

**PENGEMBANGAN TEKNIK KOMPRESI VIDEO DIGITAL
DENGAN MENGGUNAKAN *MOTION COMPENSATION* BERBASIS
ALGORITMA SAD (*sum absolute differences*) DAN 2D-DCT
(*2-dimension discrete cosine transform*)**

TUGAS AKHIR

Oleh

WAHYU SETYABUDI

0405230477



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

**PENGEMBANGAN TEKNIK KOMPRESI VIDEO DIGITAL
DENGAN MENGGUNAKAN *MOTION COMPENSATION* BERBASIS
ALGORITMA SAD (*sum absolute differences*) DAN 2D-DCT
(*2-dimension discrete cosine transform*)**

TUGAS AKHIR

Oleh

WAHYU SETYABUDI

0405230477



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

**PENGEMBANGAN TEKNIK KOMPRESI VIDEO DIGITAL
DENGAN MENGGUNAKAN *MOTION COMPENSATION* BERBASIS
ALGORITMA SAD (*sum absolute differences*) DAN 2D-DCT
(*2-dimension discrete cosine transform*)**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 4 Januari 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 4 Januari 2008

Dosen Pembimbing

Muhammad Salman, ST, MIT

NIK : 132 172 205

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir berjudul :

**PENGEMBANGAN TEKNIK KOMPRESI VIDEO DIGITAL
DENGAN MENGGUNAKAN *MOTION COMPENSATION* BERBASIS
ALGORITMA SAD (*sum absolute differences*) DAN 2D-DCT
(*2-dimension discrete cosine transform*)**

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Telekomunikasi jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari Tugas Akhir yang telah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia, maupun di perguruan tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, Januari 2008

**Wahyu Setyabudi
NPM 0405230477**

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

Muhammad Salman, ST, MIT

Selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik

**PENGEMBANGAN TEKNIK KOMPRESI VIDEO DIGITAL
DENGAN MENGGUNAKAN *MOTION COMPENSATION* BERBASIS
ALGORITMA SAD (*sum absolute differences*) DAN 2D-DCT
(*2-dimension discrete cosine transform*)**

ABSTRAK

Pada Tugas Akhir ini akan membahas teknik kompresi video codec yang mampu melakukan kompresi data frame mencapai $\geq 50\%$ dari frame originalnya.

Adapun tahapan kompresi input stream video dibagi menjadi 3 tahapan:

1. Pengurangan keseragaman spasial yang terjadi pada komponen-komponen intensity dalam suatu image.
2. Pengurangan keseragaman temporal yang terjadi pada motion object di frame-1, frame-2, frame-3 dan seterusnya.
3. Entropy coding untuk mengurangi energi komponen image yang kurang significant.

Dari tahapan diatas maka teknik kompresi yang didesign pada video codec disusun menjadi 3 sub-block besar : *Transform coding* yang menggunakan 2D-DCT, motion compensator berbasis pada *SAD algorithm*, dan RLE (*Run Length Encoding*). Untuk mengetahui unjuk kerja system video codec yang telah didesign maka diperlukan pengukuran sesuai standart pengukuran ITU-T tentang kualitas video kompresi yaitu [8] :

1. Pengukuran secara subjectif dengan metode DSCQS (double stimulus continuous quality scale).
2. pengukuran secara objectif dimana tool yang digunakan adalah PSNR (*peak signal to noise ratio*) dan MSE (*mean squared error*).

Dari hasil pengukuran teknik kompresi video didapatkan hasil PSNR yang masih jauh diatas ambang batas minimal yang diperbolehkan oleh ITU-T yaitu 20 dB.

Kata Kunci : Sistem CODEC, Kompresi, Subjectif, Objectif

**PENGEMBANGAN TEKNIK KOMPRESI VIDEO DIGITAL
DENGAN MENGGUNAKAN *MOTION COMPENSATION* BERBASIS
ALGORITMA SAD (*sum absolute differences*) DAN 2D-DCT
(*2-dimension discrete cosine transform*)**

ABSTRACT

This project will discuss about video codec compression that will compress data frame to 50% smaller from its original size.

There are three main steps to compress video stream input :

1. Reducing spatial similarity occurred in intensity components from source image.
2. Reducing temporal similarity occurred in motion object at first frame, second frame, third frame, etc.
3. Entropy coding to eliminate less significant image component energy.

From those steps mentioned above, design compression technique at video codec will be rebuilt into three major sub blocks : Transform coding using 2D-DCT, motion compensator based on SAD algorithm, and RLE (Run Length Encoding). To analyze performance of video codec systems that have been designed, measurable success indicators based on ITU-T standardization on video compression quality will be needed.

Those indicators are [8]:

1. Subjective measurements using DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) Method.
2. Objective measurements using PSNR (*peak signal to noise ratio*) and MSE (*mean squared error*) as its tools.

Using those video compression measurements above, this project resulting PSNR value above its minimal threshold described in ITU-T (20dB)

Keyword : Codec systems, Compression, Subjective, Objective

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	i
PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMAKASIH	iii
ABSTARK	iv
ABSTACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR ISTILAH	xi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 METODOLOGI PEMECAHAN MASALAH	3
1.6 SISTEMATIKA PEMBAHSAN	3
BAB II. DASAR TEORI	
2.1 PRINSIP-PRINSIP VIDEO KOMPRESI	6
2.1.1 Konversi Bentuk Gambar Berwarna	6
2.1.2 Transform Coding	7
2.1.3 Kuantisasi Koefisien DCT	10
2.1.4 Temporal Redudancy Reduction	14
2.1.5 Motion Estimation	15
2.2 DELAY AND PAD	17
2.2.1 Delay	17

2.2.2	Pad	18
2.3	LOSSY COMPRESSION	18
2.3.1	Baseline Sequential Mode Compression	18
2.3.2	Run Length Coding	21
2.3.2.1	<i>Coding coefficients DC</i>	21
2.3.2.2	<i>Coding coefficients AC</i>	23
 BAB III. PERANCANGAN CODEC digital video		
3.1	VIDEO SOURCE BLOCK	28
3.2	SUB-SAMPLING VIDEO BLOCK ENCODER	29
3.3	MOTION COMPENSATION BLOCK	31
3.4	TRANSFORM CODING BLOCK	36
3.5	DECODER BLOCK	40
3.6	TRANSFORM DECODING	41
3.7	MOTION COMPENSATION DECODER	42
 BAB IV. PENGUJIAN DAN ANALISA VIDEO CODEC		
4.1	PENGUKURAN SUBJECTIF	44
4.2	PENGUKURAN OBJECTIF	49
4.2.1	Data pengukuran ratio compression	50
4.2.2	Data pengukuran PSNR	57
 BAB V. PENUTUP		
5.1	KESIMPULAN	63
	DAFTAR ACUAN	xii
	DAFTAR PUSTAKA	xiii
	LAMPIRAN	xiv

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Konversi R G B ke Intensity	6
Gambar 2.2	Konversi R G B to Y Cb Cr and Y Cb Cr to R G B	7
Gambar 2.3	Karakteristik kuantisasi	11
Gambar 2.4	Uniform Quantizer dengan dead zone	12
Gambar 2.5	Uniform Quantizers tanpa dead zone	13
Gambar 2.6	Interframe and motion compensated interframe pictures	14
Gambar 2.7	The current and previous frame in the search window	15
Gambar 2.8	Z-Transform block diagram	17
Gambar 2.9	Z-Transform delay 1 clock cycle	17
Gambar 2.10	Block 2-dimensi padding	18
Gambar 2.11	Block diagram of a baseline JPEG encoder	19
Gambar 2.12	Preparing of the DCT coefficients for entropy coding	21
Gambar 2.13	Contoh quantized DCT coefficients of luminance block	25
Gambar 3.1	Block video source dengan R G B to intensity conversi	28
Gambar 3.2	Block sub-sampling video encoder	31
Gambar 3.3	Block motion compensation	32
Gambar 3.4	Coordinate of matrix coefficients description	36
Gambar 3.5	Transform coding block	36
Gambar 3.6	Original Image [8 8]	37
Gambar 3.7	Koeffisien-koeffisien hasil DCT	38
Gambar 3.8	Tabel kuantisasi codec	39
Gambar 3.9	koeffisien DC dan AC hasil kuantisasi	39

Gambar 3.10	DC & AC Zigzag scan order standart codec	40
Gambar 3.11	Decoder block	41
Gambar 3.12	Transform decoding block	42
Gambar 3.13	Motion compensation decoder	43
Gambar 4.1	Schematic diagram pengukuran subjectif	45
Gambar 4.2	Hasil snapshot antara video original dengan video hasil kompresi shaky_car dan vipman	45
Gambar 4.3	Hasil snapshot antara video original dengan video hasil kompresi Bike	46
Gambar 4.4	Hasil snapshot daerah pixel frekuensi tinggi Input video shaky_car	47
Gambar 4.5	Hasil snapshot daerah pixel frekuensi tinggi Input video vipman dan Bike	47
Gambar 4.6	Schematic block diagram pengukuran ratio compression shaky_car.avi	51
Gambar 4.7	Schematic block diagram pengukuran ratio compression vipman.avi	53
Gambar 4.8	Schematic block diagram pengukuran ratio compression Bike.mpg	55
Gambar 4.9	Schematic block diagram pengukuran MSE (mean squared error)	58
Gambar 4.10	Level PSNR shaky_car frame-2 dan frame-8	59
Gambar 4.11	Level PSNR Vipman frame-22 dan frame-29 Dan Bike frame-14 dan frame-31	60
Gambar 4.12	Grafik level PSNR shaky_car-vipman Dan shaky_car-bike	62

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Kuantisasi Luminance	20
Tabel 2.2	Kuantisasi Chrominance	20
Tabel 2.3	Nilai category (CAT) berbasis baseline encoder	22
Tabel 2.4	DC Huffman coefficients of luminance	24
Tabel 3.1	Proses motion estimation antar frame disisi encoder	29
Tabel 3.2	Perhitungan untuk nilai SAD = C(0,0)	32
Tabel 3.3	Perhitungan untuk nilai SAD = C(1,1)	33
Tabel 3.4	Perhitungan untuk nilai SAD = C(2,2)	34
Tabel 3.5	Perhitungan untuk nilai SAD = C(8,8)	35
Tabel 4.1	Hasil polling penilaian kualitas video kompresi secara subjectif	48
Tabel 4.2	Hasil pengukuran ratio kompresi shaky_car.avi	51
Tabel 4.3	Hasil pengukuran ratio kompresi vipman.avi	53
Tabel 4.4	Hasil pengukuran ratio kompresi bike.mpg	55
Tabel 4.5	Hasil pengukuran PSNR shaky_car.avi, vipman.avi & bike.mpg	61

DAFTAR ISTILAH

Block	:	Daerah dari macroblock [8 8] atau [4 4] untuk tujuan transformasi.
Block matching	:	Area images yang mempunyai koefisien yang sama dengan frame Lainnya.
Chrominance	:	Perbedaan komponen warna
CODEC	:	proses coder dan decoder dalam system kompresi
Entropy coding	:	metode coding yang berguna untuk mengurangi redundancy
HVS	:	Human Visual System dimana suatu syatem yang dipakai manusia untuk melakukan persepsi dan mengintepretasikan image.
Inter coding	:	proses coding dari frame video yang menggunakan temporal prediction atau kompensasi.
Intra coding	:	proses coding dari frame video yang tidak menggunakan temporal prediction.
Latency	:	Delay yang terjadi antar system communication.
Macroblock	:	daerah dari frame yang tercoding biasanya [16 16] dari original image.
Motion compensation	:	proses prediksi dari frame video dengan melakukan kompensasi pada sisi motion
Motion Estimation	:	melakukan estimasi pada motion yang relative antar 2 atau lebih frame.
Motion vector	:	nilai vector yang mengindikasikan pergerakan block atau area yang digunakan motion compensation.
R G B	:	Red / Green / Blue color space.
PSNR	:	level kualitas dalam dB (decibel) stream video hasil kompresi
Kuantisasi	:	pengurangan terhadap besar vector atau scalar secara Presisi pada suatu data input.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang multimedia khususnya dalam pengolahan gambar bergerak atau sering disebut video encoding/decoding sangat pesat dan bersaing dalam kualitas gambar dan suara.

Dimana telah ditandai dengan munculnya beberapa standart CODEC dari beberapa perusahaan yang berkompeten dalam bidang *digital video processing* seperti [8]:

- a. MPEG 1 (motion picture experts group, multimedia coding standart 1)
- b. MPEG 2 (motion picture experts group, multimedia coding standart 2)
- c. MPEG 4 (motion picture experts group, advanced multimedia coding)
- d. H.261 (joint video team video coding standart)
- e. H.263 (joint video team video coding standart)
- f. H.264 (joint video team advanced video coding standart)

Dalam implementasinya teknologi ini digunakan dalam berbagai bidang industri multimedia seperti *digital television, internet streaming video, dan DVD (digital versatile disk) - video*.

Video kompresi telah menjadi komponen penting dalam media broadcast dan media entertainment. Kesuksesan digital TV dan DVD-video pada 10 tahun yang lalu berbasis pada MPEG-2 standart akan tetapi teknologi yang telah dibuktikan masih belum efektif. Sehingga standart CODEC telah digantikan oleh MPEG-4 dan H.264 dengan technique compression yang complex serta efektif dalam kekuatan prosesing digital video.

Dalam Tugas Akhir ini lebih di tekankan pembahasannya tentang “*digital video compression Technique using motion compensation based on SAD algorithm and the 2D-DCT (discrete cosine transform)*”.

Dalam memenuhi tantangan tantangan low bandwidth dan good performance dalam service streaming video over IP network dimana kapasitas chanal sangat diperhatikan maka mendorong bagaimana membuat suatu teknik kompresi video yang sederhana dengan ratio compression (bits in / bits out) ≥ 2 tetapi kualitas gambar masih bagus. Low

complexity technique dibutuhkan untuk menghindari motion delay dengan menjaga kualitas video streaming / video on demand service.

1.2 Perumusan Masalah

Mengacu pada masalah yang ada maka perumusan masalah ditekankan pada beberapa hal yang berhubungan dengan *digital video compression Technique* :

- a. Bagaimana membuat simulasi video CODEC dengan program aplikasi perhitungan matematika.
- b. Menentukan teknik video processing yang low complexity dengan menggunakan motion compensation dan DCT transform.
- c. Menentukan beberapa parameter pengukuran meliputi : pengukuran subjektif dan pengukuran objektif untuk me-leveling kualitas gambar output.

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk mengimplementasikan proses coding dan decoding video digital dengan menggunakan application software perhitungan matematika, untuk mendapatkan:

1. Ratio kompresi antara *original images* dengan *compression images* $\pm 50\%$.
2. Pengukuran kualitas hasil kompresi secara objectif masih dalam *recommendation* ITU-T yaitu ≥ 20 dB.
3. Pengukuran kualitas hasil kompresi secara subjectif dengan metoda DSCQS (*double stimulus continuous quality scale*) dari polling pendapat beberapa responden, 80% menunjukkan kualitas gambar yang masih bagus.

1.4 Batasan masalah

Pada perancangan simulasi teknik kompresi video digital kali ini dibatasi beberapa permasalahan sesuai dengan spesifikasinya yaitu:

- a. Simulasi teknik kompresi video digital menggunakan program aplikasi perhitungan matematika.
- b. Menggunakan algoritma SAD pada proses kompensasi motion dan proses transformasi menggunakan 2D-DCT disisi coding dan decoding.

- c. Mampu menampilkan pengukuran kualitas gambar baik itu subjektif maupun objektif.
- d. Tidak membahas perhitungan laju bit data video hasil kompresi bps (*bit per second*) yang dikirim dari encoder ke decoder.

1.5 Metodologi pemecahan masalah

- a. Metode studi kepustakaan
Untuk mendapatkan teori tentang standard teknik kompresi video digital dan pembuatan simulasi berbasis program aplikasi perhitungan matematika.
- b. Metode experimenter
Didalamnya termasuk pembuatan serta pengujian simulasi digital video CODEC yang berbasis program aplikasi perhitungan matematika sehingga memenuhi criteria dan spesifikasi research yang diinginkan.

1.6 Sistematika pembahasan

Pembahasan pada Tugas akhir ini dibagi menjadi 5 bab dengan urutan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan Pembatasan masalah, metodologi pemecahan masalah serta sistematika Dari perancangan simulasi:
Digital video compression Technique using motion compensation based on SAD (sum of absolute differences) algorithm and the 2D-DCT (discrete cosine transform)

BAB II DASAR TEORI

Mengemukakan dasar-dasar teori yang akan melandasi permasalahan yang Akan dibahas serta penjelasan tentang komponen-komponen utama Standard digital video CODEC .

BAB III PERANCANGAN CODEC DIGITAL VIDEO

Membahas tentang perancangan simulasi teknik pengkompresian video digital dengan menggunakan program aplikasi perhitungan matematika, Untuk mengimplementasikan blok diagram encoding dan decoding digital video format.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Membahas tentang pengujian dan analisa prinsip kerja dari teknik kompresi digital video yang telah didesign dan disimulasikan dalam program aplikasi perhitungan matematika, serta melakukan pengukuran kualitas video (gambar bergerak) baik secara objektif maupun subjektif.

BAB V PENUTUP

Merupakan bab terakhir yang memuat kesimpulan akhir dari hasil pengujian unjuk kerja video codec pada Tugas Akhir ini.

BAB II

DASAR TEORI

Teori dasar adalah hal utama tercapainya tujuan dari Tugas Akhir ini, karena dalam perancangan dan implementasi video coding – decoding dengan menggunakan program *application* perhitungan matematika banyak sekali komponen dan factor serta parameter-parameter yang harus diketahui dan dikuasai terlebih dahulu.

Bagaimana proses yang harus dilalui dari pencitraan suatu objek yang kemudian akan dilakukan pengolahan data matrix sehingga dapat ditransformasikan ke bentuk signal yang dapat ditransmisikan secara baseband maupun termodulasi untuk diteruskan ke suatu tujuan tertentu dimana data matrix yang berupa video (gambar bergerak) tadi diinginkan. Pentingnya pengetahuan yang mendalam tentang video *compression* dan pengembangannya dikarenakan manfaatnya sangat banyak baik dibidang bisnis, pendidikan, jurnalis, kedokteran dan hiburan sebagai contoh:

- a. *Mobile journalism*
- b. *Online interactive multi-player games*
- c. *Advertising*
- d. *Video conferencing*
- e. *Remote medicine*
- f. *Remote education*
- g. *Security and surveillance*
- h. *Broadband video on demand*
- i. *Video phone*
- j. *Personal video recorder*

Dan masih banyak lagi yang lain.

Sebelumnya akan dibahas terlebih dahulu komponen-komponen penting dalam pengolahan data video digital serta parameter-parameter yang meyertainya.

Selanjutnya akan dibahas secara singkat proses-proses kompresi video dengan menggunakan kompensasi motion dan proses 2D-DCT (*2-dimensi discrete cosine transform*).

2.1 Prinsip-prinsip video kompresi

Pada prinsipnya intensitas penglihatan manusia sangat dipengaruhi oleh degradasi informasi visual spatial dan temporal. Dimana teknik lossy compression berguna untuk mengurangi video bit rates dengan tetap menjaga kualitas gambar.

Dalam implementasinya terdapat teknik intraframe coding dimana korelasi spatial pada suatu images dimanfaatkan, sedangkan teknik interframe coding dimana korelasi temporal antar frame dimanfaatkan.

Interframe predictive coding secara prinsip digunakan di beberapa standard video codecs, seperti H.261, H.263, MPEG-1, 2 dan MPEG-4 yang berbasis pada 3 fundamental prinsip redundancy reduction :

1. spatial redundancy reduction: pengurangan keseragaman spatial antar pixels dalam suatu gambar, dengan menggunakan data compressors seperti transform coding.
2. temporal redundancy reduction: pengurangan keseragaman antara deretan gambar / frame, dengan men-coding kan perbedaan antar frame sebelum dan sesudah tersebut.
3. entropy coding: pengurangan dupikasi antara symbol data kompresi dengan menggunakan teknik VLC (variable length coding).

2.1.1 Konversi bentuk gambar berwarna

Teknik kompresi pada proyek akhir ini menggunakan video source yang telah dilakukan konversi dari R'G'B ke Intensity untuk memudahkan pengolahan data matrix, sehingga kita hanya mendapatkan single data matrix yang tentunya input dan output frame akan berubah dari color menjadi non color. Berikut standard ITU-T yang digunakan untuk melakukan konversi dengan mengacu pada rekomendasi ITU-R BT 601-5 dengan formula seperti pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 [2]:

$$Intensity = [0,299 \quad 0,587 \quad 0,114] \times \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix}$$

Gambar 2.1 konversi R'G'B ke Intensity

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,25678824 & 0,50412941 & 0,09790588 \\ -0,1482229 & -0,29099279 & 0,43921569 \\ 0,43921569 & -0,36778831 & -0,07142737 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,1643836 & 0 & 1,5960268 \\ 1,1643836 & -0,39176229 & -0,81296765 \\ 0,16438356 & 2,0172321 & 0 \end{bmatrix} \times \left(\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \right)$$

Gambar 2.2 konversi R'G'B to Y Cb Cr and Y Cb Cr to R'G'B

2.1.2 Transform Coding

Pada intinya transform coding digunakan untuk mengurangi / menghilangkan keseragaman spatial pada suatu gambar dengan cara melakukan mapping daerah transformasi prioritas ke data reduction.

Keunggulan transform coding dalam mencapai tingkat kompresi data adalah energi / entropy gambar pada seluruh daerah yang alami akan di konsentrasikan ke daerah ber-frekuensi rendah dan kemudian di rubah ke dalam beberapa koefisien-koefisien tertentu.

Koefisien ini kemudian di kuantisasi dengan melakukan pembuangan pada koefisien yang kurang signifikan tentunya secara signifikan nantinya tidak mempengaruhi kualitas dari rekonstruksi gambar tersebut. Proses kuantisasi ini bersifat lossy karena nilai aslinya tidak dapat dipertahankan.

Vector basis dari discrete cosine transform (DCT) merupakan pilihan untuk metode pen-transformasian matrix. alasannya karena memiliki kehalusan vector basis yang bervariasi dimana terdapat kemiripan pada variasi intensity pada sebagian besar images, seperti pada energi images di sesuaikan pada beberapa koefisien DCT.

Pada deretan suatu image setiap pixel dikorelasikan pada arah horizontal, vertical dan arah temporal dari deretan image tersebut sehingga pilihannya adalah DCT 3-dimensi. Bagaimanapun juga setiap transformasi pada temporal domain memerlukan penyimpanan beberapa frame gambar yang mengakibatkan long-delay dimana aplikasi tranformasi coding seperti ini

dilarang di dunia telekomunikasi, sehingga dibatasi pada transformasi 2-dimensi.

2-dimensi DCT diproses secara terpisah dimana diimplementasikan kedalam dua jenis 1-dimensi DCT:

- 1-dimensi dalam arah horizontal (N / column)
- 1-dimensi dalam arah vertical (M / row)

Untuk setiap blok M * N pixels, di rumuskan transformasi 1-dimensi dari N pixels adalah [2] :

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{N}} \times C(u) \times \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \times \cos\left(\frac{(2x+1)\pi u}{2N}\right) \dots\dots\dots (2.1)$$

u = 0,1,2, ...,N-1

Dimana = $C(u) = 1/\sqrt{2}$ untuk u = 0
 $C(u) = 1$, untuk u ≠ 0

f(x) merepresentasikan besar intensitas dari setiap x-pixels (arah horizontal), dan F(u) representasi koefisien transformasi 1-dimensi dari N. pada sisi decoding akan di inverse kembali kebentuk semula untuk tiap 1-dimensi transformnya sebagai berikut [2]:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{N}} \times \sum_{u=0}^{N-1} C(u) \times F(u) \times \cos\left(\frac{(2x+1)\pi u}{2N}\right) \dots\dots\dots (2.2)$$

x=0,1,2,,N-1

dengan catatan bahwa $1/\sqrt{N}$ factor normalisasi yang digunakan untuk membuat transformasi orthonormal. Sehingga energy pada kedubel pixel dan daerah transformasi mempunyai nilai yang sama.

Pada codec yang standard factor normalisasi untuk DCT domain di definisikan = 1/2. ini menyebabkan range koefisien DCT antara -2047 sampai +2047.

Untuk mendapatkan koefisien transformasi 2-dimensi, nilai N pada transformasi 1-dimensi akan di gantikan dengan nilai M untuk mendapatkan koefisien transformasi 1-dimensi pada frekuensi yang sama pada arah vertical dirumuskan pada Pers.(2.3) [2].

Dimana $f(y)$ merepresentasikan besar intensitas dari setiap y-pixel (arah vertical) dan $F(v)$ representasi koefisien transformasi 1-dimensi dari M .

$$F(v) = \frac{1}{\sqrt{M}} \times C(v) \times \sum_{y=0}^{M-1} f(y) \times \cos\left(\frac{(2y+1)\pi v}{2M}\right) \quad v = 0,1,2, \dots M-1 \quad (2.3)$$

Dimana = $C(v) = 1/\sqrt{2}$ untuk $v = 0$
 $C(v) = 1$, untuk $v \neq 0$

Pada sisi decoding inverse transformasi 1-dimensi sama dengan transformasi 1-dimensi N (arah horizontal).

Dari kedua persamaan diatas di peroleh koefisien transformasi 2-dimensi untuk MN block pixel dirumuskan sebagai berikut [3]:

$$F(u,v) = \left(\frac{2}{\sqrt{MN}}\right) \times C(u) \times C(v) \times \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x,y) \times \cos\left(\frac{(2x+1)\pi u}{2N}\right) \times \cos\left(\frac{(2y+1)\pi v}{2M}\right) \dots (2.4)$$

Dimana :
 $C(u), C(v) = 1/\sqrt{2}$ untuk $u,v = 0$
 $C(u), C(v) = 1$ untuk $u, v \neq 0$

Block images dengan ukuran MN pixel di transformasikan ke dalam koefisien MN pada operasi DCT (discrete cosine transform).

Koefisien $F(0,0)$ merepresentasikan nilai “DC” pada block tersebut, koefisien $F(0,1)$ disebut juga nilai “DC” pada deretan pertama arah horizontal merepresentasikan koefisien “AC” horizontal pertama. Sedangkan koefisien $F(1,0)$ disebut juga nila “DC” deretan pertama arah

vertical merepresentasikan koefisien “AC” vertical pertama dan seterusnya.

Dalam prakteknya $M=N=8$ sehingga terdapat $8*8 = 64$ pixel apabila di operasikan DCT 2-dimensi maka akan terdapat 64 koefisien transformasi. Pada setiap ukuran block images selalu terdapat 2 hal yang saling berhubungan yaitu efisiensi kompresi dan blocking artifacts secara tajam pada koefisien kuantisasi.

Ketika ukuran block images source besar dan mempunyai kompresi yang efisien maka pada saat yang bersamaan blocking artifacts sangat mengganggu sekali.

pada awalnya standarisasi video codec menggunakan ukuran block yang dibuat secara optional mulai dari $4*4$, $8*8$ dan $16*16$. dan sekarang untuk ukuran block telah di standard kan khusus untuk video codec adalah $8*8$.

2.1.3 Kuantisasi koefisien DCT

Proses transformasi dalam sebuah pixel secara actual tidak menghasilkan kompresi seutuhnya. Setiap block 64 pixels ditransformasikan ke 64 koefisien DCT. Dikarenakan mempunyai sifat orthonormality pada operasi transformasi energy yang ada pada pixels dan hasil transformasi sama, sehingga tidak ada kompresi yang dicapai.

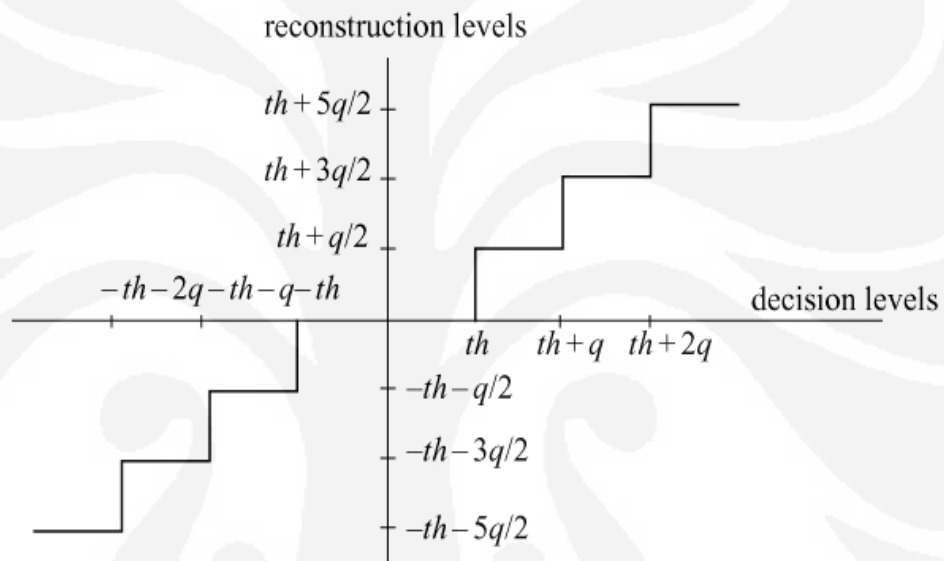
Akan tetapi proses transformasi menyebabkan hal yang signifikan dalam mengkonsentrasikan energy suatu images pada komponen frekuensi rendah, yang mana koefisien major terletak pada energy rendah.

Untuk itu dibutuhkan proses kuantisasi dan VLC (*variable length coding*) dari koefisien DCT melakukan proses pengurangan laju bit dari data images yang akan di transmisikan.

Dengan lebih memperdalam observasi tentang karakteristik penglihatan manusia, dimana penglihatan manusia cenderung kurang sensitive terhadap gangguan gambar pada frekuensi tinggi sehingga pada frekuensi tersebut dilakukan kuantisasi yang lebih tajam untuk memberikan kompresi yang lebih besar.

Kuantisasi bentuk step sifatnya lebih memaksa ke kondisi nol atau ke level kuantisasi yang telah di tentukan sehingga menyebabkan kompresi lebih tinggi, akan tetapi tentunya kualitas gambar juga menurun.

Kelas-kelas quantizer yang telah menjadi standard video codec telah ditentukan oleh ITU-T dengan nama uniform threshold quantizer (UTQ). Ini hampir sama dengan kuantisasi step dilengkapi dengan nilai-nilai rekonstruksi ke setiap pusat garis step ilustrasinya seperti Gambar 2.3 [2]:



Gambar 2.3 karakteristik kuantisasi

Dua parameter kunci yang menjelaskan UTQ adalah nilai threshold 'th' dan ukuran step 'q'. nilai tengah (centroid) umumnya ditentukan pada titik tengah interval quantization. Sebagai catatan bahwa koefisien AC transformasi tidak berkarakteristik uniform sehingga sangat bagus apabila menggunakan quantizer step non-uniform juga tetapi koefisien DC mempunyai distribusi yang uniform, dalam melakukan pengontrolan bit rate sangat mudah karena dapat dikuantisasi secara linier.

Selanjutnya UTQ mempunyai 2 sub-classes yang dapat di identifikasikan ke standard codec yaitu :

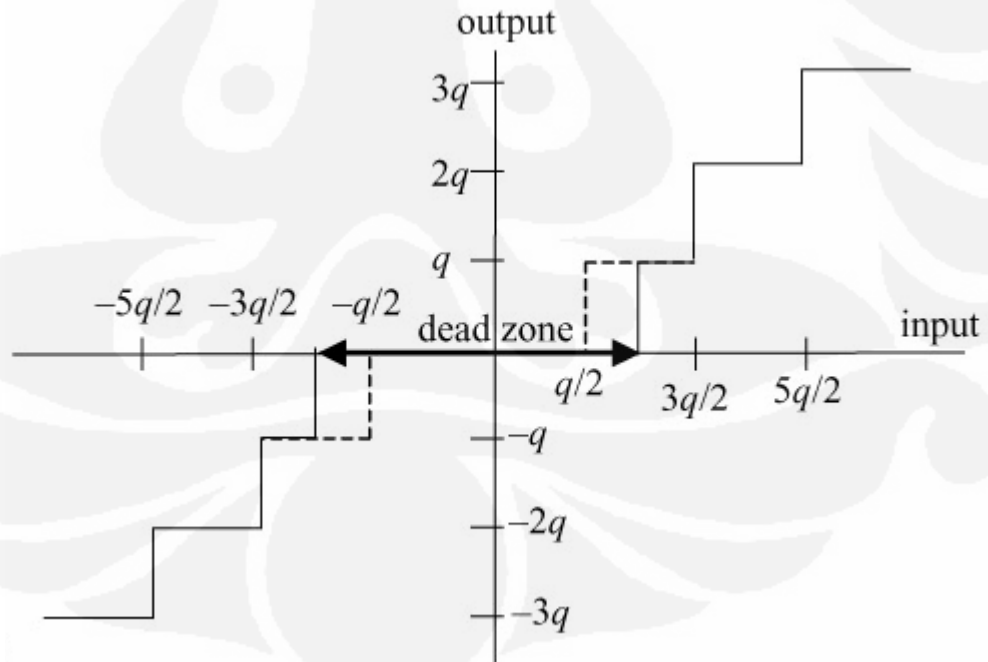
1. Uniform quantizer dengan dead zone
2. Uniform quantizer tanpa dead zone

Kedua sub-classes tersebut lebih dikenal dengan UTQ-DZ dan UTQ seperti terlihat pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 [2].

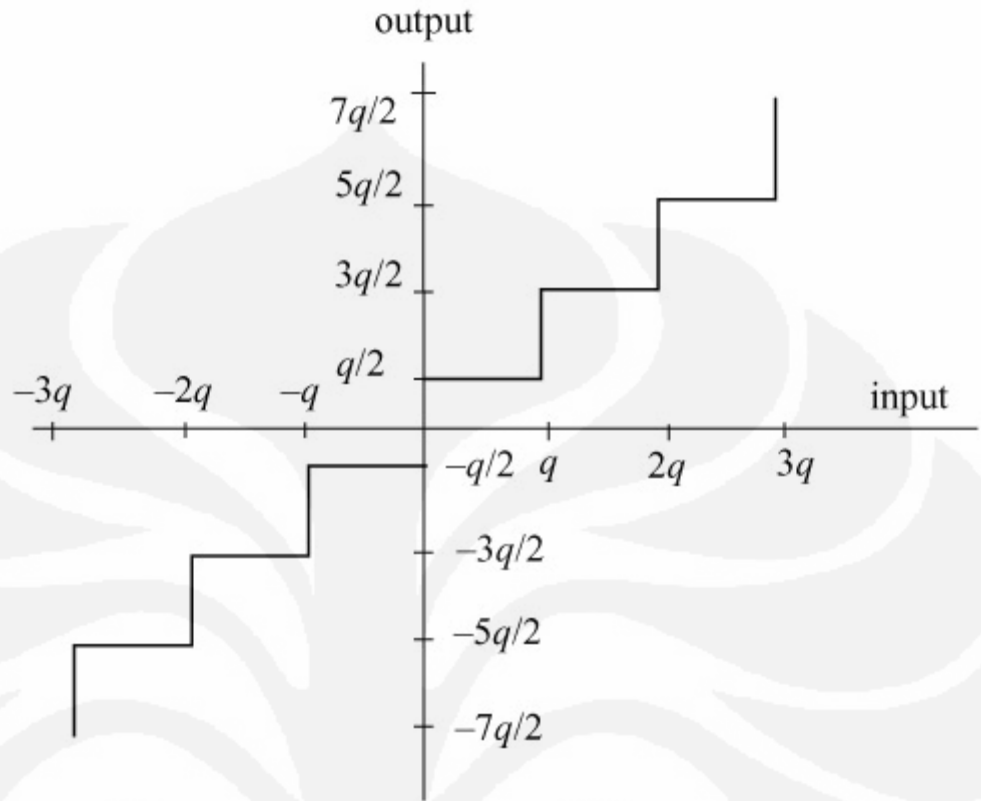
Biasanya dead zone berada pada daerah tengah dari quantizer, dimana koefisien kuantisasi mempunyai nilai '0'.

UTQ digunakan untuk mengkuantisasi intraframe koefisien DC $F(0,0)$, ketika UTQ-DZ digunakan untuk koefisien AC dan koefisien DC digunakan untuk interframe sebagai prediction error. Tujuan utamanya agar koefisien AC yang kurang significant nilainya berubah menjadi nol ('0') sehingga dapat meningkatkan factor kompresi. Pada UTQ koefisien $F(u,v)$ di kuantisasi dengan cara membagi dengan nilai kuantizer step size 'q' diberikan rumus sebagai berikut :

$$I(u,v) = \frac{F(u,v) \pm q}{2q} \dots\dots\dots (2.5)$$



Gambar 2.4 Uniform Quantizers dengan dead zone



Gambar 2.5 Uniform Quantizers tanpa dead zone

Dimana input adalah nilai koefisien DCT dan output adalah nilai kuantisasi (index kuantisasi).

$I(u,v)$ disebut juga index kuantisasi. Nilai dari index kuantisasi yang kemudian di transmisikan ke decoder yang mempunyai nilai entropy lebih rendah dari pada koefisien DCT (input). Pada sisi penerima (receiver) proses rekonstruksi koefisien $F_q(u,v)$ setelah dilakukan inverse kuantisasi diberikan sebagai berikut [2]:

$$F_q(u,v) = I(u,v) \times 2q \dots\dots\dots (2.6)$$

Index kuantisasi pada UTQ-DZ diperoleh dengan membagi koefisien DCT dengan bilangan bulat yang akan memangkas nilai output menjadi nol diberikan rumus sebagai berikut [2]:

$$I(u,v) = \frac{F(u,v)}{2q} \dots\dots\dots (2.7)$$

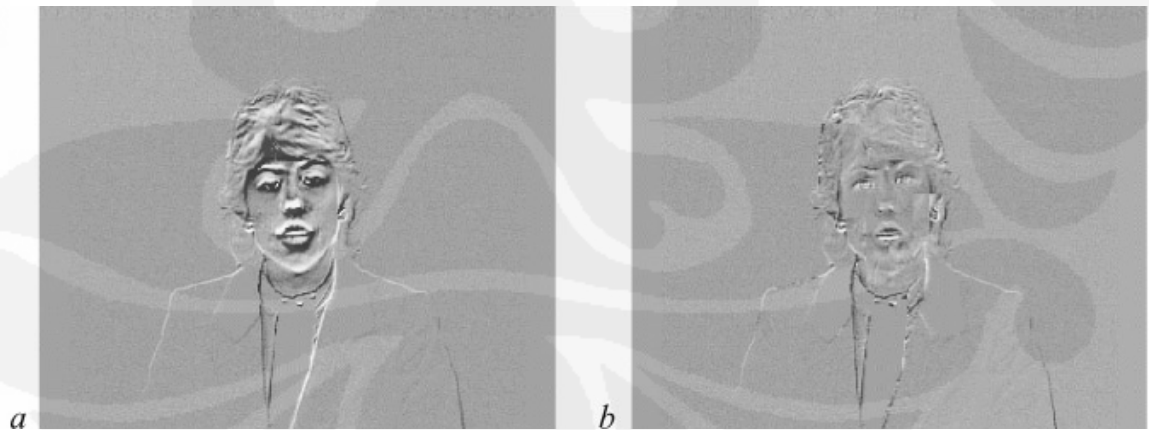
Pada proses inverse kuantisasi seperti terlihat pada Pers.(2.8) [2] sangat bergantung pada polarisasi pada index, dan memerlukan penambahan atau pengurangan dari ½ kuantisasi step untuk mengarahkan ke titik centroid.

$$Fq(u, v) = (2I(u, v) \pm I) \times q \dots\dots\dots (2.8)$$

2.1.4 Temporal redundancy reduction

Dengan menggunakan perbedaan diantara deretan images maka temporal redundancy bisa dikurangi. Yang juga sering disebut interframe coding. Pada bagian-bagian images yang tidak berubah maka perbedaan temporal akan di rubah ke nilai nol '0' dan tidak dilakukan coding. Bagian-bagian tersebut yang berubah salah satunya disebabkan variasi dari illumination atau pergerakan object sangat sering sehingga hasil error images yang significant yang mana perlu dilakukan proses coding.

Perubahan images karena motion (pergerakan) dapat dikurangi dengan significant apabila pergerakan object dapat di estimasi terlebih dahulu, dan perbedaan diantara frame tersebut digunakan oleh block yang disebut 'motion compensated'. Seperti terlihat pada Gambar 2.6 [2]:

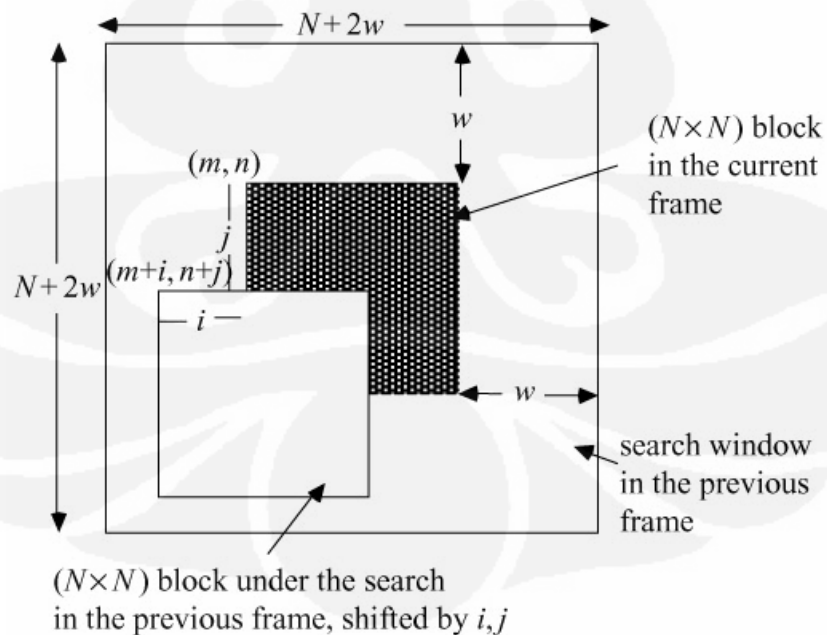


Gambar 2.6 (a) Interframe (b) Motion compensated interframe pictures

Dari gambar diatas memperlihatkan error interframe diantara sederetan frame dari test images Claire dan jelas bahwa motion compensation dapat melakukan pengurangan error interframe karena disisi penerima mempunyai master frame sebagai acuan decoder untuk merekonstruksi images sequence.

2.1.5 Motion Estimation

Dalam mengimplementasikan motion compensation, motion dari gambar / object yang bergerak harus sudah diestimasi terlebih dahulu. Pada umumnya teknik estimasi motion di semua standart video codec menggunakan block matching algorithm (BMA). Prinsip dasar BMA suatu frame dibagi ke dalam beberapa blocks dengan luas $M \times N$ pixels atau sering disebut N^2 pixels square block. Kemudian untuk maximum perpindahan motion adalah w pixels per frame, block pixels yang sekarang dicocokkan dengan block yang sesuai pada koordinat yang sama tetapi pada frame sebelumnya, didalam jendela pencarian yang lebarnya $N+2w$ lihat Gambar 2.7 [2]. pada proses pencocokan yang tepat akan menghasilkan konstanta perpindahan w .



Gambar 2.7 the current and previous frames in the search window

Berbagai macam pengukuran seperti cross correlation function (CCF), mean squared error (MSE) dan mean absolute error (MAE) dapat digunakan ke dalam criteria pencocokkan. Untuk mendapatkan hasil yang bagus pada penyesuain 2 block dalam metode CCF diperbanyak tingkat korelasinya. Dalam implementasinya CODEC menggunakan MSE dan MAE sejak dipercayai bahwa CCF tidak memberikan hasil yang terbaik dalam motion tracking khususnya bila konstanta w tidak bernilai besar. Sesuai Pers.(2.9) dan Pers.(2.10) [2] fungsi penyesuaian untuk type-type tersebut adalah :

1. MSE :

$$M(i, j) = \frac{1}{N^2} \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \{(f(m, n) - g(m + i, n + j))\}^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$-w \leq i, j \leq w$$

2. MAE :

$$M(i, j) = \frac{1}{N^2} \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N |(f(m, n) - g(m + i, n + j))| \dots\dots\dots (2.10)$$

$$-w \leq i, j \leq w$$

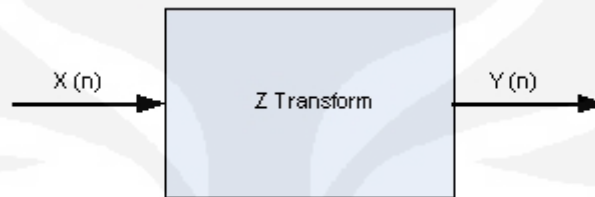
dimana f(m,n) merepresentasikan block sekarang dengan luas N² pixels pada koordinat (m,n) dan g(m+i , n+j) merepresentasikan block yang sesuai pada frame sebelumnya dengan koordinat baru (m+i , n+j).

pada proses pencocokan / penyesuaian yang terbaik misal didapatkan posisi i = a dan j = b sehingga motion vektornya MV(a,b) merepresentasikan pergeseran / pergerakan dari semua pixels didalam block. Untuk menemukan kesesuaian yang terbaik maka dilakukan pencarian secara total / menyeluruh (exhaustive search) dengan besar parameter pencarian (search parameter) = (2w + 1)² dimana umumnya harga w = 7 pixels (*reference aroh barjatya IEEE 2004*)[4]. Untuk mengurangi beban processing digunakan type pengukuran MAE yang kemudian menjadi standart video codecs. Untuk setiap block N² kita tetap

melaksanakan $(2w + 1)^2$ test setiap prosesnya melakukan $2 N^2$ penambahan dan pengurangan.

2.2 Delay dan PAD

2.2.1 Delay

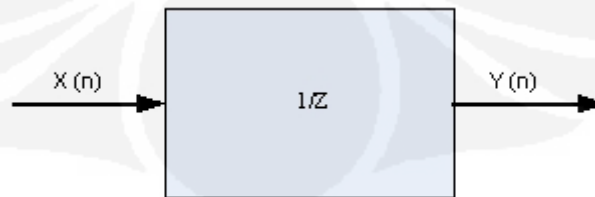


Gambar 2.8 Z-Transform block diagram

Tool (alat) lain yang digunakan dalam video codec adalah Z transform dapat diperoleh dengan melakukan operasi perkalian complex spectrum $X(jf)$ dan $\exp(j*2*\pi*f*Ta)$. Ini equivalent dengan melakukan penggeseran waktu dari waktu signal input yang berperioda Ta . Bahwa delay yang diinginkan Ta sebagai basic operation transformasi Z dengan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$Z = e^{(j*2*\pi*f*Ta)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Hasil yang didapat dari Pers.(2.11) [5] merupakan transformasi Z yang bisa digunakan untuk memperjelas hubungan antara deretan signal output $y(n)$ dengan deretan signal input $x(n)$ dengan besar perioda $n * Ta$. Dalam pembahasan video coding ini Z transform sering ditulis seperti $Z[\exp (-1)]$ atau $Z[\exp (-n)]$, dimana $Z[\exp (-1)]$ adalah signal yang terdelay 1 clock cycle Ta dan $Z[\exp (-n)]$ adalah signal yang terdelay n clock cycle Ta .



Gambar 2.9 Z-transform delay 1 clock cycle

Block delay yang digunakan melakukan proses delay pada inputan time discrete dari beberapa sample atau frame yang di spesifikan pada delay unit dan delay parameter.

2.2.2 Pad



Gambar 2.10 block 2-dimensi padding

Teknik video kompresi lebih banyak melakukan proses pengolahan data matrix yang merepresentasikan setiap frame images supaya memudahkan proses coding dan decoding. Salah satunya adalah dengan melakukan padding pada matrix input $f(r,c)$ atau (M,N) sehingga dimensi matrix akan dirubah menjadi $f(r+x, c+x)$ atau $(M+x, N+x)$ sesuai dengan kebutuhan kompresi data tersebut.

Perubahan dimensi matrix pada frame input diperlukan karena proses standart coding macroblock berbasis $16*16$ pixels sehingga resolusi di decoder sesuai dengan spesifikasi yang telah dibuat dan tetap bisa melakukan proses pengkodean dengan menambah pad row / column sehingga jumlahnya divisible dengan 16.

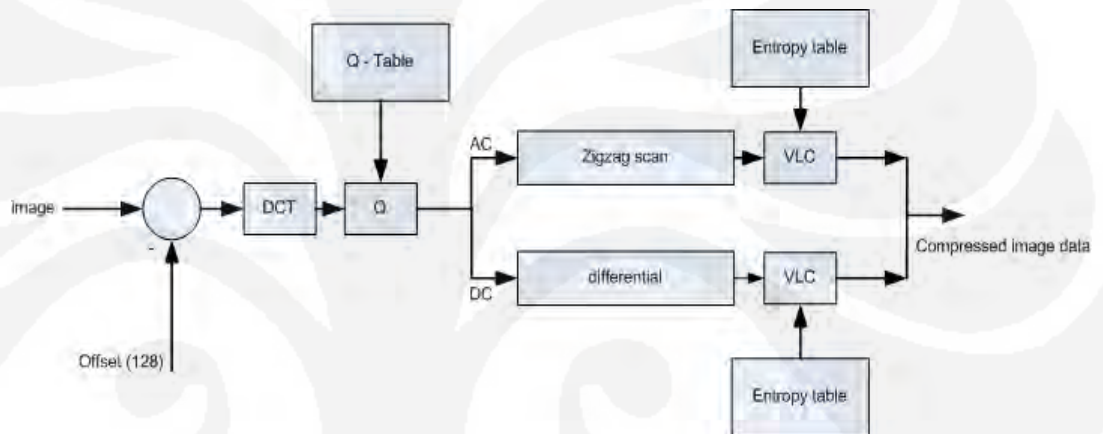
2.3 Lossy compression

Sebagai bahan tambahan tentang lossy compression (jenis kompresi yang menghilangkan duplikasi pixel pada suatu image). JPEG standart mendefinisikan 3 jenis lossy compression models : baseline sequential mode, progressive mode, hierarchical mode. Ketiga model tersebut berbasis pada DCT (discrete cosine transform) untuk mendapatkan komponen inti dari data kompresi ketika proses reconstruction image dilakukan dengan tingkat ketepatan visual yang tinggi.

Perbedaan dari ketiga model tersebut terletak pada cara pemilihan coefficient DCT yang akan ditransmisikan.

2.3.1 Baseline sequential mode compression

Sering juga disebut baseline coding for short. Dalam mode ini image dipartisi ke 8*8 block pixel tanpa overlapping dari kiri – kanan dan atas – bawah. Setiap block akan di lakukan operasi DCT dan 64 koefisien transformasi akan di kuantisasi ke nilai yang diinginkan sehingga koefisien kuantisasi yang dihasilkan langsung dilakukan proses coding entropy dan sekaligus menjadi output data image yang telah terkompresi. Gambar 2.11 [2] menjelaskan algoritma dari baseline compression.



Gambar 2.11 Block diagram of a baseline JPEG encoder

Dari Gambar 2.11 [2] setiap 8-bit sample dilakukan penggeseran level dengan operasi pengurangan sebanyak $2^{(8-1)} = 2^7 = 128$ sebelum dilakukan pengkodean DCT. 64 koefisien DCT di kuantisasi secara uniform ukuran step dan menghasilkan matrix kuantisasi. Matrix kuantisasi ini digunakan untuk memilih dari perbedaan bobot koefisien AC dan DC yang akan ditransmisikan tetap mengacu pada tingkat sensitivitas HVS (*human visual system*) dari beberapa frekuensi muncul. Table 2.1 dan Tabel 2.2 [2] berisi nilai kuantisasi berbasis *psychovisual thresholding* yang diproses secara empirically menggunakan subsampling luminance dan chrominance 2:1.

Tabel 2.1 Kuantisasi Luminance

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Tabel 2.2 Kuantisasi Chrominance

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

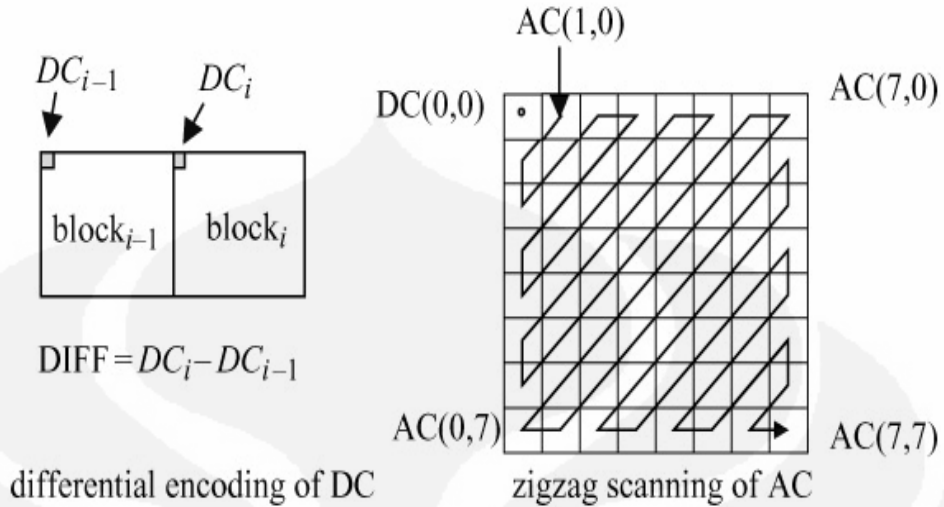
Jika element dari table kuantisasi dari luminance dan chrominance direpresentasikan $Q(u,v)$, kemudian koefisien DCT pada spatial frekuensi arah horizontal dan vertical adalah u dan v maka $F^q(u,v)$ ditunjukkan pada Pers.(2.11) [2] :

$$F^{q(u,v)} = \left[\begin{array}{c} F(u,v) \\ Q(u,v) \end{array} \right] \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana $F(u,v)$ adalah koefisien transformasi yang akan dikuantisasi dan $[.]$ artinya hasil akan di dibulatkan ke nilai integer yang terkecil. Pada sisi decoder koefisien terkuantisasi akan diinverse kembali dengan Pers.(2.12) [2]:

$$F^{Q(u,v)} = F^{q(u,v)} \times Q(u,v) \dots\dots\dots (2.12)$$

Setelah proses kuantisasi koefisien DC (0,0) dan 63 koefisien AC di coding secara terpisah seperti pada gambar 2.11 koefisien DC di prediksi dari block sebelumnya dengan rumus $DIFF = DC_i - DC_{(i-1)}$ dan 63 koefisien AC dimulai dari AC(1,0) yang kemudian di coding run-length dengan menscan secara zigzag seperti pada Gambar 2.12 [2] :



Gambar 2.12 Preparing of the DCT coefficients for entropy coding

2.3.2 Run-length coding

Dasar pengkodean entropy pada encoder terdiri pada 2 stages. Stage pertama mentranslasi koefisien DCT yang terkuantisasi ke symbol level menengah. Pada stage kedua VLC di assign di setiap symbol. Untuk standart JPEG VLC (variable length code) yang diberi nama symbol-1 dan kemudian amplitude direpresentasikan secara biner di stage 2 yang diberi nama symbol-2.

2.3.2.1 Coding coefficients DC

Disamping melakukan proses DIFF dari setiap variable length code-words, nilai DIFF di categorikan berdasarkan wilayah magnitude yang disebut CAT. Table 2.3 [2] memberikan data CAT wilayah amplitude untuk JPEG standart. Selama koefisien DCT berada pada wilayah -2047 sampai 2047 kemudian terdapat 11 kategori untuk koefisien $\neq 0$.

Tabel 2.3 Nilai *category* (CAT) berbasis *baseline encoder*

CAT	Range
0	-
1	-1, 1
2	-3, -2, 2, 3
3	-7 ... -4, 4 ... 7
4	-15 ... -8, 8, ... 15
5	-31 ... -16, 16, ... 31
6	-63 ... -32, 32, ... 63
7	-127 ... -64, 64, ... 127
8	-255, ... -128, 128, ... 255
9	-511, ... -256, 256, ... 511
10	-1023, ... -512, 512, ... 1023
11	-2047, ... -1024, 1024, ... 2047

Ketika DIFF bernilai positif maka beberapa bit pada lower orde akan di tambahkan ke nilai DIFF dan jika bernilai negative penambahan bit pada lower orde untuk DIFF-1.

Titik awal bit di mulai dari MSB dari bit-bit yang telah ditambahkan "1" untuk positive difference dan "0" untuk negative difference. Contoh : DIFF=6= 000...00110 bit-bit yang dilampirkan/ditambahkan = 110 karena nilai DIFF positive. Dan karena 6 masuk dalam wilayah 4 – 7 maka nilai CAT =3. dari table DC code-word untuk CAT=3 adalah 100 sehingga code-word semua untuk DIFF=6 adalah 100110. dimana 100 adalah kode VLC dari CAT (symbol-1) dan 110 bit tambahan untuk code-word (symbol-2).

Contoh yang lain, DIFF= -3 terdapat pada wilayah CAT -3 sampai -2 dengan nilai CAT = 2. dan kode VLC dari table DC = 011. untuk mendapatkan bit tambahan DIFF-1 = -3-1 = -4 = 111...100 sehingga total code-word = 011100.

2.3.2.2 Coding coefficients AC

Untuk setiap koefisien AC tidak nol di scan secara zigzag, symbol-1 di jabarkan ke 2-dimensi (RUN,CAT). Dimana CAT adalah category untuk amplitude koefisien non-zero pada zigzag scanning. Dan RUN adalah jumlah koefisien nol yang terdapat pada koefisien AC pada zigzag scan.

Maximum panjang Run-length encoding = 15, proses pengkodean yang lebih dari 15 koefisien nol ('0') bisa diselesaikan dengan special symbol (15,0) dimana (RUN,CAT) tersebut menginterpretasikan symbol extension dengan jumlah koefisien nol = 16.

Contoh: (RUN=34, CAT=5) artinya terdapat 34 koefisien nol ('0') AC sebelumnya sampai akhirnya mencapai koefisien AC dengan CAT = 5, sehingga setelah dilakukan operasi RLE akan di pecah menjadi 3 symbol yaitu symbol a (15,0), symbol b (15,0) dan symbol c (2,5). EOB (end of block) di design untuk mengindikasikan akhir dari perintah zigzag scan yang akan dikuantisasi ke nol dan symbol EOB direpresentasikan (RUN=0, CAT=0).

Kode AC dari kombinasi RUN dan CAT dari semua kemungkinan koefisien AC 8*8 block images terlihat pada table dibawah ini untuk symbol-1 dengan menggunakan Huffman code-word (panjang maksimum codeword = 16 bits). Sebelum dilakukan kombinasi (RUN,CAT) maka operasi RLE dilakukan pada CAT untuk mendapatkan code-wordnya dapat dilihat pada Tabel 2.4 [2] hasil translasi dari CAT ke code-word.

Tabel 2.4 DC Huffman coefficients of luminance

Category	Code-Word
0	00
1	010
2	011
3	100
4	101
5	110
6	1110
7	11110
8	111110
9	1111110
10	11111110
11	111111110

Sedangkan untuk table translasi (RUN,CAT) ditunjukkan pada Appendix A. selanjutnya format untuk symbol-2 sama seperti dalam peng-kodean DIFF pada koefisien DC. $ZZ(k)$ adalah koefisien AC dari perintah zigzag scan, jika $ZZ(k)$ berharga (+) maka low-order bits dari $ZZ(k)$ dan jika $ZZ(k)$ berharga (-) maka low-order bits dari $ZZ(k)-1$.

Contoh: koefisien DCT yang terkuantisasi dari block luminance seperti terlihat pada Gambar 2.13 [2] diketahui bahwa koefisien DC pada block luminance sebelumnya 29. ditanyakan hasil RLE coding untuk koefisien DC dan AC.

31	18	0	0	0	0	0	0
-21	-13	0	0	0	0	0	0
0	5	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 2.13 contoh *Quantised DCT coefficients of luminance block*

Code-word untuk koefisien DC:

$DIFF = 31 - 29 = 2$, dari table category nilai $CAT = 2$ dengan menggunakan table koefisien DC Huffman code didapat $CAT = 011$. dan tambahan bits untuk $DIFF = 2 > 0$, jadi $2 = 000...0010$ sehingga code-word semua untuk coding koefisien DC = **01110**.

Code-word untuk koefisien AC:

Scanning dimulai dari koefisien AC non-zero pertama dengan nilai = 18. didapat nilai $CAT = 5$ karena tidak ada nilai nol pada koefisien AC sebelumnya nilai $RUN = 0$. dari sini didapat symbol-1 (0,5) dan table koefisien AC Huffman code menunjukkan = 11010. symbol-2 adalah lower bits dari $ZZ(k) = 18 = 000...010010$ diperoleh code-word untuk koefisien AC pertama = **1101010010**.

Selanjutnya koefisien AC bernilai = -21 karena tidak ada nilai nol pada koefisien AC sebelumnya maka nilai $RUN = 0$. dan koefisien AC tersebut terdapat pada range = -13 s/d -16 maka nilai $CAT = 5$. symbol-1 (RUN, CAT) pada table

koeffisien AC code-word (0,5) = 11010. symbol-2 karena $-21 < 0$ maka $ZZ(k) = -21-1 = -22 = 111\dots1101010$ bits yang akan ditambahkan adalah lower bit dari $ZZ(k) = 01010$. diperoleh code-word untuk koeffisien AC kedua = **1101001010**.

Koeffisien AC non-zero ketiga setelah di scan bernilai = -13 dan terdapat satu nilai nol '0' sebelumnya jadi nilai RUN = 1 koeffisien ini terdapat pada range = -15 s/d -8 dengan nilai CAT = 4 kombinasi yang didapat = (1,4) dari table AC Huffman code-word = 111110110. symbol-2 $ZZ(k) = -13-1 = -14 = 111\dots110010$ bits yang akan ditambahkan adalah lower bits dari $ZZ(k) = 0010$. diperoleh code-word untuk koeffisien AC ketiga = **1111101100010**.

Koeffisien AC non-zero keempat bernilai = 5 dengan CAT = 3 dan terdapat tiga nilai nol sebelumnya sehingga RUN = 3. symbol-1 (RUN,CAT) = (3,3) didapatkan code-word dari table AC huffman code-word = 111111110101. untuk symbol-2 karena $ZZ(k) = 5$ maka code-word = 000...00101 bits yang akan ditambahkan adalah lower bits dari $ZZ(k) = 101$. diperoleh code-word untuk koeffisien AC keempat = **111111110101101**.

Dari contoh diatas nilai koeffisien AC terakhir dari zigzag scanning = 5 maka proses encoding di terminasi dengan kode EOB (end of block) yang telah didefinisikan oleh Huffman dengan table koeffisien AC = (0,0) dengan symbol tanpa ada bits tambahan = 1010.

BAB III

PERANCANGAN CODEC VIDEO DIGITAL

Pada bab ini akan dibahas perancangan CODEC yang ditekankan pada *technic compression* pada video, sesuai dengan judul pada buku ini '*Digital video compression Technique using motion compensation and the DCT (discrete cosine transform) based on sum of absolute differences algorithm*'. Simulasi CODEC ini dibangun dari beberapa block yang fungsinya saling mendukung satu sama lain. Sebelum dilakukan pembahasan perancangan masing-masing blok terlebih dahulu akan dibahas sekilas proses pengkompresian dari CODEC digital video sebagai berikut:

pertama proses terjadi pada sisi encoder, original video yang akan diolah mempunyai resolusi spasial = [240 320] R|G|B (red green blue) dengan 30 fps (frame per second) ini sebagai data input. Kemudian setiap block frame dilakukan konversi warna images dari R|G|B ke intensity agar terdapat satu data matrix yang mudah untuk dilakukan manipulasi / operasi matematika. Dalam 1 block frame terdapat beberapa object akan tetapi hanya satu yang ingin di fokuskan sehingga pemangkasan resolusi spasial dari [240 320] menjadi [160 208] sesuai dengan requirement dari pembuatan CODEC digital video.

Langkah berikutnya pada block processing1 data matrix [160 208] akan di sampling per sub-matrix [8 8] untuk frame yang akan diprediksi dan [16 16] untuk frame yang memprediksi sesuai dengan standart video CODEC.

Sesuai dengan batasan masalah teknik yang digunakan algoritma SAD (sum absolute differences) untuk melakukan searching pada sampling tiap MB (macro block) untuk menghasilkan motion vector.

Block selanjutnya motion compensator dimana dalam block ini akan menghasilkan kompensasi motion pada images yang di prediksi sehingga kompresi tahap pertama telah dilakukan.

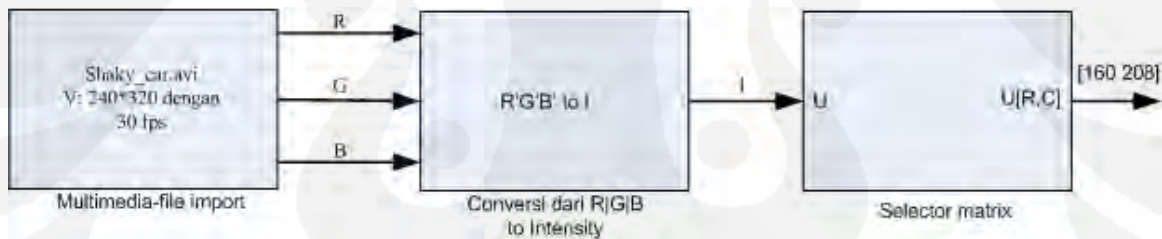
Kemudian terakhir data matrix MB [8 8] yang telah di reduce diproses dengan block transform coding untuk dilakukan kompresi tahap kedua dilakukan dan menghasilkan stream bit-bit untuk ditransmisikan ke decoder. Pada block decoder dilakukan proses

inverse pada semua tahapan sehingga dapat merekonstruksi setiap frame ke bentuk semula tentunya tidak sama persis dengan original images oleh sebab itu teknik kompresi bisa dikatakan berhasil dilakukan.

3.1 Video Source block

Dalam perancangan teknik kompresi pada video yang terdiri dari Encoder-Decoder (CODEC) pertama sekali adalah menentukan input data video yang ingin diolah / dikompres. Seperti telah diperlihatkan pada Gambar 3.1 input data video mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

1. Nama file = Shaky_car.avi
2. Format video = avi (audio video interleave)
3. Frame rate = 30 fps (frame per second)
4. Type File = R|G|B (red, green, blue)
5. Resolusi spatial = [240 320]



Gambar 3.1 Block video source dengan R|G|B to Intensity conversi.

Karena data input berupa matrix 2-D maka proses kompresi akan sangat mudah apabila dari 3 data matrix 2-D yaitu Red [240 320], Green [240 320] dan Blue [240 320] di convert ke 1 data matrix 2-D saja yaitu Intensity [240 320], sehingga dari video color menjadi video non-color. ITU-R BT.601-5 telah menentukan standart formula seperti terlihat pada Pers.(3.1) [2] untuk melakukan konversi R|G|B to Intensity, sehingga batas bawah nilai intensitas tetap menampilkan kualitas gambar yang bagus.

$$Intensity = [0,299 \quad 0,587 \quad 0,114] \times \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.1)$$

Pada tahap selanjutnya dilakukan pengurangan resolusi spasial dari [240 320] ke [160 208] dengan block selector supaya object dari images akan tampak jelas dan menghilangkan pixel yang tidak signifikan.

3.2 Sub-sampling video block encoder

Pada proses encoding, aliran data matrix input di pisah menjadi 2 seperti terlihat pada Gambar 3.2 yaitu Yc (luminance yang di kompensasi) dengan matrix [160 208] dan Yp (luminance yang memprediksi), untuk Yp akan dilakukan delay dengan menggunakan Z-transform sebesar 1 clock cycle dan dipadding [row+30, column+30] sehingga resolusi spasial menjadi [190 238]. Karena aliran data matrix serial maka sangat susah untuk proses sub-sampling MB (macroblock) dilakukan pada waktu yang bersamaan antara current frame dan previous frame, oleh karena itu diperlukan Z-transform untuk men-delay 1 clock cycle dan pada project kali ini menggunakan file input shaky_car.avi yang mempunyai 31 frame source.

Adapun proses motion estimation pada encoder block adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Proses motion estimation antar frame di sisi encoder

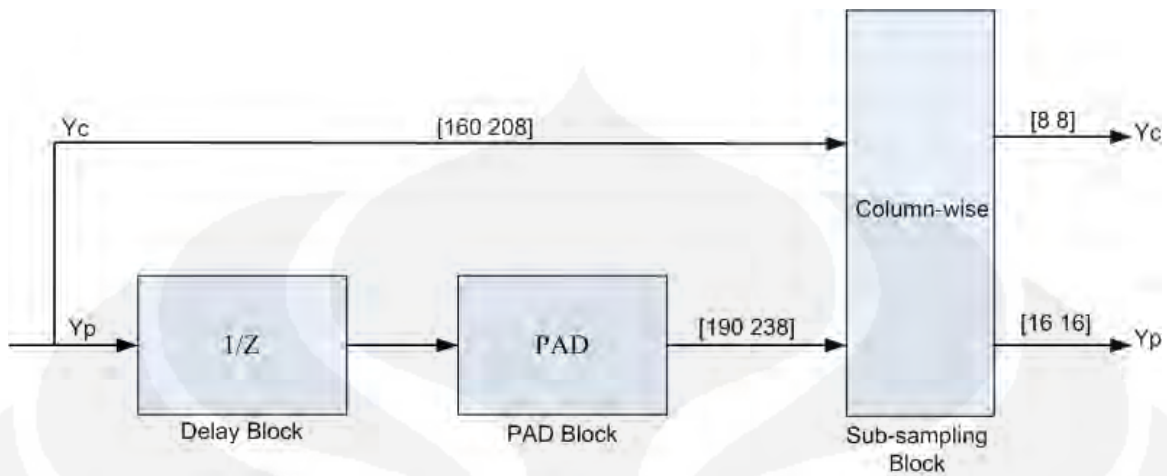
No	Current Frame	Proses Estimation	Previous frame
1	Frame-2	Di prediksi	Frame-1
2	Frame-3	Di prediksi	Frame-2
3	Frame-4	Di prediksi	Frame-3
4	Frame-5	Di prediksi	Frame-4
5	Frame-6	Di prediksi	Frame-5
6	Frame-7	Di prediksi	Frame-6
7	Frame-8	Di prediksi	Frame-7
8	Frame-9	Di prediksi	Frame-8
9	Frame-10	Di prediksi	Frame-9
10	Frame-11	Di prediksi	Frame-10
11	Frame-12	Di prediksi	Frame-11

12	Frame-13	Di prediksi	Frame-12
13	Frame-14	Di prediksi	Frame-13
14	Frame-15	Di prediksi	Frame-14
15	Frame-16	Di prediksi	Frame-15
16	Frame-17	Di prediksi	Frame-16
17	Frame-18	Di prediksi	Frame-17
18	Frame-19	Di prediksi	Frame-18
19	Frame-20	Di prediksi	Frame-19
20	Frame-21	Di prediksi	Frame-20
21	Frame-22	Di prediksi	Frame-21
22	Frame-23	Di prediksi	Frame-22
23	Frame-24	Di prediksi	Frame-23
24	Frame-25	Di prediksi	Frame-24
25	Frame-26	Di prediksi	Frame-25
26	Frame-27	Di prediksi	Frame-26
27	Frame-28	Di prediksi	Frame-27
28	Frame-29	Di prediksi	Frame-28
29	Frame-30	Di prediksi	Frame-29
30	Frame-31	Di prediksi	Frame-30

Dalam standart video codec bahwa block frame yang masuk tidak langsung dilakukan coding akan tetapi harus di sub-sampling matrix, sesuai standart yang telah ditentukan besar MB (macroblock) sub-sampling = [8 8] dan [16 16] dengan algorithm 'column-wise' arah pengambilan / sub-sampling matrix mulai dari kolom-1, kolom-2 sampai baris-8 untuk MB [8 8] dan untuk MB [16 16] sampai kolom-16.

Pada sub-sampling MB untuk frame $Y_c = [8\ 8]$ dan $Y_p = [16\ 16]$ karena pada metode BMA algorithm searching window terletak pada previous frame.

Sehingga semakin besar searching window yang digunakan maka hasil motion estimation akan semakin akurat, namun konsekuensi yang diambil yaitu delay processing akan semakin besar. Oleh sebab itu standart video codec MB terbesar yang diijinkan adalah [16 16].



Gambar 3.2 Block sub-sampling video Encoder

3.3 Motion Compensation block

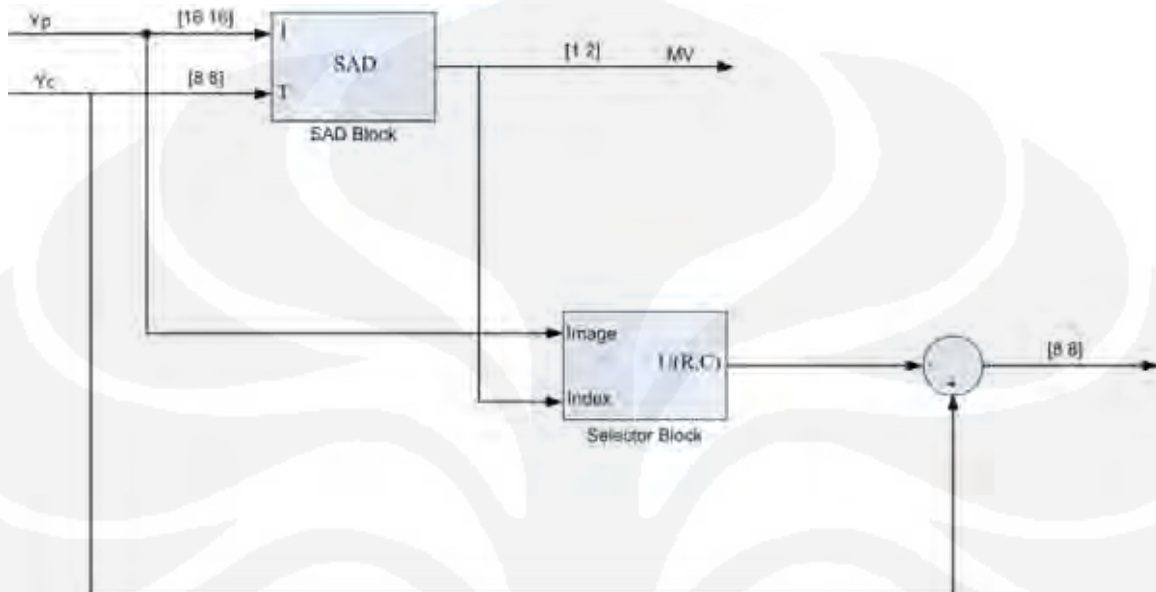
Setelah sebelumnya proses sub-sampling matrix selesai dilakukan, maka proses selanjutnya merupakan inti dari video kompresi tahap pertama yaitu *motion compensation* dengan menggunakan SAD algorithm. Dimana MB (macroblock) Yp dan MB (macroblock) Yc akan diproses oleh SAD block untuk mendapatkan matching block antara current frame dengan previous frame. Dimana proses SAD (Sum Absolute Differences) ditentukan dengan menggunakan rumus seperti terlihat pada Pers.(3.2) [6]:

$$C(j,k) = \sum_{m=0}^{M_i-1} \sum_{n=0}^{N_i-1} |I(m+j, n+k) - T(m,n)| \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan ketentuan bahwa : $0 \leq j < M_i - M_t + 1$ dan $0 \leq k < N_i - N_t + 1$
 dengan menggunakan SAD algorithm apabila nilai absolute C(j,k) semakin kecil maka semakin akurat kesamaan kedua block matrix Yc (Mt,Nt) dan Yp (Mi,Ni).
 Seperti terlihat pada Gambar 3.3 hasil dari SAD block adalah berupa index (row,column) yang merupakan MV (motion vector) untuk kemudian ditransmisikan ke sisi decoder.
 Setelah dimasukkan ke Pers.(3.2) [6] sehingga nilai SAD didapat :

Bahwa nilai j & k adalah : $0 \leq j < 9$ dan $0 \leq k < 9$

$$C(j,k) = \sum_{m=0}^7 \sum_{n=0}^7 |I(m+j), (n+k) - T(m,n)|$$



Gambar 3.3 Block Motion compensation

Berikut akan dijabarkan secara singkat penggunaan SAD algorithm dalam mencari keseragaman kedua block matrix pada current frame dan previous frame.

Tabel 3.2 Perhitungan untuk nilai SAD = C (0,0)

m = 0	m = 1	m = 2	m = 3
I(0,0) - T(0,0)	I(1,0) - T(1,0)	I(2,0) - T(2,0)	I(3,0) - T(3,0)
I(0,1) - T(0,1)	I(1,1) - T(1,1)	I(2,1) - T(2,1)	I(3,1) - T(3,1)
I(0,2) - T(0,2)	I(1,2) - T(1,2)	I(2,2) - T(2,2)	I(3,2) - T(3,2)
I(0,3) - T(0,3)	I(1,3) - T(1,3)	I(2,3) - T(2,3)	I(3,3) - T(3,3)
I(0,4) - T(0,4)	I(1,4) - T(1,4)	I(2,4) - T(2,4)	I(3,4) - T(3,4)
I(0,5) - T(0,5)	I(1,5) - T(1,5)	I(2,5) - T(2,5)	I(3,5) - T(3,5)
I(0,6) - T(0,6)	I(1,6) - T(1,6)	I(2,6) - T(2,6)	I(3,6) - T(3,6)
I(0,7) - T(0,7)	I(1,7) - T(1,7)	I(2,7) - T(2,7)	I(3,7) - T(3,7)
$\Sigma(m=0)$	$\Sigma(m=1)$	$\Sigma(m=2)$	$\Sigma(m=3)$

m = 4	m = 5	m = 6	m = 7
I(4,0) - T(4,0)	I(5,0) - T(5,0)	I(6,0) - T(6,0)	I(7,0) - T(7,0)
I(4,1) - T(4,1)	I(5,1) - T(5,1)	I(6,1) - T(6,1)	I(7,1) - T(7,1)
I(4,2) - T(4,2)	I(5,2) - T(5,2)	I(6,2) - T(6,2)	I(7,2) - T(7,2)
I(4,3) - T(4,3)	I(5,3) - T(5,3)	I(6,3) - T(6,3)	I(7,3) - T(7,3)
I(4,4) - T(4,4)	I(5,4) - T(5,4)	I(6,4) - T(6,4)	I(7,4) - T(7,4)
I(4,5) - T(4,5)	I(5,5) - T(5,5)	I(6,5) - T(6,5)	I(7,5) - T(7,5)
I(4,6) - T(4,6)	I(5,6) - T(5,6)	I(6,6) - T(6,6)	I(7,6) - T(7,6)
I(4,7) - T(4,7)	I(5,7) - T(5,7)	I(6,7) - T(6,7)	I(7,7) - T(7,7)
$\Sigma(m=4)$	$\Sigma(m=5)$	$\Sigma(m=6)$	$\Sigma(m=7)$

Dari Tabel 3.2 setelah semua koefisien MB dimasukkan ke rumus SAD didapat nilai:

$$C(0,0) = \sum \{ \Sigma(m=0) + \Sigma(m=1) + \Sigma(m=2) + \Sigma(m=3) + \Sigma(m=4) + \Sigma(m=5) + \Sigma(m=6) + \Sigma(m=7) \}.$$

Tabel 3.3 Perhitungan untuk nilai SAD = C (1,1)

m = 0	m = 1	m = 2	m = 3
I(1,1) - T(0,0)	I(2,1) - T(1,0)	I(3,1) - T(2,0)	I(4,1) - T(3,0)
I(1,2) - T(0,1)	I(2,2) - T(1,1)	I(3,2) - T(2,1)	I(4,2) - T(3,1)
I(1,3) - T(0,2)	I(2,3) - T(1,2)	I(3,3) - T(2,2)	I(4,3) - T(3,2)
I(1,4) - T(0,3)	I(2,4) - T(1,3)	I(3,4) - T(2,3)	I(4,4) - T(3,3)
I(1,5) - T(0,4)	I(2,5) - T(1,4)	I(3,5) - T(2,4)	I(4,5) - T(3,4)
I(1,6) - T(0,5)	I(2,6) - T(1,5)	I(3,6) - T(2,5)	I(4,6) - T(3,5)
I(1,7) - T(0,6)	I(2,7) - T(1,6)	I(3,7) - T(2,6)	I(4,7) - T(3,6)
I(1,8) - T(0,7)	I(2,8) - T(1,7)	I(3,8) - T(2,7)	I(4,8) - T(3,7)
$\Sigma(m=0)$	$\Sigma(m=1)$	$\Sigma(m=2)$	$\Sigma(m=3)$

m = 4	m = 5	M = 6	m = 7
I(5,1) - T(4,0)	I(6,1) - T(5,0)	I(7,1) - T(6,0)	I(8,1) - T(7,0)
I(5,2) - T(4,1)	I(6,2) - T(5,1)	I(7,2) - T(6,1)	I(8,2) - T(7,1)
I(5,3) - T(4,2)	I(6,3) - T(5,2)	I(7,3) - T(6,2)	I(8,3) - T(7,2)
I(5,4) - T(4,3)	I(6,4) - T(5,3)	I(7,4) - T(6,3)	I(8,4) - T(7,3)
I(5,5) - T(4,4)	I(6,5) - T(5,4)	I(7,5) - T(6,4)	I(8,5) - T(7,4)
I(5,6) - T(4,5)	I(6,6) - T(5,5)	I(7,6) - T(6,5)	I(8,6) - T(7,5)
I(5,7) - T(4,6)	I(6,7) - T(5,6)	I(7,7) - T(6,6)	I(8,7) - T(7,6)
I(5,8) - T(4,7)	I(6,8) - T(5,7)	I(7,8) - T(6,7)	I(8,8) - T(7,7)
$\Sigma(m=4)$	$\Sigma(m=5)$	$\Sigma(m=6)$	$\Sigma(m=7)$

Dari Tabel 3.3 setelah semua koefisien MB dimasukkan ke rumus SAD didapat nilai:

$$C(1,1) = \sum \{ \sum(m=0) + \sum(m=1) + \sum(m=2) + \sum(m=3) + \sum(m=4) + \sum(m=5) + \sum(m=6) + \sum(m=7) \}.$$

Tabel 3.4 Perhitungan untuk nilai SAD = C (2,2)

m = 0	m = 1	m = 2	m = 3
I(2,2) - T(0,0)	I(3,2) - T(1,0)	I(4,2) - T(2,0)	I(5,2) - T(3,0)
I(2,3) - T(0,1)	I(3,3) - T(1,1)	I(4,3) - T(2,1)	I(5,3) - T(3,1)
I(2,4) - T(0,2)	I(3,4) - T(1,2)	I(4,4) - T(2,2)	I(5,4) - T(3,2)
I(2,5) - T(0,3)	I(3,5) - T(1,3)	I(4,5) - T(2,3)	I(5,5) - T(3,3)
I(2,6) - T(0,4)	I(3,6) - T(1,4)	I(4,6) - T(2,4)	I(5,6) - T(3,4)
I(2,7) - T(0,5)	I(3,7) - T(1,5)	I(4,7) - T(2,5)	I(5,7) - T(3,5)
I(2,8) - T(0,6)	I(3,8) - T(1,6)	I(4,8) - T(2,6)	I(5,8) - T(3,6)
I(2,9) - T(0,7)	I(3,9) - T(1,7)	I(4,9) - T(2,7)	I(5,9) - T(3,7)
$\sum(m=0)$	$\sum(m=1)$	$\sum(m=2)$	$\sum(m=3)$

m = 4	m = 5	m = 6	m = 7
I(6,2) - T(4,0)	I(7,2) - T(5,0)	I(8,2) - T(6,0)	I(9,1) - T(7,0)
I(6,3) - T(4,1)	I(7,3) - T(5,1)	I(8,3) - T(6,1)	I(9,2) - T(7,1)
I(6,4) - T(4,2)	I(7,4) - T(5,2)	I(8,4) - T(6,2)	I(9,3) - T(7,2)
I(6,5) - T(4,3)	I(7,5) - T(5,3)	I(8,5) - T(6,3)	I(9,4) - T(7,3)
I(6,6) - T(4,4)	I(7,6) - T(5,4)	I(8,6) - T(6,4)	I(9,5) - T(7,4)
I(6,7) - T(4,5)	I(7,7) - T(5,5)	I(8,7) - T(6,5)	I(9,6) - T(7,5)
I(6,8) - T(4,6)	I(7,8) - T(5,6)	I(8,8) - T(6,6)	I(9,7) - T(7,6)
I(6,9) - T(4,7)	I(7,9) - T(5,7)	I(8,9) - T(6,7)	I(9,8) - T(7,7)
$\sum(m=4)$	$\sum(m=5)$	$\sum(m=6)$	$\sum(m=7)$

Dari Tabel 3.4 setelah semua koefisien MB dimasukkan ke rumus SAD didapat nilai:

$$C(2,2) = \sum \{ \sum(m=0) + \sum(m=1) + \sum(m=2) + \sum(m=3) + \sum(m=4) + \sum(m=5) + \sum(m=6) + \sum(m=7) \}.$$

Begitu seterusnya proses operasi koefisien-koefisien MB (macroblock) pada algoritma SAD untuk matrix I[16 16] dengan T[8 8] sampai mencapai nilai j = 8 dan k = 8. oleh sebab itu diperoleh proses perhitungan SAD untuk harga C(8,8) seperti terlihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Perhitungan untuk nilai SAD = C (8,8)

m = 0	m = 1	m = 2	m = 3
I(8,8) - T(0,0)	I(9,8) - T(1,0)	I(10,8) - T(2,0)	I(11,8) - T(3,0)
I(8,9) - T(0,1)	I(9,9) - T(1,1)	I(10,9) - T(2,1)	I(11,9) - T(3,1)
I(8,10) - T(0,2)	I(9,10) - T(1,2)	I(10,10) - T(2,2)	I(11,10) - T(3,2)
I(8,11) - T(0,3)	I(9,11) - T(1,3)	I(10,11) - T(2,3)	I(11,11) - T(3,3)
I(8,12) - T(0,4)	I(9,12) - T(1,4)	I(10,12) - T(2,4)	I(11,12) - T(3,4)
I(8,13) - T(0,5)	I(9,13) - T(1,5)	I(10,13) - T(2,5)	I(11,13) - T(3,5)
I(8,14) - T(0,6)	I(9,14) - T(1,6)	I(10,14) - T(2,6)	I(11,14) - T(3,6)
I(8,15) - T(0,7)	I(9,15) - T(1,7)	I(10,15) - T(2,7)	I(11,15) - T(3,7)
$\Sigma(m=0)$	$\Sigma(m=1)$	$\Sigma(m=2)$	$\Sigma(m=3)$

m = 4	m = 5	m = 6	m = 7
I(12,8) - T(4,0)	I(13,8) - T(5,0)	I(14,8) - T(6,0)	I(15,8) - T(7,0)
I(12,9) - T(4,1)	I(13,9) - T(5,1)	I(14,9) - T(6,1)	I(15,9) - T(7,1)
I(12,10) - T(4,2)	I(13,10) - T(5,2)	I(14,10) - T(6,2)	I(15,10) - T(7,2)
I(12,11) - T(4,3)	I(13,11) - T(5,3)	I(14,11) - T(6,3)	I(15,11) - T(7,3)
I(12,12) - T(4,4)	I(13,12) - T(5,4)	I(14,12) - T(6,4)	I(15,12) - T(7,4)
I(12,13) - T(4,5)	I(13,13) - T(5,5)	I(14,13) - T(6,5)	I(15,13) - T(7,5)
I(12,14) - T(4,6)	I(13,14) - T(5,6)	I(14,14) - T(6,6)	I(15,14) - T(7,6)
I(12,15) - T(4,7)	I(13,15) - T(5,7)	I(14,15) - T(6,7)	I(15,15) - T(7,7)
$\Sigma(m=4)$	$\Sigma(m=5)$	$\Sigma(m=6)$	$\Sigma(m=7)$

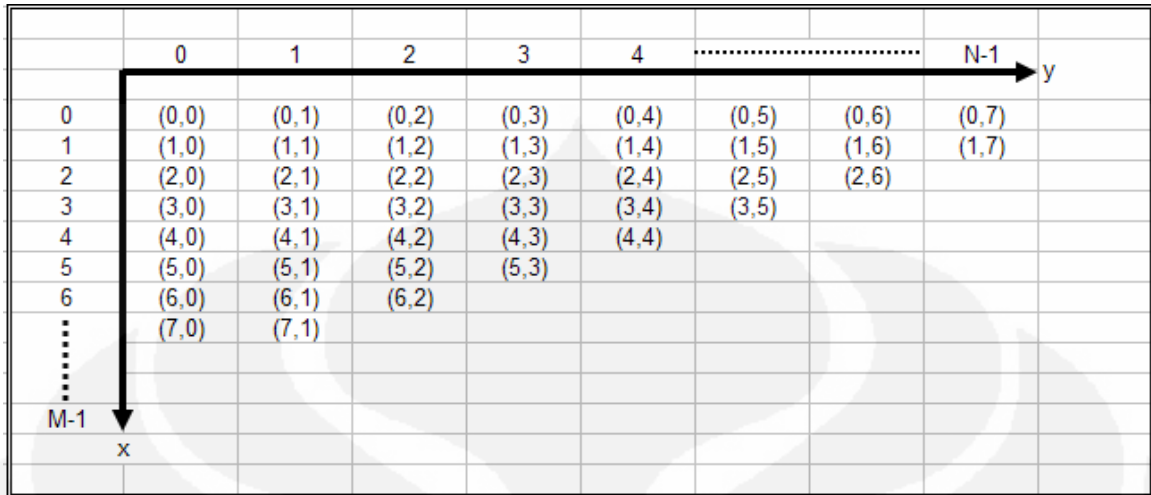
Dari Tabel 3.5 setelah semua koefisien MB dimasukkan ke rumus SAD didapat nilai:

$$C(8,8) = \sum \{ \Sigma(m=0) + \Sigma(m=1) + \Sigma(m=2) + \Sigma(m=3) + \Sigma(m=4) + \Sigma(m=5) + \Sigma(m=6) + \Sigma(m=7) \}.$$

Dalam algoritma SAD (sum absolute differences) maka akan dilakukan operasi perbandingan dari semua nilai-nilai C(j,k) yang telah diperoleh dari operasi pengurangan dan penjumlahan I[16 16] dan T[8 8] seperti terlihat pada table-table diatas.

Jadi nilai-nilai SAD: C(0,0) ; C(1,1) ; C(2,2) ; C(3,3) ; C(4,4) ; C(5,5) ; C(6,6) ; C(7,7) ; C(8,8) yang diperoleh, dari data diatas akan dicari nilai yang paling kecil dimana merepresentasikan bahwa MB T[8 8] matching dengan MB I[16 16] pada koordinat tertentu.

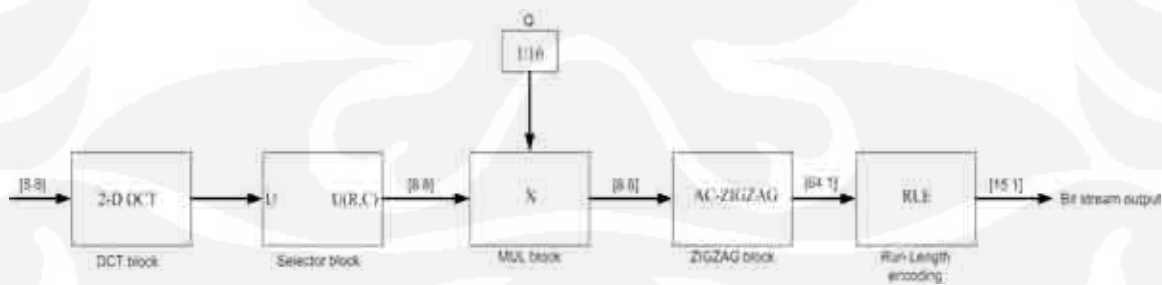
Gambar 3.4 [7] akan menjelaskan koordinat-koordinat koefisien yang terdapat pada sebuah matrix.



Gambar 3.4 coordinate of matrix coefficients description

3.4 Transform Coding block

Perancangan teknik kompresi yang terakhir pada sisi ENCODER adalah transform coding. Dimana dalam Tugas Akhir ini batasan masalahnya untuk teknik transformasi yang digunakan DCT 2-D (discrete cosine transform 2-Dimensi). Tahap ini juga merupakan stage akhir proses kompresi setelah sebelumnya mengalami 2 tahapan kompresi frame / deretan images dari file input 'shaky_car.avi'.



Gambar 3.5 Transform coding block

Dalam proses transformasi block images [8 8] ke dalam DCT (discrete cosine transform) berlaku rumus DCT sesuai dengan standart codec seperti Pers.(2.4) [3]:

$$F(u,v) = \left(\frac{2}{\sqrt{8 \times 8}} \right) \times C(v) \times C(u) \times \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 \left\{ f(x,y) \times \cos\left(\frac{(2x+1)\pi u}{2N} \right) \times \cos\left(\frac{(2y+1)\pi v}{2M} \right) \right\}$$

Sebagai ilustrasi transformasi coding MB [8 8] sampai pada tahap akhir block RLE (run-length-encoding) dimana akan mentransmisikan bit-bit biner saja '0' atau '1', maka akan dibahas proses yang terjadi dari setiap block pada transform coding.

Gambar 3.6 contoh original image [8 8] yang menjadi input untuk di transform coding:

139	144	149	153	155	155	155	155
144	151	153	156	159	156	156	156
150	155	160	163	158	156	156	156
159	161	162	160	160	159	159	159
159	160	161	162	162	155	155	155
161	161	161	161	160	157	157	157
162	162	161	163	162	157	157	157
162	162	161	161	163	158	158	158

Gambar 3.6 Original Image [8 8]

$$F(u,v) = \left(\frac{2}{\sqrt{8 \times 8}} \right) \times C(v) \times C(u) \times \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 \left\{ f(x,y) \times \cos\left(\frac{(2x+1)\pi u}{16} \right) \times \cos\left(\frac{(2y+1)\pi v}{16} \right) \right\}$$

$$F(0,0) = ?$$

$$C(v) = C(u) = 1/\sqrt{2} \quad ; \text{ untuk kondisi } u, v = 0$$

$$C(v) = C(u) = 1 \quad ; \text{ untuk kondisi } u, v \neq 0$$

$$U = V = 0$$

$$F(0,0) = \left(\frac{2}{\sqrt{8 \times 8}} \right) \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 \left\{ 139 \times \cos\left(\frac{(2x+1)\pi u}{16} \right) \times \cos\left(\frac{(2y+1)\pi v}{16} \right) \right\}$$

$$= 1259,63$$

Setelah semua koefisien image [8 8] di transformasi dengan DCT maka didapatkan data koefisien-koefisien DCT seperti pada Gambar 3.7.

1269,63	-1.0	-12.1	-5.2	2.1	-1.7	-2.7	1.3
-22.6	-17.5	-6.2	-3.2	-2.9	0.1	0.4	-1.2
-10.9	-9.3	-1.6	1.5	0.2	-0.9	-0.6	-0.1
-7.1	-1.9	0.2	1.5	0.9	-0.1	0.0	0.3
-0.6	-0.8	1.5	1.6	-0.1	-0.7	0.6	1.3
1.8	-0.2	1.6	-0.3	-0.8	1.5	1.0	-1.0
-1.3	-0.4	-0.3	-1.5	-0.5	1.7	1.1	-0.8
-2.6	1.6	-3.8	-1.8	1.9	1.2	-0.6	-0.4

Gambar 3.7 koefisien-koefisien hasil DCT

Setelah didapatkan data $F(u,v)$ dari hasil DCT transform maka proses selanjutnya adalah kuantisasi. Dimana data kuantisasi yang dipakai dalam Tugas Akhir ini = 16 seperti terlihat dalam block design transform coding.

Dengan menggunakan rumus pada Pers.(3.3) [2]:

$$F^{q(u,v)} = \left[\frac{F(u,v)}{Q(u,v)} \right] \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana tanda [] hasil akan dibulatkan ke nilai integer yang terkecil. Oleh karena $Q(u,v)$ merupakan matrix [8 8] dengan nilai konstan = 16. karena menerjemahkan kedalam block simulink agak sulit maka diganti dengan proses perkalian dengan nilai konstan = 1/16 sehingga rumus proses kuantisasi akan menjadi :

$$F^{q(u,v)} = \left[\frac{F(u,v)}{16} \right] \dots\dots\dots (3.4)$$

Dari hasil perhitungan kuantisasi akan didapatkan koefisien AC dan DC yang kemudian akan digunakan block RLE (run-length encoding) untuk megkonversikan kedalam bentuk biner, matrix kuantisasi dan hasil kuantisasi seperti terlihat pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9.

16	16	16	16	16	16	16	16
----	----	----	----	----	----	----	----

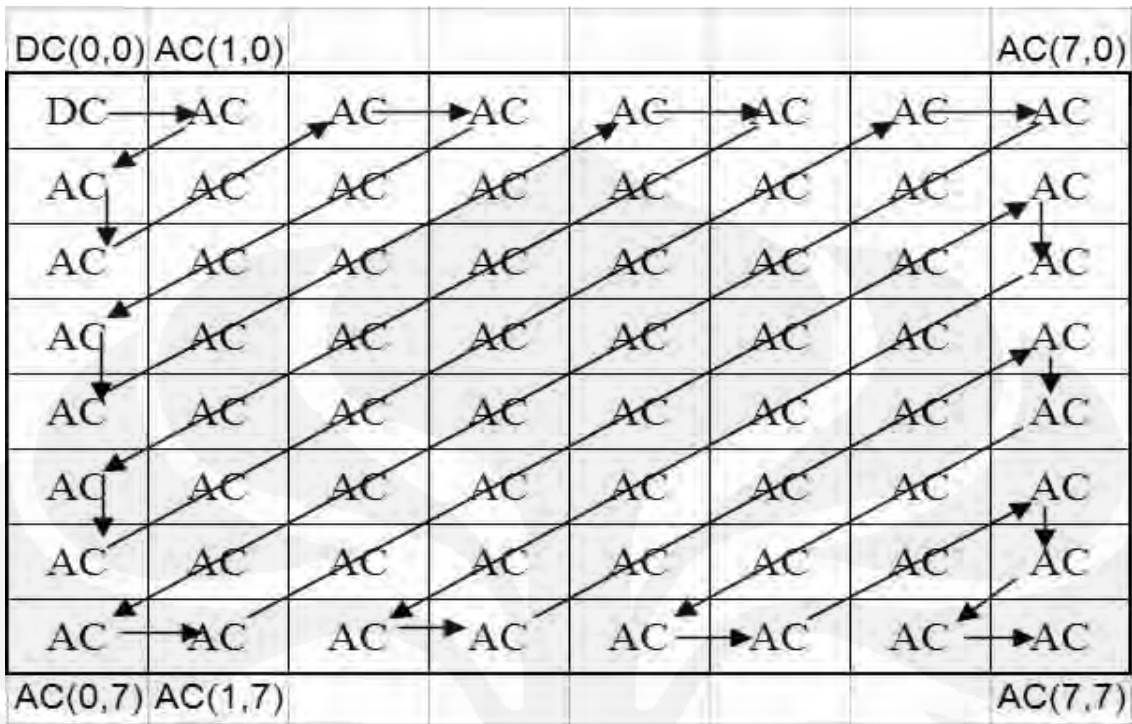
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16
16	16	16	16	16	16	16	16

Gambar 3.8 Tabel kuantisasi codec

69.5	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar 3.9 koefisien DC&AC hasil kuantisasi

Dari hasil kuantisasi seperti terlihat pada Gambar 3.8 terdapat beberapa angka integer 'zero' dan 'non zero'. Macroblock [8 8] yang telah terkuantisasi tersebut kemudian akan di lakukan pemrosesan zigzag scan AC zigzag block. Adapun cara kerja AC zigzag scan yang dipih pada Tugas Akhir ini menggunakan standart codec dan ditunjukkan seperti gambar 3.10 [2].



Gambar 3.10 DC&AC zigzag scan order standart codec

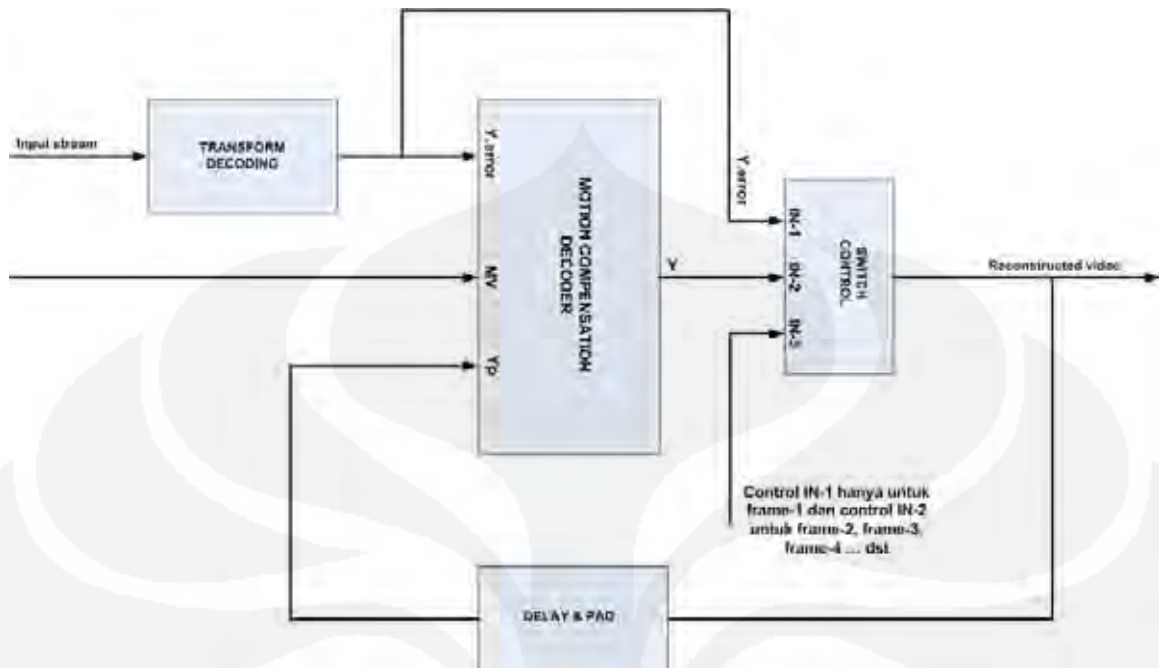
Sehingga design block zigzag scan dengan melakukan ordering parameter-parameter koefisien untuk sisi encoder sebagai berikut:

```
[0 1 8 16 9 2 3 10 17 24 32 25 18 11 4 5 12 19 26 33 40 48 41 34 27 20 13 6 7 14 21
28 35 42 49 56 57 50 43 36 29 22 15 23 30 37 44 51 58 59 52 45 38 31 39 46 53 60
61 54 47 55 62 63]
```

Hasil zigzag scan akan kemudian akan dikirim ke block RLE untuk di lakukan proses Run-Length-Encoding. Block RLE ini lah yang menjadi tahap akhir kompresi digital video karena Run-Length-Encoding akan menghasilkan codeword bit-bit biner '0' atau '1' pada koefisien DC serta AC non zero, pada Gambar 3.9 koefisien DC = 69,5 dan AC = -1 yang hanya dilakukan proses RLE jadi hanya tiga komponen yang akan ditransmisikan ke decoder yaitu : (69,5 ; -1 ; -1) dan ditambah EOB (End Of Block).

3.5 Decoder block

Dalam mendesign decoder susunan block-block mengacu pada block yang ada pada encoder dan setiap proses yang terjadi adalah inverse dan reconstruction matrix yang telah diolah sebelumnya.



Gambar 3.11 Decoder block

seperti terlihat dalam Gambar 3.11 block decoder disusun dari 4 block besar seperti:

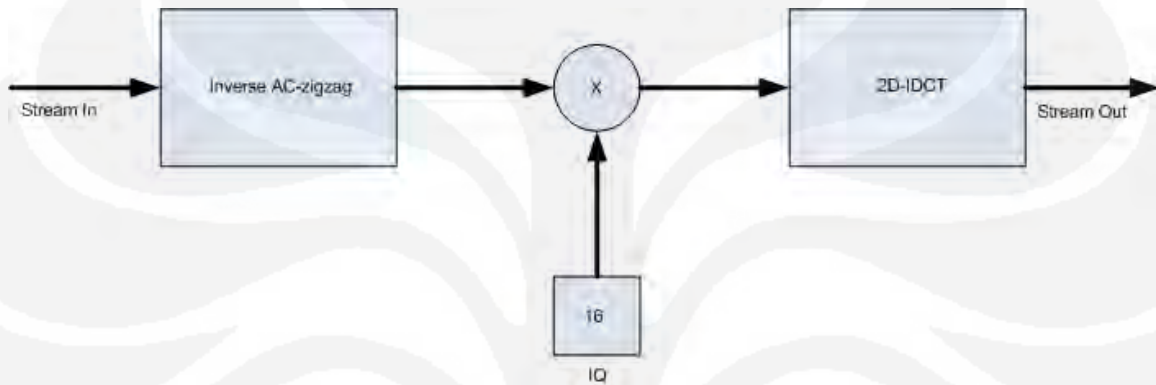
1. Transform decoding block : melakukan inverse proses RLE, de-zigzag scan, de-transform 2D-DCT.
2. Delay & PAD : melakukan proses delay dan padding pada matrix MB
3. Switch control : melakukan controlling bahwa frame-1 langsung di passthrough tanpa ada proses de-compensation selanjutnya frame-2, frame-3,...dst akan melewati proses de-compensation.
4. Motion compensation decoder : melakukan kompensasi motion dari Y-error hasil kompresi.

3.6 Transform decoding

Untuk block transform decoding, sub block yang digunakan ada 3 jenis: Inverse AC zigzag scan ordering, inverse kuantisasi dan terakhir inverse 2-D DCT. Yang membedakan disini design inverse AC zigzag scan dimana proses yang dilakukan sangat unik dan belum pernah dijabarkan sebelumnya. Parameter-parameter inilah yang menentukan kesuksesan dalam tahapan reconstruction video setelah di lakukan kompresi

pada motion / frekuensi image tidak signifikan. Data-data parameter AC zigzag scan ordering dan design sub-block transform decoding terlihat pada Gambar 3.12.

```
[1 2 6 7 15 16 28 29 3 5 8 14 17 27 30 43 4 9 13 18 26 31 42 44 10 12 19 25 32 41
45 54 11 20 24 33 40 46 53 55 21 23 34 39 47 52 56 61 22 35 38 48 51 57 60 62 36
37 49 50 58 59 63 64]
```



Gambar 3.12 Transform decoding block

3.7 Motion compensation decoder

Pada tahap akhir design sub-block encoder adalah motion compensation decoder seperti tampak pada Gambar 3.13 dimana terdiri dari selector matching dan adder matrix kompensasi. Pada sisi ini frame-1 yang digunakan sebagai master frame untuk melakukan prediksi frame-2, frame-3 dst. Dengan block select match inilah yang menghasilkan data matrix prediction untuk frame-2 yang kemudian akan di add (ditambahkan) dengan matrix kompensasi dan menjadi master frame-2 begitu seterusnya proses yang dilakukan di decoder untuk reconstruction lossy compression digital video dalam kasus ini file video shaky_car.avi.

Sehingga data frame-1 merupakan master block video yang harus terjaga keakuratannya pada saat proses transmisi, banyak cara yang bisa dilakukan sebagai contoh: HDB3 coding dan FEC (forward error correction).



Gambar 3.13 Motion compensation decoder

Data MV (motion vector) ini yang menjadi key success factor dalam melakukan rekonstruksi motion pada frame berikutnya setelah frame master. Karena berisi tentang koordinat (row,column) dari frame-frame yang telah dilakukan pengurangan temporal redundancy yang terjadi pada block encoder.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA VIDEO CODEC

Bab ini membahas tentang pengujian dan analisa prinsip kerja pada perancangan video codec dengan menggunakan tool software simulink matlab.

Sesuai dengan tujuan proyek akhir ini untuk mengimplementasikan proses coding dan decoding dengan menggunakan software simulink serta tool research tentang teknik kompresi pada digital video.

Metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui bahwa teknik kompresi telah berhasil dilakukan terdiri dari:

1. Pengukuran subjectif
2. Pengukuran objectif

Sehingga dari data yang diperoleh akan dianalisa dan dibandingkan dengan spesifikasi perancangan video codec.

Untuk mengetahui hasil video kompresi masih diatas ambang kerusakan kualitas gambar maka paling mudah menggunakan data subjectif dari penglihatan manusia yang akan ditampilkan oleh matrix viewer yang digunakan dalam proyek akhir ini.

4.1 Pengukuran subjectif

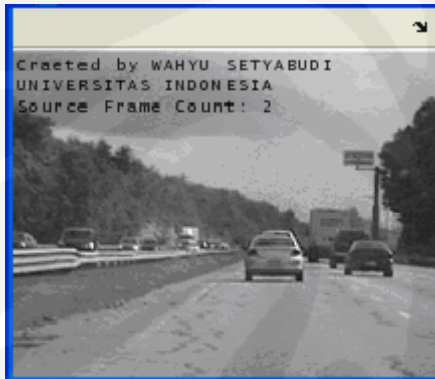
Pengukuran ini menggunakan metode persepsi tampilan visual yang ditampilkan secara komplek dengan cara interaksi antara komponen-komponen (human visual system) yaitu otak dan mata. Persepsi kualitas visual dipengaruhi oleh ketepatan spatial dimana seberapa jelas bagian-bagian gambar tersebut dapat dilihat dan perbedaanya dengan bagian yang terdistorsi juga ketepatan secara temporal apakah motion dari object terlihat natural atau tidak. Hal lain yang tidak kalah penting, pengaruh besar yang dirasakan dari kualitas visual sequence dari pada tampilan material image sesaat. hal ini yang menyebabkan dari semua faktor pengukuran sulit untuk menentukan kualitas secara pengukuran visual dengan akurat dan kuantitatif. dimana stream video yang akan ditampilkan pada Tugas Akhir ini sebanyak 31 frame per detik dengan sumber video ber-extension *.avi

yang berbeda untuk perbandingan analisa. Adapun schematic diagram pengukuran subjectif terlihat seperti Gambar 4.1.

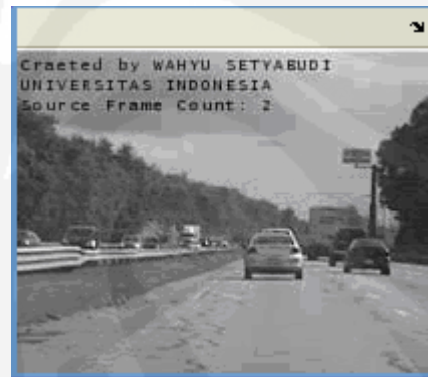


Gambar 4.1 Schematic diagram pengukuran subjectif

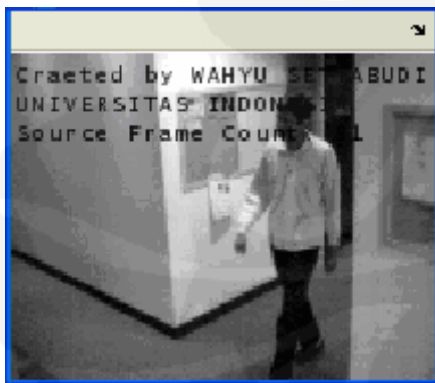
Dari hasil pengukuran didapat sample beberapa frame yang berasal dari sumber video shaky_car.avi, vipman.avi dan bike.mpg :



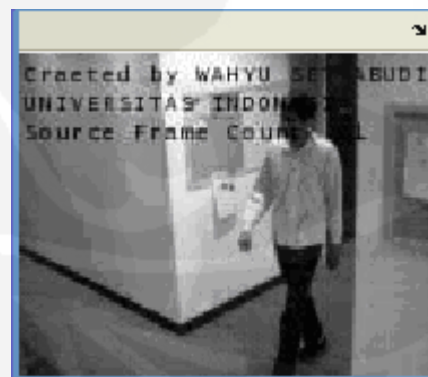
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.2 Hasil snapshot: (a) original frame-2 shaky_car, (b) hasil kompresi frame-2 shaky_car, (c) original frame-31 vipman dan (d) hasil kompresi frame-31 vipman



(a)



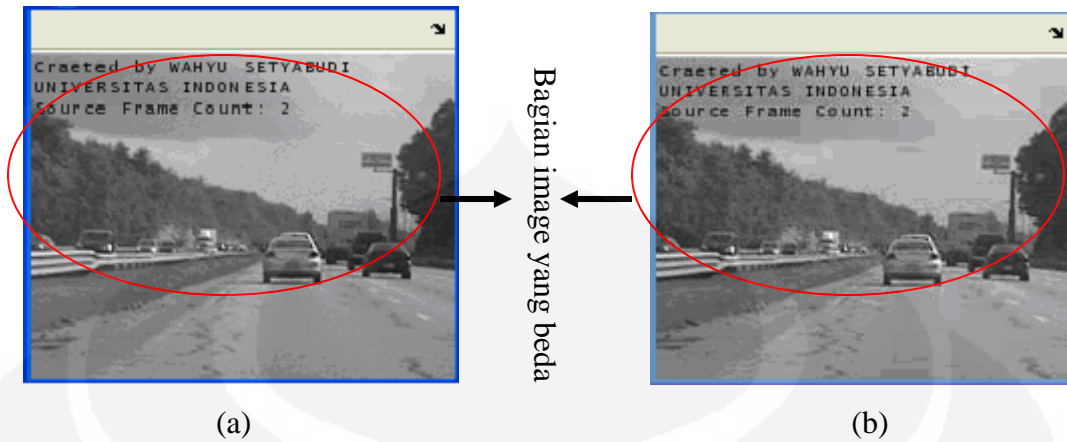
(b)

Gambar 4.3 Hasil snapshot: (a) original frame-14 Bike dan (b) hasil kompresi frame-14 Bike

Dari hasil snapshot pada matrix viewer terlihat secara subjectif perbedaan antara video original dengan video hasil kompresi. Dengan menggunakan metode DSCQS (double stimulus continous quality scale) dimana setiap responden akan melihat tampilan video original dan video hasil kompresi secara bersamaan, kemudian mereka memberikan score / grade dari 1 – 5 (bad – excellence) [8] dan hasilnya seperti terlihat pada Tabel 4.1.

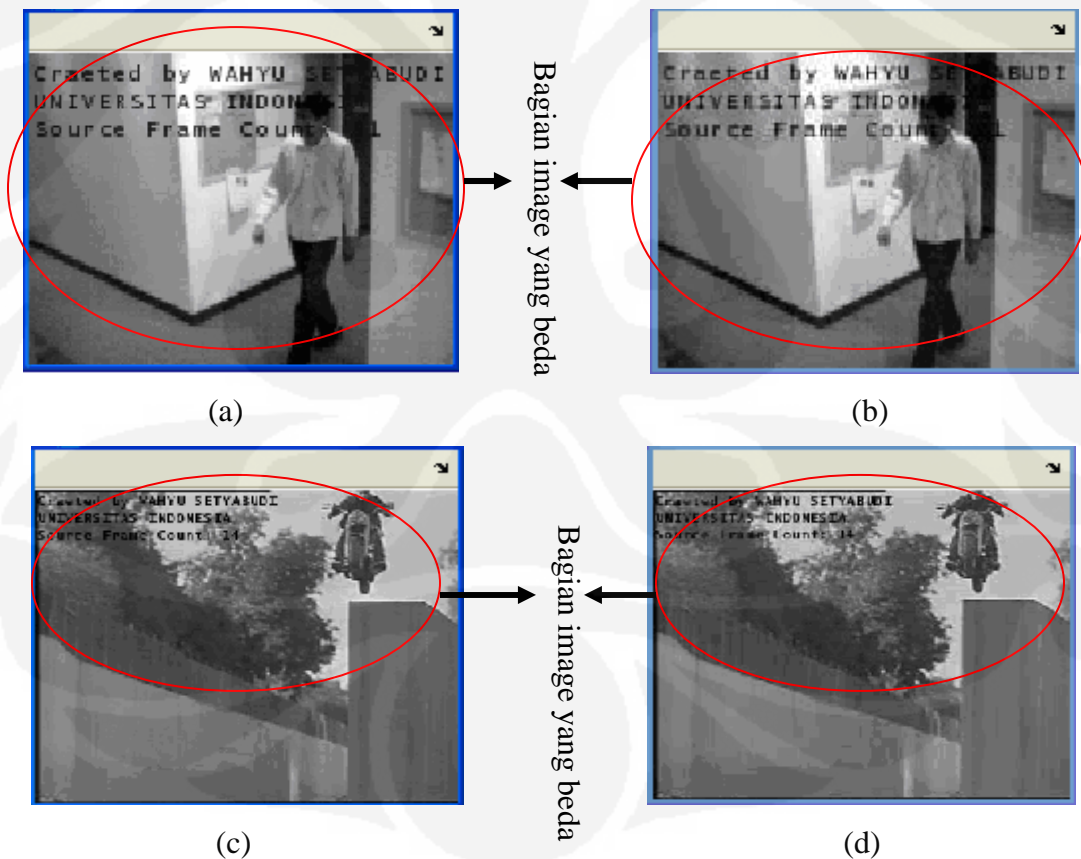
Pengukuran dengan menggunakan komponen HVS (human visual system) untuk analisa terbatas pada ketepatan spatal, dikarenakan bentuk file adalah sequence images sehingga sulit untuk menggambarkan kualitas ketepatan secara temporal. File video input yang digunakan sebagai bahan analisa adalah: Shaky_car.avi dengan resolusi = $[160 * 208] = 33280$ pixel dan jumlah frame = 31

Vipman.avi dengan resolusi = $[160 * 208] = 33280$ pixel dan jumlah frame = 31 dan Bike.mpg dengan resolusi = $[240 * 320] = 76800$ pixel dan jumlah frame = 31. Ketepatan spatal hasil snapshot shaky_car original dan shaky_car hasil kompresi memperlihatkan terjadinya perbedaan beberapa pixel image pada frekuensi tinggi dan terletak pada koordinat-koordinat tertentu, seperti terlihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 yang dilingkari merah.



Gambar 4.4 Hasil snapshot daerah pixel frekuensi tinggi: (a) original shaky_car dan (b) hasil kompresi shaky_car

Begitu pula untuk sampel frame sebagai analisa tambahan untuk membedakan ketepatan spasial yang dinilai secara pengukuran subjectif yang diambil pada vipman.avi dan Bike.mpg:



Gambar 4.5 Hasil snapshot daerah pixel frekuensi tinggi: (a) original vipman, (b) hasil kompresi vipman, (c) original Bike dan (d) hasil kompresi Bike

Tabel 4.1 Hasil polling penilaian kualitas video kompresi secara subjectif

No	Nama Respondent	Grade Penilaian untuk metode pengukuran kualitas <i>video compression</i> secara subjectif				
		1	2	3	4	5
1	Nadia				√	
2	Adelia				√	
3	Hidayah				√	
4	Gunadi				√	
5	Gilang			√		
6	Bangkit			√		
7	Zahara				√	
8	Dini			√		
9	Agus			√		
10	Fahrul			√		
11	Arif				√	
12	Eddy			√		
13	Wisnu			√		
14	Heru			√		
15	Toni			√		
16	Wawan			√		
17	Asep			√		
18	Firza				√	
19	Mila			√		
20	Fari			√		
21	Alif			√		
22	Chichi				√	
23	Puspa				√	
24	Mukti				√	
25	Mujahid				√	
26	Nova			√		
27	Juni			√		
28	Andi				√	
29	Tossa				√	
30	Bambang			√		

Keterangan :

- a. Grade 1 dan 2 = *Bad*
- b. Grade 3 = *Fair*
- c. Grade 4 = *Good*
- d. Grade 5 = *Excellence*

Dari hasil pengujian secara subjectif, dilakukan polling sebanyak 30 respondent untuk membuktikan tampilan video hasil kompresi baik secara spatial dan temporal oleh komponen-komponen HVS (*human visual system*) dari respondent tersebut. Berikut hasil polling 30 respondent :

1. Respondent yang mengatakan kualitas video *Bad* :

$$\frac{0}{30} \times 100\% = 0\%$$

2. Respondent yang mengatakan kualitas video *Fair* :

$$\frac{17}{30} \times 100\% = 56,67\%$$

3. Respondent yang mengatakan kualitas video *Good* :

$$\frac{13}{30} \times 100\% = 43,33\%$$

4. Respondent yang mengatakan kualitas video *Excellence* :

$$\frac{0}{30} \times 100\% = 0\%$$

4.2 Pengukuran objectif

Dari pengukuran kualitas secara subjectif dimana mempunyai parameter yang sangat kompleks, oleh karena itu dimungkinkan untuk membuat pengukuran kualitas video kompresi secara automatically dengan menggunakan metode / algorithm tertentu. Dalam pembuatan kompresi video dan video processing system sangat rumit sehingga membutuhkan pengukuran kualitas secara objectif. Pada umumnya pengukuran yang digunakan untuk mengetahui kualitas spatial dan temporal video kompresi adalah menggunakan PSNR (peak signal to noise ratio) dengan satuan dB (decibel).

Pengukuran ini dilakukan dalam skala logarithmic dimana hasilnya sangat dipengaruhi oleh parameter-parameter dibawah ini:

1. MSE (mean squared error) ialah jumlah dari semua kuadrat perbedaan koefisien-koefisien image original dengan image hasil kompresi.
2. Besar dimensi [Row Column] dari besar resolusi spatial pada image original maupun image hasil kompresi.

Semakin besar harga PSNR maka semakin bagus kualitas image hasil kompresi. Oleh karena itu akan dijabarkan rumus / formula untuk menghitung harga MSE dan PSNR:

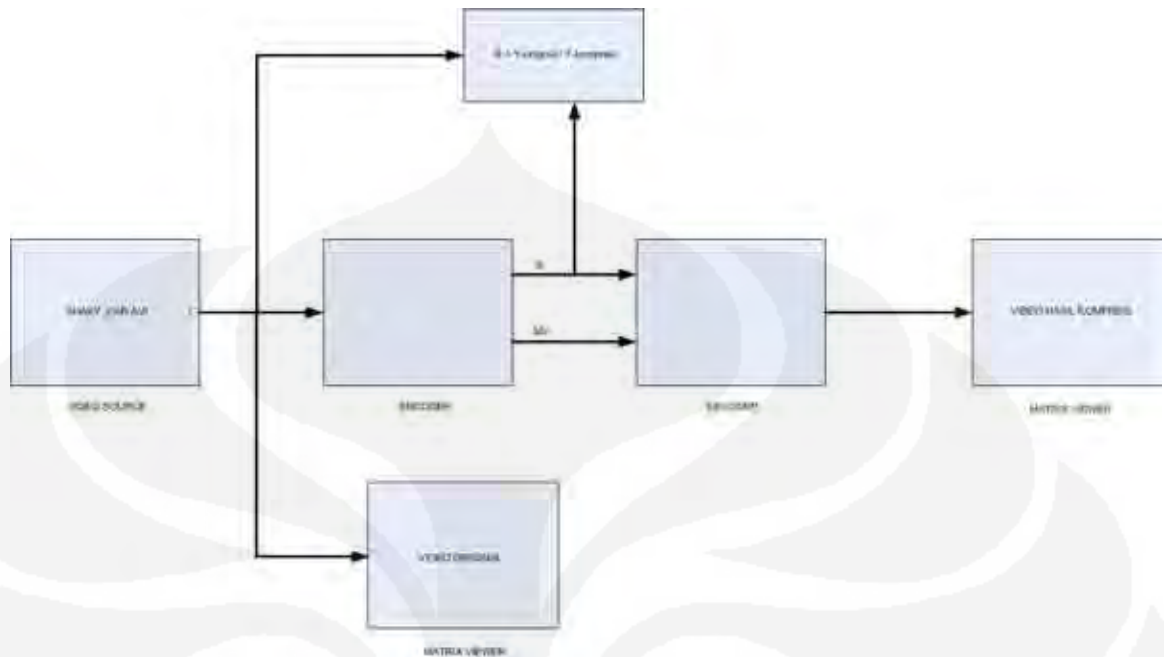
$$MSE = \frac{\sum_{M,N} (I_1(m,n) - I_2(m,n))^2}{M \times N} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$PSNR = 10Log\left(\frac{R^2}{MSE}\right) \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana nilai MSE diambil dari pengukuran secara langsung dengan menggunakan block-block yang ada di simulink untuk mengimplementasikan rumus MSE diatas. Dan R adalah nilai koefisien maximum fluktuasi pada input image yang akan dilakukan pengukuran dengan besar = 255.

4.2.1 Data Pengukuran ratio compression

Perancangan teknik kompresi video codec dapat dilihat performancinya dalam melakukan kompresi video digital dengan mengetahui jumlah ratio kompresi dan masih menjaga kualitas spatial dan temporal video digital. Tabel 4.2 menunjukkan data pengukuran sample input video shaky_car.avi sebagai berikut:



Gambar 4.6 Schematic block diagram pengukuran ratio compression shaky_car.avi

Tabel 4.2 hasil pengukuran ratio kompresi shaky_car.avi

Durasi time (0 dt – 1 dt)	Urutan Frame	Σ (koefisien input video)	Σ (koefisien output video)	R = Yin / Yout
0	Frame-1	266240	66884	3.9806
0.033333	Frame-2	266240	70383	3.7827
0.066667	Frame-3	266240	106140	2.5084
0.1	Frame-4	266240	69245	3.8449
0.13333	Frame-5	266240	71814	3.7074
0.16667	Frame-6	266240	96633	2.7552
0.2	Frame-7	266240	70476	3.7777
0.23333	Frame-8	266240	71560	3.7205
0.26667	Frame-9	266240	97557	2.7291
0.3	Frame-10	266240	68217	3.9028
0.33333	Frame-11	266240	68409	3.8919
0.36667	Frame-12	266240	93838	2.8372
0.4	Frame-13	266240	71871	3.7044

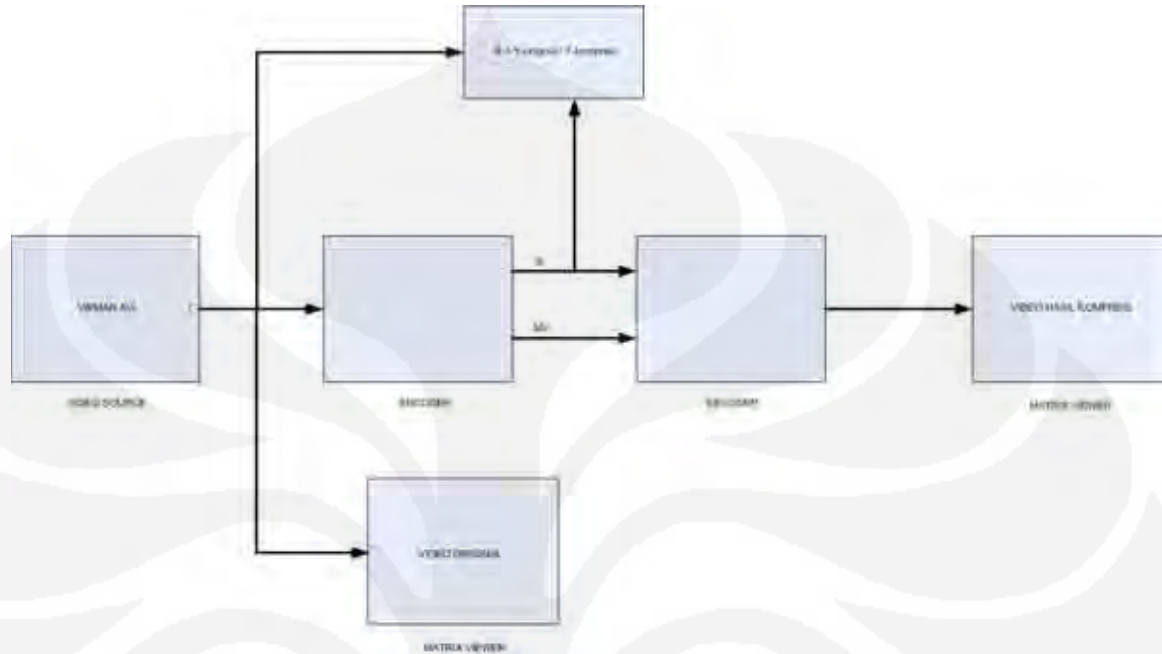
0.43333	Frame-14	266240	68844	3.8673
0.46667	Frame-15	266240	92740	2.8708
0.5	Frame-16	266240	73487	3.623
0.53333	Frame-17	266240	72717	3.6613
0.56667	Frame-18	266240	92974	2.8636
0.6	Frame-19	266240	73675	3.6137
0.63333	Frame-20	266240	71634	3.7167
0.66667	Frame-21	266240	100212	2.6568
0.7	Frame-22	266240	72753	3.6595
0.73333	Frame-23	266240	74321	3.5823
0.76667	Frame-24	266240	98857	2.6932
0.8	Frame-25	266240	75285	3.5364
0.83333	Frame-26	266240	75539	3.5245
0.86667	Frame-27	266240	96832	2.7495
0.9	Frame-28	266240	75383	3.5318
0.93333	Frame-29	266240	74637	3.5671
0.96667	Frame-30	266240	102719	2.5919
1	Frame-31	266240	74409	3.5781

Dari data Tabel 4.2 terlihat bahwa teknik kompresi pada codec video digital yang telah di rancang mempunyai ratio kompresi rata-rata $\geq 50\%$, ratio kompresi menunjukkan teknik coding-decoding video digital telah mampu melakukan beberapa pengurangan byte / elemen image seperti:

1. Spatial redundancy : dimana proses terjadi pada operasi DCT (discrete cosine transform) dan kuantisasi.
2. Temporal redundancy : dimana proses ini terjadi pada block motion kompensasi disisi encoder.
3. Entropy coding : dimana proses ini terjadi pada RLE (run length encoding) block.

namun secara subjectif hasil snapshot menunjukkan kualitas spatial yang masih bagus. Untuk menambah data unjuk kerja dari video digital codec

maka file input yang kedua dari shaky_car.avi dirubah menjadi vipman.avi seperti terlihat pada tabel 4.3 hasil ratio kompresi video vipman.avi:



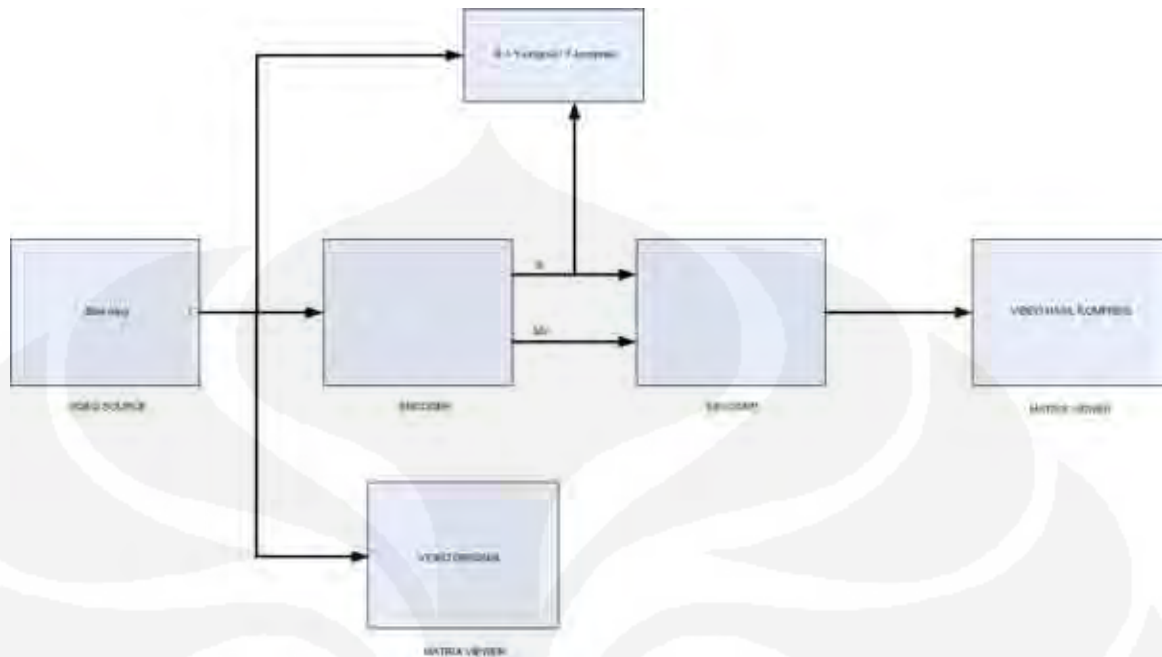
Gambar 4.7 Schematic block diagram pengukuran ratio compression vipman.avi

Tabel 4.3 hasil pengukuran ratio kompresi vipman.avi

Durasi time (0 dt – 1 dt)	Urutan Frame	$\sum(\text{koefisien input video})$	$\sum(\text{koefisien output video})$	$R = Y_{in} / Y_{out}$
0	Frame-1	143360	40178	3.5681
0.033333	Frame-2	143360	40216	3.5648
0.066667	Frame-3	143360	57654	2.4866
0.1	Frame-4	143360	40207	3.5655
0.13333	Frame-5	143360	40266	3.5603
0.16667	Frame-6	143360	54189	2.6456
0.2	Frame-7	143360	40334	3.5543
0.23333	Frame-8	143360	40235	3.5631
0.26667	Frame-9	143360	52162	2.7484
0.3	Frame-10	143360	40562	3.5343
0.33333	Frame-11	143360	40414	3.5473
0.36667	Frame-12	143360	49686	2.8853

0.4	Frame-13	143360	40478	3.5417
0.43333	Frame-14	143360	40413	3.5474
0.46667	Frame-15	143360	51216	2.7991
0.5	Frame-16	143360	41013	3.4955
0.53333	Frame-17	143360	41370	3.4653
0.56667	Frame-18	143360	51632	2.7766
0.6	Frame-19	143360	42113	3.4042
0.63333	Frame-20	143360	42219	3.3956
0.66667	Frame-21	143360	55623	2.5774
0.7	Frame-22	143360	41644	3.4425
0.73333	Frame-23	143360	41862	3.4246
0.76667	Frame-24	143360	50093	2.8619
0.8	Frame-25	143360	42082	3.4067
0.83333	Frame-26	143360	42245	3.3935
0.86667	Frame-27	143360	52794	2.7155
0.9	Frame-28	143360	42696	3.3577
0.93333	Frame-29	143360	42546	3.3695
0.96667	Frame-30	143360	57422	2.4966
1	Frame-31	143360	43195	3.3189

File video input yang ketiga adalah Bike.mpg, pengambilan data rasio kompresi ini didapat dari sampel frame / image sequence sebanyak 31 kali tetapi tidak berarti bahwa jumlah frame shaky_car.avi, vipman.avi dan bike.mpg = 31 mungkin bisa lebih tergantung dari pengamatan kita kapan image sequence kembali pada posisi semula. dimana block diagram pengukuran seperti tampak pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Schematic block diagram pengukuran ratio compression Bike.mpg

Tabel 4.4 hasil pengukuran ratio kompresi Bike.mpg

Durasi time (0 dt – 1 dt)	Urutan Frame	Σ (koefisien input video)	Σ (koefisien output video)	$R = Y_{in} / Y_{out}$
0	Frame-1	614400	147928	4.1534
0.033333	Frame-2	614400	144918	4.2396
0.066667	Frame-3	614400	198986	3.0877
0.1	Frame-4	614400	141751	4.3344
0.13333	Frame-5	614400	136110	4.514
0.16667	Frame-6	614400	176525	3.4805
0.2	Frame-7	614400	147128	4.176
0.23333	Frame-8	614400	136991	4.485
0.26667	Frame-9	614400	166145	3.698
0.3	Frame-10	614400	141925	4.329
0.33333	Frame-11	614400	135307	4.5408
0.36667	Frame-12	614400	158712	3.8712
0.4	Frame-13	614400	145388	4.2259

0.43333	Frame-14	614400	135877	4.5217
0.46667	Frame-15	614400	161682	3.8001
0.5	Frame-16	614400	138624	4.4321
0.53333	Frame-17	614400	136442	4.503
0.56667	Frame-18	614400	165328	3.7162
0.6	Frame-19	614400	144530	4.251
0.63333	Frame-20	614400	136696	4.4946
0.66667	Frame-21	614400	174767	3.5155
0.7	Frame-22	614400	138542	4.4348
0.73333	Frame-23	614400	131541	4.6708
0.76667	Frame-24	614400	175910	3.4927
0.8	Frame-25	614400	141615	4.3385
0.83333	Frame-26	614400	134058	4.5831
0.86667	Frame-27	614400	185675	3.309
0.9	Frame-28	614400	135599	4.531
0.93333	Frame-29	614400	126902	4.8415
0.96667	Frame-30	614400	175212	3.5066
1	Frame-31	614400	137556	4.4665

Setelah didapatkan data rasio kompresi pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 yang digunakan sebagai bahan perbandingan bahwa dengan input video vipma.avi dan Bike.mpg block codec tetap menunjukkan ratio compressi rata-rata $\geq 50\%$, artinya codec tetap konsisten dengan kinerjanya untuk melakukan pengolahan dan kompresi image. Berapapun jumlah video input yang akan di kompres dengan menggunakan teknik coding-decoding ini akan tetap menghasilkan rata-rata ratio kompresi $\pm 50\%$.

4.2.2 Data Pengukuran PSNR

Tahap akhir pengujian yang dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari system codec adalah dengan mengukur PSNR (peak signal to noise ratio). Metode pengukuran ini di teknik video coding dinamakan pengukuran objectif, karena semua penilaian kualitas spatial dan motion dilakukan oleh algorithm matematik untuk menunjukkan tingkat error / noise yang timbul pada pixel-pixel images yang di transmisikan.

Dimana rumus yang digunakan dalam menghitung PSNR :

$$PSNR = 10 \text{Log} \left(\frac{255^2}{MSE} \right)$$

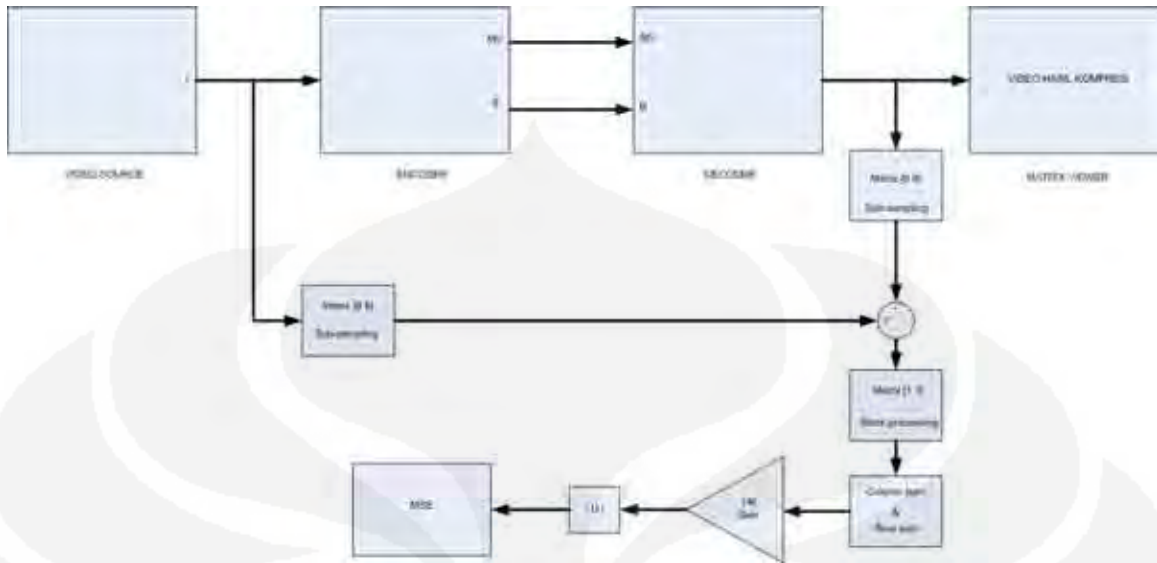
Dimana nilai R = 255, sehingga menjadi:

$$PSNR = 10 \text{Log} \left(\frac{65025}{MSE} \right)$$

Untuk mendapatkan nilai MSE mulai dari frame-1 sampai frame-31 maka Dirancang system pengukuran MSE dengan block-block yang ada pada program simulink tentunya mengacu pada rumus umum yang sudah standart yaitu :

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} (I_1(m,n) - I_2(m,n))^2}{M \times N}$$

Dimana untuk schematic diagram pengukuran tersebut seperti tampak pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Schematic block diagram pengukuran MSE (mean squared error)

Sample – 1:

Urutan frame = 2 (shaky_car.avi) dan besar MSE = 38,8834

Sehingga didapat nilai PSNR :

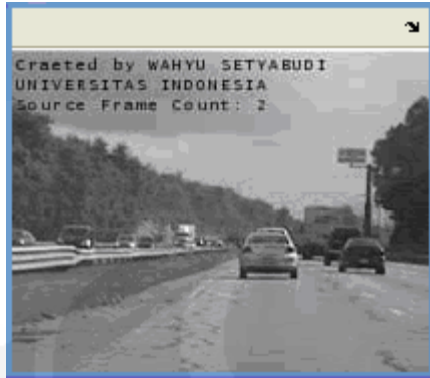
$$PSNR = 10 \log \left(\frac{65025}{38,8834} \right) \text{ dB} = 32,23 \text{ dB}$$

Sample – 2:

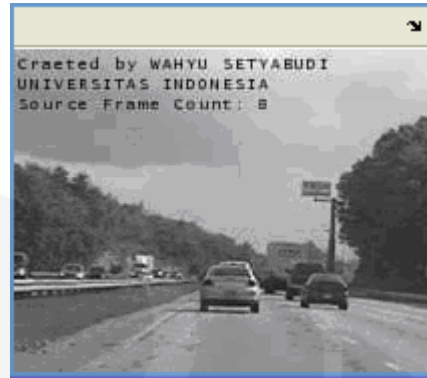
Urutan frame = 8 (shaky_car.avi) dan besar MSE = 47,8003

Sehingga didapat nilai PSNR :

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{65025}{47,8003} \right) \text{ dB} = 31,34 \text{ dB}$$



(a)



(b)

Gambar 4.10 (a) Frame-2 dengan PSNR = 32,23 dB dan (b) Frame-8 dengan PSNR = 31,34 dB

Sample – 3:

Urutan frame = 22 (vipman.avi) dan besar MSE = 58,6532

Sehingga didapat nilai PSNR :

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{65025}{58,6532} \right) \text{ dB} = 30,44 \text{ dB}$$

Sample – 4:

Urutan frame = 29 (vipman.avi) dan besar MSE = 59,7136

Sehingga didapat nilai PSNR :

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{65025}{59,7136} \right) \text{ dB} = 30,37$$

Sample – 5:

Urutan frame = 14 (bike.avi) dan besar MSE = 20,5773

Sehingga didapat nilai PSNR :

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{65025}{20,5773} \right) \text{ dB} = 34,99 \text{ dB}$$

Sample – 6:

Urutan frame = 31 (bike.mpg) dan besar MSE = 16,4913

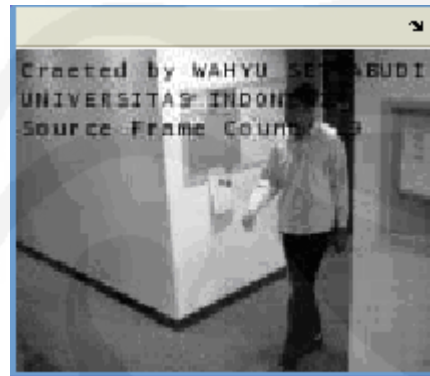
Sehingga didapat nilai PSNR :

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{65025}{16,4913} \right) \text{ dB} = 35,96 \text{ dB}$$

Sehingga dari perhitungan sampel – 1 dan sampel – 6 didapat nilai-nilai PSNR yang berbeda-beda dan ITU-T recommendations menyatakan bahwa nilai PSNR yang diperbolehkan adalah $> 20 \text{ dB}$ [9], artinya image masih dalam kondisi bagus / tidak rusak kualitasnya.



(a)



(b)



(c)



(d)

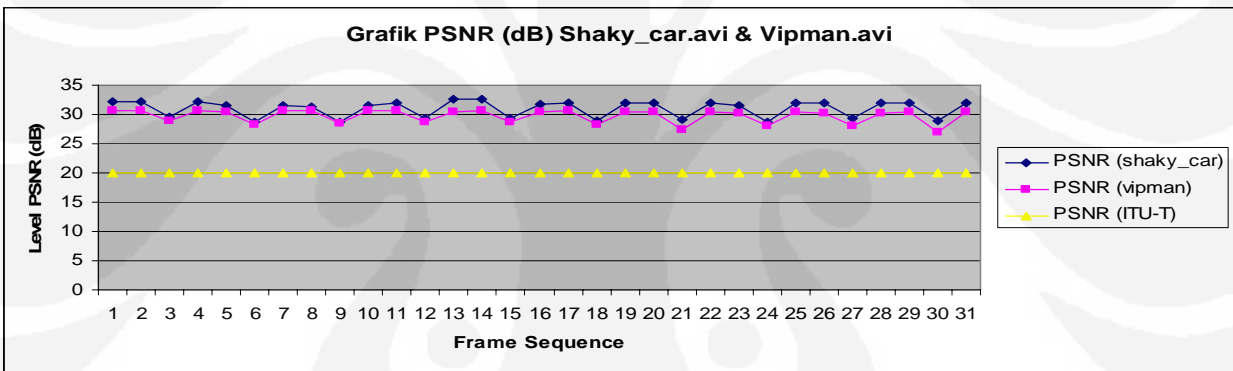
Gambar 4.11 (a) Frame-22 dengan PSNR = 30,44 dB, (b) Frame-29 dengan PSNR = 30,37 dB, (c) Frame-14 dengan PSNR = 34,99 dB dan (d) Frame-31 dengan PSNR = 35,96 dB

Dari hasil analisa secara matematik semakin besar PSNR maka kualitas image makin bagus sebaliknya makin kecil nilai PSNR maka image akan kelihatan blur (kabur), seperti terlihat pada contoh snapshot diatas. Berikut akan ditampilkan dalam bentuk tabel semua nilai PSNR antara shaky_car.avi, vipman.avi dan Bike.mpg yang diambil dari sampel frame-1 sampai frame-31:

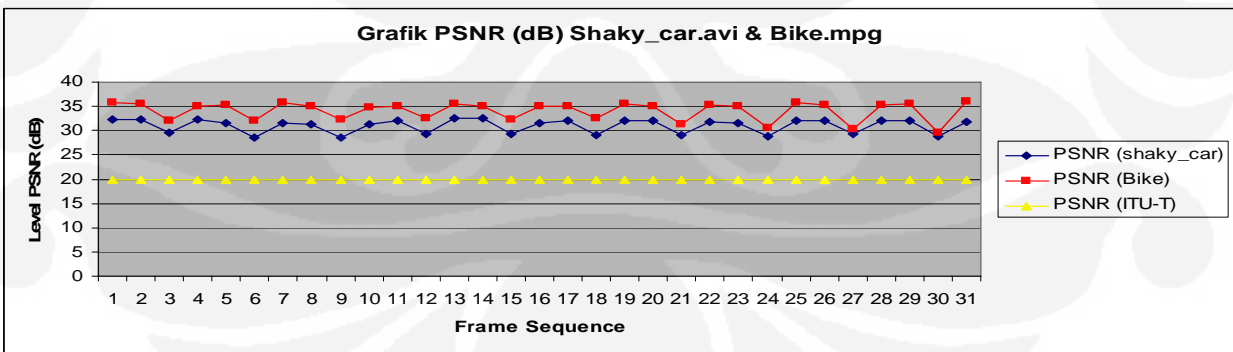
Tabel 4.5 Hasil pengukuran PSNR shaky_car.avi, vipman.avi dan Bike.mpg

MSE (shaky_car)	PSNR (shaky_car)	MSE (vipman)	PSNR (vipman)	MSE (Bike)	PSNR (Bike)
38.9506	32.23 dB	55.4483	30.69 dB	16.9649	35.84 dB
38.8834	32.23 dB	56.8350	30.58 dB	17.9339	35.59 dB
73.3347	29.48 dB	83.2490	28.93 dB	41.7262	31.93 dB
38.7203	32.25 dB	56.8892	30.58 dB	19.9118	35.14 dB
44.8942	31.60 dB	58.2271	30.48 dB	19.0865	35.32 dB
89.4636	28.62 dB	95.2348	28.34 dB	39.7928	32.13 dB
46.1687	31.49 dB	57.2196	30.56 dB	16.8892	35.86 dB
47.8003	31.34 dB	56.3729	30.62 dB	20.1813	35.08 dB
89.9211	28.59 dB	94.2679	28.39 dB	38.8483	32.24 dB
46.8450	31.43 dB	56.9103	30.58 dB	21.5429	34.79 dB
41.6123	31.94 dB	57.2637	30.55 dB	20.2956	35.06 dB
75.5736	29.35 dB	88.2545	28.67 dB	35.3801	32.64 dB
35.5480	32.62 dB	57.7278	30.52 dB	17.8016	35.63 dB
35.5424	32.62 dB	57.2089	30.56 dB	20.5773	34.99 dB
74.1629	29.43 dB	88.6130	28.66 dB	37.3421	32.41 dB
44.3252	31.66 dB	57.8903	30.50 dB	20.2812	35.06 dB
41.5400	31.95 dB	57.1474	30.56 dB	19.8472	35.15 dB
82.3520	28.94 dB	97.9068	28.23 dB	37.2223	32.42 dB
40.7532	32.03 dB	58.1042	30.49 dB	17.8164	35.62 dB
40.4175	32.07 dB	59.8171	30.36 dB	20.1626	35.09 dB

79.6773	29.12 dB	118.1163	27.41 dB	48.1747	31.30 dB
42.2990	31.87 dB	58.6532	30.45 dB	19.8266	35.16 dB
44.9868	31.59 dB	60.7410	30.29 dB	19.8442	35.15 dB
86.7948	28.75 dB	104.0068	27.96 dB	58.1645	30.48 dB
41.2954	31.97 dB	59.5475	30.38 dB	17.0907	35.80 dB
41.2207	31.97 dB	61.8150	30.22 dB	19.5328	35.22 dB
77.4036	29.24 dB	102.8259	28.01 dB	61.8438	30.22 dB
41.1204	31.99 dB	61.7309	30.23 dB	19.7215	35.18 dB
40.6282	32.04 dB	59.7136	30.37 dB	18.3267	35.49 dB
84.3793	28.87 dB	134.2646	26.85 dB	72.6802	29.52 dB
41.9748	31.90 dB	59.6305	30.38 dB	16.4913	35.96 dB



(a)



(b)

Gambar 4.12 Grafik Level PSNR: (a) shaky_car-vipman dan (b) shaky_car-bike

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dan pengujian unjuk kerja (performance) teknik perancangan video codec dalam Tugas Akhir ini secara keseluruhan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengukuran secara subjectif dengan menggunakan metode DSCQS (double stimulus continous quality scale) [8] dari video codec yang telah dirancang berdasarkan polling pendapat 30 respondent hasilnya: 56,67 % mengatakan kualitas video hasil kompresi *Fair* dan sisanya 43,33% mengatakan kualitas video *Good*.
2. Pada perancangan teknik kompresi video codec telah berhasil melakukan kompresi frame pada video digital mencapai $\geq 50\%$ dari frame original nya namun tetap menjaga kualitas spatial dan temporal gambar hasil kompresi.
3. Dari hasil pengukuran objectif bahwa semua frame yang berhasil di reconstruction mempunyai PSNR (peak signal to noise ratio) diatas ambang bawah yang diperbolehkan oleh ITU-T dalam standart video coding yaitu > 20 dB.
4. ME (motion estimation) dalam Tugas Akhir ini menggunakan algoritma SAD (sum absolute difference) sehingga mampu mengurangi error interframe.
5. Dari garfik level PSNR antara shaky_car.avi, vipman.avi dan bike.mpg dari frame-1 sampai ke frame-31 bahwa nilai terendah terdapat pada grafik vipman.avi dikarenakan variasi perubahan motion image sangat signifikan. Berbeda dengan PSNR shaky_car.avi dan bike.mpg dari frame-1 sampai ke frame-31 cenderung naik dikarenakan variasi perubahan motion image tidak terlalu signifikan, sehingga dapat disimpulkan bahwa MSE (Mean Squared Error) sangat dipengaruhi oleh kinerja dari motion compensation block.

DAFTAR ACUAN

- [1] Poynton, Charles A.A. *Technical introduction to digital video*. New York, John Wiley & Sons 1996.
- [2] Ghanbari, Mohammed. *Standard codecs image compression to advanced video coding*, The Institute of Electrical Engineering, London United Kingdom 2003
- [3] Chen, W, H C.H Smith, and S.C Fralick, *A fast computational algorithm for the discrete cosine transform*, IEEE Trans Commun, vol COM-25, PP 1004-1009 . 1977
- [4] Barjatya, Aroh : IEEE, 2004
- [5] Solari, Stephen, J. *Digital video and audio compression*, McGrawhill, 1997
- [6] Koga, T. ecal, *Motion compensated interframe coding for video conferencing*, in Nat Telecommunication Conf Nov 1981 G5.3.1-5 , New Orleans LA.
- [7] Gonzales, Rafael C, Woods, Richard E, Eddins, Steven L, *Digital image processing using MATLAB*, Prentice Hall, 2004
- [8] Richard, Ian E.G , *H.264 and mpeg-4 video compression & video coding for next generation multimedia*, Wiley, 2003
- [9] Technical Recommendation S. 10/07 : source encoding of high definition mobile TV services

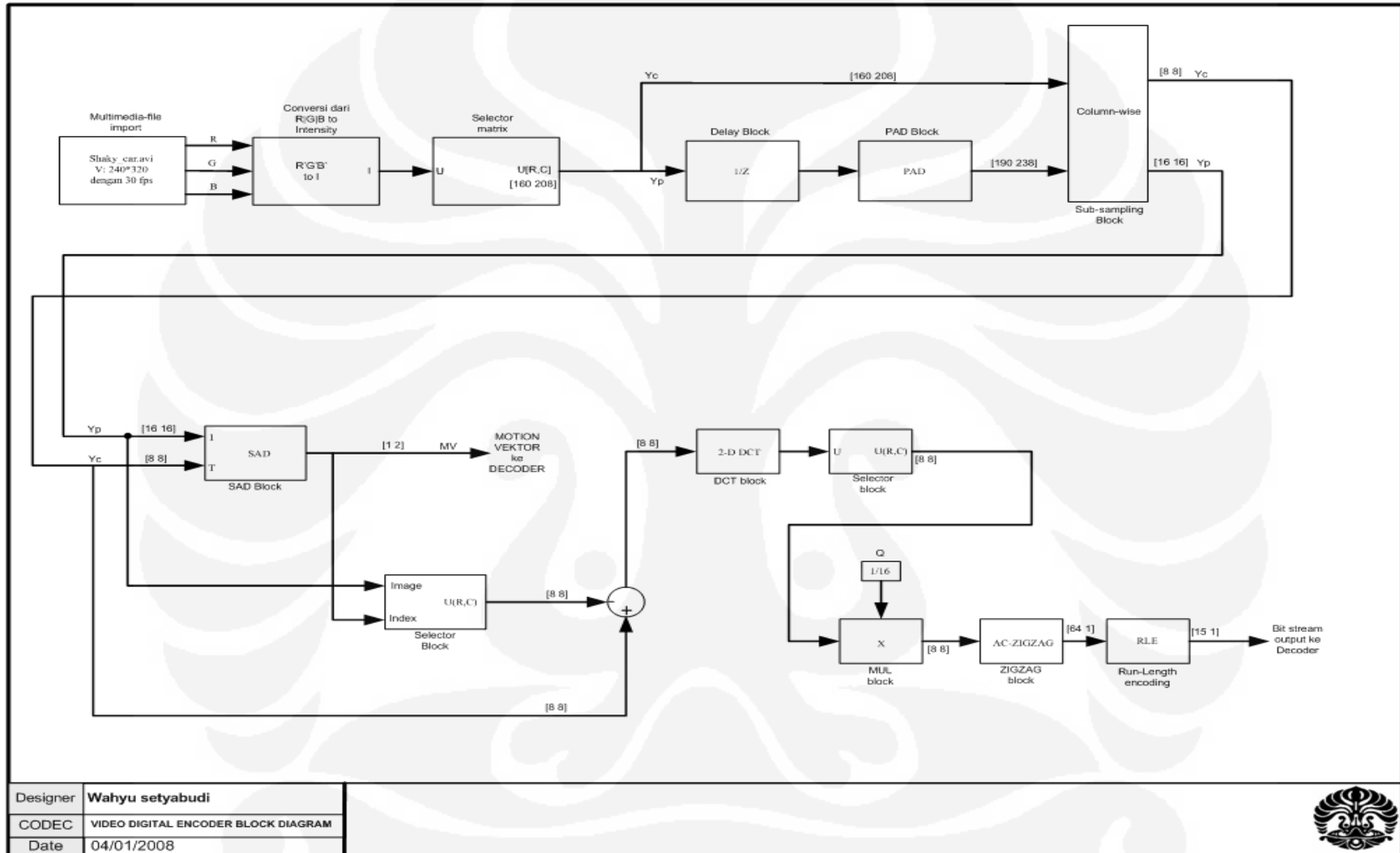
DAFTAR PUSTAKA

1. Poynton, Charles A.A. *Technical introduction to digital video*. New York, John Wiley & Sons 1996.
2. Ghanbari, Mohammed. *Standard codecs image compression to advanced video coding*, The Institute of Electrical Engineering, London United Kingdom 2003
3. Chen, W, H C.H Smith, and S.C Fralick, *A fast computational algorithm for the discrete cosine transform*, IEEE Trans Commun, vol COM-25, PP 1004-1009 . 1977
4. Barjatya, Aroh : IEEE, 2004
5. Solari, Stephen, J. *Digital video and audio compression*, McGrawhill, 1997
6. Koga, T. ecal, *Motion compensated interframe coding for video conferencing*, in Nat Telecommunication Conf Nov 1981 G5.3.1-5 , New Orleans LA.
7. Gonzales, Rafael C, Woods, Richard E, Eddins, Steven L, *Digital image processing using MATLAB*, Prentice Hall, 2004
8. Richard, Ian E.G , *H.264 and mpeg-4 video compression & video coding for next generation multimedia*, Wiley, 2003
9. Cliff, Wootton. *A practical guide to video and audio compression*, Focal Press, 2005
10. David, Salomon . *Data compression the complete reference 3rd edition* , Springer, New York, 2004
11. Al Bovic, *Handbook of image and video processing*, Department of Electrical and Computer Engineering Texas Austin, Texas, 2000
12. West Water Raymond, *Real time video compression technique and algorithm*, Florida Atlantic University, 1997
13. Guan, Ling, Jan Larsen. *Multimedia image and video processing*, CRC Press, 2001

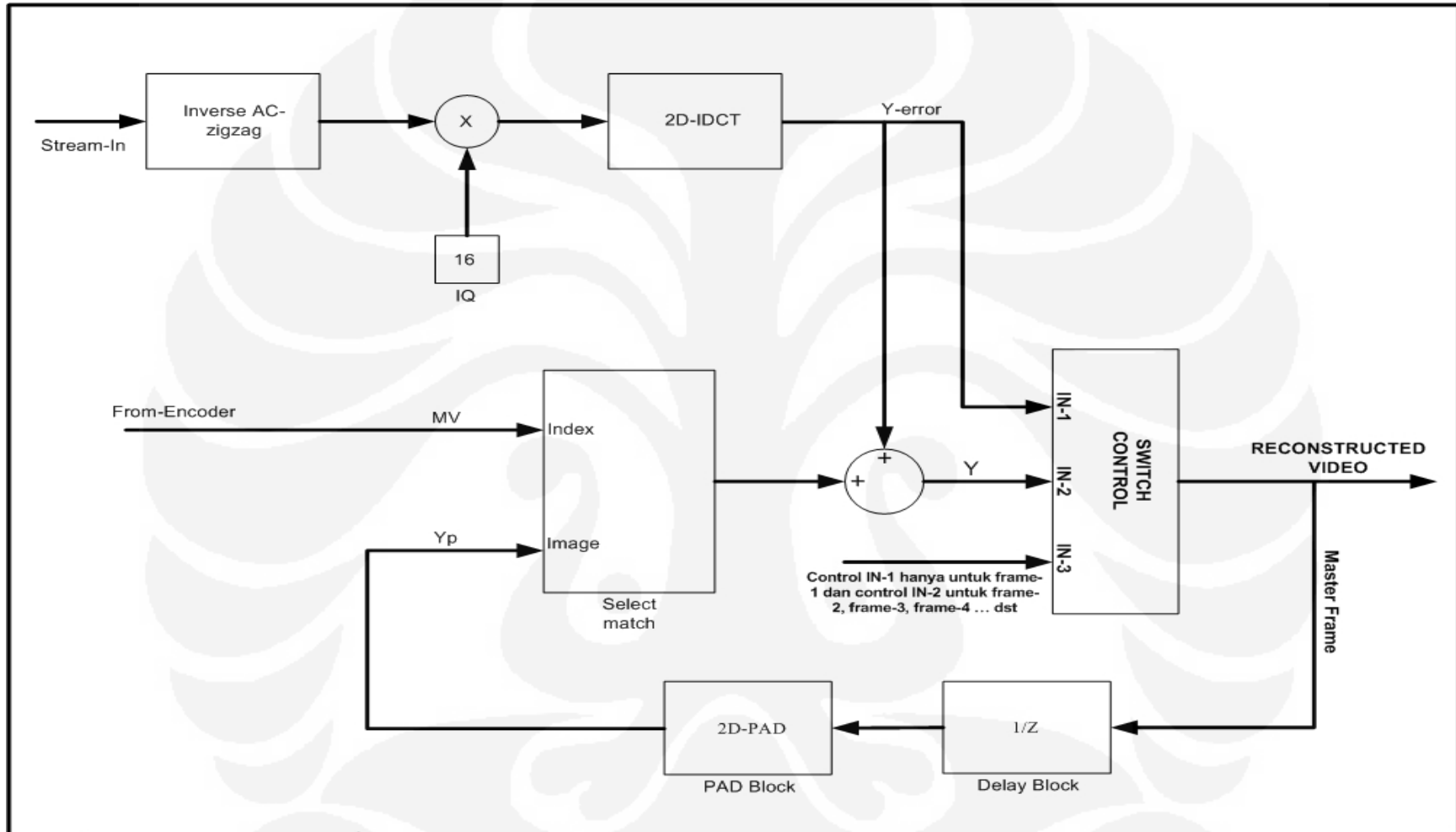
DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Block Diagram Encoder dan Decoder video digital	1.1
Lampiran 2	Hasil Snapshot disertai nilai PSNR dari input video shaky_car.avi, vipman.avi dan Bike.mpg	2.1
Lampiran 3	Sampel komponen-komponen matrix pada shaky_car.avi	3.1
Lampiran 4	Tabel huffman untuk koefisien AC dan DC yang berbasis pada JPEG encoder	4.1

SCEHAMTIK BLOCK DIAGRAM ENCODER VIDEO DIGITAL MENGGUNAKAN PROGRAM APLIKASI PEMECAHAN MATEMATIKA



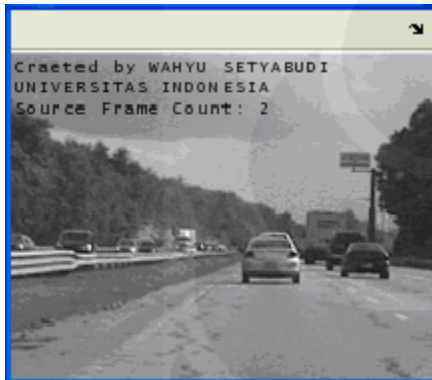
SCEHAMTIK BLOCK DIAGRAM DECODER VIDEO DIGITAL MENGGUNAKAN PROGRAM APLIKASI PEMECAHAN MATEMATIKA



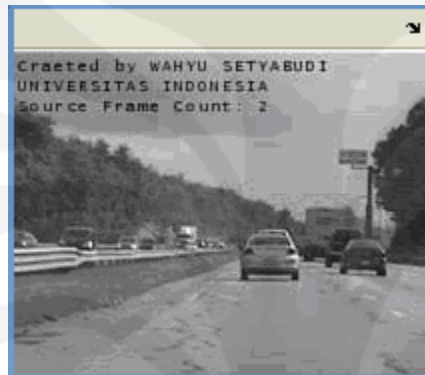
Designer	Wahyu setyabudi
CODEC	VIDEO DIGITAL DECODER BLOCK DIAGRAM
Date	04/01/2008



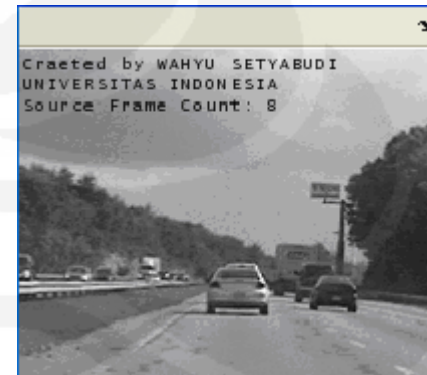
LAMPIRAN 2
HASIL SNAPSHOT DISERTAI NILAI PSNR SHAKY_CAR.AVI, VIPMAN.AVI & BIKE.MPG



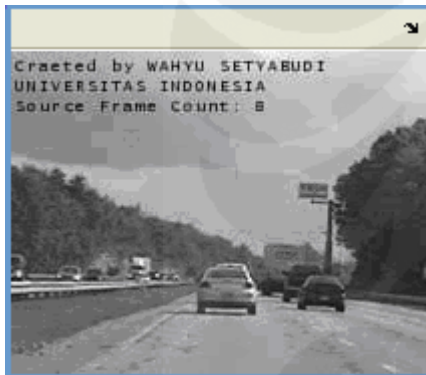
Original frame



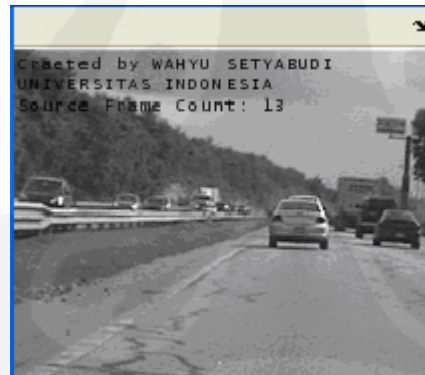
PSNR = 32,23 dB



Original frame



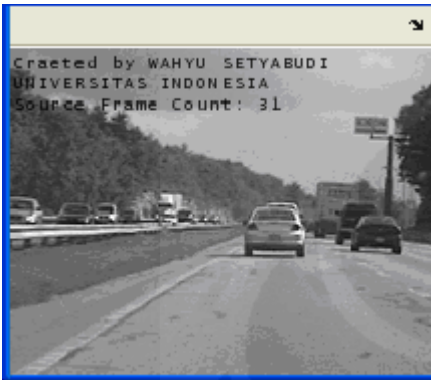
PSNR = 31,34 dB



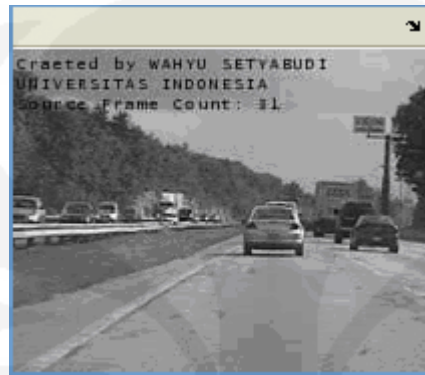
Original frame



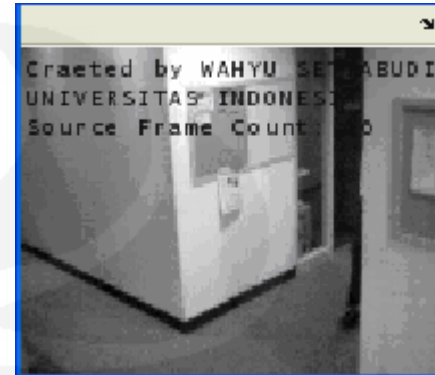
PSNR = 32,62 dB



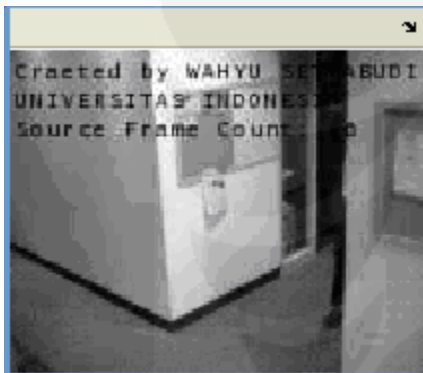
Original frame



PSNR = 31,90 dB



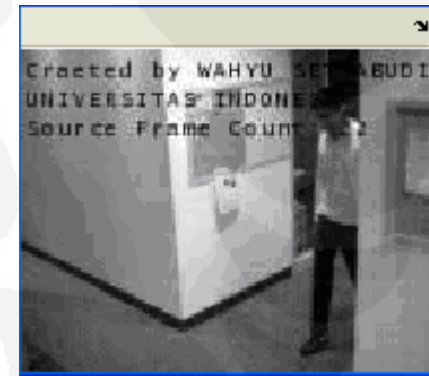
Original frame



PSNR = 30,58 dB



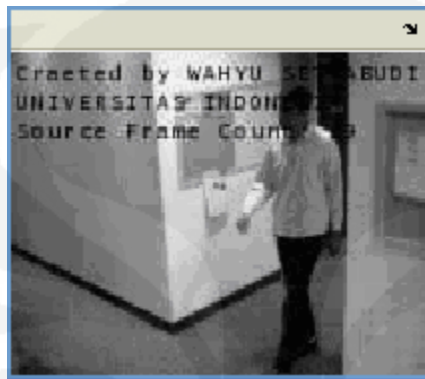
Original frame



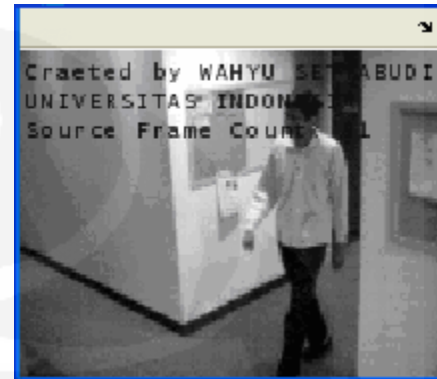
PSNR = 30,45 dB



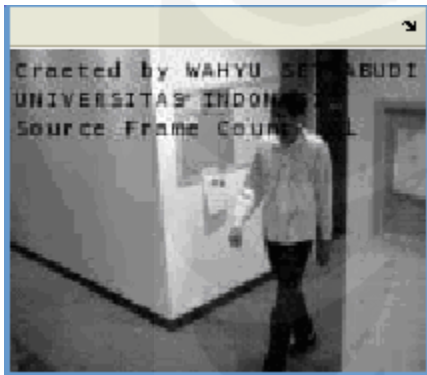
Original frame



PSNR = 30,37 dB



Original frame



PSNR = 30,38 dB



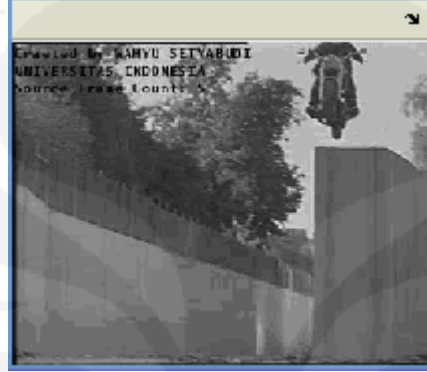
Original frame



PSNR = 35,59 dB



Original frame



PSNR = 35,32 dB



Original frame



PSNR = 34,99 dB



Original frame



PSNR = 35,96 dB

LAMPIRAN 3

SAMPEL KOMPONEN-KOMPONEN PADA ORIGINAL FRAME-1 DARI SHAKY_CAR.AVI DENGAN RESOLUSI SPATIAL [160 208]

151.0000	153.0000	152.0000	152.0000	154.0000	154.0000	154.0000	151.0000	155.0000	155.0000
155.0000	155.0000	153.0000	152.0000	155.0000	157.0000	155.0000	156.0000	156.0000	157.0000
157.0000	151.0000	150.0000	150.0000	153.0000	154.0000	155.0000	155.0000	154.0000	155.0000
152.0000	151.0000	152.0000	151.0000	152.0000	150.0000	153.0000	149.0000	151.0000	154.0000
150.0000	150.0000	151.0000	152.0000	154.0000	152.0000	149.0000	149.0000	151.0000	152.0000
147.0000	148.0000	130.0078	40.9020	35.8824	39.0824	138.2353	153.0000	151.0000	150.0000
146.0000	149.0000	47.5922	111.0745	145.0000	146.0000	148.0000	149.0000	148.0000	26.6471
142.0000	149.0000	29.4000	145.0000	144.0000	144.0000	148.0000	147.0000	147.0000	22.7882
144.0000	148.0000	44.3529	108.9529	147.0000	147.0000	147.0000	147.0000	147.0000	29.4000
148.0000	147.0000	27.3726	36.3922	32.0627	46.7451	134.4000	143.0000	145.0000	29.0000
136.0000	143.0000	144.0000	145.0000	144.0000	143.0000	141.0000	142.0000	146.0000	146.0000
135.0000	142.0000	141.0000	143.0000	141.0000	141.0000	141.0000	143.0000	145.0000	143.0000
140.0000	140.0000	139.0000	140.0000	140.0000	143.0000	143.0000	140.0000	143.0000	144.0000
140.0000	139.0000	139.0000	139.0000	139.0000	138.0000	140.0000	139.0000	140.0000	140.0000
142.0000	139.0000	135.0000	138.0000	138.0000	139.0000	137.0000	135.0000	136.0000	136.0000
137.0000	139.0000	27.6000	139.0000	135.0000	29.1176	137.0000	138.0000	14.9294	100.2667
135.0000	135.0000	27.2000	135.0000	135.0000	29.3333	137.0000	138.0000	27.2549	55.3372
136.0000	135.0000	26.8000	134.0000	136.0000	29.3333	133.0000	135.0000	27.0000	96.3529
136.0000	131.0000	23.6392	132.3529	132.3529	24.5137	129.0000	133.0000	27.2000	135.0000
135.0000	131.0000	82.1333	29.2078	26.9176	81.4510	134.0000	134.0000	27.2000	136.0000
134.0000	134.0000	132.0000	132.0000	134.0000	132.0000	133.0000	132.0000	134.0000	134.0000
133.0000	131.0000	131.0000	136.0000	136.0000	134.0000	136.0000	133.0000	137.0000	134.0000
137.0000	134.0000	134.0000	135.0000	135.0000	133.0000	134.0000	133.0000	135.0000	134.0000
139.0000	140.0000	137.0000	138.0000	138.0000	137.0000	136.0000	133.0000	134.0000	135.0000
141.0000	139.0000	140.0000	139.0000	139.0000	140.0000	138.0000	135.0000	135.0000	136.0000
143.0000	144.0000	144.0000	67.6471	29.3059	42.2745	127.7176	135.0000	134.0000	135.0000
147.0000	146.0000	145.0000	32.5255	124.7373	141.0000	141.0000	137.0000	94.9333	26.3255
142.0000	139.0000	143.0000	130.2157	65.4118	54.9020	120.2353	141.0000	30.8471	132.8627
141.0000	141.0000	143.0000	139.3412	141.0000	135.3176	31.0706	141.0000	30.3059	130.0157
145.0000	145.0000	142.0000	50.1176	33.6471	33.9686	84.5490	136.0000	99.3882	25.7882

140.0000	140.0000	141.0000	142.0000	142.0000	142.0000	140.0000	140.0000	146.0000	142.0000
138.0000	144.0000	141.0000	141.0000	143.0000	142.0000	142.0000	144.0000	143.0000	143.0000
139.0000	141.0000	140.0000	141.0000	142.0000	144.0000	142.0000	143.0000	144.0000	143.0000
138.0000	138.0000	140.0000	142.0000	138.0000	144.0000	139.0000	134.0000	139.0000	139.0000
138.0000	135.0000	139.0000	139.0000	137.0000	136.0000	136.0000	135.0000	135.0000	142.0000
135.0000	136.0000	137.0000	139.0000	139.0000	138.0000	139.0000	139.0000	137.0000	141.0000
127.0000	136.0000	137.0000	138.0000	136.0000	134.0000	137.0000	136.0000	135.0000	136.0000
109.0000	123.0000	132.0000	134.0000	135.0000	136.0000	137.0000	135.0000	134.0000	135.0000
98.0000	114.0000	126.0000	132.0000	134.0000	134.0000	136.0000	136.0000	134.0000	134.0000
90.0000	110.0000	130.0000	139.0000	138.0000	136.0000	134.0000	137.0000	140.0000	138.0000
67.0000	87.0000	108.0000	116.0000	120.0000	120.0000	121.0000	126.0000	132.0000	138.0000
64.0000	75.0000	86.0000	87.0000	89.0000	91.0000	94.0000	100.0000	105.0000	113.0000
63.0000	68.0000	73.0000	72.0000	70.0000	68.0000	66.0000	70.0000	78.0000	83.0000
75.0000	76.0000	78.0000	76.0000	73.0000	72.0000	69.0000	64.0000	63.0000	66.0000
66.0000	67.0000	71.0000	71.0000	69.0000	72.0000	71.0000	66.0000	69.0000	76.0000
53.0000	55.0000	59.0000	58.0000	58.0000	67.0000	73.0000	71.0000	73.0000	72.0000
58.0000	58.0000	59.0000	60.0000	61.0000	68.0000	74.0000	85.0000	84.0000	86.0000
54.0000	54.0000	56.0000	67.0000	72.0000	69.0000	69.0000	80.0000	84.0000	95.0000
53.0000	55.0000	55.0000	61.0000	66.0000	70.0000	75.0000	81.0000	84.0000	86.0000
56.0000	60.0000	58.0000	59.0000	62.0000	69.0000	78.0000	95.0000	102.0000	99.0000
56.0000	65.0000	68.0000	66.0000	64.0000	64.0000	67.0000	71.0000	77.0000	82.0000
56.0000	62.0000	64.0000	63.0000	61.0000	58.0000	58.0000	61.0000	68.0000	83.0000
58.0000	57.0000	57.0000	56.0000	54.0000	55.0000	59.0000	68.0000	75.0000	86.0000
63.0000	63.0000	62.0000	59.0000	52.0000	51.0000	59.0000	69.0000	71.0000	75.0000
63.0000	64.0000	62.0000	57.0000	52.0000	53.0000	63.0000	69.0000	68.0000	71.0000
63.0000	62.0000	59.0000	54.0000	53.0000	61.0000	69.0000	70.0000	67.0000	73.0000
63.0000	61.0000	56.0000	51.0000	54.0000	60.0000	63.0000	62.0000	62.0000	73.0000
56.0000	55.0000	53.0000	54.0000	55.0000	56.0000	59.0000	59.0000	64.0000	71.0000
64.0000	61.0000	56.0000	60.0000	71.0000	69.0000	67.0000	68.0000	66.0000	69.0000
84.0000	78.0000	69.0000	67.0000	76.0000	76.0000	74.0000	75.0000	75.0000	75.0000
77.0000	84.0000	81.0000	69.0000	62.0000	66.0000	73.0000	80.0000	79.0000	73.0000
73.0000	78.0000	75.0000	67.0000	69.0000	72.0000	74.0000	79.0000	76.0000	67.0000
85.0000	90.0000	83.0000	83.0000	81.0000	77.0000	74.0000	81.0000	82.0000	77.0000
86.0000	89.0000	86.0000	79.0000	77.0000	78.0000	77.0000	77.0000	80.0000	80.0000
79.0000	81.0000	79.0000	78.0000	77.0000	78.0000	82.0000	82.0000	78.0000	70.0000
78.0000	84.0000	82.0000	79.0000	67.0000	65.0000	76.0000	84.0000	80.0000	73.0000
80.0000	83.0000	79.0000	81.0000	81.0000	79.0000	80.0000	81.0000	86.0000	85.0000

74.0000	79.0000	73.0000	74.0000	88.0000	86.0000	82.0000	85.0000	88.0000	89.0000
66.0000	67.0000	66.0000	65.0000	78.0000	81.0000	81.0000	79.0000	82.0000	85.0000
59.0000	65.0000	73.0000	72.0000	75.0000	77.0000	84.0000	88.0000	89.0000	89.0000
59.0000	72.0000	78.0000	71.0000	66.0000	67.0000	76.0000	86.0000	88.0000	86.0000
62.0000	68.0000	72.0000	69.0000	67.0000	59.0000	62.0000	81.0000	86.0000	86.0000
62.0000	59.0000	53.0000	52.0000	56.0000	63.0000	73.0000	80.0000	83.0000	84.0000
68.0000	62.0000	58.0000	56.0000	50.0000	56.0000	63.0000	69.0000	79.0000	81.0000
80.0000	75.0000	68.0000	68.0000	63.0000	61.0000	62.0000	71.0000	78.0000	78.0000
82.0000	79.0000	73.0000	71.0000	70.0000	70.0000	72.0000	74.0000	73.0000	71.0000
75.0000	79.0000	80.0000	71.0000	70.0000	77.0000	76.0000	71.0000	73.0000	75.0000
72.0000	77.0000	77.0000	73.0000	73.0000	79.0000	80.0000	78.0000	80.0000	74.0000
75.0000	73.0000	69.0000	73.0000	74.0000	72.0000	72.0000	70.0000	67.0000	62.0000
74.0000	70.0000	66.0000	73.0000	75.0000	65.0000	65.0000	66.0000	68.0000	68.0000
66.0000	70.0000	70.0000	70.0000	70.0000	65.0000	71.0000	74.0000	72.0000	72.0000
62.0000	65.0000	70.0000	69.0000	69.0000	69.0000	73.0000	79.0000	79.0000	77.0000
74.0000	71.0000	69.0000	65.0000	66.0000	68.0000	70.0000	74.0000	77.0000	78.0000
76.0000	72.0000	64.0000	60.0000	61.0000	62.0000	64.0000	66.0000	70.0000	69.0000
73.0000	73.0000	69.0000	62.0000	60.0000	63.0000	68.0000	74.0000	74.0000	71.0000
77.0000	72.0000	65.0000	60.0000	59.0000	65.0000	74.0000	80.0000	79.0000	71.0000
76.0000	71.0000	58.0000	52.0000	55.0000	57.0000	61.0000	66.0000	74.0000	77.0000
65.0000	73.0000	70.0000	63.0000	64.0000	65.0000	61.0000	62.0000	70.0000	77.0000
59.0000	61.0000	62.0000	65.0000	66.0000	71.0000	71.0000	68.0000	74.0000	72.0000
57.0000	58.0000	63.0000	69.0000	71.0000	75.0000	74.0000	70.0000	73.0000	67.0000
65.0000	66.0000	69.0000	65.0000	65.0000	72.0000	68.0000	66.0000	70.0000	63.0000
68.0000	71.0000	73.0000	72.0000	73.0000	77.0000	76.0000	76.0000	71.0000	71.0000
59.0000	62.0000	67.0000	69.0000	67.0000	69.0000	67.0000	67.0000	70.0000	77.0000
62.0000	60.0000	59.0000	56.0000	52.0000	53.0000	53.0000	60.0000	65.0000	65.0000
68.0000	69.0000	65.0000	59.0000	56.0000	57.0000	58.0000	59.0000	64.0000	57.0000
61.0000	63.0000	63.0000	57.0000	53.0000	55.0000	58.0000	59.0000	59.0000	57.0000
62.0000	61.0000	62.0000	58.0000	54.0000	56.0000	61.0000	64.0000	59.0000	58.0000
56.0000	56.0000	49.0000	45.0000	53.0000	58.0000	58.0000	58.0000	56.0000	56.0000
91.0000	105.0000	106.0000	85.0000	68.0000	58.0000	52.0000	55.0000	55.0000	56.0000
116.0000	141.0000	154.0000	131.0000	99.0000	71.0000	58.0000	57.0000	57.0000	58.0000
94.0000	119.0000	125.0000	135.0000	137.0000	100.0000	65.0000	58.0000	60.0000	64.0000
82.0000	97.0000	98.0000	119.0000	140.0000	121.0000	85.0000	64.0000	60.0000	63.0000
104.0000	124.0000	124.0000	123.0000	142.0000	155.0000	125.0000	69.0000	48.0000	45.0000
220.0000	178.0000	125.0000	129.0000	151.0000	153.0000	134.0000	95.0000	89.0000	90.0000

170.0000	134.0000	94.0000	97.0000	106.0000	117.0000	127.0000	138.0000	147.0000	152.0000
44.0000	49.0000	53.0000	60.0000	58.0000	63.0000	67.0000	77.0000	69.0000	65.0000
125.0000	137.0000	140.0000	149.0000	159.0000	163.0000	172.0000	182.0000	180.0000	181.0000
241.0000	240.0000	237.0000	237.0000	238.0000	235.0000	230.0000	218.0000	214.0000	208.0000
120.0000	113.0000	104.0000	93.0000	86.0000	91.0000	87.0000	68.0000	63.0000	60.0000
28.0000	35.0000	47.0000	56.0000	60.0000	69.0000	78.0000	90.0000	97.0000	105.0000
143.0000	147.0000	153.0000	157.0000	159.0000	164.0000	170.0000	179.0000	181.0000	183.0000
203.0000	201.0000	195.0000	197.0000	202.0000	206.0000	211.0000	201.0000	196.0000	192.0000
172.0000	166.0000	157.0000	149.0000	138.0000	129.0000	119.0000	100.0000	93.0000	90.0000
54.0000	53.0000	52.0000	54.0000	57.0000	57.0000	60.0000	73.0000	82.0000	94.0000
103.0000	110.0000	121.0000	131.0000	138.0000	142.0000	150.0000	165.0000	171.0000	178.0000
183.0000	185.0000	186.0000	191.0000	200.0000	205.0000	207.0000	206.0000	203.0000	202.0000
198.0000	195.0000	192.0000	187.0000	178.0000	169.0000	158.0000	140.0000	125.0000	106.0000
105.0000	101.0000	96.0000	83.0000	60.0000	49.0000	45.0000	38.0000	37.0000	36.0000
25.0000	29.0000	36.0000	44.0000	50.0000	52.0000	59.0000	58.0000	58.0000	62.0000
68.0000	70.0000	74.0000	78.0000	79.0000	84.0000	91.0000	90.0000	89.0000	91.0000
97.0000	99.0000	98.0000	99.0000	98.0000	97.0000	99.0000	100.0000	99.0000	95.0000
108.0000	105.0000	100.0000	101.0000	98.0000	99.0000	101.0000	102.0000	101.0000	96.0000
106.0000	106.0000	105.0000	107.0000	102.0000	102.0000	104.0000	107.0000	105.0000	105.0000
106.0000	108.0000	109.0000	111.0000	108.0000	109.0000	111.0000	111.0000	112.0000	112.0000
109.0000	110.0000	113.0000	112.0000	112.0000	112.0000	114.0000	113.0000	115.0000	115.0000
113.0000	113.0000	113.0000	114.0000	114.0000	114.0000	115.0000	116.0000	113.0000	114.0000
110.0000	114.0000	110.0000	107.0000	105.0000	108.0000	112.0000	113.0000	109.0000	110.0000
112.0000	108.0000	105.0000	107.0000	104.0000	104.0000	107.0000	105.0000	107.0000	107.0000
111.0000	108.0000	109.0000	111.0000	112.0000	110.0000	108.0000	110.0000	110.0000	108.0000
106.0000	113.0000	118.0000	112.0000	110.0000	109.0000	109.0000	110.0000	109.0000	110.0000
112.0000	115.0000	116.0000	110.0000	106.0000	106.0000	107.0000	103.0000	105.0000	106.0000
109.0000	109.0000	110.0000	110.0000	110.0000	109.0000	108.0000	109.0000	105.0000	104.0000
110.0000	108.0000	112.0000	110.0000	107.0000	110.0000	106.0000	109.0000	103.0000	103.0000
110.0000	109.0000	112.0000	106.0000	101.0000	105.0000	103.0000	103.0000	103.0000	102.0000
108.0000	105.0000	105.0000	103.0000	101.0000	100.0000	99.0000	100.0000	106.0000	102.0000
102.0000	99.0000	99.0000	101.0000	102.0000	103.0000	102.0000	102.0000	103.0000	102.0000
97.0000	97.0000	96.0000	94.0000	95.0000	101.0000	100.0000	100.0000	102.0000	102.0000
98.0000	96.0000	92.0000	97.0000	99.0000	98.0000	100.0000	98.0000	102.0000	106.0000
99.0000	97.0000	94.0000	98.0000	99.0000	96.0000	101.0000	98.0000	95.0000	96.0000
96.0000	98.0000	97.0000	97.0000	96.0000	97.0000	98.0000	98.0000	98.0000	93.0000
96.0000	99.0000	100.0000	101.0000	99.0000	97.0000	97.0000	95.0000	94.0000	92.0000

96.0000	96.0000	94.0000	90.0000	87.0000	91.0000	93.0000	89.0000	84.0000	81.0000
86.0000	87.0000	84.0000	87.0000	97.0000	104.0000	103.0000	96.0000	94.0000	99.0000
95.0000	97.0000	100.0000	106.0000	115.0000	117.0000	121.0000	113.0000	110.0000	114.0000
119.0000	122.0000	126.0000	126.0000	120.0000	115.0000	117.0000	132.0000	133.0000	129.0000
116.0000	122.0000	127.0000	116.0000	102.0000	102.0000	109.0000	120.0000	125.0000	127.0000
119.0000	119.0000	113.0000	103.0000	97.0000	97.0000	104.0000	112.0000	113.0000	115.0000
85.0000	80.0000	79.0000	84.0000	88.0000	89.0000	90.0000	94.0000	94.0000	95.0000
95.0000	98.0000	102.0000	102.0000	103.0000	104.0000	105.0000	115.0000	116.0000	119.0000
129.0000	130.0000	130.0000	126.0000	121.0000	126.0000	130.0000	130.0000	132.0000	134.0000
104.0000	103.0000	102.0000	96.0000	89.0000	90.0000	90.0000	85.0000	84.0000	83.0000
88.0000	91.0000	96.0000	94.0000	92.0000	91.0000	91.0000	94.0000	93.0000	92.0000
129.0000	126.0000	129.0000	128.0000	123.0000	124.0000	124.0000	126.0000	126.0000	128.0000
138.0000	134.0000	131.0000	129.0000	132.0000	134.0000	133.0000	137.0000	140.0000	135.0000
128.0000	128.0000	128.0000	126.0000	126.0000	125.0000	129.0000	132.0000	133.0000	124.0000
120.0000	123.0000	127.0000	129.0000	128.0000	127.0000	129.0000	132.0000	131.0000	126.0000
130.0000	132.0000	133.0000	134.0000	136.0000	133.0000	133.0000	136.0000	135.0000	135.0000
134.0000	136.0000	136.0000	135.0000	140.0000	138.0000	137.0000	141.0000	140.0000	138.0000
136.0000	137.0000	137.0000	136.0000	139.0000	139.0000	138.0000	136.0000	138.0000	139.0000
133.0000	136.0000	135.0000	134.0000	136.0000	135.0000	137.0000	139.0000	143.0000	144.0000

**SAMPEL KOMPONEN-KOMPONEN PADA ORIGINAL FRAME-2 DARI SHAKY_CAR.AVI
DENGAN RESOLUSI SPATIAL [160 208]**

153.0000	154.0000	158.0000	157.0000	154.0000	153.0000	154.0000	155.0000	158.0000	158.0000
156.0000	156.0000	157.0000	157.0000	156.0000	156.0000	159.0000	159.0000	158.0000	158.0000
154.0000	153.0000	154.0000	156.0000	157.0000	155.0000	155.0000	157.0000	156.0000	158.0000
152.0000	153.0000	154.0000	152.0000	154.0000	152.0000	150.0000	153.0000	155.0000	156.0000
151.0000	151.0000	154.0000	152.0000	152.0000	152.0000	151.0000	154.0000	155.0000	153.0000
152.0000	150.0000	154.0000	154.0000	154.0000	156.0000	153.0000	153.0000	152.0000	149.0000
56.2549	20.4510	149.0000	150.0000	69.4118	39.7333	37.7255	63.9529	151.0000	149.0000
138.1333	107.8000	148.0000	149.0000	114.5255	40.5882	36.1216	20.4000	152.0000	152.0000
148.0000	147.0000	148.0000	148.0000	29.2157	137.6941	147.6471	30.2000	150.0000	152.0000

146.0000	147.0000	147.0000	147.0000	72.6353	31.3412	53.8196	46.6941	91.7020	149.0000
145.0000	143.0000	144.0000	147.0000	148.0000	149.0000	145.0000	144.0000	147.0000	148.0000
139.0000	143.0000	143.0000	143.0000	147.0000	149.0000	145.0000	142.0000	145.0000	144.0000
142.0000	143.0000	141.0000	144.0000	145.0000	143.0000	144.0000	144.0000	144.0000	143.0000
143.0000	139.0000	138.0000	141.0000	141.0000	142.0000	140.0000	142.0000	142.0000	142.0000
140.0000	140.0000	140.0000	138.0000	137.0000	139.0000	139.0000	140.0000	141.0000	141.0000
136.0000	29.9804	139.0000	136.0000	136.0000	33.6000	6.9843	34.3412	138.0000	141.0000
135.0000	29.7647	137.0000	137.0000	138.0000	138.0000	29.9804	138.0000	137.0000	135.0000
92.1176	29.5490	135.0000	138.0000	137.0000	131.0000	29.7647	139.0000	138.0000	139.0000
54.5294	28.0588	135.0000	136.0000	135.0000	134.0000	29.5490	136.0000	136.0000	137.0000
103.7647	14.8235	135.0000	135.0000	135.0000	33.6000	6.8314	32.3647	135.0000	134.0000
133.0000	133.0000	135.0000	135.0000	133.0000	135.0000	134.0000	134.0000	135.0000	133.0000
131.0000	133.0000	134.0000	134.0000	136.0000	138.0000	137.0000	136.0000	137.0000	134.0000
133.0000	133.0000	135.0000	134.0000	137.0000	138.0000	136.0000	133.0000	134.0000	135.0000
135.0000	132.0000	133.0000	132.0000	134.0000	131.0000	134.0000	133.0000	133.0000	135.0000
135.0000	132.0000	132.0000	135.0000	135.0000	132.0000	133.0000	134.0000	134.0000	135.0000
137.0000	135.0000	133.0000	136.0000	136.0000	134.0000	135.0000	137.0000	136.0000	135.0000
27.0588	95.6314	136.0000	136.0000	133.0000	26.8000	138.0000	134.0000	28.9020	137.0000
133.4118	29.9804	138.0000	136.0000	136.0000	27.2000	135.0000	135.0000	28.9020	133.0000
132.4588	30.1961	139.0000	136.0000	140.0000	27.6000	133.0000	133.5490	24.5333	136.0000
27.2549	97.4510	139.0000	137.0000	140.0000	58.1961	52.2667	60.3922	26.9098	143.0000
143.0000	142.0000	139.0000	138.0000	138.0000	136.0000	135.0000	137.0000	140.0000	138.0000
144.0000	142.0000	141.0000	140.0000	139.0000	139.0000	136.0000	137.0000	136.0000	138.0000
144.0000	142.0000	139.0000	137.0000	139.0000	141.0000	138.0000	141.0000	141.0000	138.0000
137.0000	137.0000	140.0000	138.0000	140.0000	139.0000	137.0000	137.0000	138.0000	138.0000
137.0000	137.0000	139.0000	138.0000	137.0000	136.0000	138.0000	142.0000	136.0000	137.0000
139.0000	136.0000	137.0000	136.0000	137.0000	136.0000	135.0000	142.0000	139.0000	137.0000
135.0000	132.0000	137.0000	137.0000	130.0000	135.0000	135.0000	140.0000	140.0000	138.0000
135.0000	136.0000	140.0000	139.0000	135.0000	139.0000	140.0000	140.0000	139.0000	139.0000
135.0000	136.0000	135.0000	136.0000	139.0000	139.0000	139.0000	138.0000	138.0000	140.0000
133.0000	132.0000	134.0000	134.0000	134.0000	136.0000	137.0000	138.0000	137.0000	138.0000
139.0000	137.0000	136.0000	136.0000	135.0000	136.0000	137.0000	137.0000	136.0000	137.0000

117.0000	121.0000	131.0000	135.0000	135.0000	137.0000	132.0000	137.0000	139.0000	138.0000
82.0000	95.0000	121.0000	136.0000	136.0000	135.0000	131.0000	137.0000	132.0000	136.0000
82.0000	108.0000	121.0000	121.0000	125.0000	132.0000	137.0000	138.0000	133.0000	136.0000
76.0000	74.0000	83.0000	92.0000	122.0000	134.0000	135.0000	134.0000	134.0000	135.0000
69.0000	78.0000	93.0000	112.0000	137.0000	143.0000	143.0000	140.0000	138.0000	140.0000
109.0000	146.0000	157.0000	158.0000	158.0000	158.0000	157.0000	157.0000	155.0000	149.0000
115.0000	136.0000	155.0000	166.0000	167.0000	166.0000	166.0000	166.0000	165.0000	164.0000
87.0000	99.0000	132.0000	160.0000	169.0000	169.0000	172.0000	173.0000	168.0000	171.0000
96.0000	116.0000	146.0000	171.0000	175.0000	174.0000	173.0000	173.0000	172.0000	172.0000
87.0000	111.0000	137.0000	158.0000	169.0000	170.0000	168.0000	172.0000	173.0000	168.0000
87.0000	88.0000	100.0000	118.0000	147.0000	160.0000	170.0000	175.0000	166.0000	162.0000
86.0000	78.0000	78.0000	93.0000	111.0000	123.0000	134.0000	147.0000	167.0000	156.0000
80.0000	82.0000	83.0000	87.0000	79.0000	77.0000	85.0000	101.0000	126.0000	123.0000
78.0000	80.0000	79.0000	82.0000	83.0000	79.0000	80.0000	81.0000	82.0000	91.0000
79.0000	82.0000	81.0000	81.0000	81.0000	80.0000	77.0000	77.0000	90.0000	92.0000
83.0000	83.0000	82.0000	78.0000	69.0000	67.0000	67.0000	72.0000	83.0000	85.0000
84.0000	87.0000	88.0000	86.0000	79.0000	74.0000	68.0000	69.0000	74.0000	78.0000
74.0000	82.0000	86.0000	86.0000	85.0000	83.0000	74.0000	69.0000	71.0000	72.0000
71.0000	70.0000	67.0000	68.0000	75.0000	75.0000	70.0000	66.0000	66.0000	63.0000
71.0000	68.0000	63.0000	65.0000	72.0000	68.0000	59.0000	58.0000	60.0000	59.0000
65.0000	70.0000	76.0000	76.0000	73.0000	71.0000	66.0000	66.0000	65.0000	65.0000
72.0000	74.0000	80.0000	75.0000	68.0000	66.0000	62.0000	59.0000	58.0000	64.0000
80.0000	80.0000	84.0000	79.0000	71.0000	72.0000	69.0000	62.0000	53.0000	57.0000
71.0000	77.0000	82.0000	78.0000	69.0000	70.0000	73.0000	69.0000	55.0000	53.0000
71.0000	74.0000	76.0000	73.0000	71.0000	72.0000	70.0000	67.0000	62.0000	58.0000
81.0000	81.0000	80.0000	79.0000	80.0000	76.0000	68.0000	68.0000	71.0000	63.0000
85.0000	82.0000	79.0000	77.0000	78.0000	74.0000	67.0000	74.0000	78.0000	71.0000
82.0000	75.0000	74.0000	75.0000	82.0000	85.0000	80.0000	70.0000	64.0000	64.0000
84.0000	78.0000	74.0000	73.0000	77.0000	75.0000	74.0000	77.0000	79.0000	75.0000
86.0000	88.0000	82.0000	73.0000	64.0000	62.0000	61.0000	69.0000	78.0000	79.0000
88.0000	91.0000	86.0000	71.0000	59.0000	56.0000	59.0000	61.0000	62.0000	65.0000
85.0000	85.0000	82.0000	72.0000	66.0000	61.0000	63.0000	65.0000	61.0000	66.0000

78.0000	77.0000	79.0000	79.0000	70.0000	68.0000	64.0000	61.0000	63.0000	69.0000
77.0000	77.0000	80.0000	85.0000	74.0000	72.0000	65.0000	56.0000	57.0000	61.0000
76.0000	78.0000	79.0000	78.0000	77.0000	75.0000	69.0000	62.0000	64.0000	62.0000
78.0000	80.0000	77.0000	71.0000	71.0000	66.0000	65.0000	65.0000	65.0000	64.0000
73.0000	72.0000	70.0000	66.0000	68.0000	65.0000	62.0000	61.0000	57.0000	60.0000
64.0000	65.0000	66.0000	59.0000	62.0000	66.0000	62.0000	57.0000	57.0000	57.0000
65.0000	65.0000	65.0000	63.0000	65.0000	65.0000	64.0000	61.0000	65.0000	61.0000
74.0000	73.0000	68.0000	69.0000	67.0000	61.0000	64.0000	67.0000	74.0000	69.0000
79.0000	79.0000	75.0000	72.0000	67.0000	63.0000	61.0000	64.0000	72.0000	72.0000
75.0000	73.0000	74.0000	75.0000	74.0000	70.0000	69.0000	65.0000	67.0000	71.0000
67.0000	67.0000	66.0000	67.0000	67.0000	68.0000	68.0000	65.0000	72.0000	78.0000
72.0000	73.0000	67.0000	57.0000	61.0000	66.0000	64.0000	66.0000	73.0000	76.0000
70.0000	67.0000	68.0000	67.0000	69.0000	71.0000	68.0000	67.0000	67.0000	66.0000
73.0000	65.0000	64.0000	67.0000	67.0000	63.0000	62.0000	64.0000	62.0000	64.0000
77.0000	67.0000	61.0000	66.0000	70.0000	58.0000	59.0000	62.0000	60.0000	60.0000
63.0000	58.0000	60.0000	68.0000	68.0000	59.0000	59.0000	62.0000	64.0000	63.0000
61.0000	60.0000	62.0000	65.0000	65.0000	61.0000	57.0000	64.0000	68.0000	63.0000
56.0000	57.0000	63.0000	64.0000	64.0000	64.0000	62.0000	62.0000	68.0000	67.0000
69.0000	67.0000	67.0000	64.0000	65.0000	65.0000	62.0000	61.0000	70.0000	70.0000
73.0000	67.0000	65.0000	63.0000	63.0000	59.0000	57.0000	60.0000	64.0000	65.0000
61.0000	63.0000	63.0000	61.0000	58.0000	57.0000	60.0000	63.0000	68.0000	67.0000
58.0000	63.0000	63.0000	63.0000	61.0000	62.0000	64.0000	67.0000	73.0000	65.0000
61.0000	65.0000	63.0000	62.0000	60.0000	60.0000	60.0000	61.0000	62.0000	58.0000
63.0000	66.0000	63.0000	59.0000	62.0000	65.0000	63.0000	61.0000	59.0000	59.0000
59.0000	59.0000	59.0000	60.0000	62.0000	66.0000	62.0000	61.0000	60.0000	61.0000
58.0000	57.0000	56.0000	59.0000	62.0000	65.0000	60.0000	61.0000	63.0000	70.0000
55.0000	53.0000	56.0000	61.0000	63.0000	66.0000	62.0000	59.0000	66.0000	78.0000
64.0000	63.0000	64.0000	63.0000	62.0000	60.0000	62.0000	52.0000	54.0000	73.0000
68.0000	68.0000	64.0000	66.0000	71.0000	66.0000	63.0000	59.0000	74.0000	90.0000
52.0000	60.0000	60.0000	58.0000	57.0000	54.0000	54.0000	68.0000	113.0000	116.0000
88.0000	99.0000	95.0000	85.0000	84.0000	82.0000	75.0000	82.0000	101.0000	101.0000
146.0000	146.0000	138.0000	131.0000	132.0000	128.0000	114.0000	81.0000	27.0000	25.0000

74.0000	89.0000	92.0000	94.0000	109.0000	126.0000	140.0000	137.0000	119.0000	117.0000
188.0000	199.0000	204.0000	211.0000	218.0000	218.0000	222.0000	229.0000	230.0000	222.0000
198.0000	185.0000	176.0000	169.0000	149.0000	132.0000	124.0000	116.0000	102.0000	93.0000
56.0000	54.0000	54.0000	55.0000	53.0000	56.0000	73.0000	87.0000	85.0000	89.0000
114.0000	124.0000	134.0000	140.0000	151.0000	154.0000	162.0000	176.0000	187.0000	188.0000
185.0000	188.0000	194.0000	202.0000	201.0000	201.0000	207.0000	208.0000	202.0000	194.0000
186.0000	176.0000	168.0000	159.0000	141.0000	129.0000	117.0000	101.0000	85.0000	63.0000
81.0000	68.0000	65.0000	63.0000	74.0000	73.0000	73.0000	91.0000	107.0000	111.0000
106.0000	115.0000	127.0000	141.0000	146.0000	156.0000	171.0000	181.0000	191.0000	196.0000
186.0000	189.0000	193.0000	203.0000	202.0000	202.0000	203.0000	197.0000	185.0000	172.0000
196.0000	182.0000	175.0000	167.0000	135.0000	121.0000	106.0000	77.0000	49.0000	46.0000
82.0000	57.0000	54.0000	48.0000	42.0000	44.0000	41.0000	33.0000	33.0000	36.0000
34.0000	35.0000	39.0000	40.0000	47.0000	49.0000	46.0000	48.0000	50.0000	50.0000
62.0000	63.0000	65.0000	63.0000	59.0000	60.0000	61.0000	66.0000	73.0000	73.0000
91.0000	88.0000	89.0000	87.0000	87.0000	90.0000	94.0000	98.0000	100.0000	100.0000
95.0000	94.0000	91.0000	90.0000	95.0000	100.0000	93.0000	86.0000	89.0000	96.0000
91.0000	92.0000	90.0000	84.0000	86.0000	92.0000	87.0000	88.0000	94.0000	98.0000
104.0000	103.0000	104.0000	103.0000	103.0000	103.0000	103.0000	109.0000	109.0000	108.0000
115.0000	116.0000	114.0000	111.0000	112.0000	114.0000	116.0000	117.0000	112.0000	113.0000
116.0000	118.0000	117.0000	109.0000	111.0000	113.0000	113.0000	112.0000	108.0000	109.0000
114.0000	116.0000	115.0000	111.0000	112.0000	115.0000	110.0000	110.0000	110.0000	107.0000
112.0000	114.0000	113.0000	113.0000	112.0000	111.0000	112.0000	114.0000	110.0000	108.0000
109.0000	108.0000	108.0000	111.0000	110.0000	109.0000	110.0000	110.0000	103.0000	104.0000
108.0000	107.0000	106.0000	107.0000	109.0000	110.0000	109.0000	107.0000	104.0000	106.0000
109.0000	106.0000	105.0000	107.0000	103.0000	102.0000	99.0000	102.0000	104.0000	106.0000
107.0000	104.0000	101.0000	103.0000	101.0000	100.0000	99.0000	99.0000	98.0000	101.0000
106.0000	105.0000	101.0000	101.0000	102.0000	103.0000	106.0000	105.0000	100.0000	98.0000
104.0000	103.0000	102.0000	102.0000	102.0000	102.0000	104.0000	103.0000	100.0000	98.0000
102.0000	101.0000	103.0000	104.0000	106.0000	102.0000	99.0000	101.0000	100.0000	100.0000
104.0000	105.0000	102.0000	102.0000	102.0000	100.0000	102.0000	100.0000	99.0000	100.0000
98.0000	97.0000	96.0000	97.0000	97.0000	97.0000	101.0000	102.0000	100.0000	102.0000
100.0000	97.0000	96.0000	94.0000	97.0000	94.0000	88.0000	95.0000	99.0000	101.0000

107.0000	100.0000	99.0000	101.0000	99.0000	94.0000	91.0000	92.0000	99.0000	99.0000
95.0000	90.0000	84.0000	79.0000	81.0000	85.0000	93.0000	106.0000	116.0000	109.0000
98.0000	102.0000	80.0000	57.0000	58.0000	66.0000	81.0000	100.0000	113.0000	112.0000
99.0000	110.0000	101.0000	91.0000	82.0000	74.0000	74.0000	78.0000	77.0000	98.0000
80.0000	80.0000	95.0000	111.0000	123.0000	125.0000	124.0000	122.0000	124.0000	131.0000
103.0000	100.0000	112.0000	126.0000	135.0000	140.0000	141.0000	139.0000	142.0000	141.0000
123.0000	129.0000	132.0000	136.0000	130.0000	127.0000	128.0000	130.0000	133.0000	131.0000
122.0000	117.0000	130.0000	138.0000	138.0000	135.0000	131.0000	128.0000	129.0000	141.0000
121.0000	113.0000	121.0000	124.0000	127.0000	127.0000	128.0000	128.0000	131.0000	127.0000
115.0000	113.0000	111.0000	106.0000	103.0000	98.0000	99.0000	98.0000	99.0000	96.0000
93.0000	94.0000	91.0000	86.0000	84.0000	78.0000	70.0000	72.0000	87.0000	100.0000
124.0000	128.0000	125.0000	120.0000	119.0000	117.0000	114.0000	118.0000	127.0000	129.0000
133.0000	130.0000	127.0000	121.0000	125.0000	125.0000	125.0000	128.0000	123.0000	126.0000
76.0000	78.0000	91.0000	104.0000	113.0000	119.0000	129.0000	133.0000	128.0000	129.0000
97.0000	107.0000	114.0000	123.0000	128.0000	127.0000	129.0000	129.0000	124.0000	125.0000
131.0000	130.0000	125.0000	122.0000	124.0000	122.0000	122.0000	122.0000	119.0000	121.0000
127.0000	128.0000	128.0000	130.0000	131.0000	131.0000	123.0000	122.0000	122.0000	121.0000
115.0000	117.0000	119.0000	127.0000	132.0000	133.0000	132.0000	135.0000	131.0000	124.0000
123.0000	122.0000	121.0000	119.0000	129.0000	132.0000	134.0000	138.0000	136.0000	136.0000
136.0000	135.0000	134.0000	129.0000	129.0000	137.0000	136.0000	137.0000	132.0000	133.0000
136.0000	138.0000	140.0000	135.0000	132.0000	131.0000	134.0000	137.0000	133.0000	131.0000
137.0000	140.0000	144.0000	136.0000	129.0000	124.0000	131.0000	135.0000	136.0000	133.0000
139.0000	138.0000	134.0000	129.0000	131.0000	132.0000	135.0000	134.0000	130.0000	136.0000

LAMPIRAN 4

TABEL HUFFMAN ENTROPY CODING KOEFFISIEN DC DAN AC YANG BERBASIS JPEG BASELINE ENCODER

Team LiB

PREVIOUS NEXT

Appendix B: Huffman Tables for the DC and AC Coefficients of the JPEG Baseline Encoder

Table B.1: DC Huffman coefficients of luminance

Category (CAT)	Codeword
0	00
1	010
2	011
3	100
4	101
5	110
6	1110
7	11110
8	111110
9	1111110
10	11111110
11	111111110

Table B.2: AC Huffman coefficients of luminance

(RUN,CAT)	Codeword
0,0 (EOB)	1010
0,1	00
0,2	01
0,3	100
0,4	1011
0,5	11010
0,6	1111000
0,7	11111000
0,8	1111110110
0,9	111111110000010
0,10	111111110000011
1,1	1100
1,2	11011
1,3	1111001
1,4	111110110
1,5	11111110110
1,6	111111110000100

1.7	111111110000101
1.8	111111110000110
1.9	111111110000111
1.10	111111110001000
2.1	11100
2.2	11111001
2.3	1111110111
2.4	11111110100
2.5	111111110001001
2.6	111111110001010
2.7	111111110001011
2.8	111111110001100
2.9	111111110001101
2.10	111111110001110
3.1	111010
3.2	111110111
3.3	11111110101
3.4	111111110001111
3.5	111111110010000
3.6	111111110010001
3.7	111111110010010
3.8	111111110010011
3.9	111111110010100
3.10	111111110010101
4.1	111011
4.2	1111111000
4.3	111111110010110
4.4	111111110010111
4.5	111111110011000
4.6	111111110011001
4.7	111111110011010
4.8	111111110011011
4.9	111111110011100
4.10	111111110011101
5.1	1111010
5.2	11111110111
5.3	111111110011110

5.4	111111110011111
5.5	111111110100000
5.6	111111110100001
5.7	111111110100010
5.8	111111110100011
5.9	111111110100100
5.10	111111110100101
6.1	1111011
6.2	11111110110
6.3	111111110100110
6.4	111111110100111
6.5	111111110101000
6.6	111111110101001
6.7	111111110101010
6.8	111111110101011
6.9	111111110101100
6.10	111111110101101
7.1	11111010
7.2	111111110111
7.3	111111110101110
7.4	111111110101111
7.5	111111110110000
7.6	111111110110001
7.7	111111110110010
7.8	111111110110011
7.9	111111110110100
7.10	111111110110101
8.1	111111000
8.2	11111111000000
8.3	111111110110110
8.4	111111110110111
8.5	111111110111000
8.6	111111110111001
8.7	111111110111010
8.8	111111110111011
8.9	111111110111100
8.10	111111110111101

9.1	111111001
9.2	111111110111110
9.3	111111110111111
9.4	1111111111000000
9.5	1111111111000001
9.6	1111111111000010
9.7	1111111111000011
9.8	1111111111000100
9.9	1111111111000101
9.10	1111111111000110
10.1	111111010
10.2	1111111111000111
10.3	1111111111001000
10.4	1111111111001001
10.5	1111111111001010
10.6	1111111111001011
10.7	1111111111001100
10.8	1111111111001101
10.9	1111111111001110
10.10	1111111111001111
11.1	1111111001
11.2	1111111111010000
11.3	1111111111010001
11.4	1111111111010010
11.5	1111111111010011
11.6	1111111111010100
11.7	1111111111010101
11.8	1111111111010110
11.9	1111111111010111
11.10	1111111111011000
12.1	1111111010
12.2	1111111111011001
12.3	1111111111011010
12.4	1111111111011011
12.5	1111111111011100
12.6	1111111111011101
12.7	1111111111011110

12.8	111111111011111
12.9	111111111100000
12.10	111111111100001
13.1	1111111000
13.2	111111111100010
13.3	111111111100011
13.4	111111111100100
13.5	111111111100101
13.6	111111111100110
13.7	111111111100111
13.8	111111111101000
13.9	111111111101001
13.10	111111111101010
14.1	111111111101011
14.2	111111111101100
14.3	111111111101101
14.4	111111111101110
14.5	111111111101111
14.6	111111111110000
14.7	111111111110001
14.8	111111111110010
14.9	111111111110011
14.10	111111111110100
15.1	111111111110101
15.2	111111111110110
15.3	111111111110111
15.4	111111111111000
15.5	111111111111001
15.6	111111111111010
15.7	111111111111011
15.8	111111111111100
15.9	111111111111101
15.10	111111111111110
15.0 (ZRL)	1111111001
the special symbol representing 16 zero	

LAMPIRAN 4

TABEL HUFFMAN UNTUK PEMBENTUKAN QUAD TREE CODING

Table C.1

PREVIOUS NEXT

Appendix C: Huffman Tables for Quad Tree Shape Coding

Huffman tables for quad tree shape coding. table_012.dat is used at levels 0, 1 and 2 and table_3.dat is used at level 3.

Table C.1: table_012.dat

Index	Code
0	
1	10011
2	11110101
3	101101
4	0010
5	1110110
6	111111011
7	1100110
8	01110
9	101111
10	10010
11	11110100
12	111111111100
13	11110000
14	1110100
15	11111111111111
16	11111111010
17	1101110
18	11111011
19	11111000
20	110010
21	11111111111100
22	1111111000
23	11111001
24	11111111111110
25	11111111001
26	111111010
27	10001
28	1111111010
29	111111111101

30	01111
31	1110101
32	11111111000
33	1101011
34	1110010
35	11111100
36	0001
37	1110001
38	11111111011
39	11110110
40	10101
41	11110011
42	11111111010
43	11110010
44	0101
45	1110011
46	1101111
47	11110111
48	111111111100
49	11101111
50	101110
51	11111111111101
52	111111111001
53	110001
54	11110001
55	1111111111101
56	11111111111110
57	110000
58	1111111001
59	1111111111110
60	0100
61	1101010
62	11111010
63	10000
64	1111111011
65	111111111000
66	1101000

67	11110000
68	1111111011
69	11101110
70	01101
71	101100
72	0000
73	1100111
74	1101101
75	1101001
76	0011
77	10100
78	1101100
79	01100
80	

Table G.2: table_3.dat

Index	Code
0	
2	1101
6	111110
8	1011
18	11101
20	100
24	1111111
26	111110
54	1100
56	11111110
60	01
62	11110
72	00
74	1010
78	11100
80	