



TESIS

MASI WAVELET DAN HUFFMAN CODING DENGAN V-VARIABLE IMAGE COMPRESSOR PADA KOMPRESI GAMBAR

WAVELET AND HUFFMAN CODING OPTIMIZATION WITH V- VARIABLE IMAGE COMPRESSOR IN IMAGE COMPRESSION

MUHAMMAD REZKY
D082192006



PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024





PENGAJUAN TESIS

OPTIMASI WAVELET DAN HUFFMAN CODING DENGAN V-VARIABLE IMAGE COMPRESSOR PADA KOMPRESI GAMBAR

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Informatika

Disusun dan diajukan oleh

Muhammad Rezky

D082192006

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

TESIS

OPTIMASI WAVELET DAN HUFFMAN CODING DENGAN V-VARIABLE IMAGE COMPRESSOR PADA KOMPRESI GAMBAR

MUHAMMAD REZKY
D082192006

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 22 Maret 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T.
NIP. 19610813 198811 2 001

Pembimbing Pendamping

Dr. Eng. Ady Wahyudi Paundu, S.T., M.T.
NIP. 19750313 200912 1 003

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



mad Isran Ramli, M.T. IPM., ASEAN.Eng.
9730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Informatika



Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.
NIP. 19640427 198910 1 002





PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Muhammad Rezky
Nomor mahasiswa : D082192006
Program studi : Teknik Informatika

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “OPTIMASI WAVELET DAN HUFFMAN CODING DENGAN V-VARIABLE IMAGE COMPRESSOR PADA KOMPRESI GAMBAR” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T. dan Dr. Eng. Ady Wahyudi Paundu, S.T., M.T.. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, Maret 2024

Yang menyatakan



Muhammad Rezky



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga tesis yang berjudul “OPTIMASI WAVELET DAN HUFFMAN CODING DENGAN V-VARIABLE IMAGE COMPRESSOR PADA KOMPRESI GAMBAR” ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan jenjang Strata-2 pada Departemen Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan penulisan laporan tesis ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai dengan masa penyusunan tesis. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu wa ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa atas semua berkat, karunia, serta pertolongan-Nya yang tiada batas, yang diberikan kepada penulis di setiap langkah dalam pembuatan program hingga penulisan laporan tesis ini;
2. Kedua Orang tua penulis, Bapak (Purn) Mayor Inf. Paharuddin dan Ibu Ramlah Dg. Rimang yang selalu menjadi motivasi terbesar dalam penyelesaian perkuliahan ini yang tidak pernah putus memberikan dukungan, doa, dan semangat serta selalu sabar dalam mendidik penulis sejak kecil;
3. Adik kandung penulis, Muhammad Rinaldy, dan Muhammad Rizal Hidayat yang mendukung dalam segi apapun dan memberikan semangat kepada penulis selama penyusunan tesis;
4. Ibu Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T. selaku pembimbing I dan Dr. Eng. Ady Wahyudi Paundu, S.T., M.T., selaku pembimbing II yang telah memberikan waktu, tenaga, pikiran, dukungan moril maupun materil serta perhatian yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis;
5. Bapak Adnan, S.T., M.T. Ph.D., Ibu Mukarramah Yusuf, B.Sc., M.Sc. Ph.D dan Bapak Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga laporan tesis ini menjadi lebih baik;
6. Bapak Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan motivasi, bimbingan, dan semangatnya selama masa perkuliahan penulis;
7. Teman-teman, kakak-kakak dan adik-adik di Laboratorium Computer Based System Pascasarjana UNHAS yang telah memberikan banyak bantuan, motivasi, semangat dan pengalaman selama proses perkuliahan;



8. Teman-teman Pascasarjana UNHAS Angkatan 1 atas dukungan dan semangat yang diberikan selama ini;
9. Teman-teman Tenaga Ahli Dinas Komunikasi dan Informatika Kota Makassar yang telah memberikan saran, dorongan serta motivasi selama proses penyelesaian tesis penulis.
10. Teman terdekat penulis Kurnia Rahma Syarif S.Kep., Ns., M.Kep, yang selalu mendorong dan memberikan motivasi untuk menyelesaikan penelitian dan studi;
11. Orang-orang terkasih yang tidak sempat dituliskan oleh penulis;

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah SWT. Senantiasa berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah banyak membantu. Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu. Aamiin ya Rabbal Alamin.

Gowa Maret 2024

Muhammad Rezky



ABSTRAK

IMAD REZKY. Optimasi *Wavelet* dan *Huffman Coding* dengan *V-Variable Image Compressor* dalam Kompresi Gambar. (Dibimbing oleh **Ingrid Nurtanio** dan **Adi Wahyudi Paundu**).

Perkembangan teknologi memicu peningkatan kebutuhan bandwidth pada jaringan komunikasi. Kompresi gambar menjadi solusi untuk mengatasi pengiriman data besar, dengan metode lossless dan lossy. Penelitian ini mengusulkan metode optimasi kompresi citra menggunakan wavelet dan pengkodean Huffman dengan V-variabel. Optimalisasi dilakukan dengan membagi frekuensi rendah pada citra melalui wavelet dan mengompresi citra secara terpisah antara frekuensi tinggi, sehingga memungkinkan dilakukan kompresi bertingkat menggunakan V-variabel. Gambar tersebut kemudian diubah menjadi satu dimensi dan disimpan menggunakan pengkodean Huffman. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kombinasi Wavelet & Huffman memiliki performa terbaik untuk MSE (0,47) dan PSNR (52,28 dB), sementara metode yang diusulkan mencapai rasio kompresi tertinggi (0,52). Algoritma ini juga menunjukkan kecepatan komputasi yang lebih baik dibandingkan dengan V-variable. Penelitian ini berhasil mengatasi kelemahan kompresi gambar dengan pendekatan yang inovatif.

Keyword: *Kompresi Gambar, Huffman, V-variable, Wavelet*



ABSTRACT

IMAD REZKY. Wavelet and Huffman Coding Optimization with V-Variable image Compressor in Image Compression. (Supervised by **Ingrid Nurtanio** and **Adi Wahyudi Paundu**).

The development of technology triggers an increase in bandwidth requirements in communication networks. Image compression emerges as a solution to address the transmission of large data, employing both lossless and lossy methods. This research proposes an optimization method for image compression using wavelet and Huffman coding with V-variables. Optimization is achieved by dividing the low-frequency components of the image through wavelet and compressing the image separately between high-frequency components, enabling a hierarchical compression using V-variables. The image is then transformed into one dimension and stored using Huffman coding. Evaluation results indicate that the combination of Wavelet & Huffman exhibits the best performance for Mean Squared Error (MSE) (0.47) and Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) (52.28 dB), while the proposed method achieves the highest compression ratio (0.52). Additionally, this algorithm demonstrates better computational speed compared to V-variables. This research successfully addresses the shortcomings of image compression with an innovative approach.

Keyword: *Image Compression, Huffman, V-variable, Wavelet*



DAFTAR ISI

ABSTRAK	VI
DAFTAR ISI	VIII
DAFTAR GAMBAR	X
I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
II. KAJIAN LITERATUR DAN METODE PEMECAHAN MASALAH	4
A. Kajian Pustaka	4
2.1. Image Compression	4
2.2. Huffman Codes	5
2.3. Wavelet Compression	8
2.4. V-Variable Image Compression	11
C. Target Hipotesis Penelitian	13
III. LANGKAH PENELITIAN	14
A. Metode Penelitian	14
3.1. Jenis Penelitian	14
3.2. Langkah Penelitian	14
3.3. Sumber Data	15
3.4. Rancangan Sistem	16
3.5. Metode Pengujian Sistem	19
3.6. Instrumen Penelitian	20
IV. HASIL DAN ANALYSIS	21
A. MSE	22



o Kompresi	25
R	28
D. Waktu Komputasi	32
V. KESIMPULAN	35
DAFTAR PUSTAKA	36



DAFTAR GAMBAR

- 1 Tahapan Dekompresi 5

Gambar 2-2 Prosedur Penentuan Bits 7

Gambar 2-3 Subband dekomposisi dari gambar M x N 9

Gambar 2-4 4 Jenis potongan gambar dengan ukuran 128 x 128 Jika n = 2 12

Gambar 3-5 Kompresi Wavelet 16

Gambar 3-6 Alur V-Variable image Compressor 17

Gambar 3-7 Metode kompresi dan dekompresi yang diusulkan 19

Gambar 4-1 Jenis gambar garis 21

Gambar 4-2 Jenis gambar photographic 21

Gambar 4-3 Jenis gambar text 22

Gambar 4-4 Jenis gambar yang terdiri dari garis, fotografi dan text 22

Gambar 4-5 Hasil dari MSE untuk gambar garis. 24

Gambar 4-6 Hasil dari MSE untuk gambar photographic. 24

Gambar 4-7 Hasil dari MSE untuk gambar text. 25

Gambar 4-8 Hasil dari MSE untuk gambar dengan semua tipe gambar. 25

Gambar 4-9 Hasil dari rata-rata MSE dari semua algoritma. 25

Gambar 4-10 Hasil dari kompresi rasio untuk gambar garis. 26

Gambar 4-11 Hasil dari rasio kompresi untuk gambar photographic. 27

Gambar 4-12 Hasil dari rasio kompresi untuk gambar text. 27

Gambar 4-13 Hasil dari rasio kompresi untuk gambar dengan semua tipe gambar. 28

Gambar 4-14 Hasil rata-rata rasio kompresi untuk semua jenis gambar. 28

Gambar 4-15 Hasil dari psnr untuk gambar garis. 29

Gambar 4-16 Hasil dari psnr untuk gambar photographic. 30

Gambar 4-17 Hasil dari psnr untuk gambar text. 30

Gambar 4-18 Hasil dari PSNR untuk gambar dengan semua tipe gambar. 30

Gambar 4-19 Hasil rata-rata psnr untuk semua jenis gambar. 31

Gambar 4-20 Hasil dari waktu kompresi untuk gambar garis. 32

Gambar 4-21 Hasil dari waktu kompresi untuk gambar photographic. 33

Gambar 4-22 Hasil dari waktu kompresi untuk gambar text. 33

Gambar 4-23 Hasil dari PSNR untuk gambar dengan semua tipe gambar. 34

Gambar 4-24 Hasil dari waktu kompresi untuk semua jenis gambar. 34



BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan teknologi, kebutuhan akan bandwidth pada jaringan komunikasi kian besar. Hal ini juga berlaku pada pengiriman data ukuran besar khususnya pada file gambar dengan resolusi yang tinggi. Data compression menjadi salah satu solusi untuk mengurangi bandwidth pada pengiriman data berukuran besar. Algoritma dan metode baru terus dikembangkan agar dapat menghasilkan data dengan ukuran kecil tanpa mengubah kualitas dari data aslinya.

Terdapat dua metode yang digunakan dalam melakukan image compression, yaitu lossless compression dan lossy compression. Dalam lossless compression terdapat beberapa algoritma yang sering digunakan diantaranya yaitu Wavelet Compression, Huffman Coding, Arithmetic Coding, dan Lossless predictive coding (Hussain, Al-Fayadh and Radi, 2018) (Gupta *et al.*, 2020). Sementara jenis algoritma pada Lossy compression yaitu transform coding, predictive coding, JPEG Standard, JPEG 2000 Standard, JPEG_XT, Singular Value Decomposition, Vector Quantisation, Hybrid Coding, dan Image Compression Using Neural Network (Hussain, Al-Fayadh and Radi, 2018) (Li *et al.*, 2021).

Metode kompresi gambar terus dikembangkan hingga saat ini. Banyak peneliti yang mengusulkan metode kompresi baru dengan berdasar pada metode yang sudah ada. Seperti misalnya melakukan kompresi dengan berbasis pada metode deep-learning (Wang *et al.*, 2021) ataupun menggabungkan dua algoritma untuk menghasilkan algoritma baru. Penggabungan algoritma dalam kompresi gambar sudah sering dan banyak dilakukan, seperti menggabungkan algoritma kompresi dan enkripsi gambar (Ahmad and Shin, 2021), menggabungkan metode kompresi dan rekonstruksi tiga dimensi (Golts and Schechner, 2021) atau menggabungkan dua algoritma kompresi sekaligus (Gupta *et al.*, 2020).

Pada penelitian sebelumnya (Li *et al.*, 2021) dilakukan optimasi pada metode kompresi JPEG_XT dan membandingkan tiga metode kompresi yaitu OPT_JPEG_XT (optimasi JPEG_XT), JPEG_XT dan JPEG 2000 dengan gambar medis 16 bit JPEG, pada penelitian tersebut diketahui bahwa OPT_JPEG_XT



apat menghemat penyimpanan sebesar 60% dengan PSNR yang tinggi dan MSE yang rendah. Pada penelitian lain (Gupta *et al.*, 2020) dilakukan perbandingan metode antara Huffman coding, wavelet dan metode yang diusulkan (penggabungan antara Huffman dan wavelet) penelitian tersebut melakukan kompresi pada gambar dengan format JPEG dan menghasilkan jumlah bit data yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode Huffman dan wavelet pada hasil kompresi dan dengan PSNR yang lebih tinggi.

Sementara pada penelitian lain (Mendivil and Stenflo, 2021) dilakukan kompresi pada gambar *greyscale* menggunakan *V-variable image compression* penelitian menerapkan notasi matematika V-variabel pada kompresi gambar. Akan tetapi metode memiliki beberapa kelemahan diantaranya yaitu PSNR yang dihasilkan cenderung kecil dan dibandingkan dengan metode lain metode kompresi gambar V-variabel lambat dalam melakukan kompresi namun cepat dalam proses dekompresi. Namun juga terdapat beberapa kelebihan dari V-variable yaitu dalam melakukan kompresi berulang kualitas gambar tidak berpengaruh, berbeda dengan kompresi gambar berbasis wavelet, selain itu kompresi gambar V-variabel menghasilkan ukuran kompresi gambar yang jauh lebih kecil.

Kompresi gambar *Wavelet Coding* memiliki kelemahan pada rasio kompresi dalam melakukan kompresi gambar berupa garis dan text, namun memiliki nilai PSNR yang baik, sedangkan kompresi gambar V-variable memiliki nilai PSNR yang kurang baik, namun memiliki kompresi rasio yang baik untuk melakukan kompresi gambar pada garis dan text (Mendivil and Stenflo, 2021). Hal ini terjadi karena kompresi gambar pada wavelet tidak melakukan *clustering* pada pixel yang serupa sehingga kompresi gambar untuk garis dan text yang cenderung memiliki nilai pixel yang serupa tidak efisien.

Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi pada Huffman dan Wavelet Coding dengan menggunakan metode kompresi gambar V-variabel.

B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, dapat dirumuskan dua masalah yaitu:

1. Bagaimana Optimasi yang dilakukan pada Huffman dan Wavelet coding menggunakan V-variable image compressor ?



2. Apakah optimasi yang dilakukan menghasilkan performansi yang lebih baik dari pada algoritma kompresi standar ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan yaitu:

1. Menawarkan, mendesain dan membangun Teknik kompresi baru dengan melakukan kombinasi antara kompresi gambar Wavelet, Huffman dan V-variable untuk mengatasi kelemahan pada kompresi gambar Wavelet.
2. Melakukan evaluasi terhadap hasil optimasi yang dilakukan dengan membandingkan performansi (*PSNR*, *MSE*, *Compression Ratio*) tiga metode orisinil dan metode yang diusulkan.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah:

1. Dengan dibuatnya metode kompresi baru ini diharapkan pengiriman file dalam bentuk gambar menjadi lebih efisien dan cepat.
2. Algoritma yang diusulkan dapat diimplementasikan untuk melakukan kompresi pada gambar dengan ukuran yang besar.
3. Sebagai referensi untuk menentukan jenis kompresi yang tepat dalam melakukan kompresi gambar.
4. Sebagai bahan referensi untuk akademisi maupun praktisi dalam hal kompresi gambar.



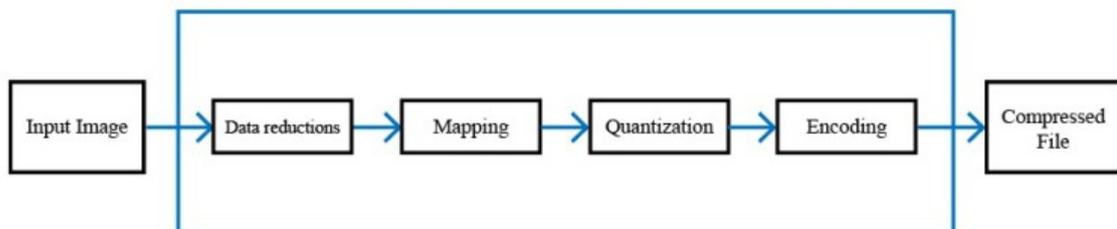
BAB II KAJIAN LITERATUR DAN METODE PEMECAHAN MASALAH

A. Kajian Pustaka

2.1. Image Compression

Image compression menjadi salah satu bidang yang populer pada beberapa tahun belakangan ini. Sistem *image compression* dibagi menjadi dua bagian yaitu kompresi dan dekompresi (Hussain, Al-Fayadh and Radi, 2018). Pada tahap kompresi dilakukan preprocessing dan encoding, sedangkan pada dekompresi dilakukan decoding kemudian dilanjutkan dengan postprocessing.

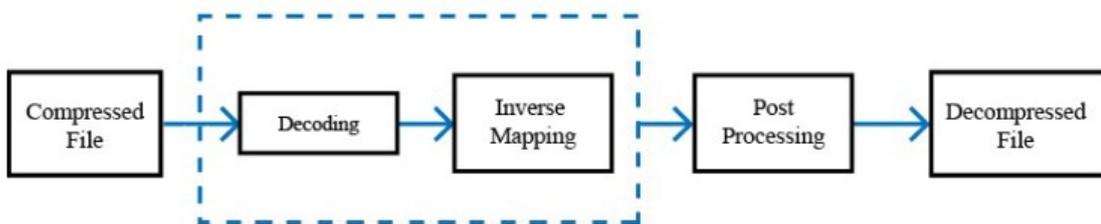
Proses kompresi dibagi dalam beberapa tahapan, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. tahapan yang pertama dilakukan *data reduction*. Ada beberapa cara untuk melakukan data reduction yaitu *gray level*, kuantisasi spasial, atau menghilangkan *noise* pada gambar. Tahapan selanjutnya adalah melakukan mapping pada gambar untuk memudahkan dalam melakukan kompresi data. Proses selanjutnya adalah tahapan kuantisasi dimana mengambil data pada tahapan mapping yang bersifat kontinu dan mengubahnya dalam bentuk diskrit. Tahapan terakhir adalah mengubah encoding data yang dihasilkan. Proses kompresi dapat terdiri dari semua tahapan atau sebagian saja (Hussain, Al-Fayadh and Radi, 2018).



Gambar 2-1 Tahapan Kompresi



Sementara untuk proses dekompresi dibagi dalam dua tahapan seperti pada terlihat pada gambar 2.2, pada tahapan pertama dilakukan decoding pada compressed file dengan melakukan mapping pada code dan mengubahnya menjadi nilai aslinya. Selanjutnya dilakukan inverse mapping yaitu membalikkan proses mapping proses yang aslinya. dan terakhir melakukan postprocess yang bertujuan untuk memperbaiki dan meningkatkan hasil akhir dari gambar (Hussain, Al-Fayadh and Radi, 2018).



Gambar 2-1 Tahapan Dekompresi

Image Compression sendiri dibagi menjadi dua jenis yaitu lossy image compression dan lossless image compression. Lossy image compression diterapkan pada format JPEG, sedangkan lossless image compression diterapkan pada format PNG, BMP, TIFF dll (Perfileieva and Hurtik, 2021).

Compresi dengan operasi JPEG dapat dibagi menjadi beberapa tahap yaitu perubahan warna; MCU (*Minimum Coded Unit*), DU (*Data Unit*), dan pengambilan sampel gambar; DCT; kuantifikasi; *Zigzag scan*; *run-length coding*; Diferensial *coding*; dan *Huffman Coding* (Yuan and Hu, 2019).

2.2. Huffman Codes

Huffman codes awalnya merupakan hasil dari tugas kelas David Huffman, yang kemudian diajarkan oleh Robert Fano di MIT (Huffman, D. A., 1952). Huffman code sendiri didasari dari dua kode prefix yang optimal, yang pertama symbol yang muncul lebih sering (probabilitas yang tinggi) akan memiliki hasil *codewords* yang lebih pendek dibandingkan dengan probabilitas yang rendah



Hussain, Al-Fayadh and Radi, 2018) (Sayood, 2018a); kedua yaitu dua symbol yang paling jarang muncul akan memiliki panjang yang sama (Sayood, 2018a).

Algoritma Huffman code dalam melakukan kompresi pada gambar dapat dideskripsikan dalam beberapa Langkah (Hussain, Al-Fayadh and Radi, 2018) yaitu:

Langkah pertama, melakukan list propabilitas dari berbagai macam grey level pada gambar. Propabilitas ini kemudian diurutkan dari yang memiliki propabilitas tinggi ke propabilitas yang rendah. Urutan ini nantinya akan menghasilkan kumpulan node.

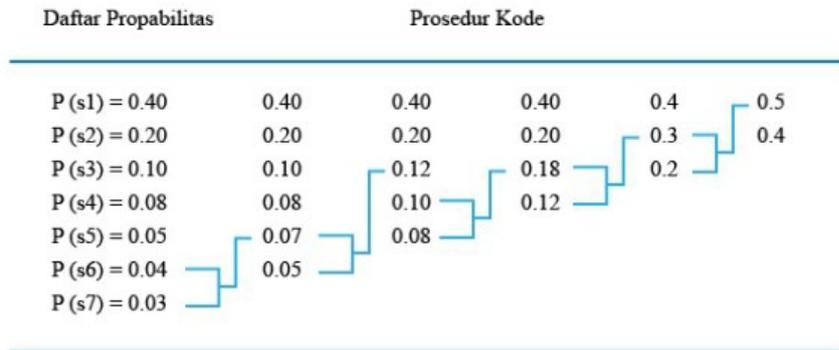
Langkah kedua, ambil dua node dengan propabilitas yang rendah dari kumpulan node, kemudian buat propabilitas yang baru dari penjumlahan dua node tersebut, lalu urutkan kembali kumpulan node yang telah diproses.

Langkah ketiga, Buat urutan list propabilitas yang baru dan menandai masing-masing anak node yang paling atas (sebelah kiri) dengan angka 1 dan yang paling bawah (sebelah kanan) dengan angka 0.

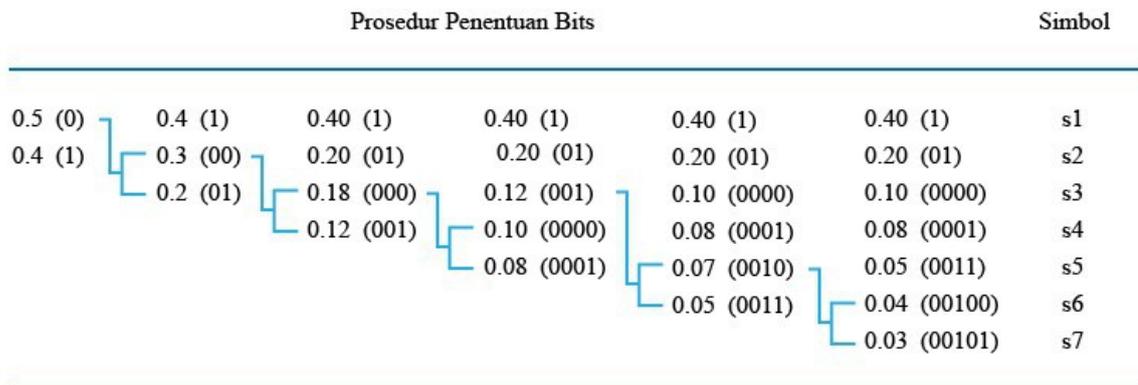
Langkah ke-empat, Perbarui kumpulan node dengan mengganti dua node dengan dua node yang baru dengan propabilitas yang terendah. Langkah berhenti apabila kumpulan node hanya berisi satu node; jika tidak, ulangi Langkah kedua.

Berikut merupakan contoh dalam penerapan *Huffman codes* (Hussain, Al-Fayadh and Radi, 2018).

Misalkan sebuah gambar memiliki tujuh symbol yaitu $\{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7\}$, dengan propabilitasnya masing-masing yaitu $\{0.40, 0.20, 0.10, 0.08, 0.05, 0.04, 0.03\}$ yang dikodekan dengan ukuran 3 bits/pixel per kata. Pada Gambar 2.3 dapat dilihat prosedur *Huffman Codes*. Node s_6 dan s_7 yang memiliki propabilitas yang rendah dijumlahkan dan menghasilkan propabilitas dengan nilai 0.07. setelah proses penjumlahan dilakukan pengurutan kembali. Proses ini terus diulang hingga akhirnya tersisa dua node (pada contoh ini 0.5 dan 0.4). Prosedur penentuan bit dilakukan dengan arah sebaliknya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.4, yaitu dengan memberi angka node di atas dengan 0 dan di bawah dengan 1 pada dua node dengan propabilitas terendah.



Gambar 2- 3 Huffman Codes



Gambar 2- 2 Prosedur Penentuan Bits

Rata-rata panjang *codewords* pada berbagai tingkat *grey level* dapat didefenisikan dengan:

$$L_{ave} = \sum_{i=1}^L I(r_i)P(r_i) \quad (1)$$

Dimana r_i , $i = 1, 2, \dots, L$ representasi dari i^{th} *grey level* dari $L - grey level$ gambar, $I(r_i)$ merupakan bit yang dibutuhkan untuk mewakili *grey level* dan $P(r_i)$ merupakan propabilitasnya. Dengan demikian dapat dihitung rata-rata panjang *codewords* pada contoh Huffman Codes sesuai dengan Gambar 2.4 yaitu:

$$L_{ave} = (0.4)(1) + (0.2)(2) + (0.10)(4) + (0.08)(4) + (0.05)(4) + (0.04)(5) + (0.03)(5)$$

$$L_{ave} = 2.07 \text{ Bits}$$



Dari contoh di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan bits dari code biasa yaitu 3 bits menjadi 2.07 bits pada *Huffman Coding*.

Namun perlu diperhatikan *Huffman Coding* hanya optimal pada symbol gambar dengan bilangan integer. Setiap gambar memiliki bilangan propabilitasnya masing-masing, sehingga Huffman Coding tidak selamanya optimal pada semua gambar.

2.3. Wavelet Compression

Salah satu pengaplikasian terpopuler dari wavelets (Daubechies, I., 1988) adalah kompresi gambar. Gambar terdiri dari sinyal dua dimensi. Ada dua pendekatan yang digunakan untuk dekomposisi subband dari sinyal dua dimensi; yaitu menggunakan filter dua dimensi atau menggunakan transformasi terpisah yang dapat diterapkan menggunakan filter satu dimensi yang dimana dilakukan pada baris terlebih dahulu kemudian kolom atau sebaliknya (Sayood, 2018b).

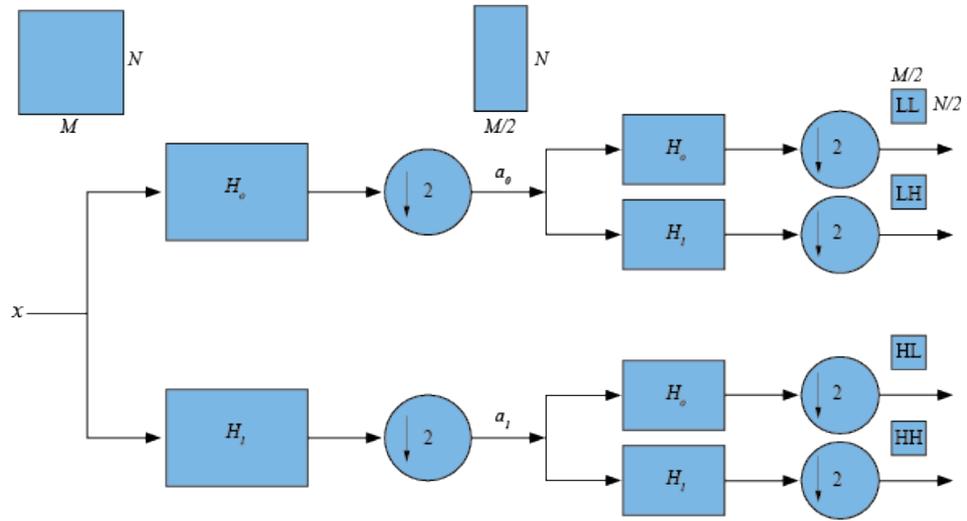
Gambar berikut (*Gambar 2-6* Subband dekomposisi dari gambar $M \times N$) menunjukkan bagaimana sebuah gambar didekomposisi menggunakan *subband decomposition* dimulai dari sebuah gambar berukuran $N \times M$. Kemudian dilakukan filter untuk setiap baris lalu melakukan *downsample*, hingga kita mendapatkan dua gambar dengan ukuran $N \times M/2$. Kita kemudian melanjutkan dengan melakukan filter pada setiap kolom lalu melakukan *subsample* pada filter hingga memperoleh empat gambar dengan ukuran $N/2 \times M/2$. Keempat gambar kemudian diberi simbol, gambar yang didapatkan dari *low-pass filtering* baris dan kolom diberi simbol LL, kemudian gambar yang didapatkan dari *low-pass filtering* pada baris dan *high-pass filtering* pada kolom diberi simbol LH, gambar yang diperoleh dari *high-pass filtering* pada baris dan *low-pass filtering* pada kolom diberi simbol HL, dan gambar yang diperoleh dari *high-pass filtering* pada baris dan kolom diberi simbol HH. Dekomposisi seperti ini juga kadang

		M/2	M/2
N/2	LL	LH	
N/2	HL	HH	

Gambar 2-5 Dekomposisi Level Pertama

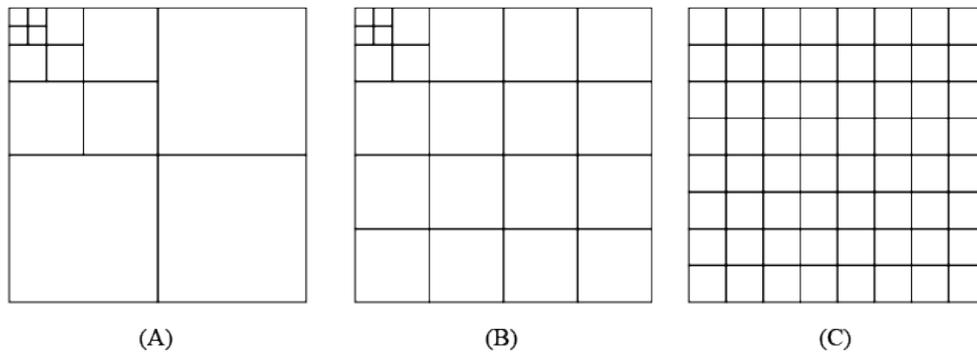


igambarkan seperti pada gambar *Gambar 2-5* Dekomposisi Level Pertama.



Gambar 2-3 Subband dekomposisi dari gambar $M \times N$

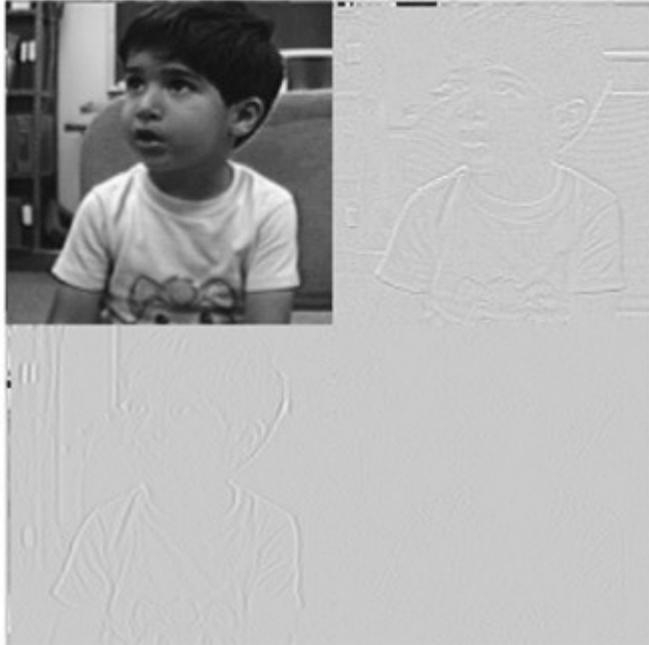
Gambar yang didapatkan dari cara ini kemudian dapat difilter dan *subsampling* untuk mendapatkan lagi empat sub gambar. Proses ini dapat terus diulang hingga diperoleh struktur *subband* yang diinginkan. Ada tiga stuktur yang populer dan sering digunakan seperti pada gambar *Gambar 2-7* Tiga Subband Struktur yang Populer. Struktur pada *Gambar 2-7* Tiga Subband Struktur yang Populer (A) sub gambar LL telah dikomposisi, dari tiap dekomposisi dibagi lagi menjadi empat sub gambar, hingga menghasilkan total 10 sub gambar. Cara ini merupakan dekomposisi yang paling populer.



Gambar 2-7 Tiga Subband Struktur yang Populer



Berikut merupakan contoh penggunaan Daubechies wavelet filter (Sayood, 2018b) . Jika menggunakan 4-tap Daubechies filter akan didapatkan hasil dekomposisi seperti pada gambar Gambar 2-8 Dekomposisi menggunakan



Gambar 2-8 Dekomposisi menggunakan Daubechies filter

Daubechies filter (Sayood, 2018b)

Jika dilakukan encode pada Gambar 2-8 Dekomposisi menggunakan Daubechies filter pada rate 0.5 bits per pixel akan didapatkan gambar rekonstruktif seperti pada Gambar 2-9 Rekonstruksi gambar menggunakan 0.5 bit rate per-pixel dan empat-tap Daubechies filter (Sayood, 2018b).



Gambar 2-9 Rekonstruksi gambar menggunakan 0.5 bit rate per-pixel dan empat-tap Daubechies filter

2.4. V-Variable Image Compression

Berdasarkan dari (Mendivil and Stenflo, 2021) notasi matematika *V-variability* diperkenalkan oleh Bransley, Hutchinson dan Stenflo. Secara intuitif satu set *V*-variabel dibangun dari banyak set *V*-variabel yang lebih kecil. Berdasarkan fakta bahwa bagian dari gambar merupakan beberapa gambar yang lebih kecil maka *V-variability* dapat digunakan untuk kompresi gambar (Mendivil and Stenflo, 2021).

V-variable untuk kompresi gambar diperkenalkan oleh Mendivil dan Senflo, dalam hal lossy kompresi, dimana hasil gambar dari algoritma yang digunakan menggunakan penyimpanan yang lebih sedikit.

Untuk memperjelas metode *V*-variabel kita asumsikan sebuah gambar dengan ukuran $2^m \times 2^m$ pixel untuk beberapa m . Untuk mendefinisikan apa yang dimaksud dengan gambar digital *V*-variabel maka diperkenalkan beberapa defenisi.

1. Nilai $m \geq 0$ dan merupakan bilangan bulat dan membilang sebuah gambar digital berukuran $2^m \times 2^m$ pixel. Untuk setiap $0 \leq n \leq m$, kita dapat membagi gambar yang diberikan menjadi 4^n yang tidak tumpang tindih dengan bagian gambar berukuran $2^{m-n} \times 2^{m-n}$. Kita menyebut potongan ini denngan potongan gambar pada level n .

Sekarang kita bisa mendefenisikan apa yang kita maksud dengan gambar *V*-variabel.



2. Nilai $V \geq 1$ merupakan bilangan bulat yang tetap. Kita dapat menyebutnya gambar V -variabel jika, untuk setiap $1 \leq n \leq m$, gambar tersebut memiliki V potongan gambar berbeda pada level n .

Contoh 4-variabel $512 \times 512 = 2^9 \times 2^9$ pixel gambar digital *greyscale*. Seperti pada Gambar 2- 10 Gambar Greyscale berukuran 512 x 512.



Gambar 2- 10 Gambar Greyscale berukuran 512 x 512

Dari Gambar 2- 10 Gambar Greyscale berukuran 512 x 512 kita dapat membuat 4^n potongan gambar dengan ukuran $2^{9-n} \times 2^{9-n}$ dari (paling banyak) type yang berbeda. Untuk setiap $n = 0, 1, 2, \dots, 9$. Tampilan dari gambar ini tergantung kepada n . Sebagai contoh jika $n = 2$ maka ada 16 potongan gambar dengan ukuran 128×128 pixel yang terdiri dari 4 jenis, seperti pada Gambar 2- 11 4 Jenis potongan gambar dengan ukuran 128 x 128,



Gambar 2- 4 4 Jenis potongan gambar dengan ukuran 128 x 128 Jika $n = 2$

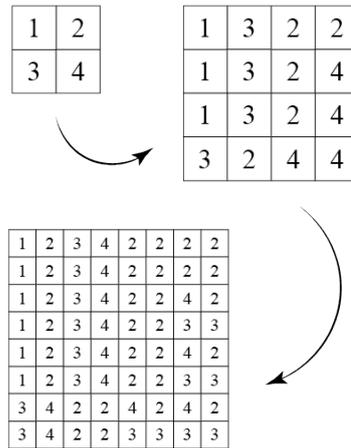
dan jika $n = 3$ maka ada 64 bagian gambar dengan ukuran 64×64 pixel yang terdiri dari 4 jenis, seperti pada Gambar 2- 12 4 Jenis potongan gambar dengan ukuran 64×64 Jika $n = 3$



Gambar 2- 12 4 Jenis potongan gambar dengan ukuran 64 x 64 Jika $n = 3$



engan melihat gambar dan potongan nya, kita dapat secara rekursif mendeskripsikan 4 variabel gambar menggunakan 4 gambar yang lebih kecil dan ukuran yang lebih kecil. Seperti pada Gambar 2-13 Tingkat Struktur V-variabel yaitu secara rekursif mendeskripsikan semakin banyak tingkat struktur V-variabel.



Gambar 2-13 Tingkat Struktur V-variabel

Pada gambar dapat dilihat pada setiap tahap, gambar pada level tersebut digantikan dengan empat gambar dari level berikutnya. Paling banyak ada 4 V-tipe untuk setiap potongan gambar dan substitusi berhenti berdasarkan dari tipenya.

B. Target Hipotesis Penelitian

Terdapat kesamaan antara Wavelet dan V-variable dalam melakukan kompresi gambar yaitu dengan membagi gambar menjadi beberapa potongan, dengan adanya kesamaan maka memungkinkan untuk melakukan kombinasi antara Wavelet dan V-variable. Dalam melakukan kompresi gambar, metode kompresi V-variable melakukan *clustering* sehingga bit data yang dihasilkan kecil, hal inilah yang tidak ada pada kompresi gambar Wavelet, oleh sebab itu diharapkan dengan melakukan kombinasi antara Wavelet, *Huffman* dan V-variable bisa didapatkan bit data yang lebih kecil dari kompresi aslinya serta mendapatkan hasil yang lebih stabil dalam mengkompresi beberapa jenis gambar.