

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI VIDEO CODEC BERBASIS H.265 DAN  
VIDEO ENKRIPSI PADA AUTONOMOUS UNDERWATER ROBOT  
(*DESIGN AND IMPLEMENTATION OF H.265 BASED VIDEO CODEC AND  
VIDEO ENCRYPTION FOR AUTONOMOUS UNDERWATER ROBOT*)**

**TUGAS AKHIR**

Disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi (S1) Teknik Komputer Universitas Telkom

Oleh

**FAIDHON NUR**

**1104111128**



**FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO**

**UNIVERSITAS TELKOM**

**BANDUNG**

**2015**

	<b>UNIVERSITAS TELKOM</b>	No. Dokumen	ITT-AK-FEK-PTT-FM-004/001
	<b>Jl. Telekomunikasi No. 1 Ters. Buah Batu Bandung 40257</b>	No. Revisi	00
	<b>FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR</b>	Berlaku efektif	02 Mei 2011

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **DESAIN DAN IMPLEMENTASI VIDEO CODEC BERBASIS H.265 DAN VIDEO ENKRIPSI PADA AUTONOMOUS UNDERWATER ROBOT**

### ***DESIGN AND IMPLEMENTATION OF H.265 BASED VIDEO CODEC AND VIDEO ENCRYPTION FOR AUTONOMOUS UNDERWATER ROBOT***

Telah disetujui dan disahkan sebagai Tugas Akhir  
Program S1 Teknik Komputer  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom

**Oleh :**

**Faidhon Nur  
1104111128**

Bandung, 1 Juli 2015

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Agung Nugroho Jati, ST., MT.

Unang Sunarya, ST., MT.

NIP. 10880616-1

NIP. 10840629-1

	<b>UNIVERSITAS TELKOM</b>	No. Dokumen	ITT-AK-FEK-PTT-FM-004/001
	<b>Jl. Telekomunikasi No. 1 Ters. Buah Batu Bandung 40257</b>	No. Revisi	00
	<b>FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR</b>	Berlaku efektif	02 Mei 2011

### LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Nama : Faidhon Nur  
NIM : 1104111128  
Alamat : Kebonrowopucang Kecamatan Karangdadap Kabupaten Pekalongan  
No.HP : +6282316054888  
E-mail : [vellmaxi@gmail.com](mailto:vellmaxi@gmail.com)

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya hasil orisinalitas saya sendiri, dengan judul :

### **DESAIN DAN IMPLEMENTASI VIDEO CODEC BERBASIS H.265 DAN VIDEO ENKRIPSI PADA AUTONOMOUS UNDERWATER ROBOT**

#### ***DESIGN AND IMPLEMENTATION OF H.265 BASED VIDEO CODEC AND VIDEO ENCRYPTION FOR AUTONOMOUS UNDERWATER ROBOT***

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala bentuk resiko / sanksi yang diberikan kepada saya apabila kemudian nanti ditemukan adanya pelanggaran kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidak aslian karya ini.



Bandung, 1 Juli 2015

Faidhon Nur  
1104111128

## **ABSTRACT**

*Autonomous Underwater Robot is a type of robot that mostly used propeller for it's navigation. Research in the field of underwater robots tends to be a trend lately, such as openROV, a telerobotics DIY project. Development of underwater robots are generally intended for underwater exploration as well as for terrain mapping or to search for natural resources. This type of robot is a solution in the field of water transport automation and very useful for unmanned exploration.*

*Data acquisition is a common requirement for a monitoring system. In general, as a form of an output sensor. In contrast to controlled robot that require real-time image acquisition, autonomous robot requires only a clear image acquisition possible. Therefore, the type of lossy codec implementations should be avoided for this type of robot. In this final task, we developed a robot using a standard encoding algorithm with High Efficiency Video Coding (HEVC) or H.265. Its framework includes intra-picture compression, inter-picture compression and entropy coding.*

*The underwater robot in this final project implementation have perform monitoring task and storing the data records using a Lossless HEVC or H.265-based codec, and using frame-shuffling data encryption category. The robot have done a video record of 432x240 quality, with 27.1296% space-saving from intra-picture compression, 7.9776% space-saving from inter-picture compression and a successful CTB based frame-shuffling encryption.*

*Keywords: codecs, h.265, autonomous robots, encryption of data, a webcam, a sensor.*

## ABSTRAK

Autonomous Underwater Robot merupakan suatu jenis robot yang mempunyai aktuator *propeller* untuk navigasinya. Riset dibidang underwater robot menjadi trend akhir-akhir ini, seperti openROV, proyek DIY telerobotics. Pengembangan underwater robot umumnya bertujuan untuk eksplorasi bawah laut baik untuk *mapping* ataupun untuk mencari sumber daya alam. Robot jenis ini merupakan solusi dalam bidang otomasi, transportasi air dan eksplorasi tanpa awak yang sangat berguna untuk manusia.

Akuisisi data merupakan kebutuhan umum suatu system *monitoring*, pada umumnya berupa keluaran sensor. Berbeda dengan *controlled robot* yang membutuhkan akuisisi gambar *realtime*, autonomous robot hanya membutuhkan akuisisi gambar sejernih mungkin. Oleh karena itu implementasi codec dengan tipe lossy sebaiknya dihindari untuk robot jenis ini. Dalam tugas akhir ini robot menggunakan algoritma encoding dengan standar High Efficiency Video Coding (HEVC) atau H.265. Kerangka kerjanya meliputi kompresi intra-picture, kompresi inter-picture dan entropy coding.

Dalam pelaksanaan tugas akhir, robot underwater dapat melakukan monitoring dan menyimpan data rekaman menggunakan suatu codec berbasis HEVC atau H.265 Lossless, dan menggunakan enkripsi data kategori frame-shuffling. Robot telah dapat melakukan video recording dengan kualitas gambar 432x240, penghematan memori dari *intra-frame compression* sebanyak 27.1296%, penghematan memori dari inter-picture compression sebanyak 7.9776% dan berhasil melakukan enkripsi berbasis frame-shuffling pada Coding Tree Block.

Kata Kunci : codec, h.265, autonomous robot, data encryption, webcam, sensor.

## KATA PENGANTAR



*Assalammu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas Berkat dan Rahmat-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**DESAIN DAN IMPLEMENTASI VIDEO CODEC BERBASIS H.265 DAN VIDEO ENKRIPSI PADA AUTONOMOUS UNDERWATER ROBOT**”. Penulisan buku ini sebagai syarat menyelesaikan pendidikan tahap sarjana pada Program Studi S1 Teknik Komputer Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya juga disampaikan penulis kepada :

1. Ibunda Sholechah dan Ayahanda Akhmad Basuni serta adik penulis yang selalu memberi dukungan yang tiada henti setiap harinya kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bpk. Agung Nugroho Jati ST., MT., sebagai pembimbing I dan pembina Laboratorium EIRRG atas bimbingan, saran, dukungan, dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis sebelum dan sesudah pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bpk. Unang Sunarya ST., MT., sebagai pembimbing II atas bimbingan dan masukannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bpk. Yudha Purwanto ST., MT., sebagai dosen wali yang selalu memberikan nasehat, motivasi, dan dukungan kepada penulis selama ini.
5. Semua teman-teman Laboratorium *Electronics and Intelligence Robotic Reseach Group* yang telah banyak membantu penulis dalam mengembangkan riset tentang robotika.
6. Semua teman-teman jurusan S1 Teknik Komputer 2011 khususnya teman-teman di PITUAH BUNDO atas segala kehangatan, bantuan, dan motivasi yang selalu diberikan kepada penulis selama menjalankan studi di Teknik Komputer Universitas Telkom.

7. Seluruh civitas akademika Prodi Teknik Komputer dan Fakultas Teknik Elektro atas segala bantuannya serta pihak-pihak lain yang turut terlibat langsung ataupun tidak langsung dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Untuk itu saran dan kritik bisa dikirimkan melalui email penulis di [vellmaxi@gmail.com](mailto:vellmaxi@gmail.com). Semoga Tugas Akhir ini dapat dikembangkan ke arah yang lebih baik dan bermanfaat bagi pembaca serta dunia pendidikan.

*Wassalammu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Bandung, 1 Juli 2015

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	1
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
<i>ABSTRACT</i> .....	i
ABSTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Perumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir.....	4
BAB II TEORI PENUNJANG .....	5
2.1 Robotika .....	5
2.1.1 Konsep Dasar Robot .....	5
2.1.2 Klasifikasi Robot.....	5
2.1.3 Derajat Automasi .....	6
2.2 Central Processing Unit (CPU) .....	7
2.3 Perangkat Deteksi (Sensor) .....	8
2.2.1 Kamera .....	8

2.2.2	Pressure Sensor .....	8
2.2.3	Accelerometer ADXL345 .....	9
2.2.4	Gyroscope ITG3200.....	9
2.2.5	Magnetometer .....	10
2.4	Sistem Koding Video .....	10
2.5	<i>Intra-Picture</i> .....	12
2.6	Inter-Picture.....	13
2.7	Pengkodean .....	14
2.7.1	Pengkodean <i>Fixed-Length</i> .....	14
2.7.2	Pengkodean <i>Variable-Length</i> .....	14
2.8	Algoritma Enkripsi .....	15
BAB III PERANCANGAN .....		16
3.1	Perancangan Sistem Robot.....	16
3.2	Perancangan Perangkat Keras .....	17
3.2.1	Konstruksi .....	17
3.2.2	Sistem Elektronika .....	19
3.3	Perancangan CODEC .....	22
3.3.1	Susunan Frame .....	23
3.3.2	<i>Fixed-Length Code</i> dan <i>Variable-Length Code</i> .....	24
3.3.3	Partisi Gambar.....	24
3.3.4	Kompresi I-Frame .....	25
3.3.5	Kompresi P-Frame .....	26
3.4	Perancangan Enkripsi .....	28
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS .....		29
4.1	Pengujian Perangkat Keras.....	29

4.1.1	Beaglebone Black Rev. C .....	29
4.1.1	Pengujian Kerapatan .....	31
4.1.2	Pengujian Buoyansi Robot.....	32
4.1.3	Pengujian Kamera .....	34
4.2	Pengujian Perangkat Lunak.....	35
4.2.1	Kecepatan Akuisisi Data .....	35
4.2.2	Frekuensi Komponen Warna Luma .....	36
4.2.3	Sebaran Data Nilai Warna.....	38
4.2.4	Akuisisi Data Tanpa Enkripsi dan Kompresi.....	39
4.2.5	Akuisisi Data dengan Kompresi pada I-Frame .....	40
4.2.6	Akuisisi Data dengan Kompresi pada P-Frame .....	44
4.2.7	Akuisisi Data dengan Enkripsi Data .....	45
BAB V PENUTUP.....		47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA .....		48

## DAFTAR GAMBAR

Figure 2.1 Sampling frame ruang 1366 x 768 pixel.....	11
Figure 2.2. Sampling 26 frame per detik .....	11
Figure 2.3 Block Intrapicture .....	13
Figure 2.4 a) frame ke-n b) frame ke-(n+1) .....	13
Figure 3.1 Diagram Block Sistem Robot .....	16
Figure 3.2 Desain Mekanik .....	17
Figure 3.3 Model Dinamik.....	18
Figure 3.4 Model 3D robot .....	19
Figure 3.5 Skematik Pembalik Arah (pengubah urutan fasa dengan DPDT) .....	20
Figure 3.6 Skematik Beaglebone Cape .....	21
Figure 3.7 Diagram Block Codec Mode Lossless.....	22
Figure 3.8 Urutan penomoran CU pada CTB .....	24
Figure 3.9 Partisi gambar I-Frame .....	25
Figure 3.10 <i>Flowchart Intra Frame Compression</i> .....	26
Figure 3.11 a) nilai pixel n-1 b) nilai pixel n c) <i>reference table</i> .....	27
Figure 3.12 <i>Flowchart Inter Frame Compression</i> .....	27
Figure 3.13 <i>Flowchart Frame-Shuffling Encryption</i> .....	28
Figure 4.1 Pengujian Sistem BeagleBone .....	30
Figure 4.2 Pengujian Hello World di c++ .....	31
Figure 4.3 Pengujian Robot Pada Aquarium .....	32
Figure 4.4 Pengujian USB Kamera .....	34
Figure 4.5 Pengujian akuisisi gambar 432x240 .....	40
Figure 4.6 a. raw data (kiri) b. decoded data (kanan).....	42
Figure 4.7 Struktur file CTB video terkompresi .....	42
Figure 4.8 Perbandingan data asli dengan data rekonstruksi. ....	43
Figure 4.9. Shifted Coding Tree Blocks .....	45

## DAFTAR TABEL

Table I. Derajat automasi robot.....	7
Table II. Klasifikasi metode enkripsi .....	15
Table III. Spesifikasi Beaglebone Black Rev. C.....	20
Table IV. Protokol CODEC .....	23
Table V. Pengukuran volume komponen robot .....	33
Table VI. Kecepatan akuisisi gambar .....	36
Table VII. Histogram pada Coding Tree Block.....	37
Table VIII. Pengujian kompresi pada CTB I-Frame.....	41
Table IX. Perbandingan ukuran data.....	43
Table X. Pengujian kompresi InterPicture .....	44
Table XI Stress analysis enkripsi data .....	46

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi masa kini tidak dapat lepas dari perangkat mesin otomatis yang disebut robot. *Autonomous underwater robot* merupakan suatu jenis robot yang mempunyai aktuator *propeller* untuk navigasinya [1]. Riset dibidang underwater robot menjadi trend akhir-akhir ini, seperti openROV yang dikembangkan oleh DIY telerobotics. Pengembangan *underwater robot* umumnya bertujuan untuk eksplorasi bawah laut baik untuk *mapping* ataupun untuk mencari sumber daya alam. Robot jenis ini sangat berguna untuk manusia terutama dalam bidang otomasi dalam transportasi dan eksplorasi tanpa awak.

Kemajuan teknologi robot bawah air, akan sangat membantu bagi manusia terutama dalam pekerjaan yang sulit dilakukan oleh manusia. Sehingga dengan adanya robot seperti ini diharapkan pekerjaan yang tadinya sulit dan beresiko tinggi jika dijangkau dan dikerjakan oleh manusia dapat diselesaikan dengan mudah dan mengurangi resiko kecelakaan kerja. Implementasi tugas akhir ini dapat berupa *monitoring-robot*, *exploration-robot* atau *spy-robot* (jika ditambah enkripsi dan proteksinya data untuk melindungi informasi kita dari tangan yang tidak berhak). Data yang akan diolah robot berupa beberapa masukan dari sensor kamera, sedangkan informasi yang disimpan berupa *video stream*.

Dalam pelaksanaan tugas akhir, robot *underwater* dirancang untuk melakukan *monitoring* dan menyimpan data rekaman menggunakan codec yang telah dibuat berdasarkan referensi *High Efficiency Video Codec* (HEVC) atau H.265. Sensor kamera menggunakan webcam untuk akuisisi gambar dan kemudian diolah menggunakan SOC BeagleBone Rev C. Menurut teorema informasi Shannon, sebuah data akan semakin penting jika

data itu jarang ditemukan atau mempunyai probabilitas kemunculan yang kecil. Berdasarkan hal tersebut tugas akhir ini menggunakan kompresi *lossless* karena dirasa hasil rekaman video *underwater* jarang ditemui dan perlu diamati secara mendetail.

## 1.2 Tujuan

Tujuan utama dari penelitian tugas akhir ini adalah membuat sebuah robot *underwater* dengan sistem akuisisi video berbasis H.265 dan algoritma enkripsi video kategori *frame-shuffling*. Robot diharapkan dapat kembali membawa informasi video dengan kualitas terbaik, namun tentu saja dengan memperhatikan batasan *hardware* yang dipakai.

## 1.3 Perumusan Masalah

Dengan merujuk pada latar belakang masalah, maka dirumuskan beberapa rumusan masalah yang dibahas pada tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut.

- a. Bagaimana membuat sebuah robot yang bisa bekerja di dalam air?
- b. Bagaimana implementasi codec berbasis *High Efficiency Video Codec* pada *autonomous underwater robot*?
- c. Bagaimana cara yang paling tepat untuk melakukan akuisisi data berbentuk video dan enkripsinya pada robot secara umum?
- d. Bagaimana performansi robot dibawah air ketika harus melakukan komputasi yang berat saat melakukan akuisisi dan enkripsi?

## 1.4 Batasan Masalah

Dengan merujuk kepada rumusan masalah di subbab 1.3, perlu diadakan pembatasan masalah untuk memperjelas pembahasan. Pembatasan masalah yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Robot menggunakan 4 buah *thruster motor* sebagai alat gerak, dua

buah *thruster motor* untuk melakukan pergerakan ke arah depan, belok kiri, belok kanan serta dua buah *thruster motor* lainnya untuk melakukan pergerakan robot ke atas dan kebawah.

- b. Robot menggunakan Beaglebone Rev C sebagai *microprocessor* yang dapat mengolah data sensor, video dan memberikan nilai ke ESC sebagai kontroller *thruster motor*.
- c. *Underwater robot* yang dibuat *autonomous*.
- d. Menggunakan bahasa C++ untuk pemrograman di BeagleBone dan bahasa C untuk bahasa pemrograman mikrokontroler jika diperlukan.
- e. Ruang gerak bebas dari halangan sehingga *robot* dapat bergerak tanpa memperhatikan gangguan pada objek sekitar.
- f. Dalam hal akuisisi gambar, kamera dibantu dengan lampu senter.
- g. Akuisisi data pada robot berbasis *High Efficiency Video Coding* dengan metode enkripsi *frame-shuffling block*.
- h. Keluaran dari data yang didapatkan dari proses encoding kali ini belum ada *player* videonya namun dapat dilihat dan diartikan kebenarannya secara manual.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Studi Literatur  
Dilakukan untuk mengetahui teori-teori dasar dan sebagai sarana pendukung dalam menganalisis permasalahan yang ada. Adapun sumbernya antara lain buku referensi, internet, dan diskusi.
2. Analisis Masalah
3. Digunakan untuk menganalisis semua permasalahan berdasarkan sumber-sumber dan pengamatan terhadap permasalahan itu.
4. Perancangan

5. Melakukan pemodelan, desain dan perancangan pada tiap blok dari keseluruhan sistem yang dibuat, baik dari perangkat lunak dan juga perangkat keras.
6. Simulasi Alat
7. Melakukan simulasi alat untuk melihat performansi dari alat yang telah dirancang.

## **1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir**

Tugas akhir ini dibagi dalam beberapa topik bahasan yang disusun secara sistematis sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini membahas latar belakang masalah, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan rencana kerja.

### **BAB II TEORI PENUNJANG**

Bab ini membahas keterkaitan penelitian tugas akhir ini dengan penelitian – penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya.

### **BAB III PERANCANGAN SISTEM**

Bab ini menjelaskan proses desain dan perancangan sistem yang dibuat.

### **BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Bab ini membahas mengenai pengujian dan analisis terhadap hasil pengujian yang dilakukan.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini membahas kesimpulan dari hasil pengujian sistem yang dibuat dan memberikan saran yang tepat sebagai bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

Pada bab ini dibahas mengenai teori penunjang yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan pengerjaan alat yang dibuat. Teori yang dibahas secara umum diantaranya berkaitan dengan robot, perangkat deteksi, perangkat kontroler, dan aktuator. Kemudian teori khusus spesialisasi tugas akhir perancangan video codec mengenai sistem coding video, *Intra & Inter Picture* pada HEVC, pengkodean, dan enkripsi.

#### **2.1 Robotika**

##### **2.1.1 Konsep Dasar Robot**

Kata robot berasal dari bahasa Czech *robota*, yang berarti pekerja. Namun *Robot Institute of Amerika* memberikan deskripsi yang lebih spesifik dimana robot adalah sebuah manipulator multifungsi yang bisa deprogram ulang untuk memindahkan material, peralatan, atau fungsi khusus dengan menggunakan pergerakan yang terprogram untuk menghasilkan banyak pekerjaan yang bervariasi. [2] dalam bukunya menyimpulkan “*a robot is a reprogrammable general-purpose manipulator with external sensors that can perform various assembly task*”.

##### **2.1.2 Klasifikasi Robot**

Ada banyak cara untuk mengklasifikasikan mobile robots, contoh berdasarkan lingkungan dimana robot beroperasi atau berdasarkan cara gerak atau biasa disebut lokomosi [3]. Kita bisa juga mengklasifikasi robot berdasarkan tugas yang harus dikerjakan. Beberapa klasifikasi yang biasa digunakan diantaranya:

- Klasifikasi robot berdasarkan lingkungan operasi:
  - *Autonomous Underwater Vehicles (AUV)*,
  - *Unmanned Aerial Vehicles (UAV)*,
  - *Terrestrial robot & Space robot*,
  - *Domestic robot*.
- Klasifikasi robot berdasarkan cara gerak
  - Robot perenang/penyelam,
  - Robot terbang,
  - Robot berkaki,
  - Robot beroda,
  - Robot *line or track follower*.
- Klasifikasi robot berdasarkan tugas utamanya
  - *Surveillance robot*,
  - *Maintenance robot*,
  - *Sample-taking robot*,
  - *Personal assistant robot*,
  - *Bomb disposal robot*.

Robot yang kita buat adalah robot jenis klasifikasi AUV perenang/penyelam. Pembahasan secara detail mengenai spesifikasi robot dapat dilihat pada subbab 2.2 dan 2.3.

### **2.1.3 Derajat Automasi**

Bagaimana robot dapat bernavigasi di suatu lingkungan dan menyelesaikan tugasnya merupakan sebuah aspek penting untuk dikaji. Unsur keterlibatan operator yang dibutuhkan untuk melakukan tugas menentukan derajat automasi yang dimiliki robot. Sebuah robot dapat dikontrol secara penuh atau secara penuh autonomous. Jenis-jenis robot berdasarkan derajat automasinya dapat dilihat pada Table I.

Table I. Derajat automasi robot [1]

No	Derajat Automasi Robot	Keterangan
1	<i>Manually Operated</i>	Dikontrol secara kontinyu
2	<i>Guarded Teleoperated</i>	Dikontrol dari jauh
3	<i>Partially Autonomous</i>	Sistem hybrid
4	<i>Autonomous</i>	Beroperasi tanpa campur tangan kita
5	<i>Cognitive</i>	Autonomous & Artificial Intelligence

AUV adalah robot yang beroperasi didalam air dimana komunikasi wired beresiko untuk jarak yang jauh dan komunikasi wireless perlu daya yang besar karena redaman sinyal yang tinggi. Oleh karena itu sebagai alternatif, digunakan sistem robot *autonomous* untuk mengabaikan faktor transmisi data yang perlu dibuat. Suatu *autonomous robot* minimal harus mampu:

- Mengumpulkan informasi tentang lingkungan dan keadaan sekitar untuk bernavigasi menuju target yang diinginkan.
- Bekerja tanpa intervensi dan arahan manusia dalam waktu yang cukup lama.
- Bergerak dengan aman di lingkungan.
- Melakukan sebuah misi atau tugas tanpa mengancam keselamatan manusia atau dirinya sendiri.

## 2.2 Central Processing Unit (CPU)

Perangkat keras robot terdiri dari dua prosesor utama: untuk *low level* dan *high-level* kontrol elektronik. *Low-level* prosesor terdapat pada board sensor IMU yang menggunakan mikrokontroler ATmega32. Board tersebut menyediakan port serial komunikasi I2C dan RS232 untuk interface dengan sensor lain maupun dengan *high-level* prosesor. *High-level* prosesor menggunakan AM3358 yang berbasis ARM Cortex-A8 32-Bit RISC pada

board mini-PC BeagleBone Black Rev. C yang merupakan tempat utama untuk perangkat lunak planning dan control.

Board mikrokontroler mengambil data dari sensor accelerometer ADXL345 (dibahas pada subbab 2.2.2) yang mengintegrasikan pembacaan percepatan pada sumbu x, y dan z. Dalam kondisi statis accelerometer juga dapat digunakan untuk pembacaan kemiringan robot. Mikrokontroler juga melakukan pembacaan dari sensor Gyroscope ITG3200 (dibahas pada subbab 2.2.3) untuk mendapatkan orientasi robot. Fungsi lain gyroscope adalah untuk pembacaan kecepatan sudut.

## 2.3 Perangkat Deteksi (Sensor)

Bagi sebagian besar robot, semua algoritma yang ditanamkan merupakan *pre-defined condition* yang telah dikoding dahulu. Hal ini tidak menjadi masalah saat tugas robot melingkupi masalah sederhana seperti memindahkan suatu objek menggunakan manipulator. Robot adaptif dapat dicapai dengan menambahkan perangkat sensor.

### 2.2.1 Kamera

AUV pada umumnya dilengkapi dengan sonar sensor atau gabungan dari banyak sensor seperti di RAIS [4]. Namun untuk robot mini-AUV yang kami buat kali ini, tidak menggunakan sensor sonar melainkan menggunakan *Universal Serial Bus* (USB) webcam untuk melakukan observasi seperti yang dilakukan di [5]. Jenis kamera yang digunakan adalah Logitech C615, dengan kemampuan merekam video maksimal 1080p.

### 2.2.2 Pressure Sensor

Sensor tekanan merupakan sensor yang dapat mengukur tekanan suatu zat, dalam penelitian ini zat yang diukur berupa air. Tekanan sendiri merupakan satuan fisika yang menyatakan gaya per satuan luas.

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. 1}$$

Prinsip kerja dari sensor tekanan adalah dengan mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik. Perubahan tekanan pada sensor akan menyebabkan perubahan posisi inti kumparan yang ada dalam sensor sehingga mengakibatkan perubahan induksi magnetik pada kumparan. Sensor tekanan yang digunakan pada penelitian ini adalah HM4100 *pressure sensor*, bekerja pada tegangan +5V dan menghasilkan keluaran berupa tegangan listrik antara 0.5~4.5V yang mempresentasikan +0~4 atm. Tekanan dapat diukur dari tegangan keluaran dari sensor dengan menggunakan rumus:

$$V_{out} = 0,2V_{cc} (P + 0,5) \quad \text{Eq. 2}$$

### 2.2.3 Accelerometer ADXL345

Accelerometer pertama sebenarnya merupakan sebuah pengukur besaran gravitasi, dan pada dasarnya segala hal yang dapat mengukur besaran gravitasi merupakan accelerometer. Accelerometer bekerja berdasarkan hukum Newton II.

$$F = ma \quad \text{Eq. 3}$$

Prinsip kerja accelerometer dapat dianalogikan dengan sebuah bola yang berada dalam suatu kotak kubus dimana jika kotak ini bergerak tiba-tiba ke suatu arah maka bola yang tadinya berada di tengah kotak akan mengenai salah satu dinding kotak [6]. Kemudian percepatan dapat dihitung dari tekanan yang diterima dinding yang terkena bola dengan hukum Newton II.

### 2.2.4 Gyroscope ITG3200

Gyroscope merupakan sebuah alat yang dapat mengukur orientasi, berdasarkan prinsip kekekalan momentum sudut [7]. Gyroscope terdiri dari sebuah cakram yang memiliki massa dan berputar pada porosnya. Akibat kecepatan sudut yang tinggi, gyroscope menghasilkan momentum sudut yang tegak lurus dengan arah putaran roda [8]. Sehingga, ketika gyroscope

mekanik berputar, cakram akan tetap berputar ditempatnya sedangkan sudut antara gimbal yang berdekatan akan berubah.

### 2.2.5 Magnetometer

Magnetometer merupakan sensor yang dapat mengukur kekuatan medan magnet dalam arah tertentu [4]. Sensor ini dapat memberi tahu ke arah mana sensor ini menghadap, dengan cara mengukur sudut antara arah sensor dengan arah Utara bumi. Jika bidang pada koordinat x-y suatu benda sejajar dengan garis singgung Bumi, pembacaan magnetometer digunakan untuk menghitung arah antara benda menghadap dan arah Utara magnet Bumi dengan menggunakan rumus:

$$Y = -\tan^{-1}\left(\frac{h_x}{h_y}\right) \quad \text{Eq. 4}$$

## 2.4 Sistem Koding Video

Susunan sebuah file video dapat diambil dari berbagai macam sumber. Misalnya dari potret pemandangan, hasil scan dari material film foto, rekaman analog suatu video, atau video sintetis seperti animasi buatan software animasi komputer [9]. Bahkan, gabungan dan kombinasi dari contoh yang disebutkan juga dapat disusun menjadi satu sekuensial video. Karakteristik masing-masing jenis video juga berbeda berdasarkan sumber akuisisi data tersebut. Dalam kasus kali ini robot menggunakan kamera Logitech C615. Karakteristik sinyal kamera yaitu hasil video mempunyai noise kamera dan motion blur [9].

Skema kompresi data dapat dibagi menjadi dua kelompok utama: kompresi *lossy* dan kompresi *lossless*. Biasanya kompresi jenis *lossy* digunakan untuk mengompres data multimedia yang harus disimpan atau ditransmisikan dengan penghematan *bandwidth* maksimum. Sedangkan jenis kompresi *lossless* digunakan juga untuk meminimalisir penggunaan *storage* namun dengan tetap menjaga kualitas asli arsip tersebut [10]. Aplikasinya

meliputi instrument gambar medis, pemeliharaan suatu seni, pengarsipan gambar dan analisis gambar dapat memanfaatkan jenis kompresi ini.

Dalam rangka merepresentasikan dan memproses sebuah pemandangan visual pada video digital dibutuhkan sampling pemandangan asli secara spasial (biasanya dengan bentuk persegi panjang), dan secara temporal (artinya membutuhkan sekumpulan gambar diam atau frame yang disampling dalam suatu interval waktu tertentu) [11].

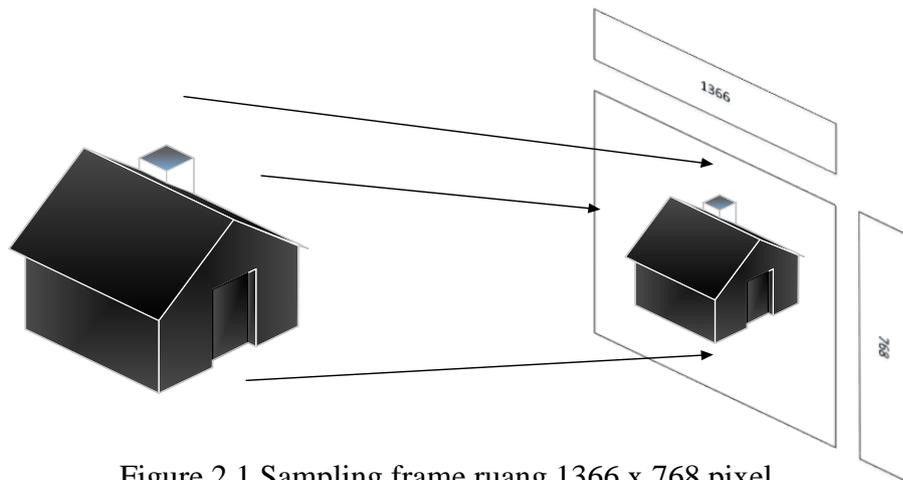


Figure 2.1 Sampling frame ruang 1366 x 768 pixel

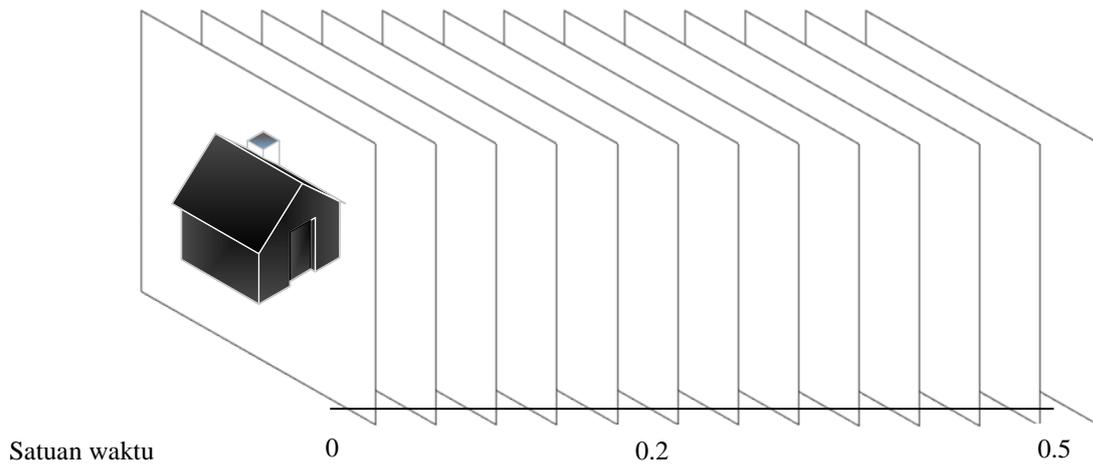


Figure 2.2. Sampling 26 frame per detik

## 2.5 *Intra-Picture*

Kerangka kerja prediksi intra-picture pada HEVC terdiri dari tiga langkah: konstruksi array referensi sampel, prediksi sampel dan *post-processing*. Ketiga langkah tersebut telah didesain untuk mendapatkan efisiensi koding yang tinggi sambil meminimalisir kebutuhan komputasi pada enkoder maupun dekoder [12]. Prediksi intra-picture digunakan untuk kompresi antar block pada sebuah gambar yang saling bertetangga. Asumsi dasarnya adalah tekstur gambar suatu block dengan block tetangga biasanya hampir serupa, oleh karena itu kita dapat melakukan prediksi [9].

Cara kerjanya Setiap gambar dipecah menjadi bagian-bagian berbentuk kotak, informasi batas pemisah antar blok kemudian disampaikan ke enkoder. Frame pertama dari susunan sebuah video hanya dikodekan menggunakan *intrapicture prediction* (yang menggunakan prediksi sebuah data secara spasial dari bagian ke bagian di dalam satu frame). Metode ini digunakan untuk prediksi bagian-bagian block dari block tetangga yang sebelumnya telah dikodekan [13].

Gambar HEVC dibagi menjadi *coding tree blocks* (CTB), yang terdefinisi pada *raster* urutan gambar. Berdasarkan parameter yang telah diatur, CTB bisa berukuran 64x64, 32x32 atau 16x16. Masing-masing CTB dapat dibelah sampai ukuran 8x8 dalam struktur *quad-tree*, potongan-potongan ini sering disebut sebagai *Coding Unit* (CU). Contoh sebuah CTB 32x32 dapat dibagi menjadi tiga 16x16 CU dan empat 8x8 CU. Namun sebuah CU bisa saja merupakan sebuah CTB. Kumpulan CU dalam CTB dikodekan dengan lintasan membentuk huruf Z.

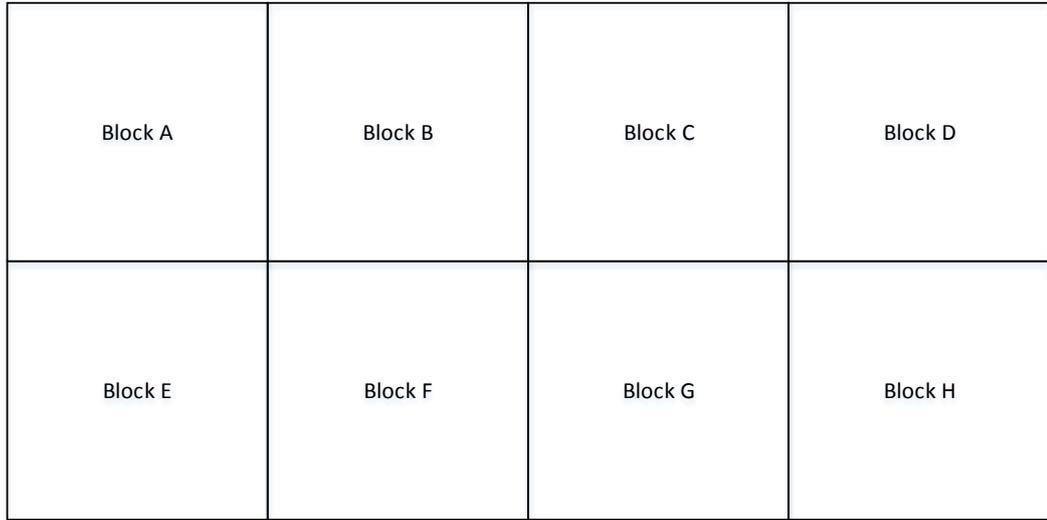


Figure 2.3 Block Intrapicture

Langkah pertama kita kodekan dulu pixel-pixel yang ada dalam Block A, setelah itu kita dapat melakukan prediksi untuk Block B karena biasanya warna antar block yang bersebelahan tidak berbeda jauh.

## 2.6 Inter-Picture

Pada frame-frame selanjutnya, *interpicture prediction* digunakan untuk membandingkan frame sekarang dengan frame sebelumnya. Proses enkoding untuk *interpicture prediction* terdiri dari pemilihan motion data yang berisikan frame referensi dan *motion vector* (MV) untuk diterapkan dalam memprediksi sampel setiap blok. Enkoder dan dekoder menghasilkan sinyal interpicture prediction yang identik dengan menerapkan motion compensation menggunakan MV dan mode decision data, yang ditransmisikan sebagai informasi tambahan [13].

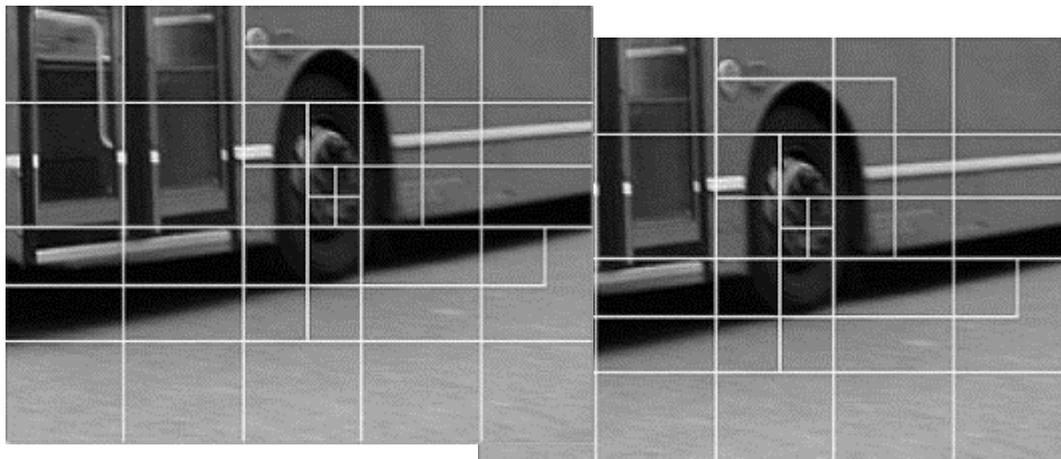


Figure 2.4 a) frame ke-n b) frame ke-(n+1)

Algoritma estimasi gerak yang dibahas oleh Davis dan Sangeetha menggunakan pendekatan differensial antar frame [14]. Terlihat untuk block yang merepresentasikan jalan di samping bus tidak mengalami perubahan, oleh karena itu informasi kode block dapat diambil dari frame sebelumnya. Bagian yang mengalami perubahan seperti block bus, block ban di estimasi perpindahannya menggunakan MV yang dimodelkan. Pengujian menunjukkan algoritma yang diajukan dua kali lebih cepat dibandingkan dengan *three-step-search* dan sedikit lebih cepat (0.38%) dari *hexagon pattern* pada HEVC.

## 2.7 Pengkodean

*Lossless compression* adalah metode kompresi yang dapat merekonstruksi ulang data asli dari data yang telah dikompres [10]. Beberapa contoh kompresi jenis ini adalah *Huffman coding*, *Arithmetic coding*, *Context-adaptive binary arithmetic coding* dan masih banyak lagi yang lainnya.

### 2.7.1 Pengkodean *Fixed-Length*

Menurut [15] *fixed-length* adalah sebuah pengkodean yang mempunyai panjang sumber informasi yang tetap dan panjang output informasi yang tetap. Misalnya sumber informasi yang tersedia adalah data karakter ISO 8859-15 maka kita dapat mengkodekannya dengan 8 bit data. *Fixed-length* berarti semua kemungkinan karakternya tanpa terkecuali harus dikodekan menggunakan 8 bit, maksimum karakter ada 256 jenis .

### 2.7.2 Pengkodean *Variable-Length*

Merupakan sebuah pengkodean dimana sebuah kodeword dan kodeword yang lainnya ada yang berbeda ukurannya. Manfaatnya dapat dirasakan ketika algoritma yang berbasis *frequency weighting* seperti pada *Huffman coding*, dimana data yang paling sering muncul akan dikodekan menggunakan kodeword dengan ukuran yang paling kecil.

## 2.8 Algoritma Enkripsi

Keamanan pada data multimedia telah menjadi hal yang terpenting pada aplikasi yang berkaitan dengan tujuan militer [16]. Enkripsi berguna untuk mengamankan data dari tangan-tangan yang tidak berhak dengan cara memodifikasi data asli menggunakan suatu kunci. Metode enkripsi video dapat diklasifikasikan menjadi 4 kategori Table 2.

Table II. Klasifikasi metode enkripsi

Kategori	Penjelasan
Full Layer	Enkripsi secara keseluruhan seperti RSA, DES dan AES
Permutasi	Konten video diacak, susunannya bit dibalik-balik
Selective	Enkripsi dibagian tertentu saja, misal di menit 3-4
Perceptual	Konten masih bisa dimengerti walaupun sudah dienkripsi

Ajay Kulkarni dkk. mengajukan beberapa algoritma (algoritma diberi nama sesuai dengan yang mengajukan) serta membandingkannya dengan metode-metode *cryptografi* yang sudah ada [16]. Menekankan pada metode enkripsi simetris dan asimetris, metode diuji masing-masing pada bagian level keamanan dan kecepatan enkripsi. Pada teknik pengkodean video dikenal *segmentasi frame* atau *picture partitioning* dalam bentuk *Coding Tree Blocks* [12]. Enkripsi data jenis permutasi sangat mungkin dilakukan dengan adanya segmentasi tersebut.

### BAB III PERANCANGAN

Pada bab ini dibahas mengenai perancangan sistem yang dibuat meliputi perancangan elektronika, perancangan mekanika, perancangan algoritma atau sistem yang digunakan.

#### 3.1 Perancangan Sistem Robot

Pada perancangan codec terenkripsi ini meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem menggunakan sebuah sensor USB webcam (C615) yang digunakan sebagai piranti masukan. Sebagai prosesor atau otak yang mengatur seluruh kinerja sistem, digunakan Beaglebone Black Rev. C. Keluaran sistem berupa sebuah file bitsream video. Adapun diagram blok sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Fig 3.1.

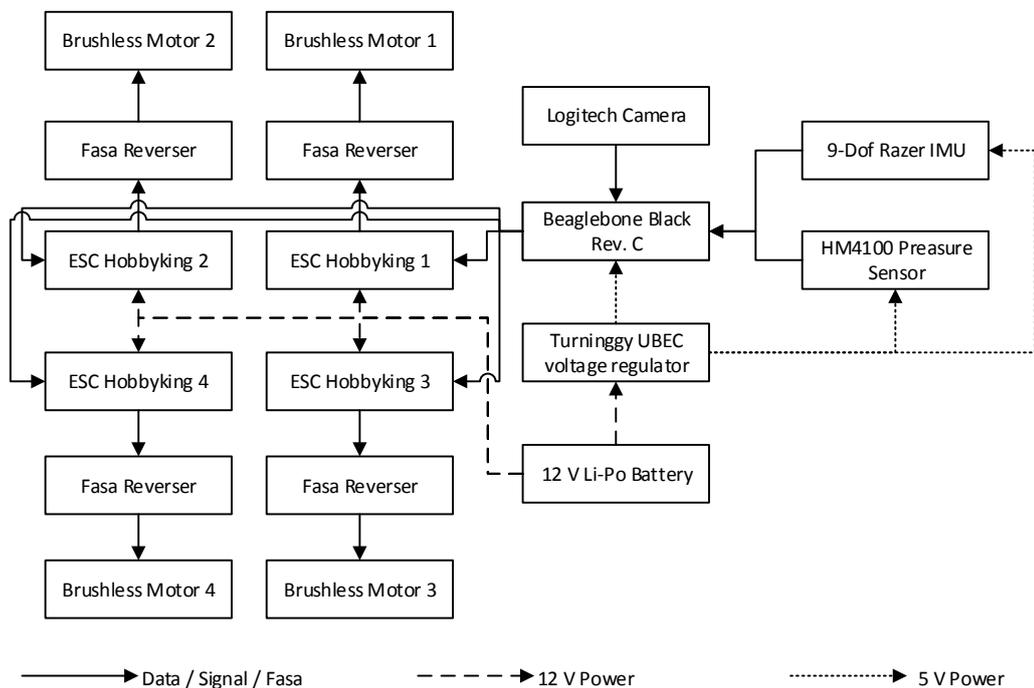


Figure 3.1 Diagram Block Sistem Robot

## 3.2 Perancangan Perangkat Keras

### 3.2.1 Konstruksi

Pertimbangan dan pemilihan hardware mungkin adalah bagian terpenting dalam proses perancangan. Bagian tersebut dapat mempengaruhi performansi alat secara keseluruhan. Jika tidak dilakukan secara benar, sangat mungkin ditemukan masalah yang besar. AUV ini mempunyai bentuk kotak, dengan dimensi  $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ . Lebih kecil dibandingkan dengan yang dibuat di [3].

- 1-2) Box anti-air
- (3) Sambungan box
- (4) Sasis
- (5-8) Propeller
- (9) Reservoir

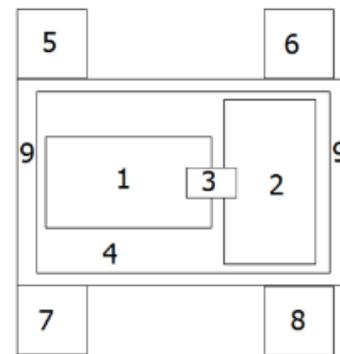


Figure 3.2 Desain Mekanik

Struktur Mekanik AUV ini terdiri dari 5 bagian, Lihat Komponen kotak anti-air *Ingress Protection* dengan rating 67 (IP67) digunakan sebagai tempat peletakan komponen elektronika seperti Central Processing Unit (CPU), Accelerometer, Gyroscope, Electronic Speed Controller (ESC) dan kumpulan papan elektronika buatan sendiri. Sasis berfungsi sebagai kerangka utama, komponen mekanik lainnya terpasang secara kokoh di bagian tersebut. *Reservoir* merupakan ruang variabel yang dipakai untuk menyesuaikan tingkat pengapungan robot. Kita dapat mengisinya dengan udara untuk mendapatkan buoyansi positif.

Figure 3.2 menunjukkan desain sistem awal yang telah terimplementasikan di robot. Sensor-sensor yang digunakan di antaranya ITG3200, ADXL345, HM4100 dan C615. Semuanya dapat dengan mudah diperoleh di pasar. Mekanisme gerak robot menggunakan Towerpro 2408-21t brushless motor dengan ESC Hobbyking 20A.

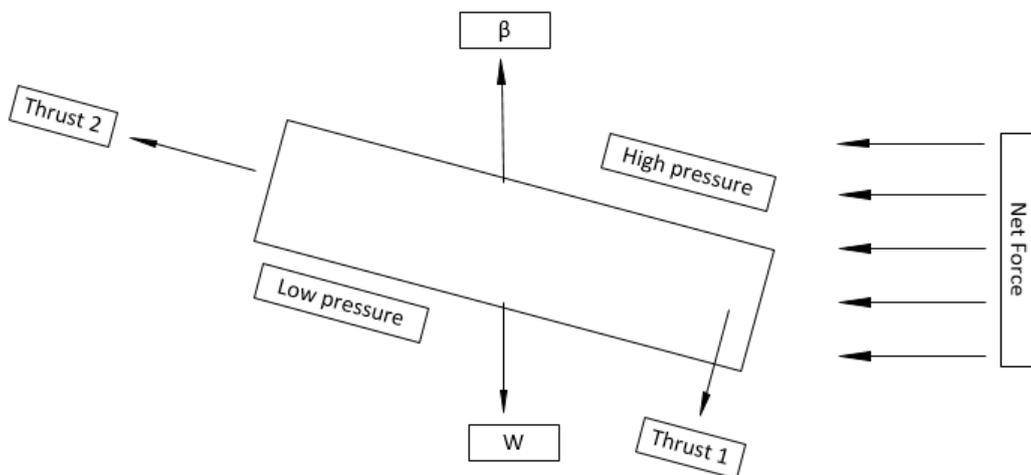


Figure 3.3 Model Dinamik

Gaya yang bekerja pada robot saat bergerak dapat dilihat pada Figure 3.3, ada sebanyak 5 gaya yang diketahui. Gaya Buoyansi ( $B$ ) merupakan dorongan ke atas yang diterima robot oleh fluida yang dipindahkan [Archimedes]. Berat ( $W$ ) merupakan gaya tarik bumi yang besarnya sama dengan massa robot dikalikan dengan konstanta gravitasi ( $g$ ). *Net-Force* merupakan gaya normal yang disebabkan oleh tabrakan suatu obyek dengan fluida saat melakukan pergerakan, gaya tersebut akan bertambah secara proporsional saat kecepatan bertambah. Perlu diperhatikan bahwa Figure 3.3, menunjukkan gaya normal saat AUV bergerak secara horizontal ke arah kanan karena gaya tersebut akan selalu bekerja berlawanan arah dari gerakan robot. Selain itu, gaya normal juga menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan seperti terlihat di Figure 3.3, gaya normal menyebabkan robot bergerak menyelam. Gaya lainnya adalah aksi dari brushless motor yang dikontrol CPU via ESC.

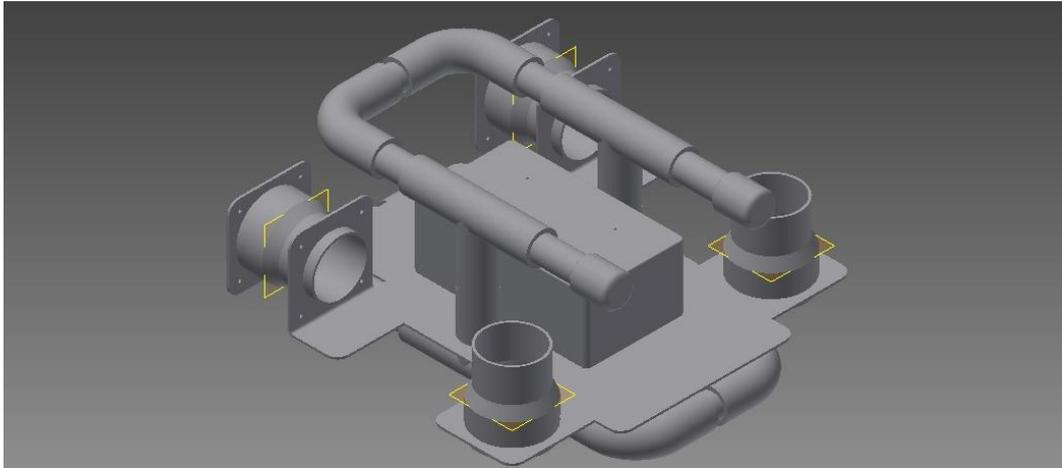


Figure 3.4 Model 3D robot

Aktuator utama dari AUV ini adalah empat brushless motor yang terdapat disetiap sudut persegi seperti yang terlihat pada Figure 3.4. Motor depan terpasang secara vertical, sedangkan motor belakang diposisikan secara horizontal. Aktuator merupakan bagian yang melakukan kemudi, akselerasi dan de-akselerasi robot.

### 3.2.2 Sistem Elektronika

Komponen elektronik utama pada prototype yang dibuat menggunakan Beaglebone Black Rev. C. yang diproduksi oleh element14. Keuntungan menggunakan board ini adalah banyaknya pin GPIO (*General Purpose Input Output*) yang bisa digunakan dengan tersedianya fungsi-fungsi khusus dari pin GPIO tersebut. Informasi detail beaglebone black dapat dilihat dalam Table III.

Table III. Spesifikasi Beaglebone Black Rev. C

No	Nama	Keterangan
1	Rilis	23 April 2013
2	Soc	AM3358/9
3	CPU	Cortex-A8 + 2xPRU(200Mhz)
4	Freq	1GHz
5	GPU	PowerVR SGX530 (200 MHz)
6	Memory	- 512MB DDR3 RAM - 4GB 8-bit eMMC on-board flash storage
7	USB	- 1 USB Port Host - 1 mini USB power dan komunikasi
8	Network	- Fast Ethernet (MII based)
9	Low-Level Peripherals	4xUART, 8x PWM, LCD, GPMC, MMC1, 2x SPI, 2x I <sup>2</sup> C, A/D Converter, 2x CAN bus, 4 Timers
10	Display	Mini-HDMI
11	Sistem Operasi	Linux

Untuk melakukan kontrol motor BLDC dibutuhkan 4 PWM serta 4 buah pin GPIO untuk mengatur arah direksi motor dengan menggunakan rangkaian relay DPDT untuk mengubah urutan fasa dengan rangkaian elektronika yang dibuat sendiri dengan skematik seperti dalam Figure 3.5.

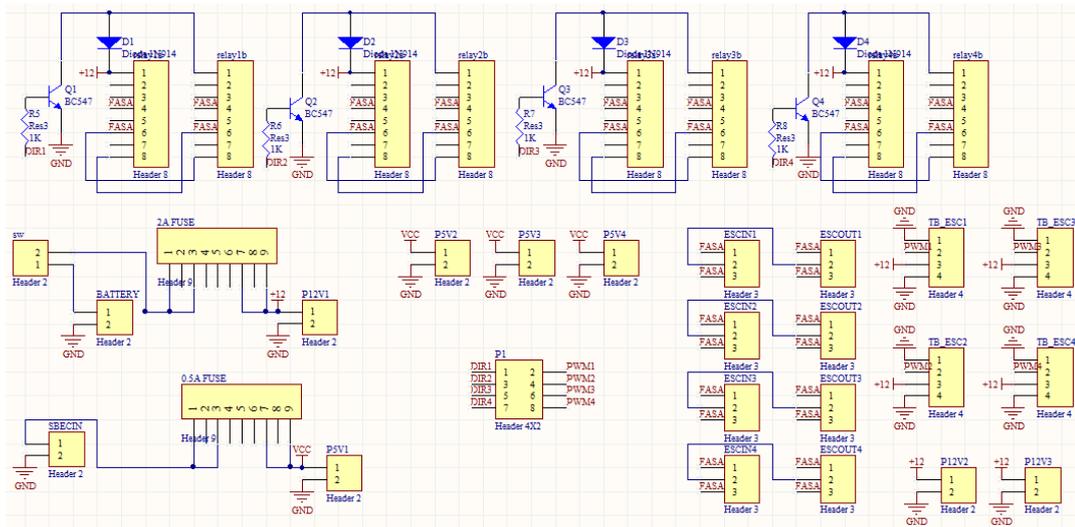


Figure 3.5 Skematik Pembalik Arah (pengubah urutan fasa dengan DPDT)

Kinerja dari pembalik arah hanya menukar fasa seperti pada *Figure 3.5* dimana fasa A ditukar dengan fasa C dan fasa B tetap. Dengan demikian perputaran dari esc akan berbalik arah dari arah sebelumnya. Hanya saja untuk membangkitkan relay DPDT 5V dibutuhkan *level converter* dari 3.3 Volt sebagai keluaran logika 1 dari Beaglebone Black, dinaikan dengan menggunakan 2 buah transistor NPN (BC547). Sementara ESC membutuhkan catu daya sebesar 12V untuk menggerakkan motor BLDC, Beaglebone Black beserta sensor tekanan yang digunakan membutuhkan catu daya sebesar 5 V yang didapatkan dari UBEC Turnigy.

Berbeda dengan sensor tekanan dan Beaglebone Black, 9-DoF Razer IMU yang digunakan membutuhkan catudaya sebesar 3.3V yang didapatkan dari Beaglebone Black itu sendiri karena dalam Beaglebone Black terdapat internal regulator. Untuk memperkecil penggunaan kabel, maka dibuat sebuah Beaglebone Cape sendiri menyesuaikan dengan sensor yang dipakai beserta penaik tegangan yang dibutuhkan jika ingin menambahkan sensor tambahan. Berikut skematik *beaglecape*.

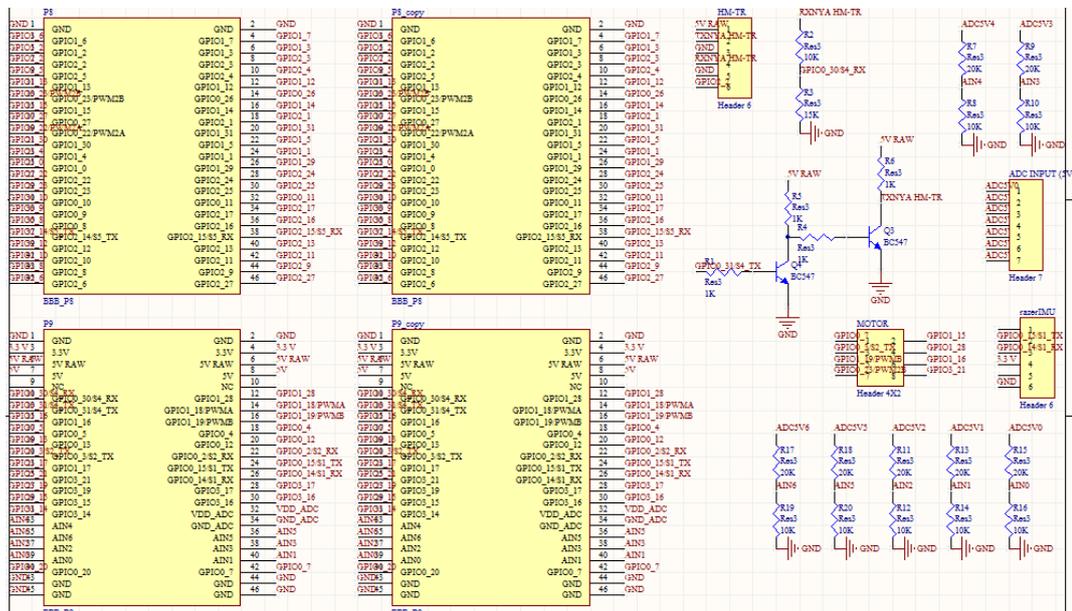


Figure 3.6 Skematik Beaglebone Cape

### 3.3 Perancangan CODEC

Sebelum masuk ke bagian perancangan, sebaiknya perhatikan dulu faktor-faktor seperti Kemampuan kompresi yang diinginkan, kemampuan komputasi hardware yang tersedia, kebebasan sistem pengembangan, platform yang akan di support, fleksibilitas pengembang dan level ekonomi [12]. Berdasarkan kemampuan hardware, codec yang diajukan dalam penelitian ini dirancang dengan kemampuan rasio kompresi minimum 20%. Sistem pengembangan *open-source* dengan menggunakan bahasa C++ dan beberapa fitur library OpenCV. Platform yang disupport adalah windows dan *debian-based linux*.

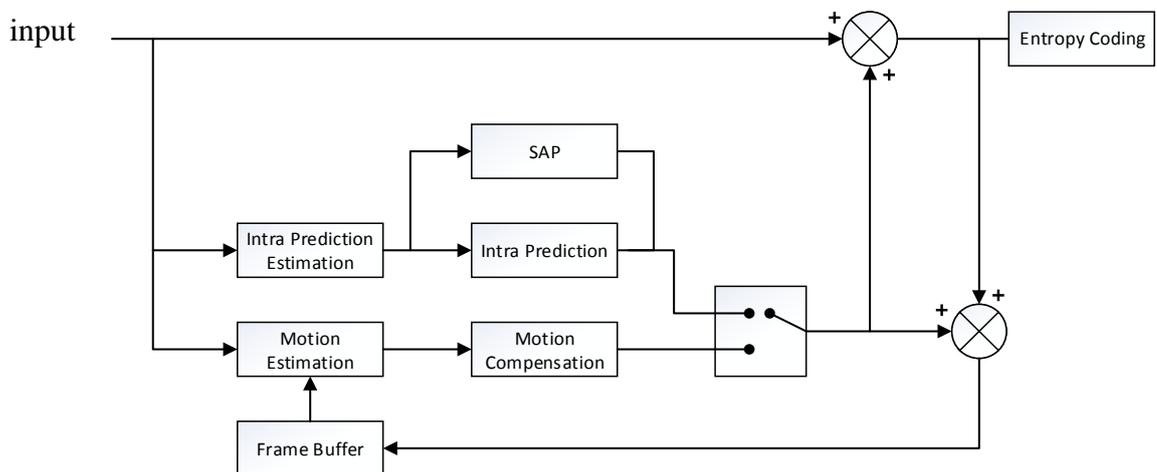


Figure 3.7 Diagram Block Codec Mode Lossless  
Dimodifikasi berdasarkan sumber [11]

Sebenarnya HEVC mempunyai tiga mode dengan memodifikasi proses transform dan kuantisasi, yaitu (a) mode *I\_PCM*, (b) mode *lossless* dan (c) mode *transform skip*. Figure 3.7 merupakan block diagram untuk HEVC mode *lossless*. Pada mode ini proses transform dan kuantisasi ditiadakan. Rekonstruksi secara matematis dapat dilakukan karena data residu prediksi intra atau interpicture dikodekan secara langsung [11].

### 3.3.1 Susunan Frame

Setiap frame yang diambil dari kamera disimpan ke sebuah buffer yang nantinya diolah oleh CPU. Proses awal yang dilakukan adalah membuat *intra frame* (I-Frame). *Intra frame* adalah sebuah frame yang dikodekan secara penuh, tidak bergantung kepada frame lainnya. Dalam codec yang telah dibuat setiap I-Frame diikuti dengan 3 *predicted frame* (P-Frame) yang dapat menggunakan informasi dari I-Frame yang bersangkutan. Setiap P-Frame biasanya disebut sebagai inter frame, yaitu bagian gambar video yang terletak diantara I-Frame. Dapat disimpulkan sekuensial data pada codec yang telah dibuat yang harus dibaca mempunyai format I-P-P-P-I-P-P-P-I dan seterusnya.

Hasil akhir dari proses pengambilan video disusun secara urut dengan header-header yang merepresentasikan informasi tambahan. Data yang dilampirkan diantaranya berupa timestamp, kemiringan, kecepatan, posisi, tekanan dan nomor dari setiap frame. Data yang disimpan setelah header adalah bitstream video kemudian ditutup dengan header penutup file. Susunan data bitstream video disimpan menggunakan protokol sebagai berikut;

Table IV. Protokol CODEC

No	CTB	Time	Tilt	Speed	Position	Pressure
64	7	17	64	64	64	64
n-Bit	n-Data	n-Codeword	Codeword		Encoded Stream	
8	32	16	256		variable	
Reference Table				Differential Pixel Value		
32				variable based on Ref. Table		

Bagian atas Table 4. yang berwarna biru merupakan komponen penyusun utama I-Frame yang dapat berdiri sendiri, sedangkan komponen

yang berwarna merah adalah penyusun P-Frame yang bergantung pada komponen I-Frame sebelumnya.

### 3.3.2 *Fixed-Length Code* dan *Variable-Length Code*

Berdasarkan konsistensi data yang akan dikodekan terdapat dua jenis pengkodean yang dilakukan pada codec yang telah dibuat. *Fixed-length code* digunakan dalam menyimpan parameter yang ukurannya tetap seperti *timestamp*, masukan sensor dan informasi mengenai proses encoding serta panjang *variable-length code*. *Variable-length code* digunakan pada saat penyimpanan data *encoded video* yang berubah-ubah panjang datanya tergantung hasil enkoding.

### 3.3.3 Partisi Gambar

Setiap intra frame pada HEVC disusun dari block-block yang sering disebut sebagai *Coding Tree Block* (CTB) seperti pada *Figure 2.3*. CTB dapat berukuran 64x64, 32x32 atau 16x16 tergantung parameter stream video. Setiap CTB dapat dibagi secara struktur *quad-tree* hingga ukuran 8x8. Contohnya CTB 32x32 dapat di bagi menjadi tiga bagian 16x16 dan empat bagian 8x8. Bagian ini biasa disebut sebagai *Coding Unit* (CU) yang merupakan unit prediksi pada HEVC. Urutan nomor CU pada CTB dibaca secara Z-order seperti pada *Figure 3.8*.

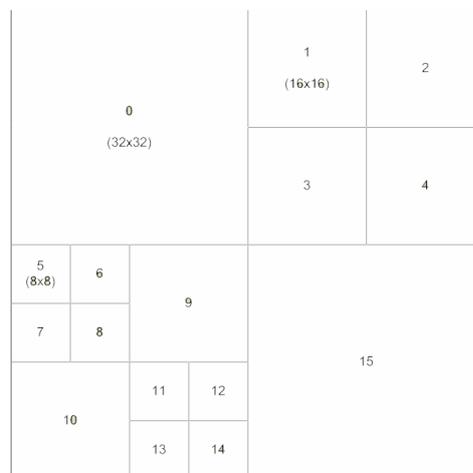


Figure 3.8 Urutan penomoran CU pada CTB

Codec yang telah dibuat mempunyai partisi seperti pada *Figure 3.9*. Susunannya terdiri dari 18 potongan CTB 64x64, 19 potongan CTB 32x32 dan 41 potongan CTB 16x16. Setiap CTB tidak dibagi menjadi bagian-bagian CU, jadi setiap CU pada codec ini merupakan CTB. Scanning CTB pada sebuah frame dilakukan secara diagonal.

1		3		4		15		16		33		34	35
												36	
												39	37
												38	
2		5		14		17		32		40		55	56
												57	
												58	59
												60	
6		13		18		31		41		54		61	62
												63	
												64	65
												66	
7	12	20	19	29	30	43	42	52	53	68	67	73	74
													77
8	9	10	11	21	22	23	24	25	26	27	28	44	45
												46	47
												48	49
												50	51
												69	70
												71	72
												75	76
												78	

Figure 3.9 Partisi gambar I-Frame

Terdapat tiga metode scanning yang pada HEVC yaitu diagonal, horizontal dan vertical. Metode yang diimplementasikan menggunakan scanning gambar secara diagonal karena sebaran frekuensi antar CTB yang bertetangga lebih stabil. Pada codec yang telah dibuat baru dapat mengkodekan CTB 64x64.

### 3.3.4 Kompresi I-Frame

Proses pengkodean HEVC dilakukan dilevel CU pada setiap CTB *intra frame*. CTB terbesar berukuran 64x64 pixel dengan range nilai per-pixelnya 8 bit luma, 8 bit chroma blue dan 8 bit chroma red. Enkoding yang pada codec ini menggunakan tipe kodeword *fixed-length* yang panjangnya ditentukan oleh keputusan program encoder. Kompresi dilakukan dengan cara mengitung frekuensi dan mengalokasikan nilai warna yang ada ke

sebuah kodeword. Panjang sebuah kodeword ditentukan menggunakan theorema informasi Shannon untuk unit informasi bit:

$$\text{Codeword Length} = \lceil \log_2(n) \rceil \quad \text{Eq. 5}$$

Jika  $n$  adalah jenis warna yang terdeteksi di CU yang sedang diproses maka panjang kodeword adalah  $\log_2(n)$  dibulatkan ke nilai integer yang lebih di atasnya. Misalnya ada 46 jenis warna maka panjang kodeword adalah 5,35755 dibulatkan menjadi 6 bit. Maka data yang seharusnya 8 bit telah tereduksi menjadi 6 bit per-pixel. Penggunaan bit yang lebih kecil seperti inilah inti dari kompresi *lossless*.

Flowchart enkoding untuk *intra frame* dapat dilihat pada *Figure 3.8*

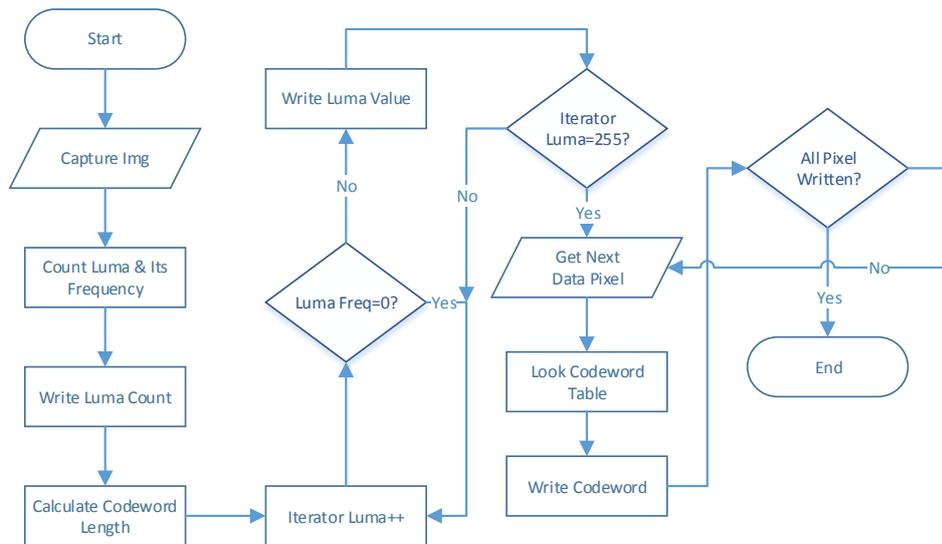


Figure 3.10 Flowchart Intra Frame Compression

### 3.3.5 Kompresi P-Frame

P-Frame pada codec yang telah dibuat tersusun dari informasi bit pixel yang warna luma-nya berbeda dengan frame sebelumnya. Metode kompresi seperti ini dibahas pada [17] dan dikenal sebagai *Differential Pixel Value Coding* untuk HEVC *lossless compression*. Untuk mengetahui apakah nilai pixel sekarang dengan sebelumnya berbeda atau sama maka telah dibuat

binary frame *reference table* yang bernilai 0 jika berbeda dan 1 jika sama.  
Lihat Figure 3.9 untuk kejelasan lebih lanjut.

50	54
53	54
56	56

50	54
52	56
56	57

1	1
0	0
1	0

Figure 3.11 a) nilai pixel n-1      b) nilai pixel n      c) *reference table*

Ratio kompresi yang dihasilkan dari interframe ini bervariasi tergantung pada perubahan gambar. Jika kondisi robot statis maka gambar tidak banyak berubah dan ratio kompresi akan meningkat.

Flowchart encoding untuk inter frame dapat dilihat pada Figure 3.9

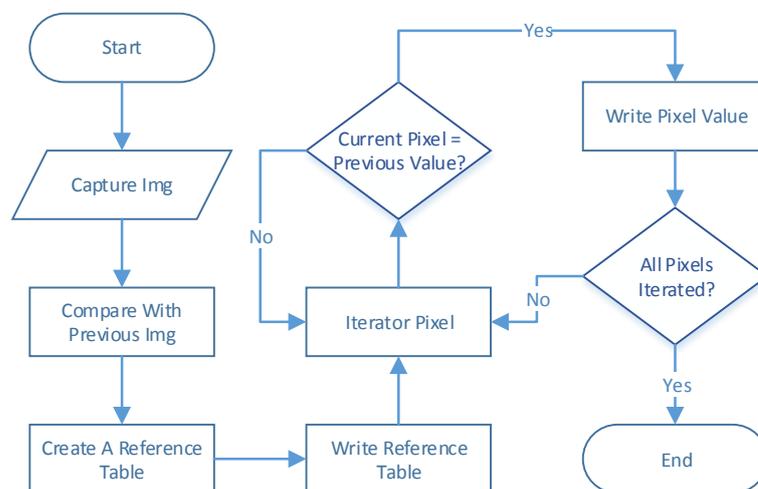


Figure 3.12 Flowchart *Inter Frame Compression*

Nilai kompresi dapat didefinisikan dalam *ratio of compression*. *Ratio* dan *Space Saving* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Ratio of Compression} = \frac{\text{Uncompressed Size}}{\text{Compressed Size}} \quad \text{Eq. 6}$$

$$\text{Space Saving} = \left(1 - \frac{\text{Compressed Size}}{\text{Uncompressed Size}}\right) * 100\% \quad \text{Eq. 7}$$

### 3.4 Perancangan Enkripsi

*Data encryption* digunakan sebagai metode pencegah terhadap akses yang tidak diinginkan. Enkripsi dilakukan dengan cara mengacak urutan data video, metode ini biasa dikenal dengan nama enkripsi *frame-shuffling* yang merupakan percabangan dari metode enkripsi permutasi seperti dibahas pada [16]. Pengacakan dilakukan pada urutan *Coding Tree Block* (CTB) dengan ukuran block yang sama.

Flowchart enkoding untuk *intra frame* dapat dilihat pada Figure 3.11

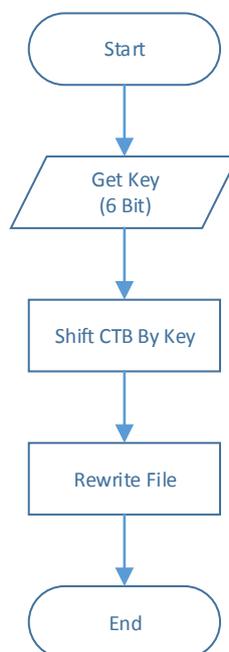


Figure 3.13 *Flowchart Frame-Shuffling Encryption*

## **BAB IV**

### **PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dan analisis dari sistem yang telah dibuat pada penelitian ini. Pengujian meliputi pengujian perangkat keras dan perangkat lunak yang bertujuan untuk mengetahui apakah perangkat keras maupun perangkat lunak yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan.

#### **4.1 Pengujian Perangkat Keras**

##### **4.1.1 Beaglebone Black Rev. C**

- Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah Beaglebone Black Rev. C yang digunakan berjalan dan merespon sebagaimana mestinya.

- Peralatan Pengujian
  1. BeagleBone Black Rev. C
  2. Personal Computer (PC)/ Laptop + Putty
  3. Kabel LAN
- Cara Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan melakukan hubungan ssh dari aplikasi putty dengan IP address Beaglebone Black Rev. C yaitu 10.10.10.10 melalui kabel LAN. Catu daya yang dipakai menggunakan sebuah baterai Li-Po 12V yang batasi dengan UBEC Turnigy sehingga keluaran sesuai dengan yang dibutuhkan Beaglebone yaitu sebesar 5V. Setelah itu dilakukan pengecekan dengan memanggil nama operating sistem di terminal putty dengan script `uname -a`, menjalankan sebuah program dengan menggunakan aplikasi c++ yang telah dibuat untuk menampilkan

hello world, serta menjalankan sebuah program c++ untuk memberikan logika 1 (keluaran GPIO sebesar 3.3V).

- Hasil Pengujian

Dari pengujian diatas, Beaglebone Rev. C dapat bekerja dengan baik dengan menggunakan catudaya dari baterai. Pengujian yang pertama dengan menampilkan sistem operasi berjalan dengan baik yang menandakan sistem operasi linux yang dipakai telah berjalan sebagaimana mestinya.



```
10.10.10.10 - PuTTY
login as: root
Debian GNU/Linux 7

BeagleBoard.org BeagleBone Debian Image 2014-05-14

Support/FAQ: http://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack_Debian
Last login: Thu May 15 02:20:46 2014 from 10.10.10.2
root@beaglebone:~# uname -a
Linux beaglebone 3.8.13-bone50 #1 SMP Tue May 13 13:24:52 UTC 2014 armv7l GNU/Linux
root@beaglebone:~# uname -a
Linux beaglebone 3.8.13-bone50 #1 SMP Tue May 13 13:24:52 UTC 2014 armv7l GNU/Linux
root@beaglebone:~#
```

Figure 4.1 Pengujian Sistem BeagleBone

Sebuah program helloworld.cpp pun berjalan dengan baik dengan menampilkan kata “hello world”. Hal ini membuktikan bahwa program c++ sudah bisa berjalan dengan baik. Selanjutnya adalah pengujian GPIO dari Beaglebone Black Rev. C. yang dilakukan dengan mengeluarkan logika 1 dengan menggunakan program c++ dan hasilnya juga keluaran dari pin GPIO yang digunakan bekerja dengan baik dengan tegangan keluaran sebesar 3.2 V.

```

login as: root
Debian GNU/Linux 7

BeagleBoard.org BeagleBone Debian Image 2014-05-14
Support/FAQ: http://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack_Debian
Last login: Thu May 15 02:20:46 2014 from 10.10.10.2
root@beaglebone:~# uname -a
Linux beaglebone 3.8.13-bone50 #1 SMP Tue May 13 13:24:52 UTC 2014 armv7l GNU/Linux
max
root@beaglebone:~# uname -a
Linux beaglebone 3.8.13-bone50 #1 SMP Tue May 13 13:24:52 UTC 2014 armv7l GNU/Linux
root@beaglebone:~# cd final_project/
root@beaglebone:~/final_project# ls
MakeController.txt  MakeLinux.txt  Controller.h  Genetic.cpp  Makefile  PIDController.cpp  make_install.make
MakeFile          Controller.cpp  Genetic.cpp  Jurnal.cpp  PIDController.cpp  build          final
root@beaglebone:~/final_project# make .
-- Configuring done
-- Generating done
-- Build files have been written to: /root/final_project
root@beaglebone:~/final_project# make
-- Configuring done
-- Generating done
-- Build files have been written to: /root/final_project
[100%] Built target final
root@beaglebone:~/final_project# ./final
HELLO WORLD
Mohamad Yusuf Abdal Aziz | 1104114131 | Computer Engineering
Emai Address | 1104114130 | Computer Engineering
Faizhan Nur | 1104111128 | Computer Engineering
root@beaglebone:~/final_project# █

```

Figure 4.2 Pengujian Hello World di c++

#### 4.1.1 Pengujian Kerapatan

- Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keamanan dari kotak anti air yang digunakan untuk melindungi komponen elektronika. Spesifikasi komponen yang digunakan adalah kotak dengan ingress protection rating 67 (IP67).

- Peralatan Pengujian
  1. Akuarium 100x50x50 cm<sup>3</sup>
  2. Kerangka utama robot
- Cara Pengujian

Robot dibiarkan terendam di dasar permukaan air akuarium selama kurang lebih satu hari satu malam tanpa komponen elektronika sehingga konsidi didalam kotak anti air robot kosong.

- Hasil Pengujian

Membiarkan kotak anti air terisi kosong (hanya terisi udara) ternyata adalah sebuah kesalahan. Perbedaan tekanan air dengan

udara ternyata terlalu besar sehingga menyebabkan air merembes ke dalam kotak anti air secara perlahan. Setelah dibuka terdapat sedikit air yang merembes.

#### 4.1.2 Pengujian Buoyansi Robot



Figure 4.3 Pengujian Robot Pada Aquarium

- Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah robot dapat mengapung ditengah air. Buoyansi merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap konsumsi daya sebuah *underwater vehicle*. Jika buoyansi kapal terlalu besar maka robot akan cenderung mengapung dipermukaan air, hasilnya saat robot harus tenggelam maka motor penggerak memerlukan energi yang besar. Kondisi optimum akan terjadi saat gaya buoyansi sama dengan berat total kapal yaitu saat kapal melayang ditengah kedalaman air.

- Peralatan Pengujian

1. Akuarium 100x50x50 cm<sup>3</sup>
2. Kerangka utama robot

- Cara Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan cara menghitung volume total robot baik secara manual ataupun dengan bantuan software design kemudian mengukur massa robot dengan bantuan timbangan digital.

Setelah diketahui komponen massa dan volumenya kita lakukan perhitungan massa jenis dari robot tersebut. Menurut ilmu fluida statis jika massa jenis robot mendekati massa jenis air, yaitu  $1000\text{kg/m}^3$  maka robot akan melayang.

- Hasil Pengujian

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan volume total robot adalah  $3370.362886\text{ cm}^3$ . Komponen masing-masingnya dapat dilihat pada Table V untuk pengukuran PVC Tube dan brushless motor dilakukan secara manual, sedangkan lainnya dengan bantuan software Autodesk Inventor.

Table V. Pengukuran volume komponen robot

Name	N	Volume(in $\text{cm}^3$ )
PVC Tube	1	874.4183328
IP67 Watertight Box	2	847.8
Aluminium Junction	1	13.5
Acrylic Base	1	712.8445528
Actuator Brushless Motor	4	18.5

Setelah diberi pemberat pada ruangan reservoir robot diukur memiliki massa 3277 gram dan robot mampu bertahan melayang selama 73 detik sebelum akhirnya menyentuh lantai dasar akuarium seperti yang dapat dilihat pada Figure 4.3.

### 4.1.3 Pengujian Kamera



Figure 4.4 Pengujian USB Kamera

- Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah Kamera dapat bekerja dengan baik di dalam air dan keamanannya selama melakukan rekaman video.

- Peralatan Pengujian

1. Kamera Logitech C615
2. BeagleBone Black Rev. C + OpenCV
3. Kabel LAN 30m
4. PC/Laptop + Putty + Video Player
5. Kolam renang Telkom University (Lokasi)

- Cara Pengujian

Robot dijalankan secara penuh fungsionalitasnya baik motor sensor dan kamera. Robot dikontrol menggunakan kabel lan (untuk kondisi tuning). Kamera dinyalakan selama dua menit untuk merekam video menggunakan OpenCV kemudian menyimpannya ke memori penyimpanan. Selanjutnya hasil rekaman dilihat pada laptop karena di BeagleBone tidak dipasang user interface. Video player menggunakan windows media player.

- Hasil Pengujian

Video yang didapatkan dari hasil pengujian berhasil diputar dengan baik pada windows media player. Gambar yang dihasilkan dapat dilihat dengan jelas. Hanya saja rekaman video tidak support navigasi backward dan forward, jadi hanya bisa video melihat dari awal sampai akhir tanpa bisa dipercepat atau mundur ke waktu sebelumnya.

## **4.2 Pengujian Perangkat Lunak**

### **4.2.1 Kecepatan Akuisisi Data**

- Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa kemampuan hardware CPU dan kamera untuk melakukan rekaman sebuah video dalam selang waktu tertentu.

- Peralatan Pengujian

1. Kamera Logitech C615
2. BeagleBone Black Rev. C + OpenCV + CMake
3. PC/Laptop + Putty

- Cara Pengujian

Terdapat tiga jenis pengujian berdasarkan waktu percobaan yang telah ditentukan yaitu: 5 detik, 30 detik dan 60 detik. Kamera merekam video secara terus menerus dalam periode tersebut, kemudian CPU menulis hasil dari rekaman kamera ke memori internal. Dilakukan perhitungan berapa total frame yang telah didapat, kemudian dibagi dengan periode waktu, untuk mendapatkan kecepatan akuisisi dalam satuan frame per second (FPS).

- Analisis Hasil Pengujian

Table VI. Kecepatan akuisisi gambar

No	Lama Waktu (detik)	Jumlah Frame	Frame per detik
1	5	27	5.4
2	5	25	5
3	5	25	5
4	5	26	5.2
5	5	31	6.2
6	30	199	6.633333
7	30	196	6.533333
8	30	197	6.566667
9	30	198	6.6
10	30	206	6.866667
11	60	394	6.566667
12	60	385	6.416667
13	60	388	6.466667
14	60	392	6.533333
15	60	384	6.4

Kecepatan rata-rata proses pengambilan frame video ditunjukkan pada figure 19 yaitu sekitar 5-6 fps. Pengujian ini dilaakukan tanpa menjalankan program lain seperti program navigasi, program pencari parameter PID menggunakan algoritma genetika dan program encoding.

#### 4.2.2 Frekuensi Komponen Warna Luma

- Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada frekuensi warna tertentu yang lebih sering muncul dibandingkan dengan warna lainnya. Hasil luaran yang didapatkan adalah informasi mengenai frequency weighting suatu nilai warna. Jika suatu warna sering muncul maka dapat dilakukan kompresi yang tinggi dengan mengalokasikan nilai warna tersebut ke kodeword yang terkecil.

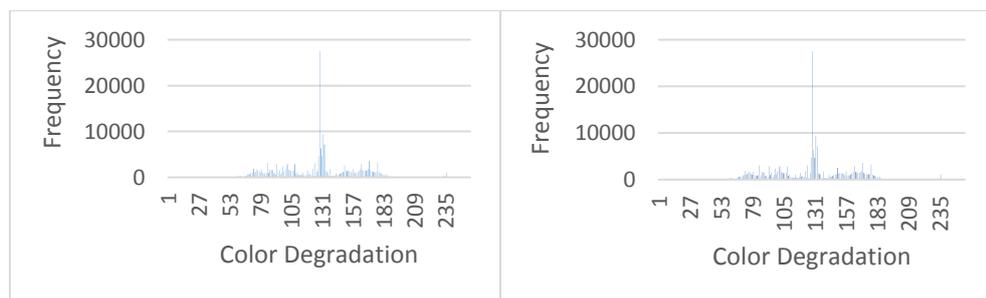
Namun metode yang dibutuhkan menggunakan variable length kodeword yang susah diimplementasikan pada decoder. Fitur frequency weighting pada robot belum terealisasi, dan dapat menjadi referensi untuk pekerjaan selanjutnya.

- Peralatan Pengujian
  1. Kamera Logitech C615
  2. BeagleBone Black Rev. C + OpenCV + CMake
  3. PC/Laptop+Putty
- Cara Pengujian

Membuat program counter warna dari range komponen luma yaitu 0-255. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap hasil percobaan yang didapat, adakah nilai pencilan tertinggi (artinya frekuensi kemunculannya sangat tinggi dibandingkan dengan nilai lainnya, misalnya pada setiap frame gambar frekuensinya melebihi 10000). Komponen ini kemudian dikodekan dalam kodeword terkecil dapat dilakukan banyak kompresi.

- Analisis Hasil Pengujian

Table VII. Histogram pada Coding Tree Block



Pengujian ini menghitung jumlah sering munculnya (frekuensi) pixel value komponen warna luma pada 18 CTB 64x64. Dapat dilihat frekuensi pixel value range 130-140 sangat tinggi. Variable length encoding jika diaplikasikan disini akan mendapatkan hasil

kompresi yang cukup tinggi. Namun pada tugas akhir ini implementasinya belum dilakukan, karena proses penulisan data stream pada codec yang telah dibuat tidak dilakukan secara binary melainkan hex.

#### 4.2.3 Sebaran Data Nilai Warna

- Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah kemunculan nilai suatu warna pada gambar terpusat atau tersebar. Jika nilai yang didapatkan tersebar maka kompresi lebih membutuhkan frequency weighting seperti yang dilakukan pada Huffman Enkoding. Jika tidak, standar enkoding fixed-codeword lebih mudah untuk diimplementasikan.

- Peralatan Pengujian

1. Kamera Logitech C615
2. BeagleBone Black Rev. C + OpenCV + CMake
3. PC/Laptop+Putty

- Cara Pengujian

Membuat program pengecek adanya warna tertentu dari range komponen luma yaitu 0-255. Kemudian dilakukan perhitungan ada berapa total jenis warna dalam konteks frame yang diamati. Misal didapatkan ada 62 jenis warna, maka  $\text{Log}_2(62)=5.954196$  dibulatkan ke atas menjadi 6. Jika hasil  $\text{Log}_2(n) < 8$  maka dapat disimpulkan datanya tidak tersebar dan dapat diencode dengan fixed-codeword yang lebih kecil dari data aslinya.

- Analisis Hasil Pengujian

Sebaran data yang didapatkan pada hasil pengujian dapat dilihat pada Table VII, banyak data terpusat pada range 130-140. Bahkan

ada 74 data yang kosong, pada total 18 CTB. Pada satu CTB rata-rata terdapat 40-60 nilai, bisa dikodekan menggunakan hanya 6 bit.

#### 4.2.4 Akuisisi Data Tanpa Enkripsi dan Kompresi

- Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah program pengolah gambar dapat bekerja dengan benar dan apakah OpenCV telah berfungsi dengan baik.

- Peralatan Pengujian

1. Kamera Logitech C615
2. BeagleBone Black Rev. C + OpenCV + CMake
3. PC/Laptop + Putty

- Cara Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara menulis program utama dan meng-compile-nya menggunakan CMake. Isi programnya sederhana, hanya konversi color space RGB ke YCbCr. Kemudian menjalankan program tersebut dan melihat hasil gambar dalam masing masing komponen Y, Cb dan Cr.

- Analisis Hasil Pengujian

Saat program dengan syntax library OpenCV dijalankan

```
VideoCapture camera(0);
camera.set(CV_CAP_PROP_FRAME_WIDTH,1280);
camera.set(CV_CAP_PROP_FRAME_HEIGHT,720);
```

```
root@beaglebone:~/vellmaxi_webcamCODEC/project_hellbound_prototypeCode
c# ./run
VIDIOC_QUERYMENU: Invalid argument
VIDIOC_QUERYMENU: Invalid argument
VIDIOC_QUERYMENU: Invalid argument
VIDIOC_QUERYMENU: Invalid argument
select timeout
```

Pada percobaan kemampuan dari sisi *data acquisition*, seperti yang dijelaskan pada subbab 4.1.3 proses mengalami timeout saat mengolah data 1280x720. Hal ini disebabkan karena batasan hardware yang digunakan dan proses pengolahan terlalu lambat. Hasil yang didapatkan memang sangat jernih untuk kualitas gambarnya namun proses mengkonsumsi waktu yang lama untuk setiap framenya, bahkan tanpa encoding sekalipun.



Figure 4.5 Pengujian akuisisi gambar 432x240

OpenCV ternyata tidak mendukung resolusi 480x320 seperti yang diinginkan. Resolusi yang paling mendekati adalah 432x240 namun hasil kualitas gambar yang didapatkan kurang jelas seperti yang di Figure 4.5. Ukuran file gambar raw tanpa kompresi adalah 303.75 kilobytes.

#### 4.2.5 Akuisisi Data dengan Kompresi pada I-Frame

- Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besarkah ratio kompresi codec yang telah dibuat pada intra frame yang terdapat di sekuensial video.

- Peralatan Pengujian
  1. Kamera Logitech C615
  2. BeagleBone Black Rev. C + OpenCV + CMake
  3. PC/Laptop+Hex Workshop

- Cara Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan ukuran file seharusnya dengan ukuran file yang telah dikodekan. Selain dilihat secara kasat mata, dihitung juga ratio kompresinya menggunakan rumus pada subbab 3.3.5 equation (6) dan (7).

- Analisis Hasil Pengujian

Table VIII. Pengujian kompresi pada CTB I-Frame

CTB	Luma	n-Codeword	Space Saving	Ratio of Compression
1	32	5	37.50%	1.6
2	27	5	37.50%	1.6
3	24	5	37.50%	1.6
4	26	5	37.50%	1.6
5	25	5	37.50%	1.6
6	25	5	37.50%	1.6
7	60	6	25.00%	1.33
8	64	6	25.00%	1.33
9	69	7	12.50%	1.14
10	33	5	37.50%	1.6
11	36	5	37.50%	1.6
12	63	6	25.00%	1.33
13	10	7	12.50%	1.14
14	83	7	12.50%	1.14
15	83	7	12.50%	1.14
16	119	7	12.50%	1.14
17	101	7	12.50%	1.14
18	88	6	25.00%	1.33

Menurut [10] ratio of compression diatas 2.0 susah didapatkan pada kompresi lossless, terbukti dari 18 percobaan pada CTB maksimum hanya 1.6 rasio kompresinya. Rata-rata kompresi yang didapat pada pengujian per CTB adalah 1.4095 dengan penghematan space storage sebesar 27.7778%. Hal ini dapat terjadi karena tidak banyak variansi warna yang ada pada kolam renang

tempat dilakukannya pengujian. Sehingga kompresi mendapatkan hasil yang cukup memuaskan.

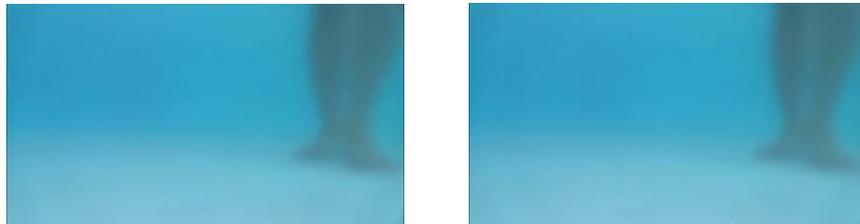


Figure 4.6 a. raw data (kiri) b. decoded data (kanan)

Hasil gambar pada *decoded data* (Figure 4.6 b) adalah hasil rekonstruksi ulang *raw data* sebuah CTB (Figure 4.6 a) yang telah di *encode* secara *lossless*. Oleh karena itu file tersebut benar-benar persis sama.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
00000000	74	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
00000010	5A	5B	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67	68	6A	6B
00000020	6C	6D	6E	6F	70	71	72	75	76	77	78	79	7A	7B	7C	7D
00000030	7E	7F	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D
00000040	8E	8F	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	9A	9B	9C	9D
00000050	9E	9F	A0	A1	A2	A3	A5	A6	A7	A8	A9	AA	AB	AC	AD	AE
00000060	AF	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	BA	BB	BC	BD	BE
00000070	BF	C0	C1	C2	C3	C4	69	F4	19	8D	4E	B8	D1	C1	E1	F0
00000080	78	2C	18	85	BC	9C	EF	68	FC	0C	89	42	A0	2F	38	0C
00000090	14	83	C1	5E	10	E8	03	FC	4C	90	42	20	90	10	1C	B9
000000A0	66	B4	5A	BD	6E	B8	DF	EF	B6	7B	BD	5E	BC	D3	69	34
000000B0	1A	8D	46	B8	CF	BE	A0	70	38	1C	10	85	BF	9E	6F	58
000000C0	14	1C	8B	C2	60	30	48	24	10	85	41	1E	B0	18	1C	F4

Figure 4.7 Struktur file CTB video terkompresi

Informasi byte pada offset ke-0 yaitu 74 dalam heksadesimal (116 jika dikonversi ke desimal) menunjukkan banyak kodeword yang ada. *Background* hitam menunjukkan daerah kodeword total ada 116, fixed-length codeword adalah  $\log_2(116)$  atau 7 bit. Kodeword 00000000 bernilai 4B, kodeword 00000001 bernilai 4C dan seterusnya. Bagian selanjutnya adalah data stream video. Pembacaan video harus dilakukan setiap 7 bit karena panjang kodewordnya sudah ditentukan tetap.

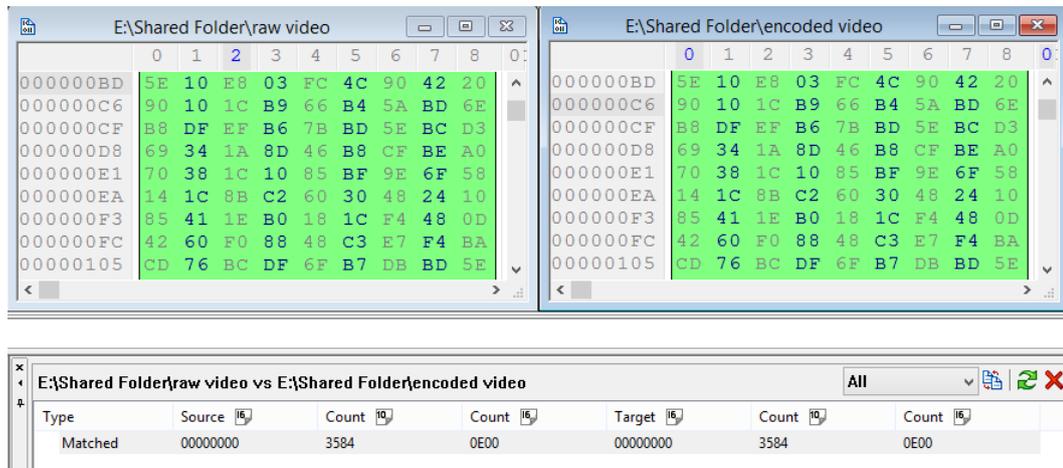


Figure 4.8 Perbandingan data asli dengan data rekonstruksi.

Komparasi yang telah dilakukan dengan menggunakan bantuan *software hex-workshop* seperti yang terlihat pada *Figure 4.8* menunjukkan bahwa kompresi *lossless* telah terbukti benar karena file menunjukkan kesamaan persis 100%.

Table IX. Perbandingan ukuran data

No	Size of RAW (kb)	RoC	Space Saving (kb)	Compressed Data (kb)
1	303.75	1.3846	84.37500675	219.3749933
2	303.75	1.3584	80.156223	223.593777
3	303.75	1.3846	84.37500675	219.3749933
4	303.75	1.3457	78.0468615	225.7031385
5	303.75	1.3584	80.156223	223.593777
6	303.75	1.3980	86.48436825	217.2656318
7	303.75	1.3846	84.37500675	219.3749933
8	303.75	1.3980	86.48436825	217.2656318
9	303.75	1.3584	80.156223	223.593777
10	303.75	1.3714	82.26561488	221.4843851
11	303.75	1.3584	80.156223	223.593777
12	303.75	1.3980	86.48436825	217.2656318
13	303.75	1.3334	75.93753038	227.8124696
14	303.75	1.3980	86.48436825	217.2656318
15	303.75	1.3584	80.156223	223.593777

Table IX menunjukkan hasil pengujian data kompresi pada intra-picture compression. Rata-rata hasil pengujian menunjukkan

perbedaan ukuran data yang aslinya 303.75 kilobytes menjadi 221.343759 kilobytes per framenya. *Ratio of Compression* yang didapatkan bernilai rata-rata 1.372606.

#### 4.2.6 Akuisisi Data dengan Kompresi pada P-Frame

- Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besarkah ratio kompresi codec yang telah dibuat pada predicted frame yang terdapat di sekuensial video.

- Peralatan Pengujian

1. Kamera Logitech C615
2. BeagleBone Black Rev. C + OpenCV + CMake
3. PC/Laptop+Putty

- Cara Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan ukuran file seharusnya dengan ukuran file yang telah dikodekan. Selain dilihat secara kasat mata, dihitung juga ratio kompresinya menggunakan rumus pada subbab 3.3.4 equation [6] dan equation [7].

- Analisis Hasil Pengujian

Table X. Pengujian kompresi InterPicture

No	Pixel yang sama	No	Pixel yang sama
1	5912	5	5967
2	5964	6	5970
3	5864	7	6097
4	5608	8	6040

Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Table IX. Dari 74,305 pixel yang terdapat pada sekuensial gambar rata-rata 6000 gambar memiliki nilai yang sama sehingga tidak perlu ditulis ulang nilainya. Dari perhitungan didapat ratio kompresi rata-rata sebesar 1.086635 dan Space Saving sebanyak 7.9776%. Hasil kompresi tidak sebesar

pada intra-picture namun waktu yang dibutuhkan lebih cepat dibandingkan dengan kompresi *intra-picture*.

#### 4.2.7 Akuisisi Data dengan Enkripsi Data

- Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah enkripsi data sederhana dengan memanfaatkan Coding Tree Blocks dapat dilakukan.

- Peralatan Pengujian
  1. Kamera Logitech C615
  2. BeagleBone Black Rev. C + OpenCV + CMake
  3. PC/Laptop+Putty
- Cara Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menukar data yang ada pada suatu CTB dengan yang lainnya yang sama ukurannya yaitu 64x64. Hasil dari pengujian kemudian ditulis menjadi gambar dengan library OpenCV menggunakan fitur `imwrite`. Kemudian dilihat apakah gambar telah teracak. Jika gambar sudah teracak maka enkripsi data berbasis CTB shuffling telah berhasil.

- Analisis Hasil Pengujian:

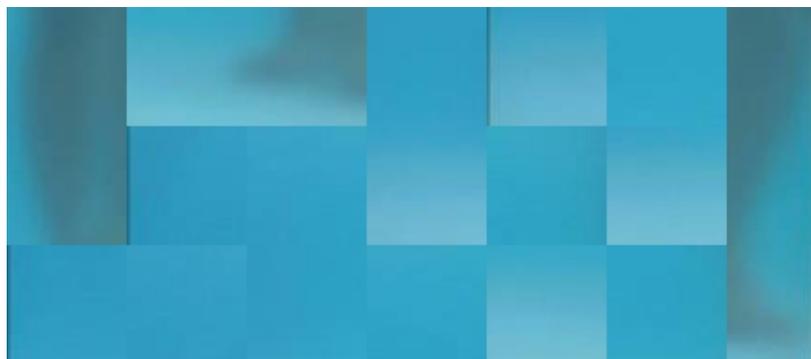


Figure 4.9. Shifted Coding Tree Blocks

Pengujian berhasil, nilai-nilai yang tadinya ada pada CTB 1 telah tershift 4 CTB begitu pula CTB 64x64 yang lainnya seperti pada *Figure 4.9*. Hasil gambar sudah sukar untuk dilihat bentuk aslinya yaitu *Figure 4.5*. Enkripsi telah berhasil dilakukan.

Table XI Stress analysis enkripsi data

No	Waktu	Jumlah Frame	Frame per Detik
1	15 menit	5969	6.632222222
2	15 menit	5879	6.532222222
3	15 menit	5910	6.566666667
4	15 menit	6180	6.866666667
5	15 menit	5910	6.566666667
6	15 menit	5820	6.466666667
7	15 menit	5879	6.532222222
8	15 menit	5760	6.4
9	30 menit	11759	6.532777778
10	30 menit	11821	6.567222222

Table XI menunjukkan ketahanan program untuk dijalankan dalam waktu yang diperlukan. Hasil dari pengujian dapat terlihat mempunyai kinerja yang stabil dalam rentang waktu 15 menit bahkan hingga 30 menit output yang didapatkan masih stabil.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Tugas Akhir ini adalah :

- a. Rata-rata kecepatan pengambilan frame video yang dapat dilakukan tanpa beban proses lainnya pada BeagleBone Rev C. dengan menggunakan library OpenCV pada resolusi 432 x 240 adalah 5-6 fps.
- b. Jarak pandang yang diperoleh dengan sensor optic C615 di kolam renang hanya sejauh 1,3 meter.
- c. Codec memperoleh rasio kompresi intra-frame yang tinggi yaitu 1.372606 per framenya karena variasi warna di kolam kecil.
- d. Codec memperoleh rasio kompresi inter-frame 1.086635, lebih kecil dari rasio kompresi intra-frame namun waktu komputasi lebih cepat.
- e. Enkripsi *frame-shuffling* sangat mudah diimplementasikan pada CTB HEVC.

#### **5.2 Saran**

Pelajaran yang diambil dari Tugas Akhir ini untuk penelitian selanjutnya :

- a. Konstruksi robot underwater sebaiknya menggunakan bahan metalik, karena dalam beberapa percobaan yang kita lakukan pernah terjadi rembesan air namun jumlahnya sedikit.
- b. Penambahan sensor seperti sonar dan gps untuk menambah kecerdasan robot secara perspektif saat menggunakan mode autonomous.
- c. Penambahan penerangan lampu untuk menambah jarak pandang.
- d. Penambahan *variable-length coding* pada *intra-frame* akan menambah ratio kompresi karena data yang didapat pada pengujian bersifat terpusat. Namun implementasinya tidak akan semudah *fixed-length coding*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robot, 2004.
- [2] K. S. Fu, R. Gonzalez and C. Lee, Robotic : Control, Sensing, Vision, and Intellegence, Singapore: McGraw-Hill, Inc., 1987.
- [3] P. J. From, J. T. Gravdahl and K. Y. Pettersen, Vehicle-Manipulator Systems: Modeling for Simulation, Analysis, and Control, London: Springer, 2013.
- [4] G. Antonelli, "On the Use of Adaptive/Integral Actions for Six-Degrees-of-Freedom Control of Autonomous Underwater Vehicles," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 32, no. 2, pp. 300-312, 2007.
- [5] G. G. Acosta, H. Curti, O. C. Ibáñez and S. Rossi, "Some Issues on the Design of a Low-Cost Autonomous Underwater Vehicle with an Intelligent Dynamic Mission Planner for Pipeline and Cable Tracking," in *Underwater Vehicles*, Vienna, In-Tech, 2009, pp. 1-18.
- [6] A. U. Darajat, M. Komarudin and S. R. S, "Sistem Telemetri Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Berbasis Inertial Measurement Unit (IMU)," *ELECTRICIAN Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 6, 2012.
- [7] M. Santhakumar and a. T. Asokan, "A Self-Tuning Proportional-Integral-Derivative Controller for an Autonomous Underwater Vehicle, Based On Taguchi Method," *J. Comput. Sci.*, vol. 6, no. 8, pp. 862-871, 2010.
- [8] J. Yuh, "Design and control of autonomous underwater robots: A survey. *Autonom. Robots*," 2000.

- [9] M. Wien, High Efficiency Video Coding: Coding Tools and Specification, Berlin: Springer, 2015.
- [10] V. Bhaskaran and K. Konstantinides, Image and Video Compression Standards: Algorithms and Architectures, New York: Springer Science+Business Media, 2013.
- [11] I. E. Richardson, The H.264 Advanced Video Compression Standard, 2010.
- [12] V. Sze, M. Budagavi and G. Sullivan, High Efficiency Video Coding (HEVC): Algorithms and Architectures, Springer, 2014.
- [13] I. E. Richardson, Video Codec Design: Developing Image and Video Compression System, 2002.
- [14] P. Davis and S. Marikkannan, "Implementation of Motion Estimation Algorithm for H.265/HEVC," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 3, no. 3, 2014.
- [15] J. Daintith and E. Wright, A Dictionary of Computing, Oxford: Oxford University Press, 2004.
- [16] K. Ajay, K. Saurabh, H. Ketki and M. Aniket, "Proposed Video Encryption Algorithm v/s Other Existing Algorithms: A Comparative Study," *International Journal of Computer Application*, vol. 65, Maret 2013.
- [17] J.-A. Choi and Y.-S. Ho, "Differential Pixel Value Coding for HEVC Lossless Compression," in *Advanced Video Coding for Next-Generation Multimedia Services*, INTECH, 2012, pp. 3-19.
- [18] R. C. Dorf and R. H. Bishop, Modern Control Systems, 9th ed., New Jersey-07458, USA: Prentice-Hall Inc., 2001.

- [19] B. Jalving and N. Størkersen, "The control system of an Autonomous Underwater Vehicle," 1995.
- [20] M. Drtill, Electronic and sensor design of an autonomous underwater vehicle, Perth, Australia: The University of Western Australia, 2006.
- [21] K. B. Yeo, T. H. Wong and C. M. Ong, "Modelling and Manoeuvrability Design of Autonomous Underwater Vehicle," 2014.
- [22] D. Guanghui and X. Zhihong, "A Novel Video Codec Scheme Based on Compressive Sensing," *Journal of Information & Computational Science*, 2013.
- [23] Y. Zhao, GPS/IMU Integrated System for Land Vehicle Navigation based on MEMS, Sweden: Royal Institute of Technology, 2011.
- [24] U. Shala and A. Rodriguez, Indoor Positioning using Sensor-fusion in Android Devices, Sweden: Kristianstad University, 2011.
- [25] O. J. Woodman, 2007, Cambridge: University of Cambridge, An Introduction to Inertial Navigation.
- [26] D. Gebre-Egziabher, G. H. Elkaim, J. D. Powell and B. W. Parkinson, "Calibration of Strapdown Magnetometers in the Magnetic Field Domain".
- [27] M. Y. Baig, E. M.-K. Lai and P. Amal, "Compressed Sensing-Based Distributed Image Compression," *applied sciences*, 2014.