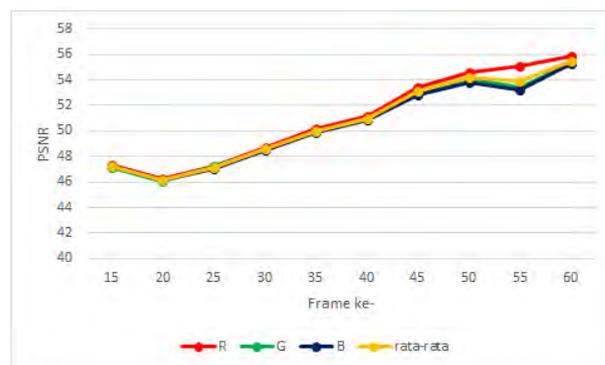
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan intensitas cahaya = 0.5, artinya bayangan yang dihasilkan memiliki bayangan dengan intensitas rendah,

dan arah pergerakan benda menjauhi kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.7 dan gambar 5.19.

Tabel 5.7: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 6 dalam satuan dB

Skenario 6				
	R	G	B	rata-rata
15	47.3623	47.1767	47.2053	47.2481
20	46.236	46.0908	46.1397	46.1555
25	47.241	47.1997	47.0675	47.1694
30	48.7197	48.5306	48.4804	48.5769
35	50.1918	49.9436	49.9166	50.01733
40	51.176	50.9329	50.8383	50.9824
45	53.4145	53.0398	52.8553	53.1032
50	54.545	54.1073	53.846	54.1661
55	55.0909	53.362	53.2482	53.90037
60	55.8406	55.2447	55.3198	55.46837
Rata-Rata	49.86079	49.62768	49.54364	49.67737

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 6 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 49.86079 dB pada channel R, 49.62768 dB pada channel G, dan 49.54364 dB pada channel B.



Gambar 5.19: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 6

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 6. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

### 5.2.3.7 Uji Coba Skenario 7

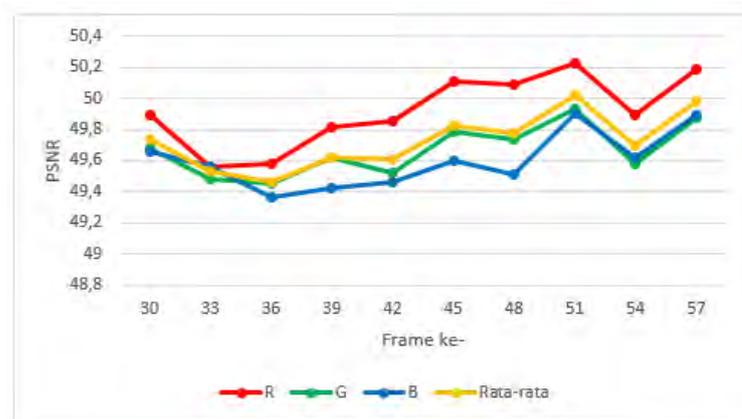
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan intensitas cahaya = 1, artinya bayangan yang dihasilkan gelap, dan arah pergerakan benda melintas

didepan kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.8 dan gambar 5.20.

Tabel 5.8: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 7 dalam satuan dB

skenario 7				
	R	G	B	Rata-rata
30	49,889	49,6743	49,6563	49,73987
33	49,5633	49,4781	49,5609	49,5341
36	49,5788	49,4493	49,3622	49,46343
39	49,8147	49,6172	49,4206	49,6175
42	49,8539	49,5236	49,4616	49,61303
45	50,1112	49,7813	49,5963	49,8296
48	50,0858	49,7322	49,5156	49,77787
51	50,227	49,936	49,9013	50,02143
54	49,8889	49,5832	49,6191	49,69707
57	50,1869	49,871	49,8898	49,98257
Rata-Rata	49,73994	49,5485	49,49232	49,59359

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 7 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 49.73994 dB pada channel R, 49.49232 dB pada channel G, dan 49.59359 dB pada channel B.



Gambar 5.20: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 7

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 7. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

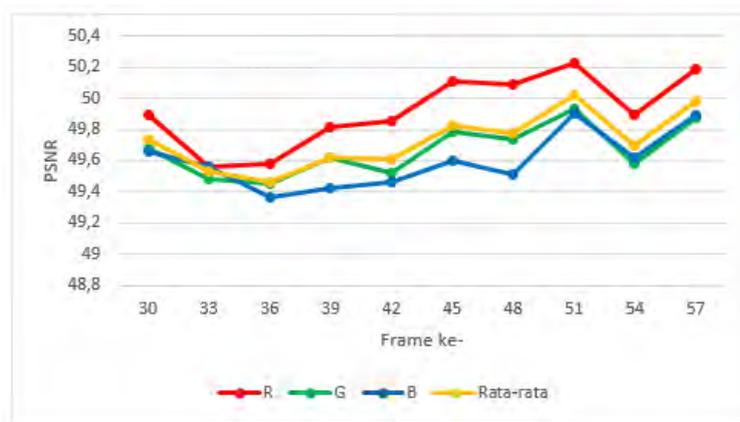
### 5.2.3.8 Uji Coba Skenario 8

Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan intensitas cahaya = 0.8, artinya bayangan yang dihasilkan gelap, dan arah pergerakan benda melintas didepan kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.9 dan gambar 5.21.

Tabel 5.9: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 8 dalam satuan dB

skenario 8				
	R	G	B	Rata-rata
30	48,8905	48,442	48,454	48,5955
33	48,6495	48,4351	48,4019	48,4955
36	48,5579	48,3306	48,3937	48,4274
39	48,9791	48,5625	48,4301	48,65723
42	48,6233	48,2135	48,0228	48,28653
45	48,8774	48,4984	48,4018	48,59253
48	49,3339	48,8948	48,8764	49,03503
51	49,2414	48,9101	48,799	48,9835
54	49,1124	48,8194	48,7089	48,88023
57	49,9346	49,6068	49,3991	49,64683
Rata-Rata	48,74006	48,39674	48,3405	48,49243

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 8 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 48.74006 dB pada channel R, 48.39674 dB pada channel G, dan 48.3405 dB pada channel B.



Gambar 5.21: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 8

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 8. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai

PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

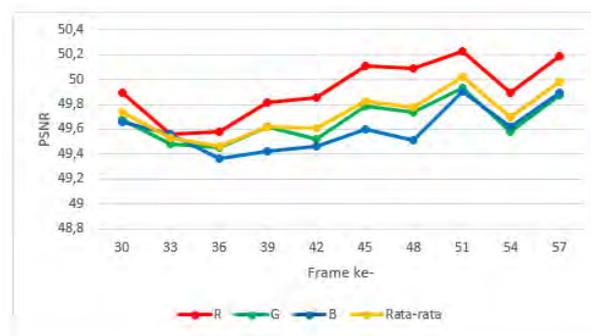
### 5.2.3.9 Uji Coba Skenario 9

Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan intensitas cahaya = 0.5, artinya bayangan yang dihasilkan gelap, dan arah pergerakan benda melintas didepan kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.10 dan gambar 5.22.

Tabel 5.10: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 9 dalam satuan dB

skenario 9				
	R	G	B	Rata-rata
30	48,6641	48,2253	48,2091	48,36617
33	48,6167	48,2502	48,2131	48,36
36	48,4907	48,2579	48,2979	48,34883
39	48,6973	48,3257	48,1666	48,39653
42	48,7069	48,2507	48,0691	48,34223
45	49,0326	48,5779	48,4978	48,70277
48	49,0454	48,6469	48,6446	48,77897
51	49,0507	48,6379	48,5047	48,7311
54	49,0391	48,6183	48,5178	48,72507
57	49,664	49,3383	49,1119	49,3714
Rata-Rata	48,63514	48,26196	48,19116	48,36275

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 9 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 48.63514 dB pada channel R, 48.26196 dB pada channel G, dan 48.19116 dB pada channel B.



Gambar 5.22: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 9

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 9. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

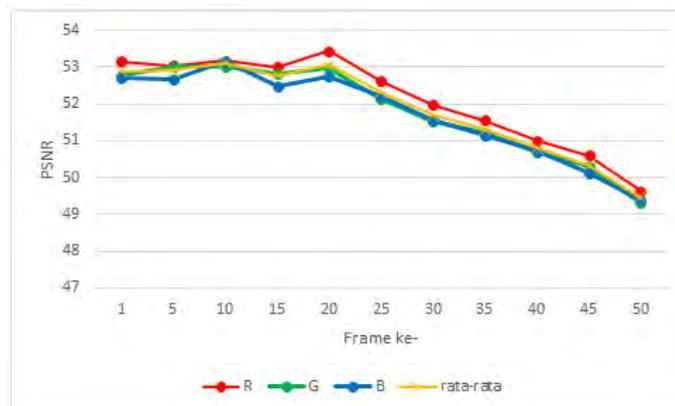
### 5.2.3.10 Uji Coba Skenario 10

Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan lebar bayangan pada kriteria ke-1, dan arah pergerakan benda mendekati kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.11 dan gambar 5.23.

Tabel 5.11: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 10 dalam satuan dB

skenario 10				
	R	G	B	rata-rata
1	53.1534	52.8028	52.6937	52.8833
5	53.0398	53.0288	52.6706	52.91307
10	53.1741	53.0064	53.1528	53.1111
15	53.0058	52.8354	52.4707	52.77063
20	53.4434	52.975	52.7481	53.0555
25	52.6202	52.1388	52.2132	52.32407
30	51.9745	51.5468	51.5735	51.69827
35	51.5587	51.2343	51.141	51.31133
40	51.0086	50.6809	50.738	50.80917
45	50.6029	50.2998	50.1094	50.33737
50	49.6308	49.3309	49.4128	49.45817
Rata-Rata	52.1102	51.80726	51.72035	51.87927

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 10 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 52.1102 dB pada channel R, 51.772032 dB pada channel G, dan 51.72035 dB pada channel B.



Gambar 5.23: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 10

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 10. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

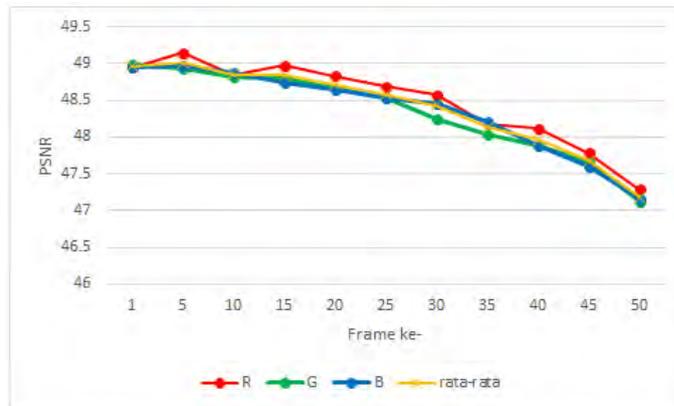
### 5.2.3.11 Uji Coba Skenario 11

Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan lebar bayangan pada kriteria ke-2, dan arah pergerakan benda mendekati kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.12 dan gambar 5.24.

Tabel 5.12: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 11 dalam satuan dB

skenario 11				
	R	G	B	rata-rata
1	48.942	48.9836	48.9588	48.96147
5	49.1418	48.9361	48.9663	49.01473
10	48.8503	48.8175	48.8732	48.847
15	48.972	48.8058	48.743	48.84027
20	48.8289	48.6613	48.6475	48.71257
25	48.6842	48.5306	48.5394	48.58473
30	48.5753	48.2533	48.4534	48.42733
35	48.1822	48.0384	48.1988	48.1398
40	48.1194	47.8914	47.8903	47.96703
45	47.7846	47.6511	47.603	47.67957
50	47.2833	47.1218	47.1569	47.18733
Rata-Rata	48.48764	48.33554	48.36642	48.39653

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 11 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 48.48764 dB pada channel R, 48.33554 dB pada channel G, dan 48.36642 dB pada channel B.



Gambar 5.24: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 11

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 11. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

### 5.2.3.12 Uji Coba Skenario 12

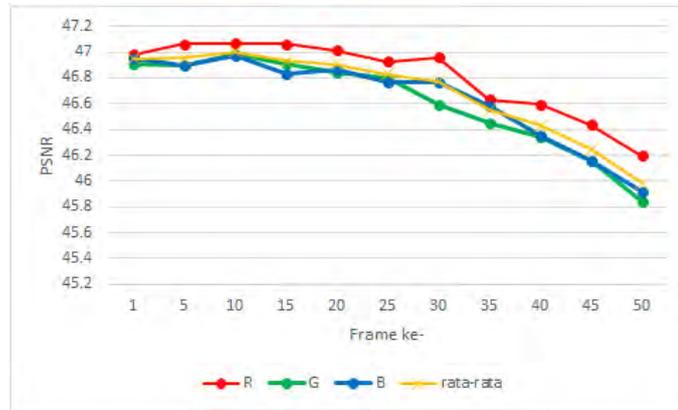
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan lebar bayangan pada kriteria ke-3, dan arah pergerakan benda mendekati kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.13 dan gambar 5.25.

Tabel 5.13: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 12 dalam satuan dB

skenario 12				
	R	G	B	rata-rata
1	46.98	46.9097	46.9552	46.9483
5	47.0642	46.8941	46.8999	46.95273
10	47.0664	46.9812	46.9682	47.00527
15	47.0652	46.9042	46.8354	46.93493
20	47.0126	46.8374	46.864	46.90467
25	46.9265	46.7974	46.7663	46.83007
30	46.9618	46.5919	46.7629	46.7722
35	46.631	46.4459	46.578	46.55163
40	46.5955	46.3409	46.3512	46.4292
45	46.4341	46.1521	46.1547	46.24697
50	46.1966	45.838	45.9192	45.9846
Rata-Rata	46.81217	46.60844	46.64136	46.68732

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 12 pada

beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 46.81217 dB pada channel R, 46.60844 dB pada channel G, dan 46.64136 dB pada channel B.



Gambar 5.25: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 12

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 12. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

### 5.2.3.13 Uji Coba Skenario 13

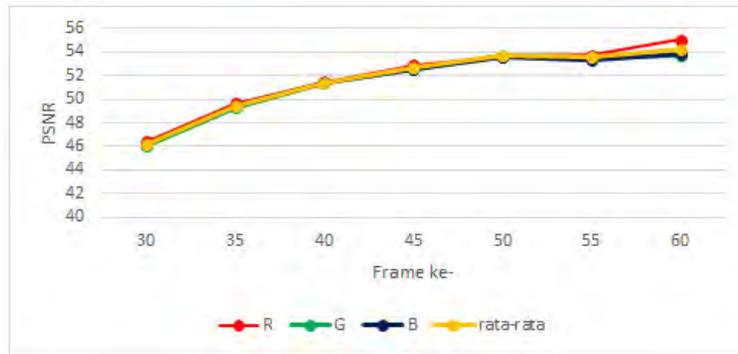
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan lebar bayangan pada kriteria ke-1, dan arah pergerakan benda menjauhi kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.14 dan gambar 5.26.

Tabel 5.14: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 13 dalam satuan dB

Skenario 13				
	R	G	B	rata-rata
30	46.4013	46.1103	46.1736	46.2284
35	49.6408	49.3413	49.378	49.45337
40	51.4447	51.3404	51.3434	51.37617
45	52.8542	52.5338	52.5467	52.6449
50	53.6048	53.7502	53.5581	53.6377
55	53.7421	53.5061	53.3611	53.53643
60	54.9875	53.7228	53.7581	54.15613
Rata-Rata	50.78916	50.6152	50.59996	50.66811

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 13 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR

yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 50.78916 dB pada channel R, 50.6152 dB pada channel G, dan 50.59996 dB pada channel B.



Gambar 5.26: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 13

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 13. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

#### 5.2.3.14 Uji Coba Skenario 14

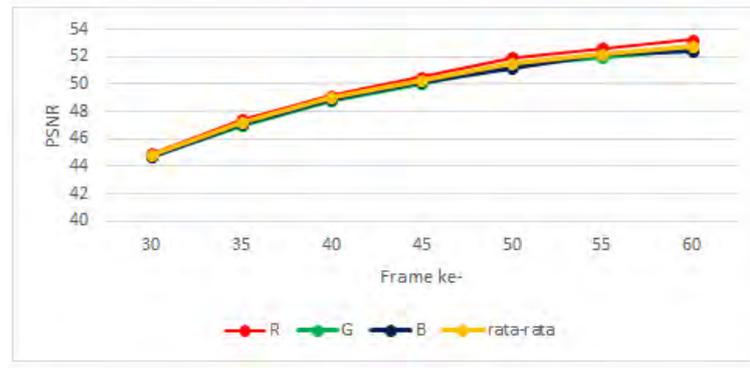
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan lebar bayangan pada kriteria ke-2, dan arah pergerakan benda menjauhi kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.15 dan gambar 5.27.

Tabel 5.15: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 14 dalam satuan dB

Skenario 14				
	R	G	B	rata-rata
30	44.9266	44.7677	44.7604	44.81823
35	47.4449	47.0535	47.0893	47.1959
40	49.1738	48.829	48.9567	48.9865
45	50.5309	50.0622	50.1738	50.25563
50	51.9292	51.3668	51.1773	51.4911
55	52.6224	51.9727	52.1723	52.2558
60	53.2565	52.5032	52.4688	52.74283
Rata-Rata	48.80108	48.41584	48.4315	48.54947

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 15 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada pengujian ini adalah 48.80108 dB pada channel R, 48.41584 dB pada

channel G, dan 48.4315 dB pada channel B.



Gambar 5.27: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 14

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 14. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

### 5.2.3.15 Uji Coba Skenario 15

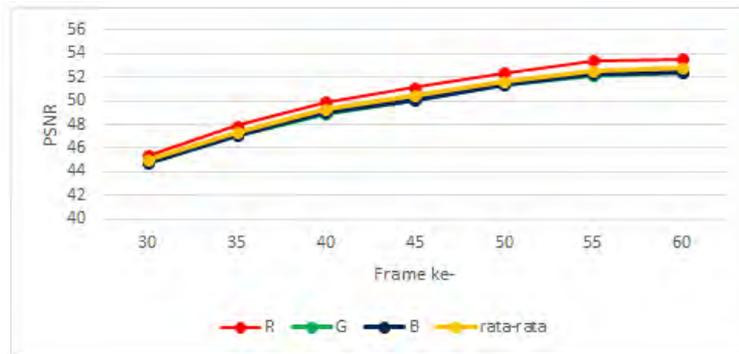
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan lebar bayangan pada kriteria ke-3, dan arah pergerakan benda menjauhi kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.16 dan gambar 5.28.

Tabel 5.16: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 15 dalam satuan dB

Skenario 15				
	R	G	B	rata-rata
30	45.3454	44.7316	44.8011	44.95937
35	47.9268	47.0752	47.1083	47.3701
40	49.9078	48.8545	49.0116	49.25797
45	51.1138	50.045	50.1192	50.426
50	52.3608	51.3365	51.3084	51.66857
55	53.4106	52.0796	52.2165	52.5689
60	53.5225	52.4139	52.4254	52.78727
Rata-Rata	49.33092	48.40856	48.46972	48.7364

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 15 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada

pengujian ini adalah 49.33092 dB pada channel R, 48.40856 dB pada channel G, dan 48.46972 dB pada channel B.



Gambar 5.28: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 15

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 15. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

### 5.2.3.16 Uji Coba Skenario 16

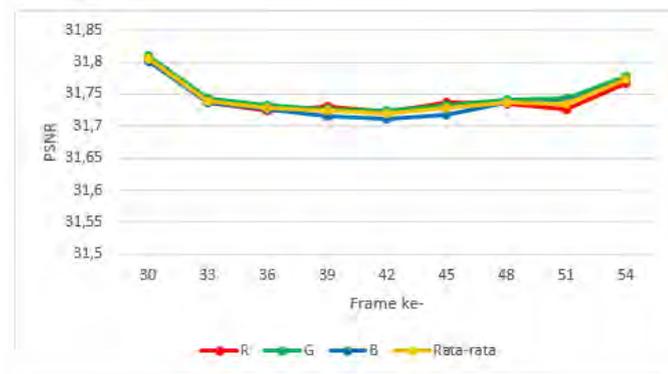
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan lebar bayangan pada kriteria ke-1, dan arah pergerakan benda mendekati kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.17 dan gambar 5.29.

Tabel 5.17: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 16 dalam satuan dB

skenario 16				
	R	G	B	Rata-rata
30	31,8061	31,8089	31,8019	31,80563
33	31,7377	31,7429	31,738	31,73953
36	31,7249	31,7327	31,7258	31,7278
39	31,7306	31,7269	31,7154	31,7243
42	31,7222	31,7245	31,711	31,71923
45	31,7365	31,7325	31,7176	31,72887
48	31,7356	31,7416	31,7368	31,738
51	31,7273	31,7437	31,7362	31,73573
54	31,7671	31,7786	31,7736	31,7731
Rata-Rata	31,7443	31,74718	31,73842	31,7433

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 16 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada

pengujian ini adalah 31.7443 dB pada channel R, 31.74718 dB pada channel G, dan 31.73842 dB pada channel B.



Gambar 5.29: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 16

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 16. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

### 5.2.3.17 Uji Coba Skenario 17

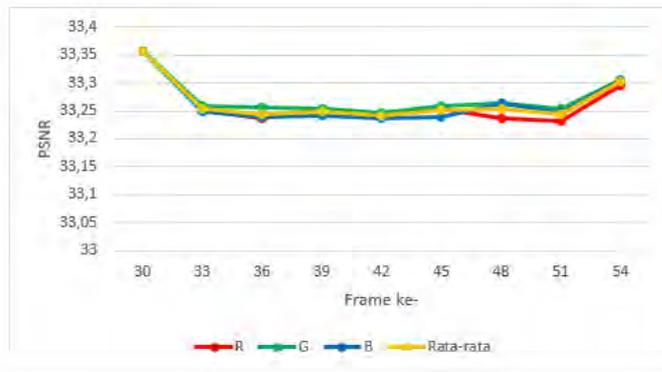
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan lebar bayangan pada kriteria ke-2, dan arah pergerakan benda mendekati kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.18 dan gambar 5.30.

Tabel 5.18: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 17 dalam satuan dB

skenario 17				
	R	G	B	Rata-rata
30	33,3561	33,3558	33,3553	33,35573
33	33,2515	33,2595	33,2497	33,25357
36	33,2377	33,2558	33,2382	33,2439
39	33,2529	33,2543	33,2417	33,24963
42	33,2421	33,2469	33,2375	33,24217
45	33,2526	33,2585	33,2394	33,25017
48	33,2373	33,2625	33,2625	33,2541
51	33,2316	33,2542	33,2461	33,24397
54	33,2942	33,3061	33,3049	33,30173
Rata-Rata	33,26806	33,27446	33,26448	33,269

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 17 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada

pengujian ini adalah 33.26806 dB pada channel R, 33.27446 dB pada channel G, dan 33.26448 dB pada channel B.



Gambar 5.30: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 17

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 17. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B.

### 5.2.3.18 Uji Coba Skenario 18

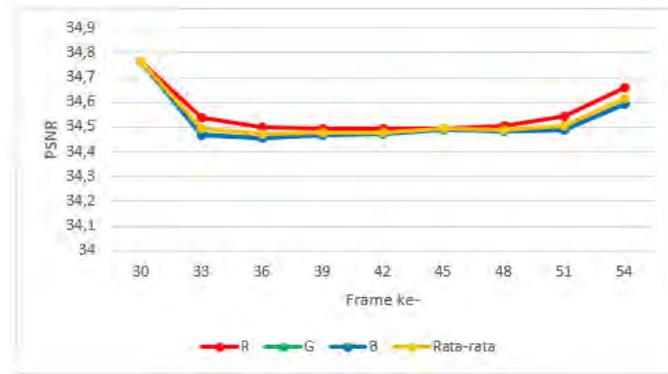
Data uji pada Skenario ini adalah benda dengan lebar bayangan pada kriteria ke-3, dan arah pergerakan benda mendekati kamera. Berikut adalah tabel dan grafik hasil perbandingan psnr pada skenario ini dilihat pada tabel 5.19 dan gambar 5.31.

Tabel 5.19: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 18 dalam satuan dB

skenario 18				
	R	G	B	Rata-rata
30	34,7614	34,7628	34,7623	34,76217
33	34,5365	34,4732	34,4688	34,49283
36	34,4991	34,4557	34,4575	34,47077
39	34,4926	34,4734	34,4644	34,4768
42	34,4942	34,4745	34,4715	34,48007
45	34,4958	34,493	34,4881	34,4923
48	34,504	34,4841	34,4818	34,48997
51	34,5409	34,4886	34,4911	34,50687
54	34,6611	34,5907	34,5916	34,61447
Rata-Rata	34,55676	34,52792	34,5249	34,53653

Tabel diatas menunjukkan PSNR hasil pengujian pada skenario 18 pada beberapa frame sampel. Dari data diatas dapat terlihat penurunan nilai PSNR yang dipengaruhi arah pergerakan benda. Rata-rata yang diperoleh pada

pengujian ini adalah 34.55676 dB pada channel R, 34.52792 dB pada channel G, dan 34.5249 dB pada channel B.



Gambar 5.31: Grafik Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 18

Grafik diatas merupakan representasi penurunan nilai PSNR hasil pengujian pada skenario 18. Pada grafik tersebut dapat dilihat perubahan nilai PSNR pada tiap frame sampel di tiap channel R,G, dan B. Berdasarkan hasil diatas, maka diperoleh hasil rata-rata nilai PSNR tiap skenario sebagai berikut :

Tabel 5.20: Perbandingan perubahan PSNR pada skenario 18 dalam satuan dB

No.	Nama Pengujian	Arah Pergerakan Benda			Intensitas Cahaya			Lebar Bayangan			Rata-rata PSNR
		Mendekati Kamera	Menjauhi Kamera	Melintas Di Depan	1	0.8	0.5	1	2	3	
1	Skenario 1	v			v						52.72833
2	Skenario 2	v				v					53.47115
3	Skenario 3	v					v				52.90746
4	Skenario 4		v		v						47.76835
5	Skenario 5		v			v					49.39335
6	Skenario 6		v				v				49.67737
7	Skenario 7			v	v						49.593559
8	Skenario 8			v		v					48.49243
9	Skenario 9			v			v				48.36275
10	Skenario 10	v						v			51.87927
11	Skenario 11	v							v		48.39653
12	Skenario 12	v								v	46.68732
13	Skenario 13		v					v			50.66811
14	Skenario 14		v						v		48.54947
15	Skenario 15		v							v	48.7364
16	Skenario 16			v				v			31.7433
17	Skenario 17			v					v		33.2669
18	Skenario 18			v						v	34.53653

Berdasarkan tabel hasil pengujian pada tabel 5.20, maka diperoleh beberapa analisis sebagai berikut :

1. Rata-rata PSNR yang diperoleh untuk benda bergerak dengan variasi intensitas cahaya adalah 53.47115 dB dengan intensitas cahaya = 0.8

dan arah gerakan mendekati kamera. sehingga skenario ini merupakan skenario terbaik untuk metode *shadow removal* pada penelitian ini.

2. Intensitas cahaya mempengaruhi hasil dari proses *shadow removal* sebab nilai intensitas piksel bayangan mempengaruhi hasil proses identifikasi bayangan yang dilakukan. Sehingga terdapat beberapa piksel bayangan yang tidak teridentifikasi sebagai bayangan dikarenakan tinggi rendahnya nilai piksel bayangan.
3. Rata-rata PSNR yang diperoleh untuk benda bergerak dengan variasi lebar bayangan adalah 51.87927 dB dengan bayangan tipe 1. Sehingga semakin sempit bayangan semakin bagus hasil penghilangan bayangannya, sebab nilai intensitas piksel bayangan yang diproses dalam metode semakin sedikit dan menyebabkan kesalahan identifikasi bayangan serta proses removal menjadi lebih kecil. Kondisi ini menunjukkan adanya perubahan nilai intensitas piksel citra bayangan yang lebih sesuai dengan piksel background, sehingga PSNR yang diperoleh dapat lebih bagus.

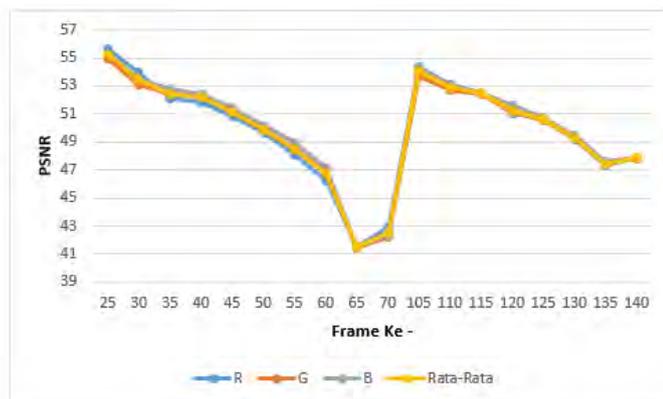
#### **5.2.4 Pengujian Dengan Data Simulasi Video Dua Objek Bergerak Mendekati Kamera**

Dalam pengujian ini, metode hybrid shadow removal yang digunakan diuji dengan dua objek bergerak mendekati kamera. hal ini dilakukan untuk membuktikan bahwa pada uji sebelumnya satu objek bergerak mendekati kamera memiliki nilai PSNR yang cenderung menurun, sehingga dikhawatirkan nilai tersebut terus turun dan mendekati nol. Pada pengujian kali ini objek yang digunakan ada dua dan bergerak mendekati kamera secara bergantian. Selanjutnya perhitungan PSNR dilakukan untuk memperoleh hasil fluktuasi ataupun peningkatan kembali nilai PSNR pada objek kedua. Berikut hasil dari pengujian yang dilakukan dilihat pada tabel 5.21 dan gambar 5.32.

Tabel 5.21: Perbandingan perubahan PSNR pada simulasi dua objek bergerak mendekati kamera dalam satuan dB

	R	G	B	Rata-Rata
25	55.6547	54.962	55.2845	55.3004
30	53.9722	53.0552	53.5193	53.51557
35	52.0875	52.3736	52.8407	52.43393
40	51.8659	52.2096	52.4494	52.17497
45	50.8684	51.1761	51.4511	51.1652
50	49.6365	49.8543	50.1433	49.87803
55	48.0811	48.4851	48.9686	48.5116
60	46.2381	46.7741	47.0751	46.69577
65	41.5257	41.4123	41.5007	41.47957
70	42.8946	42.2598	42.3073	42.48723
105	54.3323	53.643	54.2454	54.07357
110	53.0533	52.7216	53.0418	52.9389
115	52.4983	52.4462	52.4719	52.47213
120	51.044	51.1016	51.5941	51.24657
125	50.6581	50.5425	50.7721	50.65757
130	49.2232	49.2628	49.4292	49.30507
135	47.3119	47.4593	47.5671	47.4461
140	47.8752	47.8435	47.9259	47.88153
rata-rata	49.9345	49.8657	50.14375	49.98132

pada tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai PSNR menurun pada beberapa frame awal lalu meningkat kembali pada frame ke 105. Hal ini disebabkan karena pada frame ke 105 terdapat objek baru yang bergerak mendekati kamera.



Gambar 5.32: Perbandingan perubahan PSNR pada objek ganda bergerak mendekati kamera dalam satuan dB

Berdasarkan grafik diatas dapat terlihat perubahan nilai PSNR yang diperoleh. Pada frame ke 105 yang merupakan frame awal dengan objek kedua

bergerak mendekati kamera, sehingga nilai PSNR kembali meningkat.

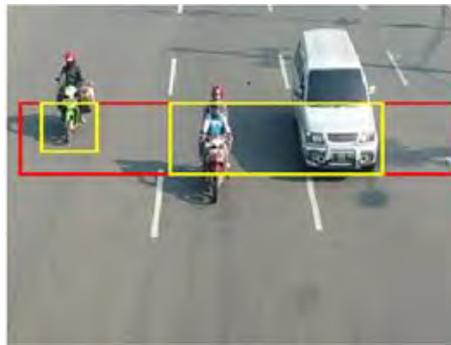
## 5.2.5 Pengujian Dengan Video Uji Lapangan

### 5.2.5.1 Data Uji Coba

Data uji coba yang digunakan dalam penelitian tesis dilakukan terhadap video berekstensi .avi dengan beberapa kondisi posisi bayangan dan objek bergerak yang berbeda.

### 5.2.5.2 Uji Coba video 1

Pada video ini sistem diuji dengan kondisi bayangan objek yang tertutup objek lain, sehingga sebelum proses dilakukan benda dikenali sebagai satu objek yang sama.



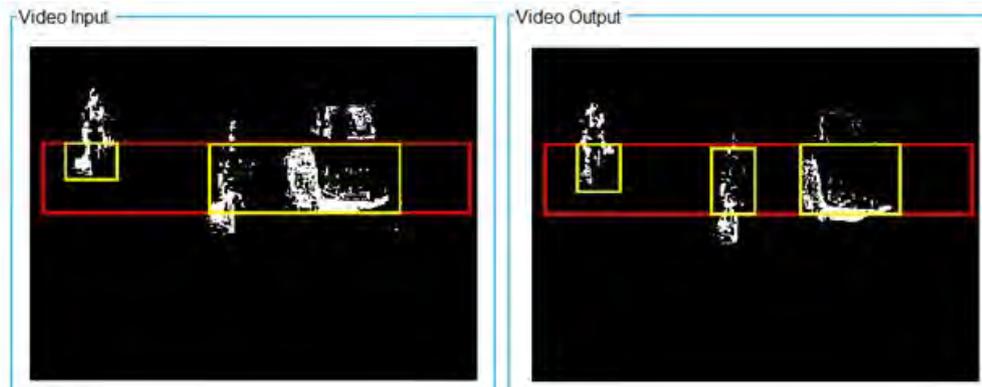
Gambar 5.33: hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan

Sebagaimana yang dapat dilihat secara visual, bahwa bayangan dari mobil tersebut tertutup oleh objek sepeda motor disebelahnya. Sehingga pada proses akuisisi citra yang ada, bayangan dan sepeda motor tersebut seolah-olah merupakan satu objek yang sama.



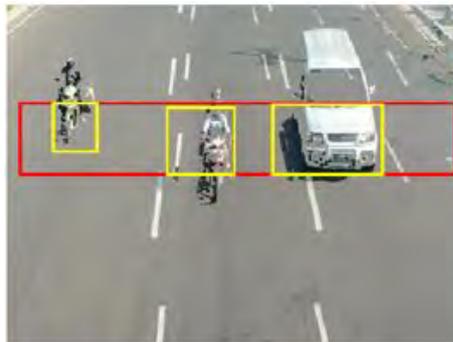
Gambar 5.34: citra biner hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan

Pada video ini, proses penghilangan bayangan dilakukan untuk memisah bagian tersebut agar benda dapat dikenali dalam dua objek berbeda. Berikut adalah hasil yang diperoleh dalam bentuk biner.



Gambar 5.35: citra biner hasil deteksi pada video uji1 sebelum dan sesudah proses

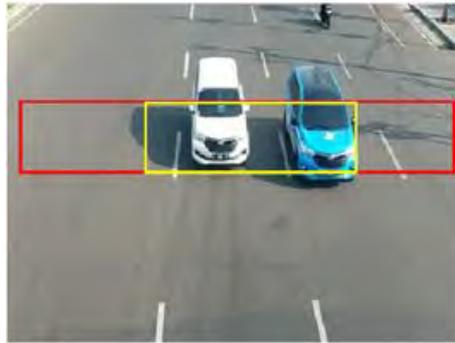
Berdasarkan hasil citra biner diatas dapat terlihat bahwa objek didalam video hanya dikenali dua objek karena adanya bayangan yang mempengaruhi, sedangkan pada video hasil proses metode menunjukkan bahwa ada tiga objek bergerak. Untuk hasil dalam video RGB disajikan dalam gambar 5.36.



Gambar 5.36: citra RGB hasil deteksi pada video uji1 sesudah proses

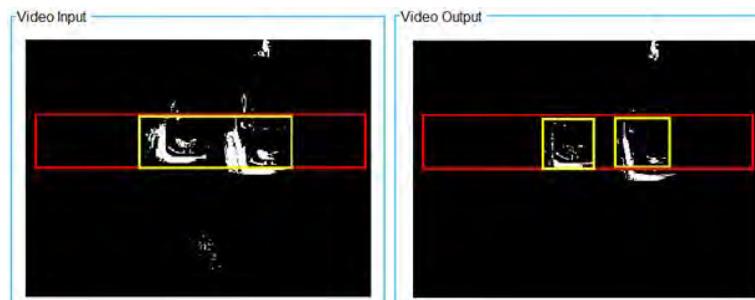
### 5.2.5.3 Uji Coba video 2

Pada video ini sistem diuji dengan kondisi bayangan objek yang tertutup objek lain yang ukurannya lebih kecil, sehingga sebelum proses dilakukan benda dikenali sebagai satu objek yang sama.

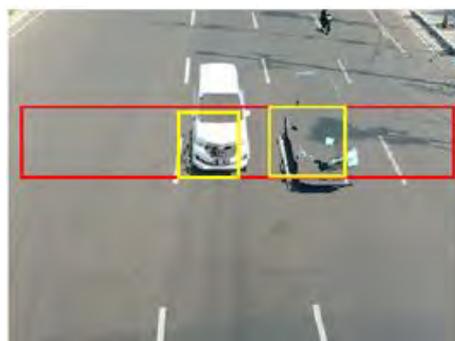


Gambar 5.37: hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan

Sebagaimana yang dapat dilihat secara visual, bahwa bayangan dari mobil tersebut tertutup oleh mobil disebelahnya. Sehingga pada proses akuisisi citra yang ada, bayangan dan sepeda motor tersebut seolah-olah merupakan satu objek yang sama. Pada video ini, proses penghilangan bayangan dilakukan untuk memisah bagian tersebut agar benda dapat dikenali dalam dua objek berbeda. Berikut adalah hasil yang diperoleh dalam bentuk biner.



Gambar 5.38: citra biner hasil deteksi pada video uji2 sebelum dan sesudah proses

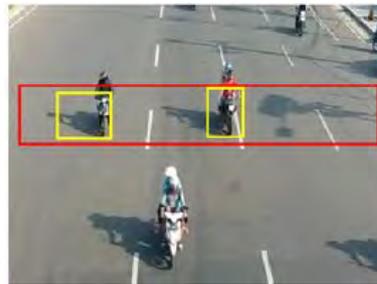


Gambar 5.39: citra RGB hasil deteksi pada video uji2 sesudah proses

Berdasarkan hasil citra biner pada gambar 5.38 dapat terlihat bahwa objek didalam video hanya dikenali satu objek karena adanya bayangan yang mempengaruhi, sedangkan pada video hasil proses metode menunjukkan bahwa ada dua objek bergerak. Untuk hasil dalam video RGB disajikan dalam gambar 5.39.

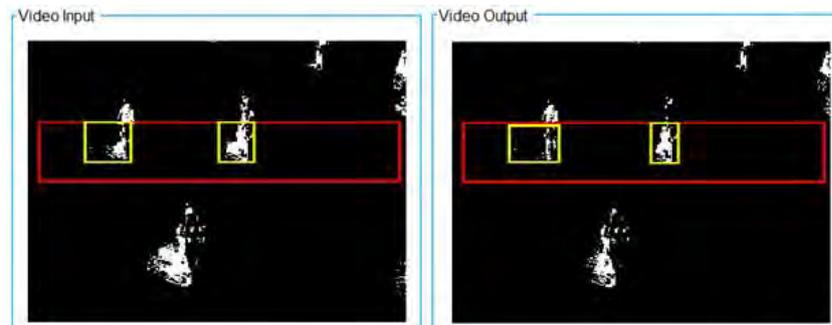
#### 5.2.5.4 Uji Coba video 3

Pada video ini sistem diuji dengan kondisi multi objek dan bayangan terpisah.



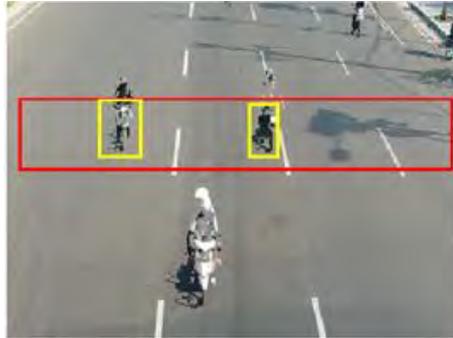
Gambar 5.40: hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan

Pada video ini, proses penghilangan bayangan dilakukan untuk menghilangkan piksel bayangan yang ada dalam kondisi multi objek. Berikut adalah hasil yang diperoleh dalam bentuk biner.



Gambar 5.41: citra biner hasil deteksi pada video uji2 sebelum dan sesudah proses

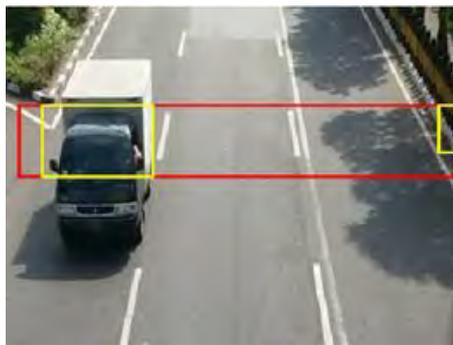
Berdasarkan hasil citra biner pada gambar 5.41 dan citra RGB pada gambar 5.42 dapat terlihat bahwa objek dengan objek dan bayangan terpisah dapat dikenali dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan akurasi perhitungan yang baik.



Gambar 5.42: citra RGB hasil deteksi pada video uji1 sesudah proses

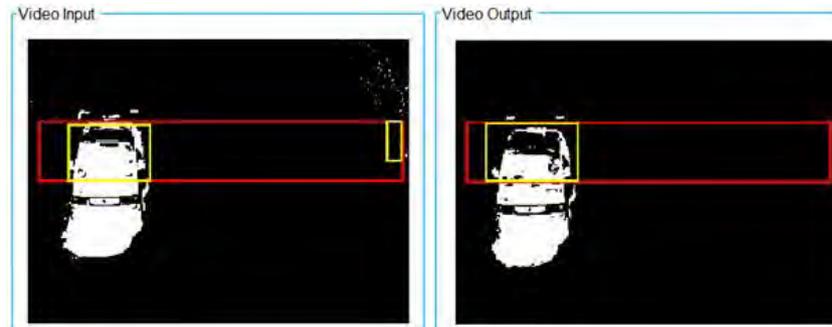
#### 5.2.5.5 Uji Coba video 4

Pada video ini sistem diuji dengan kondisi single objek.



Gambar 5.43: hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan

Pada video ini, proses penghilangan bayangan dilakukan untuk menghilangkan piksel bayangan yang ada dalam kondisi single objek. Berikut adalah hasil yang diperoleh dalam bentuk biner.



Gambar 5.44: citra biner hasil deteksi pada video uji2 sebelum dan sesudah proses



Gambar 5.45: hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan

Berdasarkan hasil citra biner pada gambar 5.44 dan citra RGB pada gambar 5.45 dapat terlihat bahwa objek tunggal dapat dikenali dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan akurasi perhitungan yang baik.

#### 5.2.5.6 Uji Coba video 5

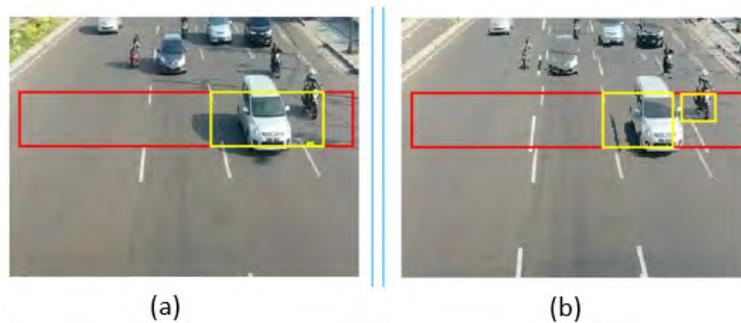
Pada video ini sistem diuji dengan kondisi multi objek. Proses penghilangan bayangan dilakukan untuk menghilangkan piksel bayangan yang ada dalam kondisi multi objek. Berdasarkan hasil citra pada gambar diatas dapat terlihat bahwa objek dapat dikenali dan akurasi perhitungan meningkat.



Gambar 5.46: (a) hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan (b) hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan

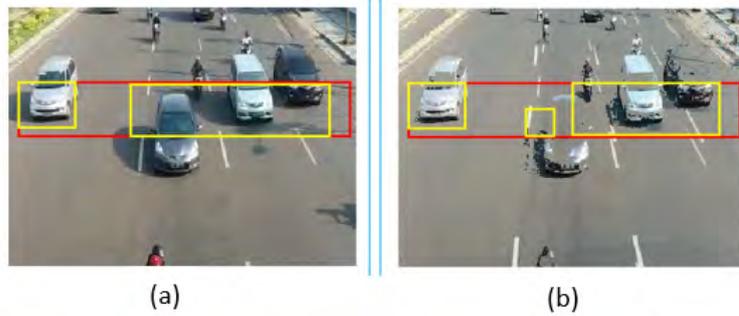
#### 5.2.5.7 Uji Coba video 6

Pada video ini sistem diuji dengan kondisi multi objek. Berikut adalah gambar hasil uji yang dilakukan pada beberapa frame video.

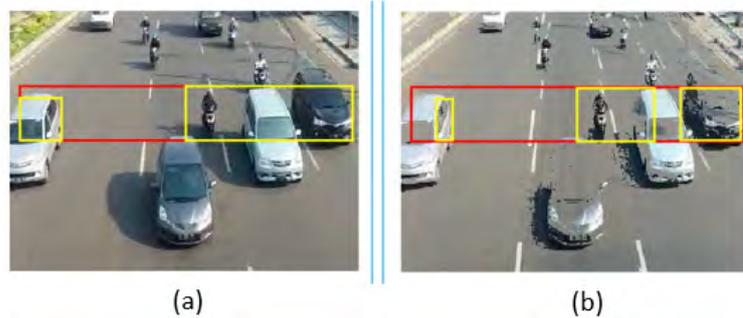


Gambar 5.47: (a) hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan (b) hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan

Dapat dilihat bahwa pada frame sebelum proses hasil deteksi adalah satu dan setelah proses menjadi terdeteksi sebagai dua objek. Berikut beberapa sampel pada frame video uji 6 ini dapat dilihat pada gambar 5.48 dan 5.49.



Gambar 5.48: (a) hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan (b) hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan



Gambar 5.49: (a) hasil deteksi pada video sebelum proses dilakukan (b) hasil deteksi pada video setelah proses dilakukan

Pada video ini, proses penghilangan bayangan dilakukan untuk memisahkan piksel objek dan bayangannya dalam kondisi multi objek. Berdasarkan hasil citra pada gambar diatas dapat terlihat bahwa objek dapat dikenali dan akurasi perhitungan meningkat.



## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang beberapa kesimpulan yang dihasilkan berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan. Di samping itu, pada bab ini juga dimasukkan beberapa saran yang dapat digunakan jika penelitian ini ingin dikembangkan.

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem penghilangan bayangan menggunakan metode subregion illumination transfer dan gaussian mixture model, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini berhasil dibangun metode Hybrid berbasis subregion illumination transfer dan gaussian mixture model untuk menghilangkan bayangan pada objek bergerak. Berdasarkan beberapa uji yang dilakukan, kualitas hasil metode hybrid ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah arah gerak benda, intensitas cahaya dan lebar bayangan benda.
2. Hasil terbaik menggunakan metode *shadow removal* ini adalah dengan skenario arah gerakan benda mendekati kamera dan bayangan tidak terlalu gelap. Hal ini dibuktikan dengan diperolehnya rata-rata PSNR yang untuk benda bergerak dengan variasi intensitas cahaya = 0.8 adalah sebesar 53.47115 dB.
3. Semakin sempit bayangan semakin bagus hasil penghilangan bayangannya. Hal ini dibuktikan dengan rata-rata PSNR terbaik yang diperoleh untuk benda bergerak dengan variasi lebar bayangan adalah 51.87927 dB dengan bayangan tipe 1.
4. Berdasarkan hasil pengujian dengan data lapangan, metode *hybrid* berbasis *subregion illumination transfer* dan *gaussian mixture model* berhasil memisahkan dua objek bergerak atau lebih yang terhubung oleh bayangan. Sehingga akurasi perhitungan objek bergerak dapat meningkat.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka ada beberapa hal yang disarankan penulis sebagai tindak lanjut dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Pengembangan metode penghilangan bayangan telah berhasil dilakukan, meskipun pada kenyataannya masih memiliki kekurangan. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengembangan metode pada penelitian ini pada ruang warna selain HSI / HSV, YCbCr, dan sebagainya. Selain itu, pada penelitian ini masih pada level video masukan secara *offline*, sehingga perlu adanya implementasi pada video secara *real time*.
2. Posisi kamera CCTV dipasang pada jalan satu arah dan arah gerakan kendaraan mendekati kamera pada kondisi siang hari dan bayangan yang tidak terlalu gelap.

## DAFTAR PUSTAKA

- Lin, Chin-Teng., Yang, Chien-Ting., Shou, Yu-Wen, Shen, Tzu-Kuei. (2010). *An Efficient and Robust Moving Shadow Removal Algorithm and Its Application in ITS*. EURASIP Journal on Advanced in Signal Processing.
- Tattersall, Scot., Dawson-Howe, Kenneth. (2003). *Adaptive Shadow Identification Trough Automatic Parameter Estimation In Video Suquence*. Department of Computer Science, Trinity Collage, Dublin
- Russell, Mosin., Zou, Ju Jia., Fang, Gu. (2016). *An Evaluation of Moving Shadow Removal Detection Techniques*. *Computational Visual Media* Vol. 2 no. 3 page 195-217
- Gonzalez, Rafael C., Woods, Richard E. (2002). *Digital Image Processing, Second Edition*. Prentice Hall, Saddle river, New Jersey.
- C., Stauffer, W., E., L., Grimson. 1999. *Adaptive Background Mixture Models for Real-time Tracking*. *The Artificial Intelligence Laboratory*. Cambridge
- Setiyono, Budi, Et all. 2016. *A New Approach Algorithm For Counting Of Vehicle Moving Based On Image Processing*. *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, Vol. 14, No. 10, October 2016
- Prajapati, Hrishabsh. Et all. 2016. *An Approach for Shadow Removal in Moving Object* . *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, Vol. 14, No. 8, August 2016
- Xiao, Chunxia. Et all. 2013. *Efficient Shadow Removal Using Subregion matching illumination transfer*. *Computer Graphic Forum* Volume 32 (2013),No. 7
- Al Bovik. 2000. *Handbook of Image and Video Processing*. San Diego: Academic Press Publisher
- Zhang, Hongya., Sun, Kaimin.,Li, Wenzhuo. 2014. *Object Oriented Shadow Detection And Removal From Urban High-Resolution Remote Sensing Image*. *IEEE Transaction On Geoscience and Remote Sensing*, Vol.52, No.11, November 2014
- Taha, Mohamed et all. 2014. *Moving shadow removal for Multi-Object Tracking in Outdoor Environment*. *International Journal of Computer Applications (0975-8887)*, Vol.97, No.10, July 2014

- Charles A. Poynton .2003. Digital Video and HDTV: Algorithms and Interfaces. Morgan Kaufmann. pp. 260, 630. ISBN 1-55860-792-7.
- Budisanjaya, I PutuGede. 2013. Perangkat Lunak Pengolahan Citra untuk Segmentasi dan Cropping Daun Sawi Hijau. Prosiding Conference on Smart-Green Technology in Electrical and Information Systems, Universitas Udayana.
- Charisma, Bayu. 2016. "Klasifikasi kendaraan Bergerak dengan logika fuzzy berbasis pengolahan citra". Tesis Pascasarjana Matematika ITS
- Dinas Perhubungan Kota Surabaya.(2017). "Data lalu Lintas Harian Kota Surabaya Tahun 2014".[Online]. Tersedia : <http://dishub.surabaya.go.id/index.php/post/id/1549> yang diakses pada 14 September 2017
- Prati, Andrea et all. 2003. *Detecting Moving Shadows: Algorithms and Evaluation. IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, VOL. 25, NO. 7, JULY 2003

## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Hasanuddin Al-Habib, lahir di Mojokerto pada tanggal 9 Agustus 1993. Penulis berasal dari Kota Mojokerto, bertempat tinggal di Ds. Jambuwok RT.03/RW.02 Kec. Trowulan, Kab. Mojokerto. Pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu MI AL-HUDA Jambuwok, SMP Negeri 2 Trowulan, dan MAN Mojokerto. Kemudian, penulis melanjutkan studi di S-1 dan S-2 jurusan Matematika ITS, dengan bidang minat ilmu komputer. Dalam bidang minat ini penulis mulai mengenal bahasa pemrograman diantaranya adalah C, C++, Java, PHP-MySQL, dan MATLAB. Fokus minat penulis adalah pada bidang *Digital Image and Video Processing*. Pada jenjang S-1, Penulis telah menyelesaikan penelitian Tugas Akhir pada bidang minat tersebut dengan berjudul "Super-resolusi Objek berbasis video *tracking* menggunakan metode *Phased Based Image Matching* dan Proyeksi Himpunan Konvex". Kritik dan Saran serta pertanyaan lebih lanjut mengenai tesis ini dapat diajukan melalui email: [hasanuddin.alhabib@gmail.com](mailto:hasanuddin.alhabib@gmail.com)