

18.707/HIS/H/2003



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PERANGKAT LUNAK SEGMENTASI CITRA MULTI TEKSTUR DENGAN MENGGUNAKAN FILTER GABOR

TUGAS AKHIR



RIF
005.1
Lae
P-2
2000

Disusun Oleh :

NURIFATUL LAELA

NRP. 2693.100.050

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	9-7-2003
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	217721

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2000

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN
PERANGKAT LUNAK
SEGMENTASI CITRA MULTI TEKSTUR
DENGAN MENGGUNAKAN FILTER GABOR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**

Pada

Jurusan Teknik Informatika

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

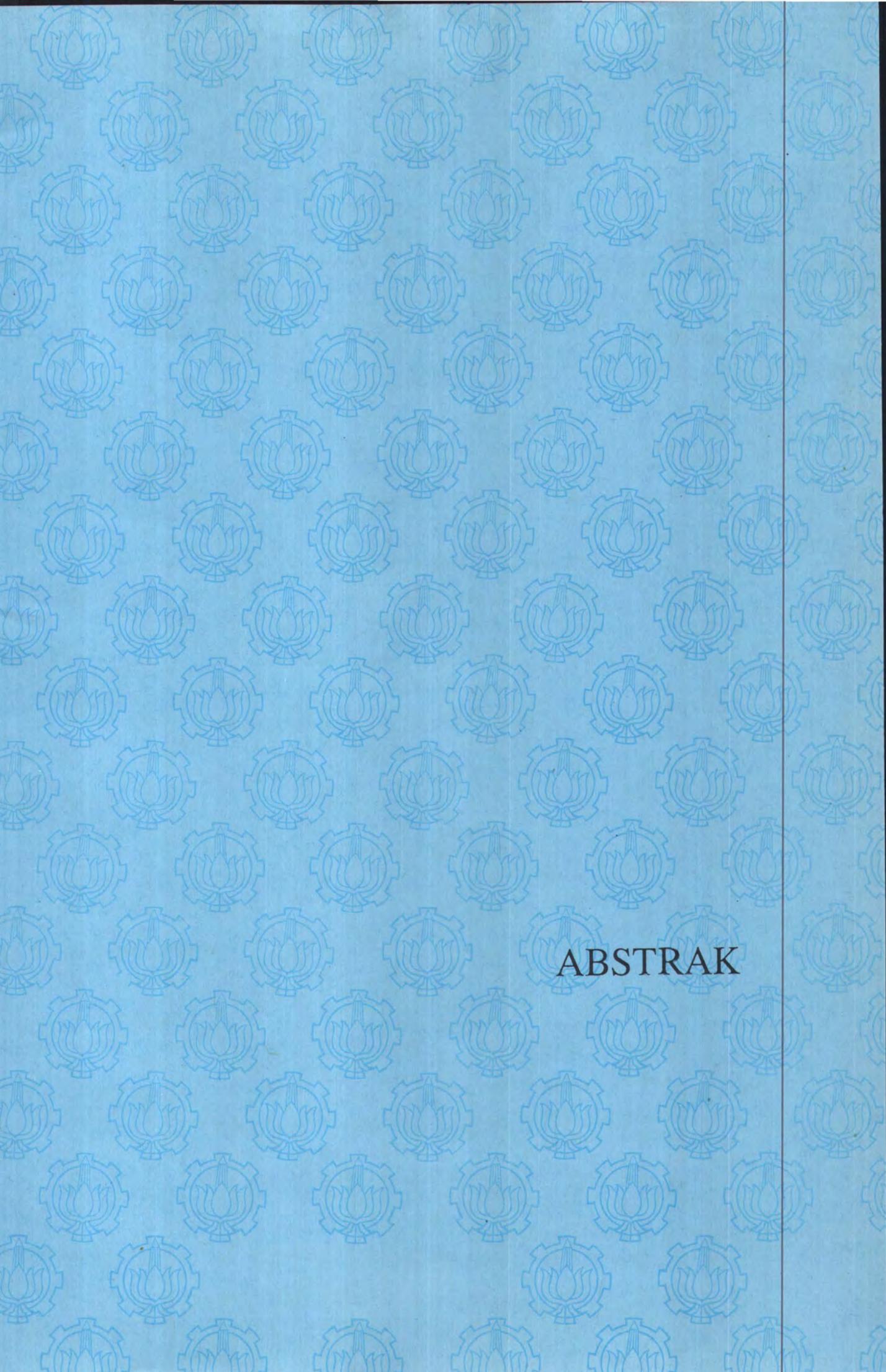
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



RULLY SOELAIMAN, S.Kom.
NIP. 132 085 802

SURABAYA
Februari, 2000



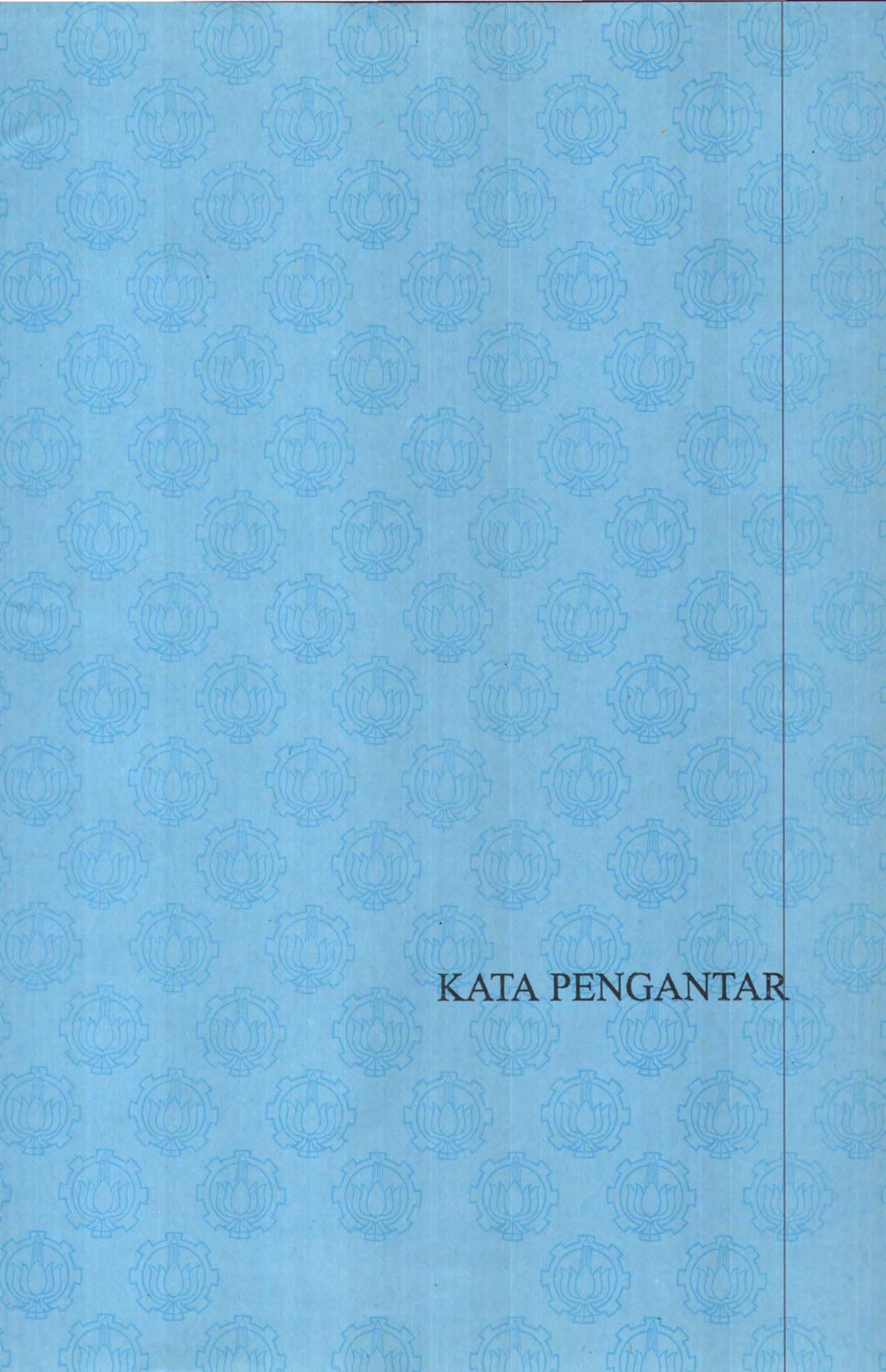
ABSTRAK

ABSTRAK

Segmentasi citra adalah proses membagi suatu citra ke dalam obyek-obyek tertentu berdasarkan suatu kriteria keseragaman tertentu. Dalam sebuah proses analisis citra, segmentasi merupakan salah satu komponen yang sangat penting, karena obyek-obyek dalam citra akan digunakan dalam proses lebih lanjut, seperti interpretasi atau pengenalan pola. Pada banyak aplikasi, citra disegmentasi berdasarkan intensitas, tetapi tidak semuanya memberikan hasil yang memiliki tingkat kesalahan kecil. Hal ini bisa dimengerti, sebab pada kenyataannya tidak semua obyek memiliki permukaan yang rata, tetapi juga memiliki permukaan bertekstur.

Untuk membentuk pola tertentu dari citra bertekstur, dapat digunakan pendekatan spektral yang didasarkan pada sifat-sifat spektrum Fourier. Penggunaan filter pada sebuah citra merupakan mekanisme yang umum digunakan untuk menepis atau mengurangi bagian yang tidak diperlukan dari spektrum dan memperkuat bagian yang diperlukan. Filter yang melewatkan suatu rentang frekuensi yang memiliki batas frekuensi rendah dan tinggi dan menepis rentang frekuensi di luarnya dinamakan dengan filter bandpass. Filter Gabor merupakan sebuah filter bandpass dengan respon impuls diperoleh dari perkalian fungsi Gaussian dengan bilangan kompleks. Penggunaan filter ini pada sebuah citra akan membentuk pola-pola spektrum dari tekstur yang selanjutnya digunakan untuk proses pengelompokan. Pengelompokan dilakukan dengan pendekatan statistika menggunakan model statistika Gaussian.

Pada tugas akhir ini dibuat sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk mengelompokkan citra berdasarkan perubahan tekstur tertentu. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan proses pemfilteran citra dengan filter Gabor. Dengan melakukan proses pemfilteran tersebut, akan diperoleh pola-pola yang khas dari sebuah citra sehingga memudahkan dalam mengelompokkan citra berdasarkan kelas-kelas tekstur tertentu. Hasil yang memuaskan akan diperoleh apabila parameter filter yang digunakan untuk membentuk filter Gabor memiliki ketelitian dalam menangani kesalahan pengelompokan. Dan kemampuan filter ini untuk diterapkan pada citra dengan karakteristik halftone, merupakan sebuah kelebihan yang bisa dikembangkan dalam analisis citra lebih lanjut.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'aalamin. Segala puji hanya milik Allah SWT, Rabb yang telah menurunkan kitab Al Qur'an kepada hamba-Nya, tanpa cacat sedikitpun di dalamnya.

Segala puji hanya milik Allah SWT, yang memiliki apa yang ada di langit dan di bumi. Hanya kepada-Nyalah segala puji di akhirat kelak. Dialah Yang Maha Bijaksana lagi Maha Mengetahui, yang melimpahkan segenap rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PERANGKAT LUNAK

SEGMENTASI CITRA MULTI TEKSTUR

DENGAN MENGGUNAKAN FILTER GABOR

ini dengan baik. Dan semoga dapat memberikan manfaat sebagaimana mestinya.

Shalawat serta salam semoga tetap atas junjungan kita, Muhammad, Rasulullah, serta makhluk-Nya yang terbaik, sekaligus penutup para Nabi, dan Rasul yang paling mulia.

Semoga ridla Allah tetap tercurah atas shahabat-shahabat beliau, yang menjadi tangan kanannya, serta orang yang mengikuti mereka dengan sempurna hingga akhir masa.

Pada kesempatan ini Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah banyak membantu kelangsungan studi penulis, yaitu:

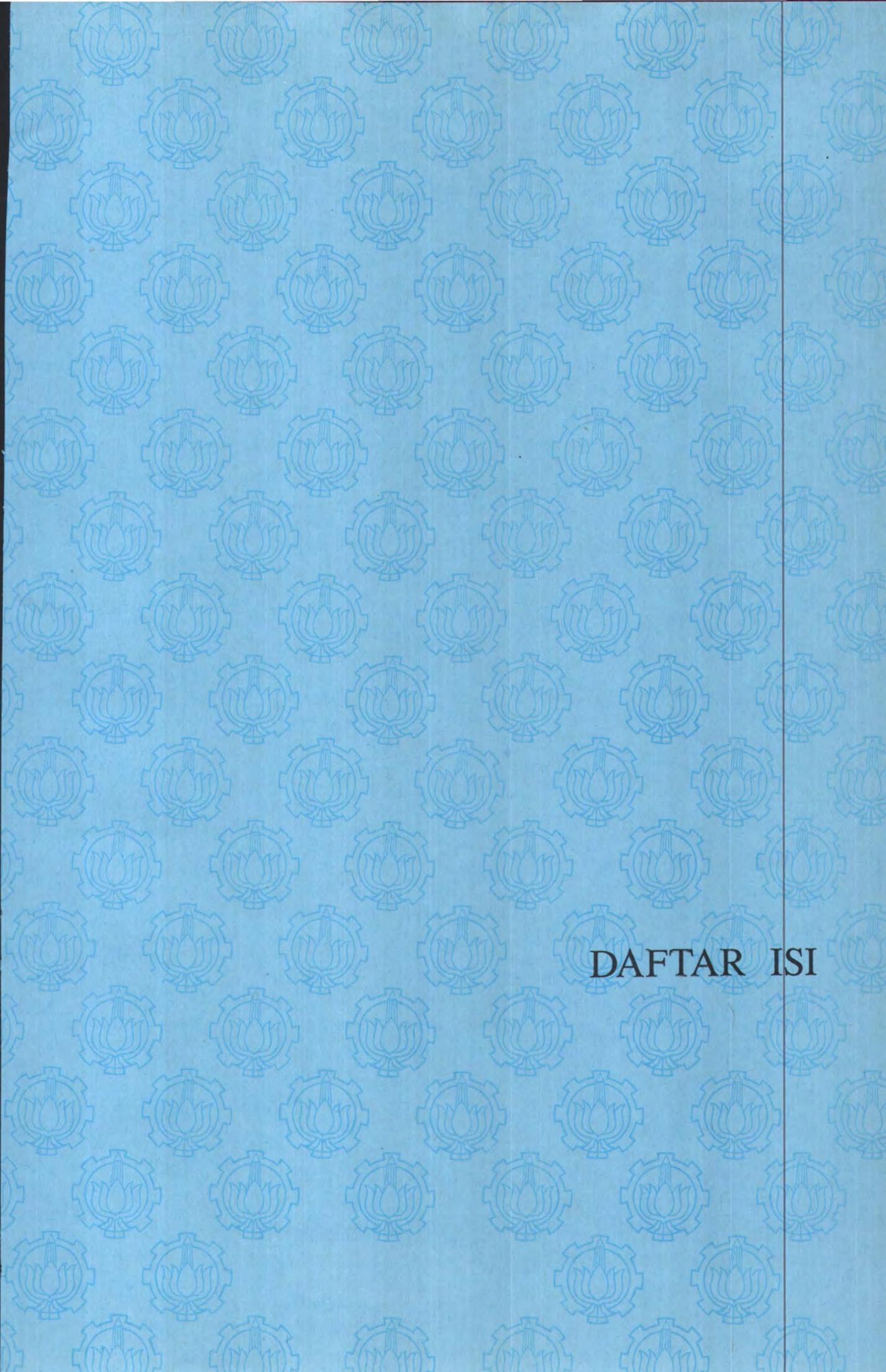
- Bapak Dr. Ir. Arif Djunaidy, MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika ITS sekaligus sebagai Dosen Wali yang telah mengarahkan Penulis dalam masa studi.
- Ibu Ir. Esther Hanaya, MSc. selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan atas kesabarannya untuk membimbing, mengarahkan, dan memberikan motivasi selama masa pengerjaan Tugas Akhir ini.
- Bapak Rully Soelaiman, S.Kom selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ide, senantiasa memberikan motivasi dan bimbingan dengan sabar selama masa pengerjaan Tugas Akhir ini.
- Segenap Dosen Jurusan Teknik Informatika, yang telah memberikan ilmunya selama Penulis menjadi mahasiswa.
- Staf Tata Usaha dan karyawan Jurusan Teknik Informatika yang telah membantu proses kelancaran studi Penulis.
- Ayahanda dan Ibunda, atas segala kasih sayang, bimbingan, kesabarannya dalam mengasuh Penulis dan do'a-do'anya yang senantiasa menyertai Penulis. Semoga ananda bisa mewujudkan harapan menjadi anak yang shalihah dan mendapat kesempatan untuk membalasnya.
- Kakanda Elly, atas segala dukungan dan kasih sayangnya kepada Penulis, semoga Allah SWT melimpahkan rahmat, taufik, dan inayah-Nya dalam membentuk keluarga rabbani bersama kakanda Aman, Amiin.
- Adinda Ipul yang senantiasa direpotin Penulis, atas segala kasih sayangnya dan intrik-intrik yang terjadi antara kita, semoga Allah menjadikan kita sebagai bagian orang-orang yang berdiri di barisan terdepan dalam menegakkan dienul Islam, Amiin.

- Adinda Arif dan Zulfik...(Yusuf), yang selama ini senantiasa berbagi kegembiraan dan kebahagiaan bersama, semoga kelak menjadi generasi yang diridhai Allah SWT, Rabbul 'Aalamin, menjadi pilar utama tegaknya dienul Islam, Amiin.
- Si kecil Naufal tersayang, semoga kelak menjadi anak yang shalih, menjadi generasi yang diridhai Allah SWT, Rabbul 'Aalamin, menjadi pilar utama tegaknya dienul Islam, Amiin.
- Kakak-kakakku di TC tersayang, Mbak Uswah, Mbak Niswah, dan Mbak Nurul.
- Saudara-saudaraku di Blok U tersayang.
- Teman-teman tersayang, Atik, Maully, Ana, dan Lailil, atas kasih sayang dan segala motivasi, dukungan, bantuan selama masa perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir ini.
- Adik-adik TC, spesial untuk dik Ika dan dik Ulfa'98 semoga Allah membalas dengan kebaikan dan senantiasa istiqomah di jalanNya.
- Mbak Wieta tersayang.
- Teman-teman angkatan '93, Innes, Denni, Windi, dan teman-teman lainnya atas bantuan selama masa perkuliahan, maupun pengerjaan Tugas Akhir.
- Dan semua pihak yang tidak bisa Penulis sebutkan satu-persatu, atas bantuan yang diberikan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan. Harapan Penulis Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat.

Surabaya,

Penulis



DAFTAR ISI

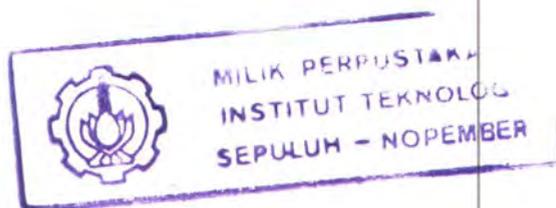
DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR SIMBOL	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat.....	2
1.3 Perumusan Masalah.....	3
1.4 Batas Permasalahan.....	3
1.5 Metodologi	4
1.6 Sistematika Pembahasan	5
BAB II. PENGOLAHAN CITRA DIGITAL.....	7
2.1 Model Citra Sederhana	7
2.2 Notasi Antar Piksel	8
2.2.1 Tetangga suatu Piksel.....	9
2.2.2 Keterhubungan (<i>connectivity</i>).....	9

2.3	Transformasi Fourier (<i>Fourier Transform</i>)	12
2.3.1	Transformasi Fourier Diskrit (DFT)	14
2.3.2	Pemisahan (<i>Separability</i>)	15
2.3.3	Konvolusi	17
2.4	Analisis Tekstur	18
2.4.1	Segmentasi	20
2.4.2	Tekstur	20
2.4.3	Metode Pengambilan Data	21
2.4.3.1	Domain Spasial.....	22
2.4.3.2	Domain Frekuensi.....	23
2.4.4	Filter Spasial	24
2.5	Teori Dasar Statistika.....	26
2.6.1	Peluang suatu Kejadian	26
2.6.2	Beberapa Hukum Peluang	26
2.6.3	Peluang Bersyarat.....	27
2.6.4	Aturan Bayes.....	27
BAB III. PENGGUNAAN FUNGSI GABOR DALAM SEGMENTASI CITRA.....		29
3.1.	Filter Digital.....	29
3.2.	Filter Gabor.....	31
3.3.	Desain Filter Gabor.....	33
3.3.1	Definisi Filter	34
3.3.2	Sudut Pandang Pengolahan Citra	35
3.3.2.1	Skema Filter Tunggal.....	35
3.3.2.2	Skema Multichannel	37

3.4.	Filter Gaussian.....	39
3.5.	Pengelompokan (<i>Classifier</i>).....	39
3.5.1	Bayes Classifier untuk Kelas Gaussian.....	40
3.5.2	Densitas Gabungan (<i>Mixture Density</i>).....	43
3.6.	Ukuran Kesalahan Segmentasi (<i>Segmentation Error</i>).....	44
BAB IV. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK.....		47
4.1	Deskripsi Perangkat Lunak.....	47
4.1.1	Masukan.....	48
4.1.2	Pengambilan Data.....	48
4.1.3	Prefiltering.....	49
4.1.4	Postfiltering.....	50
4.1.5	Classifier.....	50
4.1.6	Keluaran.....	51
4.2	Perancangan Data.....	51
4.2.1	Data Masukan.....	51
4.2.2	Data Saat Pemrosesan.....	52
4.2.3	Data Keluaran.....	52
4.3	Perancangan Proses.....	53
4.3.1	Diagram Alir Data (<i>Data Flow Diagram</i>).....	53
4.3.2	Hirarki Modul.....	57
4.4	Implementasi Perangkat Lunak.....	58
4.4.1	Implementasi Struktur Data.....	58
4.4.2	Implementasi Proses.....	60

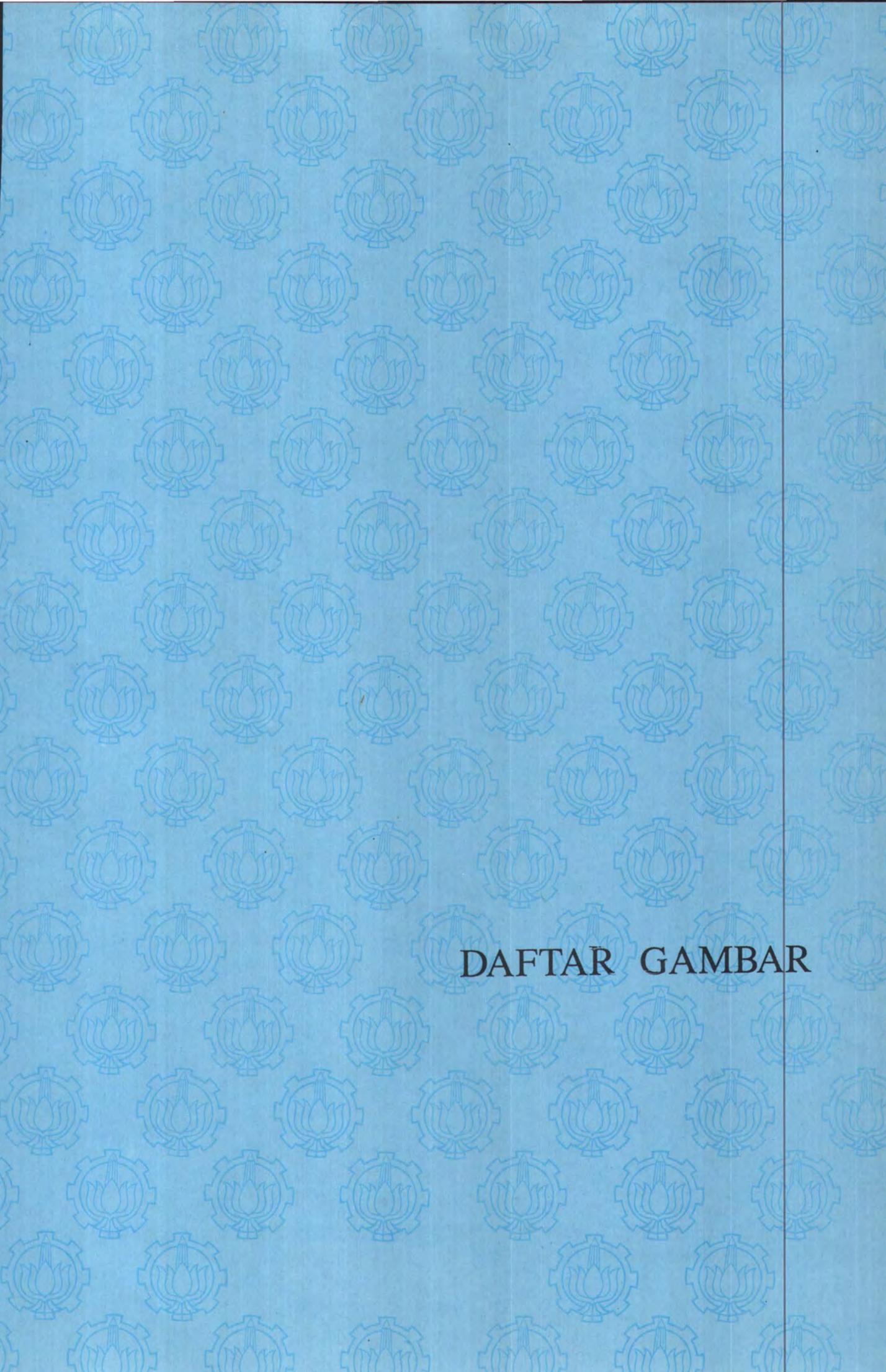


4.4.2.1	Proses Prefiltering	60
4.4.2.2	Proses Postfiltering.....	61
4.4.2.3	Proses Classifier.....	63
BAB V. HASIL UJI COBA DAN PEMBAHASANNYA		65
BAB VI. PENUTUP		75
6.1	Kesimpulan	75
6.2	Saran	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

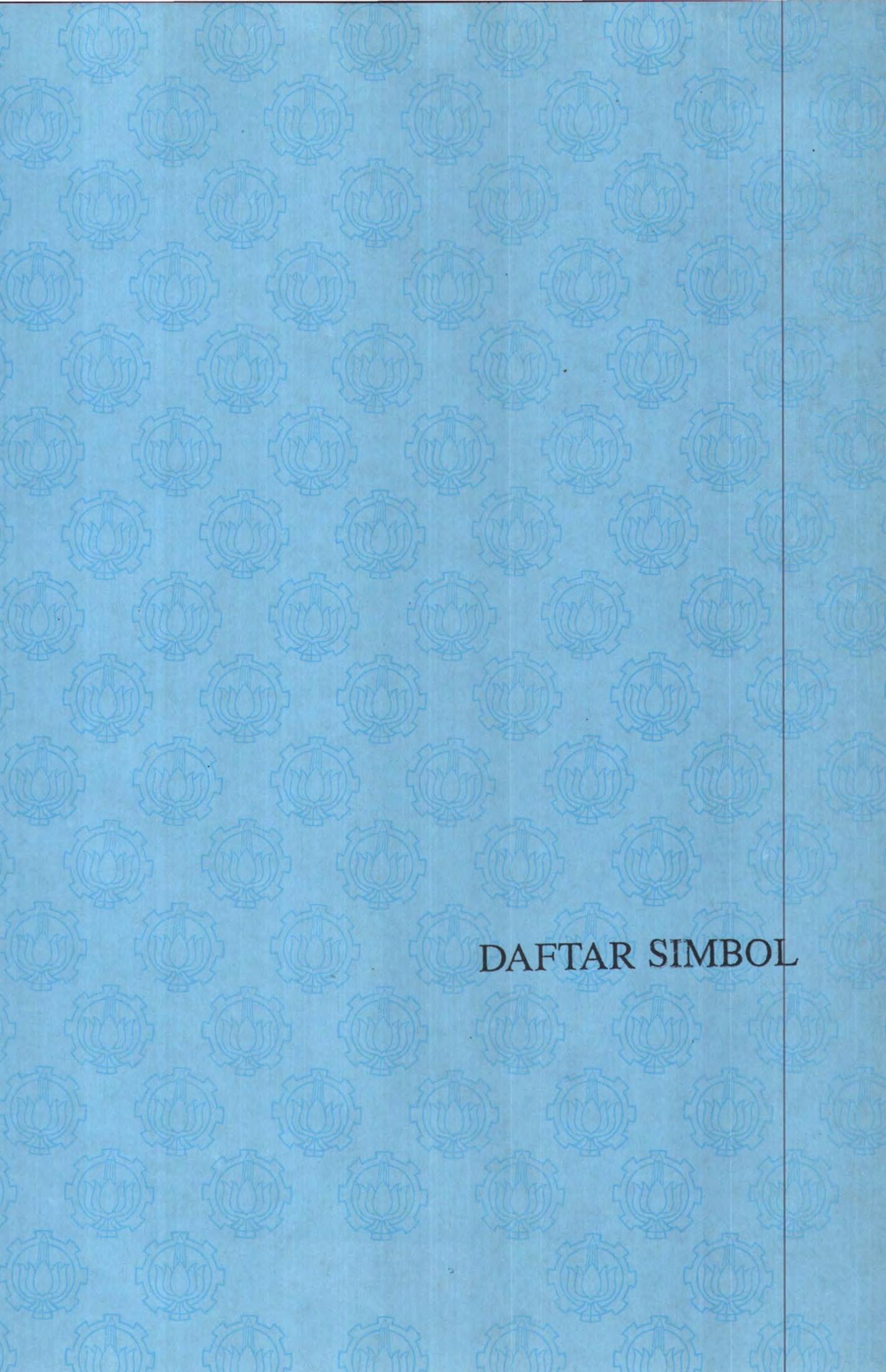
- A. Petunjuk Pemakaian (*User Manual*)
- B. Contoh Tekstur Brodazt
- C. Data File DataChannel.dbf
- D. Data File DataMV.dbf
- E. Data saat Pemrosesan untuk Ordo 16 x 16



DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Keterhubungan antar piksel	11
Gambar 2.2	Transformasi Fourier	14
Gambar 2.3	Perhitungan transformasi Fourier 2-D dari transformasi 1-D... ..	16
Gambar 2.4	Sebuah 3x3 tetangga pada titik (x,y) dalam sebuah citra.....	22
Gambar 2.5	Operasi dari sistem linier.....	24
Gambar 2.6	Bentuk kisi dengan ukuran 3x3.....	25
Gambar 3.1	Diagram filter digital.....	30
Gambar 3.2	Diagram blok pengolahan citra	35
Gambar 3.3	Skema multichannel untuk segmentasi citra bertekstur	38
Gambar 3.4	PDF dari dua kelas pola 1-D.....	41
Gambar 4.1	Diagram alir data level 0.....	54
Gambar 4.2	Diagram alir data level 1, detil dari level 0	54
Gambar 4.3	Diagram alir data level 2, detil dari proses Pengambilan Data	55
Gambar 4.4	Diagram alir data level 2, detil dari proses Prefiltering	55
Gambar 4.5	Diagram alir data level 2, detil dari proses Postfiltering.....	56
Gambar 4.6	Diagram alir data level 2, detil dari proses Classifier	56
Gambar 4.7	Hirarki Modul dari Proses Segmentasi	57
Gambar 5.1	Hasil uji coba 1.....	66
Gambar 5.2	Histogram dari uji coba 1.....	67
Gambar 5.3	Hasil uji coba 2.....	68
Gambar 5.4	Hasil uji coba 3.....	70
Gambar 5.5	Hasil uji coba 4.....	71
Gambar 5.6	Hasil uji coba 5.....	72
Gambar 5.7	Hasil uji coba 6.....	73

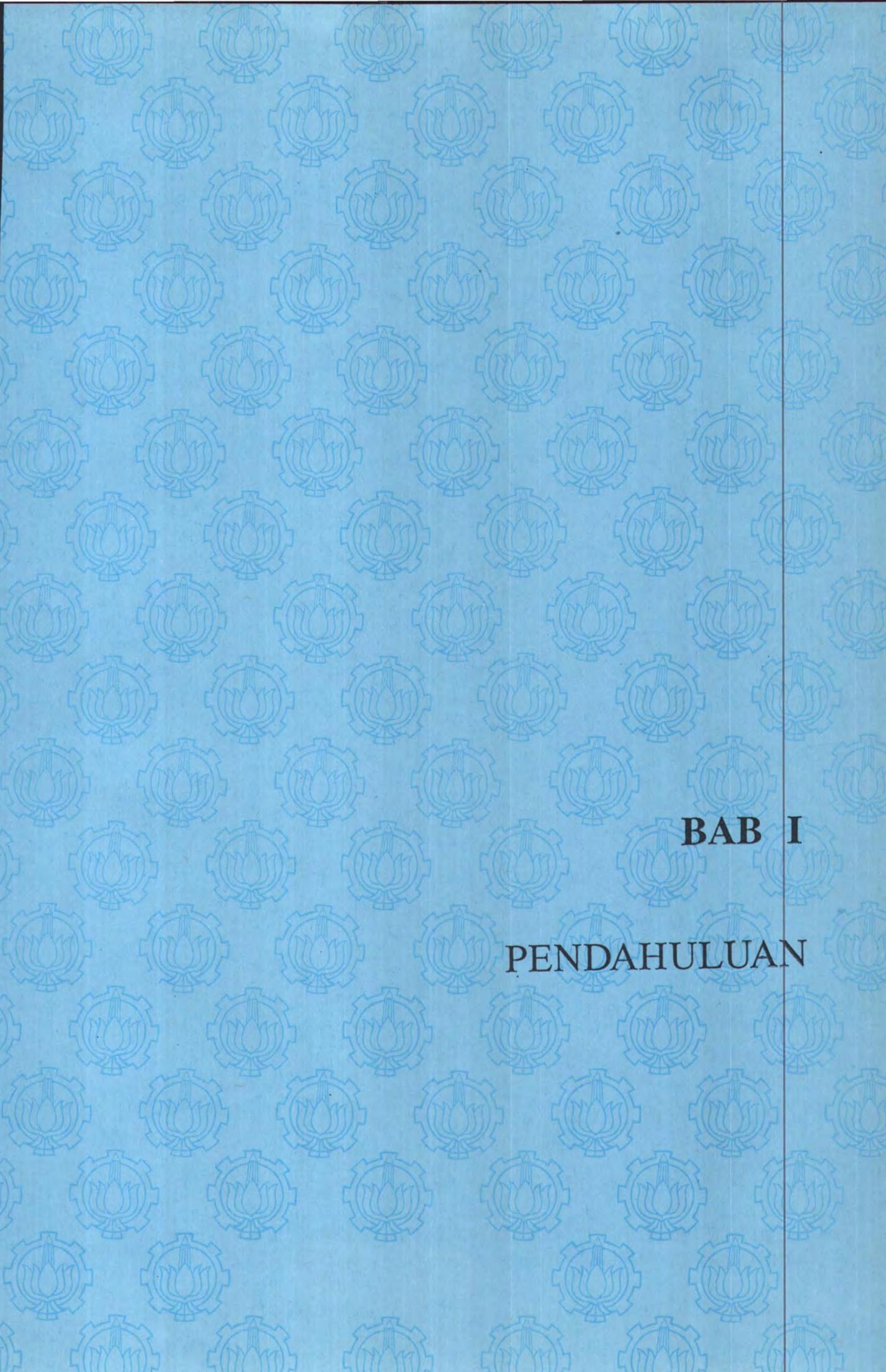


DAFTAR SIMBOL

DAFTAR SIMBOL

<u>Simbol</u>	<u>Arti</u>
α, β	parameter skalar
\emptyset	himpunan kosong
x, y, p, q, s, t	nilai data skalar
\mathbf{x}, \mathbf{y}	vektor data
\mathbf{S}, \mathbf{V}	subset dari himpunan piksel
S	ruang sampel
$\mathfrak{F}\{f(x)\}$	transformasi Fourier dari $f(x)$
g, h, f	fungsi linier
G, H, F	transformasi Fourier dari g, h, f
j	$= \sqrt{-1}$
π	$= 3,14\dots$
e	$= 2,71828\dots$
M, N	ukuran pengamatan
$p(\mathbf{x}/\omega_i)$	probabilitas x berasal dari kelas ω_i
$P(\omega_i)$	probabilitas kejadian dari kelas ω_i
t	tekstur
σ	luas spasial dan bandwidth filter
u, v, U, V	parameter frekuensi
i	citra masukan
m	keluaran filter

$ \cdot $	operator magnitude
\mathbf{m}	vektor keluaran filter
\mathcal{N}^t	jumlah tekstur
μ	mean (rata-rata)
$\boldsymbol{\mu}$	vektor mean (rata-rata)
s^2	varian
\mathbf{C}	matrik kovarian
$ \mathbf{C} $	determinan matrik kovarian
pdf	probability density function
d	nilai treshold
$p(\mathbf{m}, \mathbf{C})$	pdf multivariansi Gaussian
ε	kesalahan
$B(t_\alpha, t_\beta)$	jarak Bhattacharyya
$\rho_{\alpha\beta}$	koefisien dua kelas Bhattacharyya



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

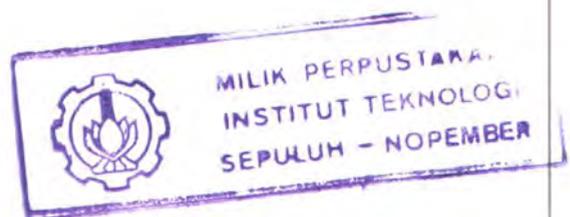
Analisis citra dapat digunakan dalam berbagai bidang kehidupan, misalnya dalam bidang kedokteran, pertambangan, pertanian, kepolisian, dan sebagainya. Secara umum, langkah awal dalam sebuah analisis citra adalah mengelompokkan citra berdasarkan kesamaan sifat atau ciri tertentu, langkah ini dikenal dengan segmentasi citra (*image segmentation*). Dalam proses segmentasi, kesamaan sifat atau ciri tersebut dapat ditentukan oleh banyak hal, di antaranya adalah intensitas atau tingkat keabuan, warna, tekstur, dan lain-lain. Pada banyak aplikasi, citra disegmentasi berdasarkan intensitas, tetapi tidak semuanya memberikan hasil yang memuaskan.

Hal ini bisa dimengerti, sebab pada kenyataannya tidak semua obyek yang homogen memiliki permukaan halus dengan intensitas yang sama/konstan, tetapi juga memiliki permukaan bertekstur dengan intensitas yang berbeda. Obyek homogen di sini adalah suatu obyek yang merupakan satu komponen. Sebagai contoh, potret seorang anak kecil, akan memiliki bagian obyek homogen yang berupa tekstur, seperti mata, mulut, rambut, hidung, dan lain-lain. Masing-masing bagian yang homogen tersebut akan dipisahkan untuk membentuk satu komponen atau obyek yang selanjutnya digunakan untuk aplikasi tertentu. Keberadaan tekstur ini akan menyebabkan kesulitan dalam proses segmentasi berdasarkan kriteria intensitas, sehingga menjadi tantangan untuk melakukan pengelompokan citra berdasarkan kriteria tekstur.

Untuk menggambarkan sebuah tekstur digunakan beberapa pendekatan, salah satunya dengan pendekatan secara spektral. Pendekatan ini didasarkan pada sifat-sifat spektrum Fourier. Penggunaan filter pada sebuah citra merupakan mekanisme yang umum digunakan untuk menepis atau mengurangi bagian yang tidak diperlukan dari spektrum dan memperkuat bagian yang diperlukan. Filter yang melewatkan suatu rentang frekuensi yang memiliki batas frekuensi rendah dan tinggi dan menepis rentang frekuensi di luarnya dinamakan dengan filter bandpass. Filter Gabor sebagai sebuah filter bandpass, dengan respon impuls diperoleh dari perkalian fungsi Gaussian dan fungsi kompleks memiliki kemampuan untuk menghasilkan ciri khusus dari pola tekstur tertentu ketika dilakukan proses pemfilteran terhadap sebuah citra bertekstur. Penggunaan filter ini akan membantu dalam mengelompokkan piksel-piksel ke dalam kelas tekstur yang bersesuaian, sehingga dalam tugas akhir ini metode yang digunakan untuk mengelompokkan citra berdasarkan kriteria tekstur adalah dengan metode Gabor.

1.2 TUJUAN DAN MANFAAT

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merancang dan membuat sebuah perangkat lunak untuk memisahkan dua buah atau lebih tekstur yang berbeda dengan menggunakan filter Gabor. Sedangkan manfaat dari tugas akhir ini akan memudahkan dalam analisis citra yang selanjutnya digunakan untuk proses lebih lanjut, seperti interpretasi dan pengenalan pola. Contoh kasus, misalkan kita menginginkan untuk mengenali sel hewan tertentu, dengan mengetahui pola tekstur sel hewan yang diinginkan akan bisa digunakan untuk mengenali sel yang merupakan sel hewan tersebut.



1.3 PERUMUSAN MASALAH

Sebuah obyek gambar, pada kenyataannya tidak selalu terdiri dari permukaan halus dengan intensitas yang berubah secara tajam pada tepi obyek. Banyak obyek yang memiliki permukaan bertekstur, dimana keberadaan tekstur ini akan menyebabkan kesulitan dalam proses segmentasi.

Untuk dapat menghasilkan perangkat lunak dengan tujuan dan manfaat yang telah dijelaskan, maka secara garis besar, permasalahan yang harus dipecahkan adalah sebagai berikut:

- a. Pengenalan terhadap pola dari tekstur-tekstur yang berlainan.
- b. Perancangan filter Gabor untuk memisahkan citra dengan dua buah atau lebih tekstur yang berlainan.

1.4 BATASAN MASALAH

Permasalahan yang berhubungan dengan bidang segmentasi tekstur menggunakan filter Gabor ini sangat rumit dan kompleks serta membutuhkan waktu yang tidak sedikit, sehingga dalam tugas akhir ini diberikan beberapa batasan masalah, yaitu:

- Metode yang digunakan adalah metode supervise, dimana pola setiap kelas tekstur dan jumlah tekstur dalam sebuah citra masukan sudah diketahui. Pada tugas akhir ini disediakan enam buah tekstur yang diambil dari tekstur Brodatz, dan dokumen cetak yang memuat informasi teks dan gambar, dalam hal ini teks dan gambar dipandang sebagai tekstur.
- Parameter-parameter filter yang berupa nilai untuk frekuensi pusat u dan v , dan bandwidth dari filter Gabor disediakan sebanyak 10 buah, dan

pemakaiannya diserahkan kepada pengguna untuk memilih parameter yang diinginkan.

- Jumlah channel filter, yakni pemakaian parameter-parameter filter yang disediakan dibatasi lima.
- Citra masukan yang digunakan berupa citra dengan tipe bitmap (.bmp) berukuran citra 128 x 128 piksel.

1.5 METODOLOGI

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pembuatan Tugas Akhir ini dibagi menjadi beberapa tahapan, sebagai berikut:

- Studi literatur
Pada tahap ini dilakukan studi literatur terhadap teori pengolahan citra digital, khususnya pada materi segmentasi citra, analisis tekstur, statistik citra, dan studi literatur mengenai filter Gabor.
- Menetapkan definisi kebutuhan
Pada tahap ini dilakukan pendefinisian terhadap kemampuan perangkat lunak yang akan dirancang dan batasan-batasannya.
- Perancangan perangkat lunak
Pada tahap ini dilakukan perancangan struktur data, algoritma, dan diagram alur yang akan digunakan dalam program.
- Pembuatan perangkat lunak
Pada tahap ini dilakukan pengimplementasian struktur data dan algoritma yang telah dirancang ke dalam bahasa pemrograman.

➤ Evaluasi dan Revisi

Pada tahap ini dilakukan pengevaluasian dan perbaikan program yang telah dibuat, sampai didapatkan hasil yang sesuai/tidak menyimpang terlalu jauh dari definisi kebutuhan.

➤ Penyusunan Naskah Tugas Akhir

Pada tahap ini dilakukan penulisan naskah, dimana di dalamnya menjelaskan dasar teori yang dipergunakan serta penyusunan laporan.

1.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Pembahasan mengenai perangkat lunak yang disusun dalam tugas akhir ini dibagi dalam beberapa bab, yang dijelaskan di bawah sebagai berikut.

➤ **Bab I** berisi Pendahuluan yang memuat latar belakang pembuatan perangkat lunak, tujuan dan manfaat, perumusan masalah, batasan masalah, langkah-langkah pembuatan Tugas Akhir ini, dan sistematika penulisan buku Tugas Akhir.

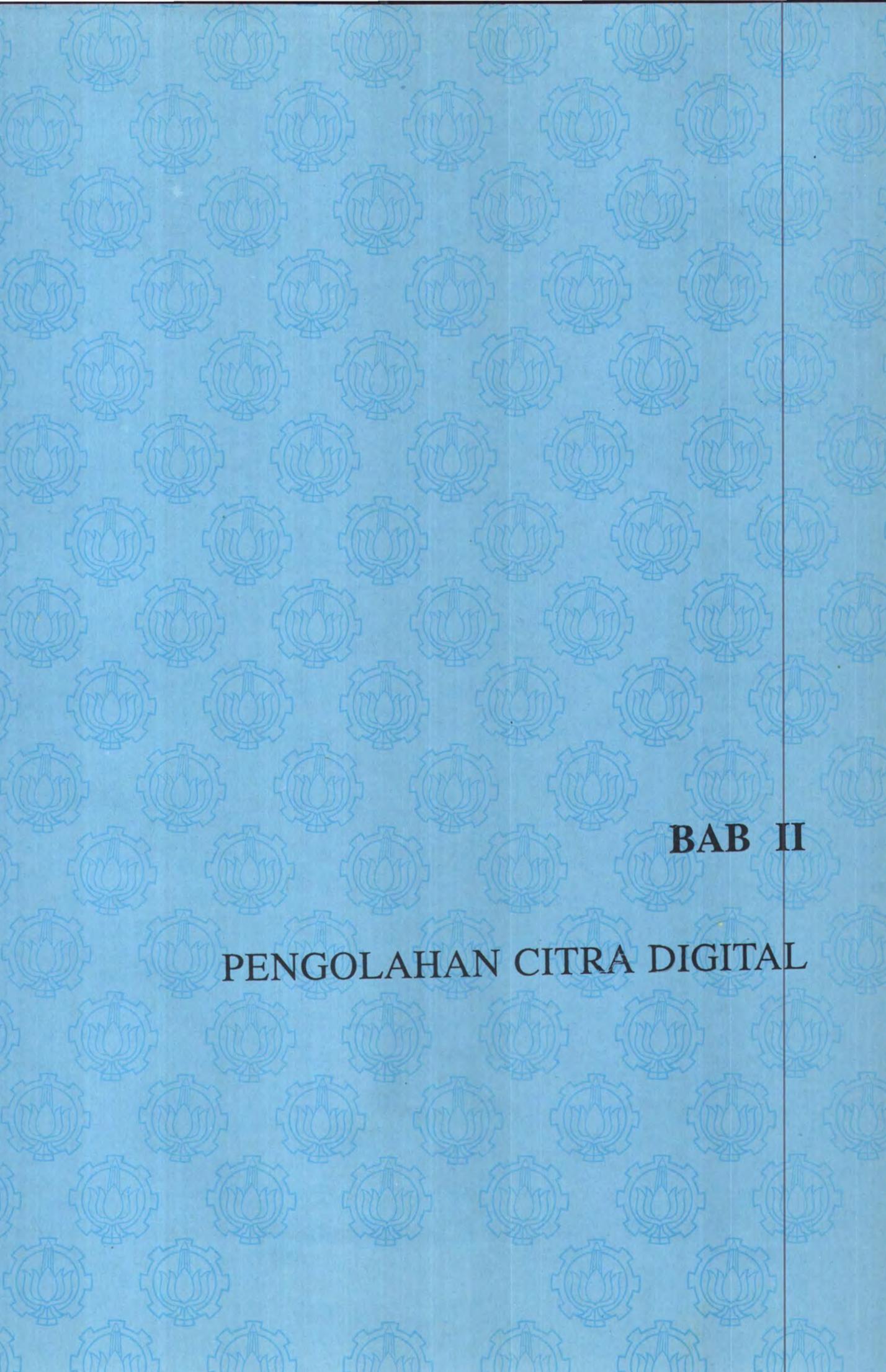
➤ **Bab II** berisi landasan teori yang berkaitan dengan dasar-dasar pengolahan citra digital dan beberapa teori statistika yang mendukung permasalahan secara umum.

➤ **Bab III** membahas mengenai filter digital, fungsi Gabor, dan penggunaan filter Gabor dalam proses segmentasi tekstur.

➤ **Bab IV** berisi perancangan perangkat lunak yang meliputi deskripsi perangkat lunak, perancangan data, perancangan proses, serta implementasi dari perangkat lunak. Dalam perancangan data dibahas mengenai data masukan, data saat pemrosesan, dan data keluaran. Perancangan proses menjelaskan mengenai diagram alir data (*data flow diagram*) dan hirarki modul dari proses

segmentasi yang dibuat dalam tugas akhir ini. Sedangkan implementasi perangkat lunak membahas mengenai tipe data abstrak serta implementasinya dalam modul-modul yang berhubungan dengan tahapan-tahapan dalam proses utama, yaitu proses segmentasi.

- **Bab V** membahas mengenai gambaran umum kebutuhan sistem, hasil uji coba dan evaluasi terhadap unjuk kerja perangkat lunak dengan memberikan masukan citra yang terdiri dari dua buah atau lebih tekstur yang berbeda, disamping itu juga diadakan uji coba terhadap citra yang memiliki karakteristik halftone.
- **Bab VI** berisi Penutup yang memuat kesimpulan serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut dalam rangka memperbaiki berbagai kelemahan yang ada untuk memperoleh hasil yang lebih bagus.



BAB II

PENGOLAHAN CITRA DIGITAL

BAB II

PENGOLAHAN CITRA DIGITAL

Pembahasan pada bab ini diuraikan mengenai beberapa konsep dari pengolahan citra yang digunakan untuk menunjang Tugas Akhir ini. Selain itu juga diberikan penjelasan mengenai teori-teori dasar statistik yang menunjang Tugas Akhir ini.

2.1 MODEL CITRA SEDERHANA

Istilah citra monokrom atau citra sederhana menunjuk kepada fungsi dua dimensi $f(x,y)$, di mana x dan y menyatakan indeks koordinat spasial (atau koordinat kartesian) dan nilai dari f pada setiap titik (x,y) menyatakan tingkat kecerahan (atau *gray level*) dari citra pada titik tersebut.¹ Untuk dapat diproses dengan komputer, fungsi citra $f(x,y)$ harus didigitisasi atau didiskritkan baik koordinat spasial ataupun tingkat kecerahannya. Digitisasi terhadap koordinat spasial (x,y) disebut sebagai *image sampling*, sedangkan digitisasi terhadap tingkat kecerahan atau amplitudo disebut sebagai *gray-level quantization*. Apabila variabel x dan y kontinyu, citra tersebut adalah citra analog atau kontinyu, apabila x dan y disampling, fungsi akan menjadi diskrit. Istilah kontinyu

¹ Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Second Edition, Addison-Wesley Publishing Co., Tennessee, 1987, halaman 6

di sini menjelaskan bahwa indeks x, y dapat bernilai real, sedangkan kata diskrit menjelaskan bahwa indeks x, y hanya bernilai integer.

Citra digital (*digital image*) merupakan citra $f(x,y)$ yang didiskritkan baik koordinat spasial maupun tingkat kecerahannya. Citra yang kita lihat atau kita amati dalam keseharian penglihatan kita, adalah merupakan pemantulan cahaya dari obyek. Secara dasar $f(x,y)$ dapat dikarakteristikkan menjadi dua komponen. Satu komponen merupakan jumlah atau intensitas cahaya yang dikenakan pada obyek, sementara komponen yang lain merupakan jumlah cahaya yang dipantulkan oleh obyek tersebut.

Kita dapat menganggap citra kontinyu $f(x,y)$ sebagai matrik dengan ukuran $M \times N$ seperti ditunjukkan pada persamaan 2.1, di mana setiap elemen dari matrik merupakan nilai diskrit.

$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,M-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

2.2 NOTASI ANTAR PIKSEL²

Hubungan antar piksel pada citra digital merupakan hal yang sangat penting. Seperti sebelumnya, sebuah gambar akan dinotasikan dengan $f(x,y)$,

² ibid, halaman 40 – 42

sedangkan untuk piksel tertentu yang spesifik akan dinotasikan dengan huruf kecil, seperti p dan q , dan subset dari himpunan piksel akan dinotasikan dengan huruf besar yang tebal, seperti S dan V .

2.2.1 Tetangga suatu piksel

Suatu piksel p pada koordinat (x,y) mempunyai 4 tetangga pada arah horisontal dan vertikal dari piksel yang bersangkutan, dengan koordinat

$$(x+1,y), (x-1,y), (x,y+1), (x,y-1),$$

himpunan dari piksel-piksel ini disebut 4-tetangga dari p , yang dinotasikan dengan $N_4(p)$.

Untuk piksel-piksel yang berada pada diagonal dari p juga ada 4, dan kita sebut dengan diagonal tetangga, yang mempunyai koordinat

$$(x+1,y+1), (x+1,y-1), (x-1,y+1), (x-1,y-1),$$

yang dinotasikan dengan $N_D(p)$. Apabila piksel 4 tetangga dan diagonal tetangga digabungkan, maka kita sebut dengan 8 tetangga dari p , dinotasikan dengan $N_8(p)$.

Perlu dicatat, bahwa beberapa piksel dari $N_4(p)$, $N_D(p)$, dan $N_8(p)$ akan berada di luar gambar jika $p(x,y)$ berada pada batas dari gambar.

2.2.2 Keterhubungan (*connectivity*)

Konsep keterhubungan antara piksel-piksel adalah penting, digunakan untuk menentukan batas dari obyek-obyek atau komponen-komponen pada gambar. Untuk menentukan apakah dua piksel saling terhubung, kita harus menentukan bagaimana cara piksel itu dalam berdekatan (misal : berdekatan

dengan 4-tetangga) dan jika gray-level dari piksel-piksel itu memenuhi kriteria sama tertentu (misal : jika gray level sama persis). Jadi ada kemungkinan dalam suatu gambar nanti ada piksel yang berdekatan dengan 4 tetangga, tetapi mereka dikatakan tidak terhubung, karena tidak mempunyai nilai gray level yang sama.

Anggap S adalah himpunan dari nilai gray level yang digunakan untuk menentukan keterhubungan antar piksel, dan hanya piksel-piksel dengan nilai intensitas 7,8,9, dan 10 yang diperhatikan, maka $S = \{7,8,9,10\}$.

Ada tiga jenis keterhubungan, yaitu:

(a). *4-keterhubungan*.

Dua piksel p dan q dengan nilai intensitas ada di S adalah termasuk jenis keterhubungan ini jika, q ada di set $N_4(p)$.

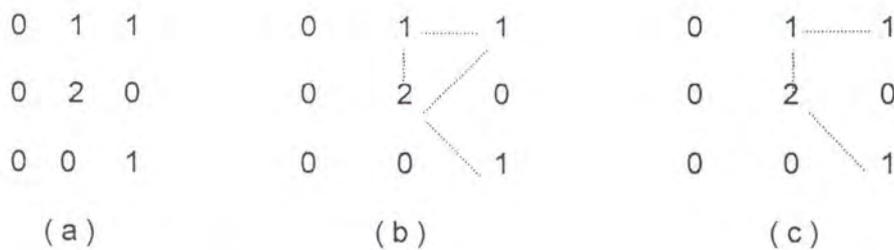
(b). *8-keterhubungan*.

Dua piksel p dan q dengan nilai intensitas ada di S adalah termasuk jenis keterhubungan ini jika, q ada di set $N_8(p)$.

(c). *c-keterhubungan (campuran)*.

Dua piksel p dan q dengan nilai intensitas ada di S adalah termasuk jenis keterhubungan ini jika,

- (i) q ada di $N_4(p)$, atau
- (ii) q ada di $N_D(p)$ dan set $N_4(p) \cap N_4(q)$ adalah himpunan kosong. (Ini adalah himpunan dari piksel dimana 4-tetangga dari p dan q dan nilai intensitasnya ada di S).



Gambar 2.1 Keterhubungan antar piksel

- Susunan piksel
- 8-keterhubungan dari intensitas 2
- Keterhubungan-campuran untuk piksel yang sama

Keterhubungan campuran adalah hasil modifikasi dari 8-keterhubungan, dan ini diperkenalkan untuk menghilangkan jalur keterhubungan jama' (*multiple path connection*) yang sering terjadi jika menggunakan 8-keterhubungan. Sebagai contoh, suatu piksel tersusun dengan bentuk seperti gambar 2.1(a). Diasumsikan $S=\{1,2\}$, dan jalur 8-tetangga dari piksel dengan nilai intensitas 2 adalah gambar 2.1(b), dimana terlihat kerancuan jalur yang dihasilkan dengan menggunakan 8-keterhubungan. Kerancuan ini dapat dihilangkan dengan menggunakan keterhubungan-campuran, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1(c).

Piksel p adalah berdekatan/bersebelahan (*adjacent*) dengan piksel q jika mereka saling terhubung. Kita mungkin mendefinisikan 4-, 8-, atau c-, kedekatan dari piksel, tergantung pada jenis keterhubungan yang ditentukan. Dua sub himpunan S_1 dan S_2 dari suatu gambar adalah berdekatan, jika ada beberapa piksel pada S_1 yang berdekatan dengan beberapa piksel dari S_2 .



Sebuah jalur (*path*) dari piksel p dengan koordinat (x,y) ke piksel q dengan koordinat (s,t) adalah sebuah urutan dari piksel-piksel yang berbeda dengan koordinat

$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n),$$

dimana $(x_0, y_0) = (x, y)$ dan $(x_n, y_n) = (s, t)$, (x_n, y_n) bersebelahan dengan (x_{i-1}, y_{i-1}) , $1 \leq i \leq n$, dan n adalah panjang dari jalur. Kita bisa mendefinisikan 4-, 8-, atau c-jalur, tergantung dari jenis kedekatan yang dibutuhkan.

Jika p dan q adalah piksel pada gambar dengan sub himpunan S , maka p terhubung ke dalam S jika ada jalur dari p ke q yang, jalurnya terdiri dari semua piksel yang ada di S . Untuk setiap piksel p di S , himpunan piksel di S yang terhubung ke p disebut komponen terhubung (*connected component*) dari S . Karena itu tiap dua piksel dari sebuah komponen terhubung adalah terhubung satu sama lainnya, dan komponen terhubung yang berlainan adalah saling lepas (*disjoint*).

2.3 TRANSFORMASI FOURIER (*FOURIER TRANSFORM*)³

Misalkan $f(x)$ merupakan fungsi kontinyu dari variabel riil x . Transformasi Fourier dari $f(x)$, dinyatakan dengan $\mathfrak{F}\{f(x)\}$, didefinisikan oleh persamaan:

$$f(x) * g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha)g(x - \alpha)d\alpha \quad (2.2)$$

dimana $j = \sqrt{-1}$

³ ibid, halaman 81-107

Misal, $F(u)$ diberikan, maka $f(x)$ dapat diperoleh dengan menggunakan *inverse Fourier Transform*, di bawah ini:

$$\mathfrak{F}^{-1}\{F(u)\} = f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) \exp[j2\pi ux] du \quad (2.3)$$

Persamaan (2.2) dan (2.3) disebut dengan pasangan transformasi Fourier (*Fourier Transform pair*), akan ada apabila $f(x)$ kontinu dan *integrable* dan $F(u)$ *integrable*. Pada prakteknya, kondisi ini senantiasa terpenuhi.

Transformasi Fourier dari sebuah fungsi riil, secara umum akan menjadi kompleks, yaitu:

$$F(u) = R(u) + jI(u) \quad (2.4)$$

Dimana $R(u)$ dan $I(u)$ merupakan nilai riil dan imajiner dari komponen $F(u)$.

Persamaan (2.4) sesuai untuk dinyatakan dalam bentuk eksponensial, yaitu:

$$F(u) = |F(u)|e^{j\Phi(u)} \quad (2.5)$$

Dimana,

$$|F(u)| = [R^2(u) + I^2(u)]^{1/2} \quad (2.6)$$

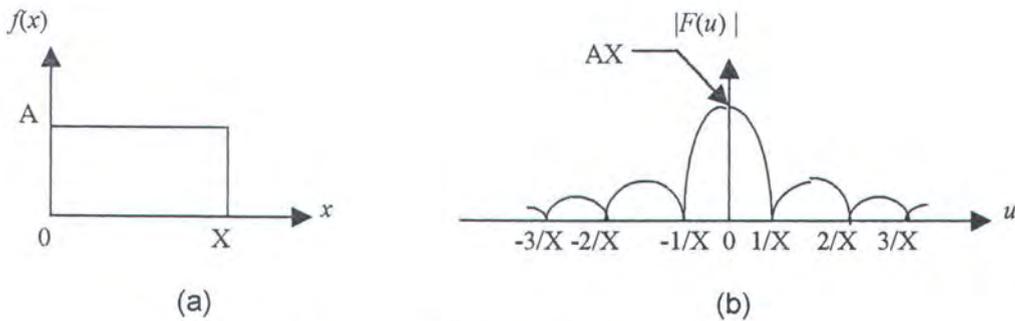
dan,

$$\Phi(u) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u)}{R(u)} \right] \quad (2.7)$$

Magnitude dari fungsi $F(u)$ dinamakan dengan spektrum Fourier (*Fourier spectrum*) dari $f(x)$ dan $\Phi(u)$ adalah sudut fasanya (*phase angle*). Pangkat dua dari spektrum,

$$\begin{aligned} P(u) &= |F(u)|^2 \\ &= R^2(u) + I^2(u) \end{aligned} \quad (2.8)$$

biasanya disebut sebagai *power spectrum* dari $f(x)$. Istilah *spectral density* juga biasa digunakan untuk menyatakan *power spectrum*.



Gambar 2.2 Transformasi Fourier

a. Sebuah fungsi sederhana b. Spektrum Fourier

2.3.1 Transformasi Fourier Diskrit (DFT)

Notasi dari pasangan transformasi Fourier diskrit didefinisikan sebagai berikut,

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp[-j2\pi ux / N] \quad (2.9)$$

untuk $u = 0, 1, 2, \dots, N-1$, dan

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u) \exp[j2\pi ux / N] \quad (2.10)$$

untuk $x = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

Pada kasus dua variabel, pasangan transformasi Fourier diskrit dinyatakan dengan

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j2\pi(ux / M + vy / N)] \quad (2.11)$$

untuk $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$, $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$, dan

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \exp[j2\pi(ux / M + vy / N)] \quad (2.12)$$

untuk $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ dan $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

Ketika citra merupakan array bujursangkar, dimana $M = N$ maka,

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j2\pi(ux + vy) / N] \quad (2.13)$$

untuk $u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1$, dan

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \exp[j2\pi(ux + vy) / N] \quad (2.14)$$

untuk $x, y = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

2.3.2 Pemisahan (*Separability*)

Pasangan transformasi Fourier pada persamaan (2.13) dan persamaan (2.14) dapat dinyatakan dalam bentuk yang terpisah,

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \exp[-j2\pi ux / N] \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j2\pi vy / N] \quad (2.15)$$

untuk $u, v = 0, 1, \dots, N-1$, dan

$$f(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} \exp[j2\pi ux / N] \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \exp[j2\pi vy / N] \quad (2.16)$$

untuk $x, y = 0, 1, \dots, N-1$.

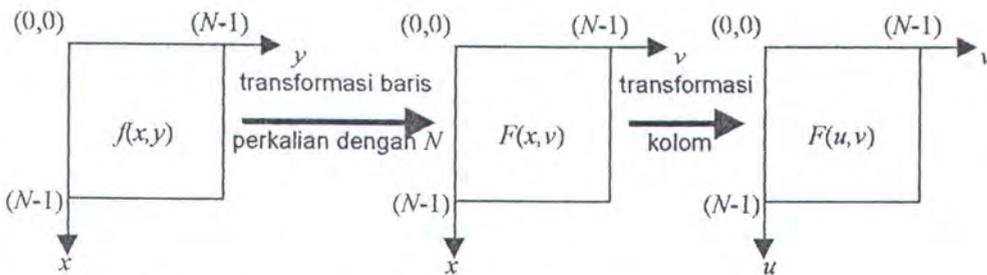
Kelebihan yang diperoleh dari pemisahan ini, bahwa $F(u, v)$ atau $f(x, y)$ dapat diperoleh dalam dua langkah dengan mengaplikasikan transformasi Fourier 1-D atau inverse dari transformasi tersebut. Hal ini akan terlihat jelas jika persamaan (2.15) dinotasikan dalam bentuk,

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} F(x, v) \exp[-j2\pi ux / N] \quad (2.17)$$

dimana

$$F(x, v) = N \left[\frac{1}{N} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j2\pi vx / N] \right] \quad (2.18)$$

Untuk setiap nilai dari x , ekspresi di dalam kurung pada persamaan (2.18) merupakan transformasi 1-D, dengan nilai frekuensi $v = 0, 1, \dots, N-1$. Karena itu fungsi 2-D $F(x, v)$ diperoleh dengan melakukan transformasi sepanjang setiap baris dari $f(x, y)$ dan mengalikan hasilnya dengan N . Hasil yang diinginkan $F(u, v)$, diperoleh dengan melakukan transformasi sepanjang setiap kolom dari $F(x, v)$, sebagaimana diperlihatkan pada persamaan (2.17). Langkah-langkah secara singkat dapat digambarkan sebagai berikut,



Gambar 2.3 Perhitungan transformasi Fourier 2-D dari transformasi 1-D

Nilai yang sama bisa diperoleh dengan pertama kali melakukan transformasi sepanjang kolom dari $f(x, y)$, dan kemudian sepanjang baris dari hasil transformasi. Hal ini mudah diperoleh dengan membalik urutan dari penjumlahan pada persamaan (2.15).

2.3.3 Konvolusi

Konvolusi dari dua buah fungsi $f(x)$ dan $g(x)$, dinotasikan dengan $f(x)*g(x)$ didefinisikan sebagai suatu fungsi integral, yaitu

$$f(x)*g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha)g(x-\alpha)d\alpha \quad (2.19)$$

dimana α merupakan suatu variabel integrasi sembarang.

Merupakan hal yang penting untuk melakukan konvolusi dalam domain frekuensi, berdasarkan analisa bahwa $f(x)*g(x)$ dan $F(u)G(u)$ akan membentuk pasangan transformasi Fourier (*Fourier transform pair*). Dengan kata lain, jika $f(x)$ memiliki tranformasi Fourier $F(u)$ dan $g(x)$ memiliki tranformasi Fourier $G(u)$, berikutnya $f(x)*g(x)$ memiliki transformasi Fourier $F(u)G(u)$. Secara formal, ditetapkan sebagai berikut,

$$f(x)*g(x) \Leftrightarrow F(u)G(u) \quad (2.20)$$

menunjukkan bahwa konvolusi dalam domain x dapat juga diperoleh dengan mengambil nilai inverse dari transformasi Fourier $F(u)G(u)$. Hasil yang sama diperoleh bahwa konvolusi dalam domain frekuensi mengembalikan perkalian dalam domain x , sebagai berikut,

$$f(x)g(x) \Leftrightarrow F(u)*G(u) \quad (2.21)$$

Kedua persamaan tersebut secara umum dikenal dengan *convolution theorem*.

Untuk konvolusi pada bidang dua dimensi, memiliki rumus analog dengan bentuk persamaan (2.19), sehingga untuk dua buah fungsi $f(x,y)$ dan $g(x,y)$ dinotasikan dengan,

$$f(x,y) * g(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha, \beta) g(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta \quad (2.22)$$

Teorema konvolusi pada bidang dua dimensi, kemudian dinyatakan dengan relasi sebagai berikut,

$$f(x,y) * g(x,y) \Leftrightarrow F(u,v)G(u,v) \quad (2.23)$$

dan

$$f(x,y)g(x,y) \Leftrightarrow F(u,v)G(u,v) \quad (2.24)$$

Salah satu penggunaan konvolusi yang sangat penting adalah dalam penentuan suatu persamaan pada gambar yang akan dicari derivatifnya, yaitu dengan mengkonvolusikan gambar (fungsi bilevel dari gambar) dengan suatu filter tertentu (fungsi penyebaran titik).

2.4 ANALISIS TEKSTUR

Analisis citra merupakan sebuah proses untuk menemukan, mengenali, dan memahami pola-pola yang berhubungan dengan performance dari proses citra. Salah satu tujuan yang mendasar dari analisis citra dengan menggunakan komputer adalah memberi bantuan kepada mesin, sehingga memiliki kemampuan yang serupa dengan kemampuan manusia dalam mengenali sesuatu. Sebagai contoh, sebuah sistem yang dirancang untuk membaca citra

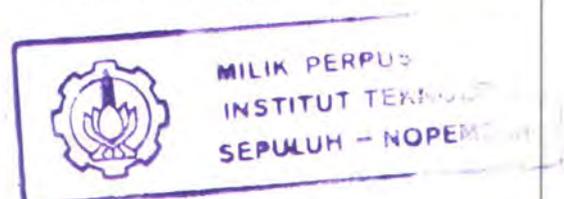
dari tipe dokumen, pola yang dijadikan obyek adalah karakter baik yang berupa angka maupun huruf, dan tujuan yang hendak dicapai adalah mengenali karakter dengan tepat, sebagaimana kemampuan yang ditunjukkan oleh manusia dalam menyelesaikan masalah tersebut.

Proses analisis citra terdiri dari tiga proses yang mendasar, yaitu proses level rendah, proses level menengah, dan proses level tinggi. Pembahasan dibatasi pada hal-hal yang berhubungan dengan tugas akhir. Dalam tugas akhir ini, perangkat lunak yang dirancang merupakan bagian dari proses level menengah, di mana proses pada level ini berhubungan dengan proses ekstraksi dan mengenali karakteristik khusus dari suatu komponen dalam sebuah citra yang merupakan hasil dari proses level rendah, untuk tugas akhir ini komponen yang dimaksud adalah tekstur. Ada beberapa pembahasan utama dalam analisis tekstur yang diuraikan secara berurutan oleh Ehrich dan Foith, sebagai berikut:⁴

- a. Diberikan region bertekstur, dilakukan proses untuk menentukan nilai batas dari kelas yang dimiliki oleh region.
- b. Diberikan region bertekstur, dilakukan proses untuk menentukan penggambaran atau model dari tekstur.
- c. Diberikan citra yang memiliki banyak area bertekstur, dilakukan proses untuk menentukan batas antara region-region yang memiliki tekstur berlainan.

Pembahasan (a) berhubungan dengan proses pengenalan pola dari ekstraksi karakteristik tekstur, pembahasan (b) berhubungan dengan model-model generatif dari tekstur, sedangkan pembahasan (c) merupakan penggabungan kedua bahasan sebelumnya dalam sebuah aturan yang digunakan untuk mengerjakan segmentasi tekstur dari sebuah citra.

⁴ Tzay Y. Young, King-Sun Fu, *Handbook of Pattern Recognition and Image Processing*, Academic Press, Inc., 1986, halaman 248



2.4.1 Segmentasi Citra⁵

Tujuan dari segmentasi permukaan sebuah gambar adalah memisahkan komponen-komponen dari sebuah citra yang berhubungan dengan obyek fisik dalam gambar. Komponen yang telah dipisahkan kemudian digunakan untuk proses pada level yang lebih tinggi seperti interpretasi dan pengenalan. Kesulitan utama dalam segmentasi gambar adalah kesalahan dalam mendefinisikan fakta, bahwa biasanya kita tertarik untuk menemukan batas-batas atau boundari dari obyek fisik dalam gambar tiga dimensi, akan tetapi kita hanya memiliki informasi gambar dua dimensi.

Pada kebanyakan metode segmentasi gambar diasumsikan bahwa obyek memiliki permukaan halus dan rata yang berhubungan dengan region secara konstan atau memiliki intensitas yang berubah secara tajam pada bagian boundari/batas. Asumsi ini sesuai, akan tetapi tidak selalu benar, misalnya pada obyek yang memiliki permukaan bertekstur dengan intensitas yang berbeda, juga keberadaan noise akan menyebabkan permasalahan tambahan.

2.4.2 Tekstur⁶

Meskipun secara formal definisi mengenai tekstur tidak diberikan, secara intuitive kita memandang tekstur sebagai suatu ukuran tentang sifat-sifat kehalusan, kekasaran, dan keteraturan. Tekstur dalam hubungannya dengan pengolahan citra (*image processing*), adalah penggambaran penyebaran piksel secara spasial pada suatu bagian (*region*) dalam suatu citra.

⁵ ibid, halaman 215-216

⁶ Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods, *Digital Image Processing, Second Edition*, Addison-Wesley Publishing Co., Tennessee, 1987, halaman 506-508

Tekstur sangat berguna untuk beberapa aplikasi pengolahan citra. Perubahan dalam suatu tekstur dapat digunakan untuk segmentasi citra secara spasial. Ukuran parameter dalam suatu tekstur dapat digunakan untuk mengelompokkan area-area dalam gambar, seperti mengelompokkan daerah pertambangan, pertanian, jalan, ataupun rumah. Dan pada akhirnya tekstur dapat dibuat untuk mengisi bagian-bagian dalam gambar untuk keperluan pengkodean citra.

Ada tiga pendekatan dalam pengolahan citra untuk menggambarkan suatu tekstur, yaitu pendekatan statistik, struktural, dan spektral. Pendekatan statistik menghasilkan karakteristik tekstur seperti kehalusan, kekasaran, dan lain-lain. Pendekatan struktural, di lain pihak berhubungan dengan penyusunan dari pola-pola primitif yang disebut *texel* (texture element), misalnya, penggambaran tekstur berdasarkan pada keteraturan garis-garis paralel. Sedangkan pendekatan secara spektral didasarkan pada sifat-sifat spektrum Fourier dan terutama digunakan untuk mendeteksi periode global dalam suatu gambar dengan mengidentifikasi (mengenali) energi tinggi, puncak yang sempit dalam spektrum.

2.4.3 Metode Pengambilan Data⁷

Dalam sistem pengolahan citra digital, metode pengambilan data yang akan diolah dapat dikategorikan dalam dua macam, yaitu metode domain spasial dan domain frekuensi.

⁷ *ibid*, halaman 162-165

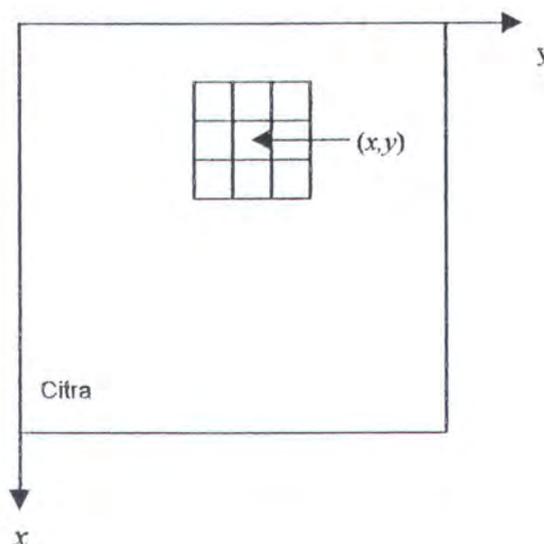
2.4.3.1 Domain Spasial

Domain spasial menunjuk pada sekumpulan piksel yang ditempatkan secara bersama dalam suatu citra dan metode domain spasial merupakan suatu prosedur yang dioperasikan secara langsung pada piksel.

Fungsi pengolahan citra pada domain spasial adalah sebagai berikut :

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \quad (2.25)$$

dimana $f(x,y)$ adalah citra input, $g(x,y)$ adalah citra hasil olahan, serta T adalah operator pada fungsi f , yang didefinisikan melalui nilai tetangga dari (x,y) .



Gambar 2.4 Sebuah 3x3 tetangga pada titik (x,y) dalam sebuah citra

Pendekatan yang digunakan untuk mendefinisikan tetangga dari (x,y) dapat berbentuk daerah bujursangkar atau persegi panjang yang berpusat di koordinat (x,y) seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Selanjutnya daerah ini disebut dengan jendela. Jendela ini digerakkan sepanjang daerah citra mulai dari posisi kiri atas sampai dengan kanan bawah untuk

menghasilkan nilai g pada tiap lokasi piksel, seperti diperlihatkan pada gambar 2.4 di atas.

2.4.3.2 Domain Frekuensi

Landasan awal pada metode domain frekuensi adalah teorema konvolusi. Misalkan $g(x,y)$ merupakan citra yang dibentuk dengan proses konvolusi dari sebuah citra $f(x,y)$ dan fungsi linier, yakni

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y) \quad (2.26)$$

Kemudian, dari teorema konvolusi pada persamaan (2.21), relasi dengan domain frekuensi menjadi

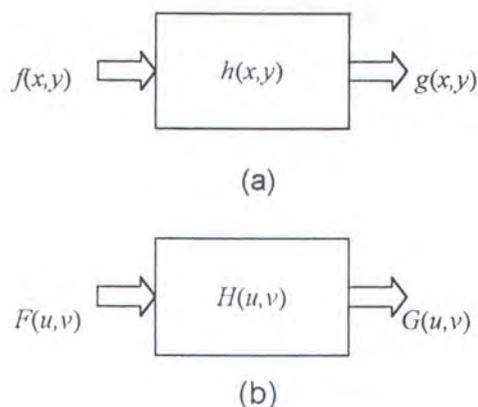
$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) \quad (2.27)$$

dimana G , H , dan F merupakan transformasi Fourier dari g , h , dan f . Di dalam istilah teori sistem linier, transformasi $H(u,v)$ dinamakan dengan fungsi pindah (*transfer function*) dari proses.

Berbagai permasalahan perbaikan citra dapat dinotasikan dalam bentuk persamaan (2.27). Di dalam penerapannya, $f(x,y)$ diberikan, dan tujuan sesudah perhitungan dari $F(u,v)$ adalah memilih $H(u,v)$ sehingga citra yang diinginkan adalah,

$$g(x,y) = \mathfrak{Z}^{-1}[H(u,v)F(u,v)] \quad (2.28)$$

memperlihatkan beberapa karakteristik/ciri pokok dari $f(x,y)$. Misalnya, tepi-tepi dalam $f(x,y)$ dapat ditonjolkan dengan menggunakan fungsi $H(u,v)$ yang menekankan bagian-bagian frekuensi tinggi dari $F(u,v)$.



Gambar 2.5 Operasi dari sistem linier.

- a. keluaran sistem merupakan konvolusi $h(x,y)$ dengan masukannya.
- b. keluaran merupakan perkalian dari $H(u,v)$ dengan masukannya.

Gambar (2.5) mengilustrasikan sebuah sistem yang berfungsi untuk menghasilkan citra keluaran $g(x,y)$ dari citra masukan $f(x,y)$. Sistem tersebut menjalankan konvolusi dari $h(x,y)$ dengan citra input dan menghasilkan citra keluaran. Sesuai dengan teorema konvolusi, melalui sudut pandang yang berbeda, hasil yang sama akan diperoleh dengan mengalikan $F(u,v)$ dan $H(u,v)$ untuk menghasilkan $G(u,v)$. Berikutnya mencari nilai invers transformasi Fourier dari keluaran tersebut akan menghasilkan citra yang diinginkan.

2.4.4 Filter Spasial⁸

Penggunaan kisi spasial dalam pengolahan citra umumnya dikenal dengan istilah *spatial filtering* dan yang dinamakan filter spasial adalah kisi itu sendiri. Jadi, yang dimaksud dengan filter spasial adalah kisi spasial yang

⁸ *ibid*, halaman 189-191

digunakan dalam pengolahan citra. Contoh sebuah kisi dapat dilihat pada gambar berikut.

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Gambar 2.6 Bentuk kisi dengan ukuran 3 x 3

Filter-filter spasial ini dikelompokkan ke dalam dua bagian, yakni filter linier dan filter nonlinier, pada sub bab ini hanya dibahas mengenai filter linier.

Filter linier didasarkan pada konsep domain frekuensi, yakni menunjukkan pada suatu kondisi bahwa fungsi transfer dan fungsi penyebaran titik dari sistem linier merupakan inverse transformasi Fourier satu sama lain. Dengan demikian beberapa istilah yang mengacu pada filter linier didefinisikan sebagai berikut:

- a. Filter Lowpass, adalah filter yang mengabaikan komponen frekuensi tinggi dan melewati komponen frekuensi rendah. Dengan ciri tersebut, dalam pengolahan citra filter ini digunakan untuk mengurangi noise atau untuk blurring (smoothing/memperhalus citra).
- b. Filter Highpass, adalah filter yang melewati komponen frekuensi tinggi dan mengabaikan komponen frekuensi rendah. Filter ini berfungsi untuk mempertajam tepi-tepi citra atau bagian-bagian lainnya dari sebuah citra yang butuh untuk dipertajam, dikenal dengan istilah *sharpening*.
- c. Filter Bandpass, adalah filter yang melewati komponen frekuensi antara frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Filter ini digunakan pada proses untuk mengembalikan kualitas citra yang terdegradasi atau pada proses perbaikan citra.

2.5 TEORI DASAR STATISTIK⁹

Pada bagian berikut ini, akan dijelaskan sedikit mengenai teori-teori dasar statistik yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini.

2.5.1 Peluang suatu kejadian

Peluang suatu kejadian A adalah jumlah bobot semua titik sampel yang termasuk A . Jadi,

$$0 \leq P(A) \leq 1, \quad P(\emptyset) = 0, \quad \text{dan} \quad P(S) = 1 \quad (2.37)$$

Peluang suatu kejadian A dari suatu percobaan didefinisikan sebagai:

$$P(A) = \frac{w}{m} \quad (2.38)$$

Dimana w banyaknya kejadian A dan m jumlah semua kejadian, termasuk kejadian A , dalam percobaan tersebut.

2.5.2 Beberapa hukum peluang

Berikut ini diberikan beberapa hukum yang dapat digunakan untuk menyederhanakan perhitungan peluang:

1. Bila A dan B dua kejadian sembarang, maka:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (2.39)$$

2. Bila A dan A' kejadian yang saling berkomplemen, maka:

$$P(A') = 1 - P(A) \quad (2.40)$$

⁹ Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*, Terbitan ke-2, diterjemahkan oleh R.K. Sembiring, Penerbit ITB, Bandung, 1986, halaman 16-25

2.5.3 Peluang bersyarat

Peluang bersyarat B dengan diketahui A , dinyatakan dengan $P(B|A)$, ditentukan oleh,

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \quad \text{bila } P(A) > 0 \quad (2.41)$$

Apabila rumus pada persamaan (2.41) dikalikan dengan $P(A)$, maka diperoleh teorema perkalian yang penting:

1. Bila kejadian A dan B dapat terjadi pada suatu percobaan, maka

$$P(A \cap B) = P(A)P(B|A) \quad (2.42)$$

2. Bila dalam suatu percobaan, kejadian A_1, A_2, A_3, \dots dapat terjadi, maka

$$P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap \dots) = P(A_1)P(A_2|A_1)P(A_3|A_1 \cap A_2) \dots \quad (2.43)$$

Kejadian A dan B bebas jika, dan hanya jika,

$$P(A \cap B) = P(A)P(B) \quad (2.44)$$

2.5.4 Aturan Bayes

Fungsi keputusan dari Bayes (*Bayes decision function*) memiliki bentuk sebagai berikut,

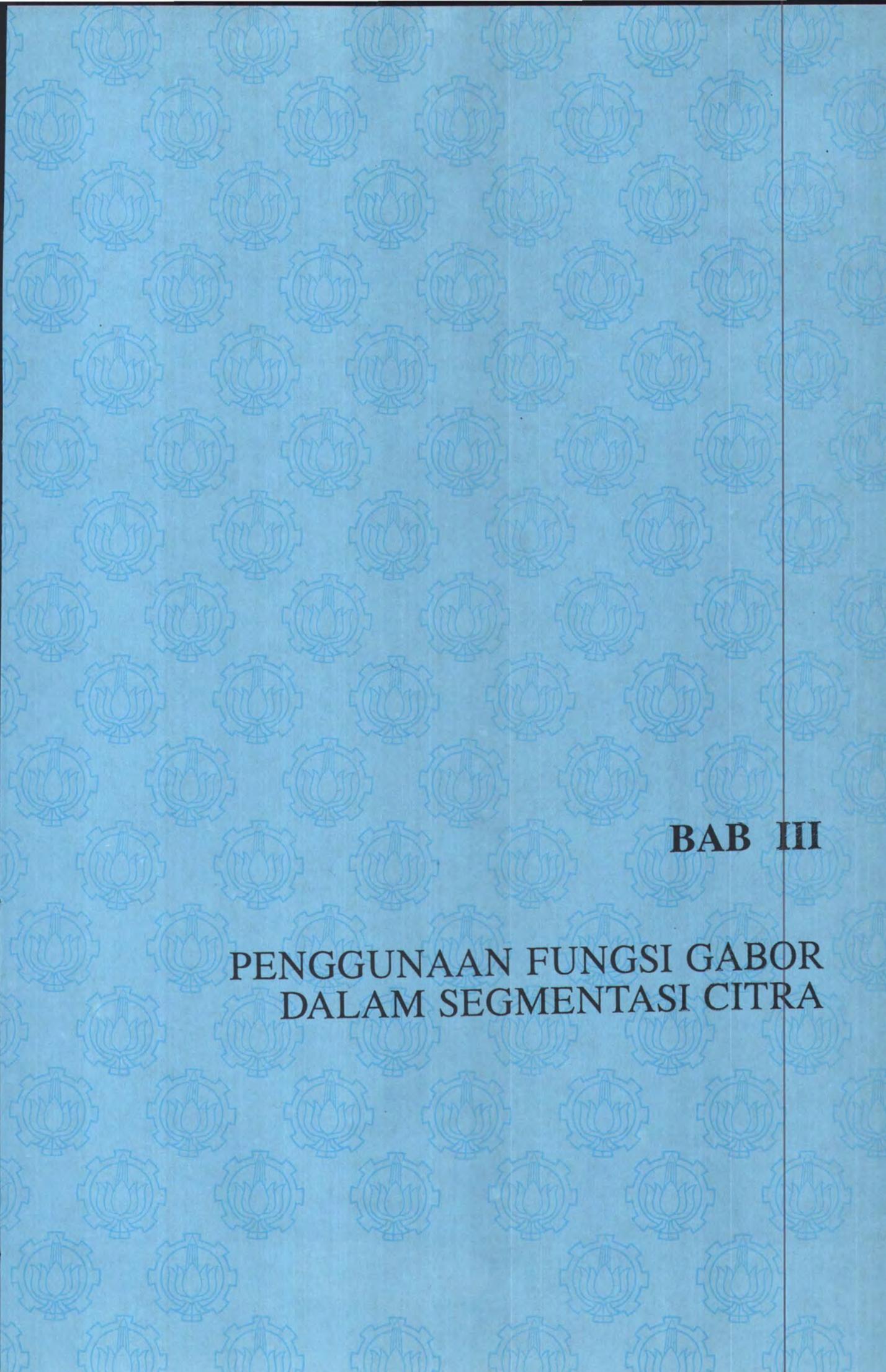
$$d_j(x) = P(x|w_j)P(w_j) \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (2.45)$$

dimana $p(x/\omega_i)$ menyatakan probabilitas bahwa pola tertentu x berasal dari kelas ω_i . $P(\omega_i)$ menyatakan probabilitas kejadian dari kelas ω_i .

Aturan Bayes, misalkan $\{B_1, B_2, \dots, B_n\}$ suatu himpunan kejadian yang merupakan suatu sekatan ruang sampel S dengan $P(B_i) \neq 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, n$,

dan A suatu kejadian sembarang dalam S dengan $P(A) \neq 0$. Maka, untuk $k = 1, 2, \dots, n$,

$$P(B_k | A) = \frac{P(B_k \cap A)}{\sum_{i=1}^n P(B_i \cap A)} = \frac{P(B_k)P(A | B_k)}{\sum_{i=1}^n P(B_i)P(A | B_i)} \quad (2.46)$$



BAB III

**PENGGUNAAN FUNGSI GABOR
DALAM SEGMENTASI CITRA**

BAB III

PENGGUNAAN FUNGSI GABOR DALAM SEGMENTASI CITRA

3.1 FILTER DIGITAL¹⁰

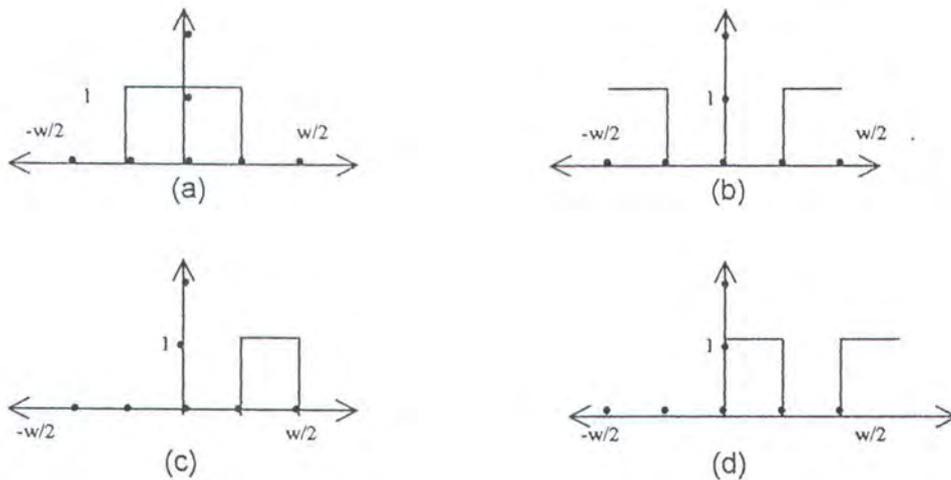
Filter merupakan mekanisme yang umum digunakan dalam teknik pengolahan sinyal yang berfungsi untuk menepis atau mengurangi bagian yang tidak diperlukan dari spektrum sinyal dan memperkuat bagian yang diperlukan. Sinyal yang tidak diperlukan ini seringkali berupa *random noise*. Jadi dengan penggunaan filter, rasio *signal-to-noise* atau perbandingan sinyal terhadap noise dapat ditingkatkan.

Filtering atau penerapan filter dapat berupa sirkuit analog dengan input analog yang kontinyu ataupun sirkuit digital pada input digital. Dengan berorientasi pada sinyal digital maka pada sirkuit digital, pemfilteran langsung diterapkan pada sinyal input. Jika input berupa sinyal analog maka sinyal ini harus diubah dahulu dengan menggunakan *analog-to digital converter*. Jenis filter ada bermacam-macam, namun semuanya dapat digolongkan ke dalam dua bagian yaitu filter analog dan filter digital. Filter analog merupakan filter yang bekerja dengan input analog, sedangkan filter digital merupakan filter yang bekerja dengan input digital, untuk selanjutnya kita lebih menitikberatkan permasalahan pada filter digital (dituliskan dengan kata filter saja). Karena sistem diskrit memiliki respon frekuensi yang berulang dengan periode 2π , maka untuk

¹⁰Embree, P., Kimble, B., "C Language Algorithms For Digital Signal Processing", PrenticeHall, halaman 18-25



menganalisis satu sampel gelombang sinyal, sampel ini akan memiliki karakteristik yang sama.



Gambar 3.1 Diagram filter digital

- a. Filter LowPass
- b. Filter HighPass
- c. Filter BandPass
- d. Filter BandStop

Berdasarkan respon frekuensi dari fungsi tranfernya, filter terdiri dari :

- a. Filter HighPass : yaitu filter yang melewatkan rentang frekuensi tinggi dan menepis rentang frekuensi rendah dari sinyal.
- b. Filter LowPass : yaitu filter yang melewatkan rentang frekuensi rendah dan menepis rentang frekuensi tinggi dari sinyal.
- c. Filter BandPass : yaitu filter yang melewatkan suatu rentang frekuensi yang memiliki batas frekuensi rendah dan tinggi dan menepis rentang frekuensi di luarnya.
- d. Filter BandStop : kebalikan dari filter BandPass yaitu filter yang melewatkan suatu rentang frekuensi yang berada di luar batas frekuensi rendah dan tinggi.

Diagram dari keempat jenis filter di atas dapat dilihat pada gambar 3.1.

Terdapat dua metode dalam perancangan filter digital, yang pertama dengan metode langsung, yaitu kita menitikberatkan respon frekuensi dari filter dan dengan invers transformasi Fourier dapat kita tentukan koefisien respon impulsnya, metode ini dikenal sebagai rancangan filter non rekursif (*Finite Impulse Response Filter/FIR*). Metode kedua adalah dengan mentransformasikan fungsi transfer filter analog dari S-plane ke Z-plane, metode ini dikenal sebagai rancangan filter rekursif (*Infinite Impulse Response Filter/IFIR*).

Teknik perancangan FIR, salah satunya yaitu penggunaan jendela (*windowing*) pada filter yang memiliki keluaran tak terbatas ataupun pada filter yang non causal (tidak nyata, karena terdapat titik sampling $n < 0$), dapat dibuat filter yang terhingga dengan memotong respon frekuensi. Pada perancangan IFIR, secara umum dengan membentuk fungsi transfer berdasarkan koefisien respon impuls filter analog, yaitu dengan transformasi dari S-plane pada filter analog ke Z-plane pada filter digital.

3.2 FILTER GABOR^{11,12}

Pada tahun 1980, sebuah model untuk sel receptive fields sederhana diusulkan terdiri dari getaran selaras dengan envelope Gaussian (Daugman 1980; Marcelja 1980). Fungsi semacam ini telah digambarkan oleh Dennis Gabor pada tahun 1946. Dengan menggunakan bukti dari cara kerja kuantum, Gabor memperagakan bahwa fungsi dari pulsa-pulsa probabilitas yang disesuaikan ini

¹¹ M.R. Turner, *Texture Discrimination by Gabor Functions*, Biological Cybernetics, volume 55, 1986, halaman 72

¹² Dennis Dunn, William E. Higgins, *Optimal Gabor Filter for Texture Segmentation*, IEEE Transactions on Image Processing, volume 4, nomor 7, July 1995, halaman 948

adalah optimal, bahwa dia memiliki hasil terkecil dari durasi yang tepat (dalam kasus ini, luas ruang dengan frekuensi yang tepat).

Daugman mengembangkan kerja Gabor ke dalam filter dua dimensi (Daugman 1980,1985). Dia menunjukkan bahwa perluasan dari kriteria optimisasi hubungan ke dua dimensi telah dipuaskan oleh famili dari fungsi-fungsi yang dapat dinyatakan sebagai filter spasial terdiri dari gelombang rataan sinusoidal dengan dua dimensi ellips envelope Gaussian. Transformasi Fourier yang bersesuaian berisi ellips Gaussian dipindahkan dari sumbu asal ke bidang spasial dari envelop Gaussian. Fungsi tersebut, berikutnya dikenal dengan *Gabor elementary function* (GEF) dapat didesain pada frekuensi tinggi maupun rendah, atau dengan kata lain GEF merupakan filter bandpass. Persamaan untuk GEF diberikan sebagai berikut,

$$h(x, y) = g(x', y') \exp[j2\pi(Ux + Vy)] \quad (3.1)$$

$(x', y') = (x \cos \theta + y \sin \theta, -x \sin \theta + y \cos \theta)$ menyatakan koordinat garis lurus dari domain spasial yang dirotasikan, (U, V) mewakili frekuensi 2-D tertentu, fungsi $g(x, y)$ merupakan Gaussian 2-D,

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2 + \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]\right\} \quad (3.2)$$

dimana σ_x dan σ_y menyatakan luas spasial dan bandwidth dari filter. Dengan mengasumsikan $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ dan parameter θ tidak dibutuhkan, persamaan GEF pada 3.1 disederhanakan menjadi,

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left\{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right\} \exp[j2\pi(Ux + Vy)] \quad (3.3)$$

dan untuk fungsi Gaussian menjadi,

$$g_{pj}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{pj}^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_{pj}^2}} \quad (3.4)$$

Dari persamaan matematis di atas dapat kita lihat bahwa respon impuls dari GEF diperoleh dari perkalian fungsi Gaussian dengan fungsi kompleks.

$$\text{Fungsi Kompleks : } e^{-j2\pi(ux+vy)} \quad (3.5)$$

Pada tugas akhir ini filter Gabor digunakan untuk menganalisis karakteristik dari suatu tekstur tertentu yang berikutnya akan digunakan untuk segmentasi citra multi tekstur.

3.3 DESAIN FILTER GABOR

Dalam membentuk filter Gabor untuk proses segmentasi tekstur dibutuhkan nilai-nilai tertentu. Nilai-nilai tersebut berupa nilai untuk frekuensi pusat U dan V , serta nilai σ yang merupakan bandwidth dari filter, ketiga nilai ini untuk selanjutnya disebut dengan parameter filter. Keberadaan parameter akan mengakibatkan permasalahan menjadi kompleks sehingga dibutuhkan batasan, pada tugas akhir ini diberikan batasan untuk nilai-nilai parameter filter sebagai berikut,

- $\sigma_g = 2, u = 0, v = 0$
- $\sigma_g = 2, u = 0.499, v = 0$
- $\sigma_g = 2, u = 0.5, v = 0.5$
- $\sigma_g = 2, u = -0.5, v = 0$
- $\sigma_g = 4, u = 0.5, v = 0$
- $\sigma_g = 4, u = 0.5, v = 0.5$
- $\sigma_g = 4, u = 0.55, v = 0.025$
- $\sigma_g = 4, u = -0.17, v = 0.41$
- $\sigma_g = 2, u = 0.19, v = 0$
- $\sigma_g = 2, u = 0.17, v = 0.125$

Untuk mendesain filter diberikan sampel-sampel dari tekstur yang akan diuji untuk dicari nilai-nilai yang menjadi ciri tertentu dari sebuah tekstur, dalam hal ini adalah nilai mean dan nilai varian. Nilai mean dan varian tersebut serta nilai untuk parameter filter disimpan dalam sebuah tabel yang sifatnya tetap dan akan digunakan dalam proses segmentasi. Proses untuk mencari nilai-nilai tersebut dilakukan di luar perangkat lunak, sehingga dalam tugas akhir ini tidak dibahas.

Proses segmentasi yang dilakukan oleh perangkat lunak ini adalah mengelompokkan citra ke dalam kelas teksturnya, sehingga perlu dibedakan dengan proses segmentasi untuk mencari batas antara tekstur yang berbeda. Dalam hal ini, metode yang digunakan adalah metode supervise, dimana jumlah kelas tekstur dan pola-pola hasil training telah diketahui dan disimpan dalam sebuah tabel. Sementara untuk menentukan batas suatu tekstur, pada umumnya jumlah tekstur yang ada pada citra diabaikan.

3.3.1 Definisi Filter¹³

Dari persamaan (3.3), filter Gabor yang digunakan untuk melakukan analisis tekstur, dapat diberikan sebagai berikut,

$$m(x,y) = | h(x,y) * i(x,y) | \quad (3.6)$$

dimana * merupakan notasi dari proses konvolusi, i menggambarkan sebuah citra, h adalah GEF, dan m merupakan keluaran filter. Operasi pemfilteran sebagaimana ditunjukkan pada persamaan di atas disebut dengan filter Gabor (*Gabor filter*).

¹³ Dennis Dunn, William E. Higgins, *Texture Segmentation Using 2-D Gabor Elementary Functions*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, volume 16, nomor 2, Februari 1994, halaman 131

Dalam analisis tekstur, GEF memiliki ciri,

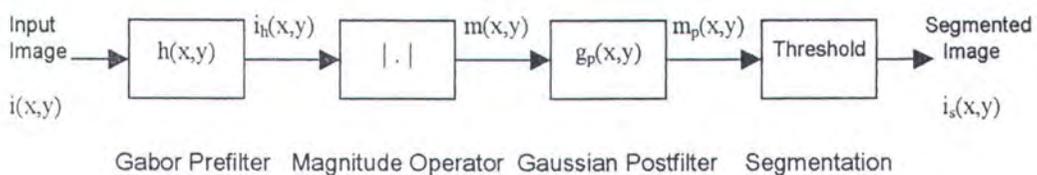
- merupakan fungsi-fungsi yang mampu mencapai batas bawah dari lingkup bandwidth. Hal ini berarti GEF dapat ditempatkan pada domain spasial maupun domain spasial-frekuensi secara serentak dengan optimal.
- merupakan filter bandpass, jadi GEF dapat dibentuk untuk melakukan ekstraksi lebar tertentu dari komponen-komponen frekuensi pada sebuah citra.

3.3.2 Sudut Pandang Pengolahan Citra^{14,15}

Pemakaian fungsi Gabor pada persamaan (3.3) dalam sebuah pengolahan citra akan dijelaskan pada subbab berikut.

3.3.2.1 Skema Filter Tunggal

Diagram blok dari pengolahan citra yang mendasar untuk tahapan proses segmentasi dengan channel tunggal diberikan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.2 Diagram blok pengolahan citra

¹⁴ Thomas P.Weldon, William E. Higgins, Dennis F. Dunn, *Efficient Gabor Filter Design for Texture Segmentation*, PREPRINT of Pattern Recognition 1996 © 1996 Pattern Rec.Soc.

¹⁵ Thomas P.Weldon, William E. Higgins, *Design of Multiple Gabor Filters for Texture Segmentation*, IEEE Proc. ICASSP-96, Atlanta, GA, 1996

Tahapan proses dari diagram tersebut dijelaskan sebagai berikut, citra masukan $i(x,y)$ diasumsikan tersusun atas 2 buah tekstur. Pertama kali citra $i(x,y)$ melewati prefilter Gabor $h(x,y)$, dimana

$$h(x,y) = g(x,y)e^{-j2\pi(Ux+Vy)} \quad (3.7)$$

dan

$$g(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_g^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_g^2}} \quad (3.8)$$

Hasil dari tahap prefilter merupakan konvolusi dari citra input dengan respon filter,

$$i_h(x,y) = h(x,y) * i(x,y) \quad (3.9)$$

Dimana * menyatakan konvolusi pada fungsi dua dimensi.

Tahap kedua, menghitung nilai magnitude dari keluaran tahap pertama, sebagaimana digambarkan pada persamaan (3.4) sebagai berikut,

$$m(x,y) = |i_h(x,y)| = |h(x,y) * i(x,y)| \quad (3.10)$$

Berikutnya $m_p(x,y)$ diperoleh dengan melakukan proses postfilter/smoothing pada $m(x,y)$ dengan menggunakan filter Gaussian, dimana

$$m_p(x,y) = m(x,y) * g_p(x,y) \quad (3.11)$$

dan

$$g_p(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_p^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_p^2}} \quad (3.12)$$

Sesudah proses ini, nilai pdf (*probability density function*) dari keluaran postfilter dihitung untuk menentukan nilai treshold dari dua kelas tekstur. Pembahasan mengenai hal ini akan diuraikan pada subbab berikutnya.

Agar lebih mudah, secara umum $i_h(x,y)$ menunjuk pada prefiltered image, $m(x,y)$ sebagai *prefilter output*, $m_p(x,y)$ sebagai *postfilter output*, filter Gabor sebagai prefilter Gabor, dan filter Gaussian sebagai postfilter Gaussian.

3.3.2.2 Skema Multichannel

Arsitektur multichannel filter pada dasarnya merupakan pengulangan dari arsitektur tunggal sejumlah k buah channel, dimana nilai dari parameter-parameter filter ($u_j, v_j, \sigma_{gj}, \sigma_{pj}$) dalam setiap channel j bebas bervariasi dari satu channel ke channel lain. Citra input $i(x,y)$ diasumsikan tersusun atas region-region yang terpotong oleh N buah tekstur t_1, t_2, \dots, t_N , dengan $N \geq 2$. Tahapan proses yang dilakukan pada setiap channel sama dengan proses pada filter tunggal. Dengan demikian respon impuls prefilter Gabor dinyatakan sebagai berikut,

$$h_j(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{gj}^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\pi\sigma_{gj}^2}} e^{-j2\pi(U_jx+V_jy)} \quad (3.13)$$

dimana j menunjukkan channel tertentu dan $1 \leq j \leq k$.

Keluaran tahap prefilter $i_{hj}(x,y)$ yang merupakan konvolusi dari citra masukan dengan prefilter Gabor dinyatakan,

$$i_{hj}(x,y) = h_j(x,y) * i(x,y) \quad (3.14)$$

dimana h_j menunjukkan citra hasil prefilter Gabor pada channel filter ke- j .

Magnitude citra hasil prefilter Gabor dinyatakan dengan,

$$m_j(x,y) = |i_{hj}(x,y)| = |h_j(x,y) * i(x,y)| \quad (3.15)$$

keluaran postfilter Gaussian diperoleh dengan mengkonvolusikan keluaran prefilter Gabor dengan fungsi Gaussian pada setiap channel ke- j ,

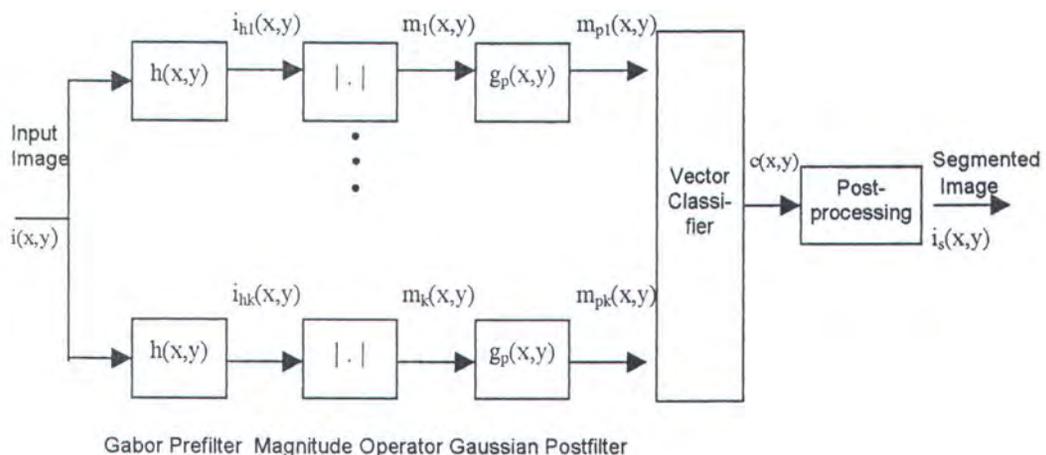
$$m_{p_j}(x, y) = m_j(x, y) * g_{p_j}(x, y) \quad (3.16)$$

dengan

$g_{p_j}(x, y)$ merupakan fungsi Gaussian yang digunakan pada channel ke- j .

Berikutnya dilakukan tahap pengelompokan dengan menggunakan *Bayes Classifier* menghasilkan citra yang dikelompokkan (*classified image*) $c(x, y)$, dan tahap berikutnya adalah proses postprocessing untuk menangani kesalahan pengelompokan yang terjadi pada batas antara tekstur yang berbeda. Proses pada tahap ini dijadikan referensi untuk pengembangan selanjutnya, sedangkan proses pengelompokan akan dibahas pada subbab berikutnya.

Diagram blok dari proses multichannel diberikan pada gambar di bawah, sebagai berikut:



Gambar 3.3 Skema multichannel untuk segmentasi citra bertekstur

3.4 FILTER GAUSSIAN

Filter Gaussian merupakan salah satu filter lowpass, yang berfungsi sebagai media penghalusan citra (*image smoothing*). Kondisi yang dibentuk oleh filter ini dikenal dengan istilah Gaussian Kernel. Fungsi persamaan untuk Gaussian Filter ditunjukkan seperti dibawah ini :

$$g(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (3.17)$$

Dimana x dan y merupakan koordinat kartesius filter, σ merupakan nilai sigma yang menentukan tingkat kehalusan citra yang diproses dalam hal ini nilainya dapat ditentukan oleh pengguna, sedangkan $g(x,y)$ merupakan kernel untuk filter Gaussian. Hasil yang diperoleh pada kernel ini dikonvolusikan pada citra asal yang akan diperhalus (*smoothing*).



3.5 PENGELOMPOKAN (CLASSIFIER)^{16,17,18}

Pada bagian ini akan dibahas mengenai metode untuk mengelompokkan citra hasil postfilter Gaussian dengan menggunakan model statistika Gaussian.

Dalam pengenalan pola, model statistika menjadi penting disebabkan adanya proses secara acak pada saat membangkitkan kelas-kelas pola. Sehingga dibutuhkan sebuah pendekatan probabilitas yang mengoptimalkan nilai rata-rata, nilai akan digunakan untuk menghasilkan kemungkinan paling rendah

¹⁶ Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Second Edition, Addison-Wesley Publishing Co., Tennessee, 1987, halaman 586-590

¹⁷ Thomas P.Weldon, William E. Higgins, Dennis F. Dunn, *Efficient Gabor Filter Design for Texture Segmentation*, PREPRINT of Pattern Recognition 1996 © 1996 Pattern Rec.Soc.

¹⁸ Thomas P.Weldon, William E. Higgins, *Design of Multiple Gabor Filters for Texture Segmentation*, IEEE Proc. ICASSP-96, Atlanta, GA, 1996

dalam kesalahan pengelompokan. Pendekatan yang mampu memperkecil hilangnya rataan total disebut dengan *Bayes Classifier*, fungsi keputusan dari *Bayes Classifier* memiliki bentuk,

$$d_j(\mathbf{x}) = p(\mathbf{x}/\omega_j)P(\omega_j) \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (3.18)$$

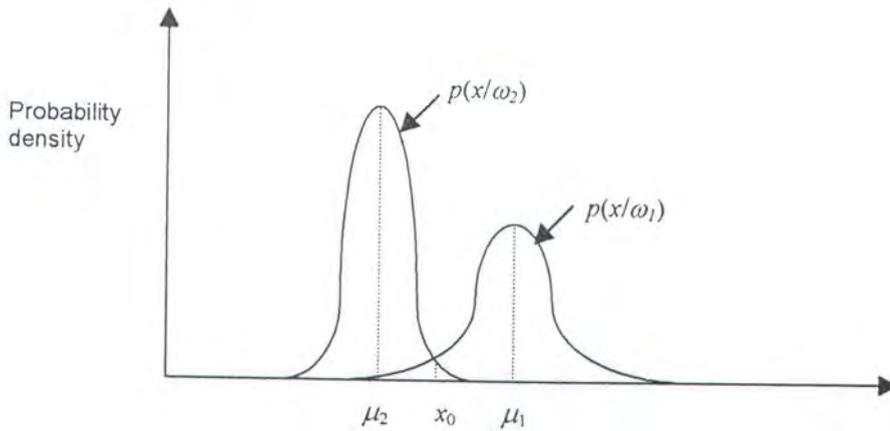
dimana pola vektor \mathbf{x} menunjuk kelas ω_i jika $d_i(\mathbf{x}) > d_j(\mathbf{x})$ untuk semua $j \neq i$, $p(\mathbf{x}/\omega_j)$ menyatakan probabilitas bahwa pola tertentu \mathbf{x} berasal dari kelas ω_j . $P(\omega_i)$ menyatakan probabilitas kejadian dari kelas ω_i .

3.4.1 Bayes Classifier untuk Kelas Pola Gaussian

Sebagai permulaan, diambil permasalahan 1 dimensi yang terdiri dari dua buah kelas pola yang diatur dengan densitas Gaussian, dengan nilai-nilai mean μ_1 dan μ_2 , dan standard deviasi s_1 dan s_2 secara berurutan. Dari persamaan 3.18, fungsi keputusan Bayesian memiliki bentuk,

$$d_j(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s_j} \exp\left[-\frac{(x-\mu_j)^2}{2s_j^2}\right] P(\omega_j) \quad (3.19)$$

dimana pola sekarang memiliki bentuk skalar, dinotasikan dengan x . Gambar 3.3 menunjukkan bidang pdf dari dua kelas. Batas antara dua kelas merupakan titik tunggal, dinotasikan dengan x_0 sedemikian rupa sehingga $d_1(x_0) = d_2(x_0)$. Jika dua kelas memiliki kemungkinan yang sama untuk terjadi, $P(\omega_1) = P(\omega_2) = 1/2$, dan batas keputusan merupakan nilai dari x_0 untuk $p(x_0/\omega_1) = p(x_0/\omega_2)$. Titik ini merupakan perpotongan dari dua pdf, semua pola (titik) pada bagian kanan dari x_0 dikelompokkan dalam kelas ω_1 , sebaliknya semua pola di sebelah kiri x_0 dikelompokkan dalam kelas ω_2 .



Gambar 3.4 PDF dari dua kelas pola 1-D

Dalam perancangan channel tunggal, salah satu tahapan yang dilalui untuk menghasilkan citra yang disegmentasi adalah tahap thresholding, yaitu mencari nilai threshold yang memiliki kesalahan terkecil untuk mengelompokkan piksel pada kelas tekstur yang bersesuaian. Berdasarkan fungsi keputusan Bayes, nilai threshold yang dicari dapat dihitung sebagai berikut,

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}s_A} \exp\left[-\frac{(d-\mu_A)^2}{2s_A^2}\right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}s_B} \exp\left[-\frac{(d-\mu_B)^2}{2s_B^2}\right] \quad (3.20)$$

dan

$$d = \frac{(\mu_A s_B^2 - \mu_B s_A^2)}{s_B^2 - s_A^2} \pm \frac{s_A s_B \sqrt{(\mu_B - \mu_A)^2 + 2(s_B^2 - s_A^2) \ln(s_B / s_A)}}{s_B^2 - s_A^2} \quad (3.21)$$

x merupakan nilai threshold yang terpilih sedemikian rupa sehingga $\mu_A \leq d \leq \mu_B$.

Aturan keputusan dalam variabel random z untuk keluaran postfilter m pada titik (x,y) adalah :

$$(x,y) \in A, \text{ jika } z < d$$

$$(x,y) \in B, \text{ sebaliknya} \quad (3.21)$$

Pada kasus n -dimensi, densitas Gaussian dari vektor-vektor dalam kelas pola ke- j , memiliki bentuk

$$p(\mathbf{x} / \omega_j) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\mathbf{C}_j|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{m}_j)^T \mathbf{C}_j^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}_j)\right] \quad (3.22)$$

dimana setiap densitas dijelaskan secara lengkap oleh nilai vektor mean dan matriks kovarian, yang didefinisikan sebagai berikut,

$$\mathbf{m}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{\mathbf{x} \in \omega_j} \mathbf{x} \quad (3.23)$$

dan

$$\mathbf{C}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{\mathbf{x} \in \omega_j} \mathbf{x}\mathbf{x}^T - \mathbf{m}_j \mathbf{m}_j^T \quad (3.24)$$

dimana N_j merupakan jumlah vektor pola dari kelas ω_j . Pada persamaan 3.22, n merupakan dimensi dari vektor-vektor pola, dan $|\mathbf{C}_j|$ merupakan determinan dari matrik.

Matrik kovarian merupakan matrik simetris dan bernilai positif. Elemen diagonal c_{kk} merupakan nilai varian elemen ke- k dari vektor pola, elemen off-diagonal c_{jk} merupakan kovarian dari x_j dan x_k . $c_{jk} = 0$ jika elemen-elemen x_j dan x_k saling bebas.

Untuk perancangan tahap pengelompokan multi tekstur dari perangkat lunak ini, operasi postfiltering yang dilakukan dalam channel filter akan memperbaiki rataan spasial dari keluaran proses prefilter $m_j(x, y)$, menghasilkan perkiraan distribusi Gaussian untuk keluaran postfilter $m_{p_j}(x, y)$. Nilai pdf multivariansi Gaussian dari keluaran channel untuk tekstur t_i , dalam persamaan matematisnya,

$$p_i(\mathbf{m}_p, \mathbf{C}_i) = \frac{1}{(2\pi)^{k/2} |\mathbf{C}_i|^{1/2}} e^{-\frac{(\mathbf{m}_p - \boldsymbol{\mu}_i)^T \mathbf{C}_i^{-1} (\mathbf{m}_p - \boldsymbol{\mu}_i)}{2}} \quad (3.25)$$

dimana $\mathbf{m}_p = [m_{p1} \quad m_{p2} \quad \dots \quad m_{pk}]^T$ merupakan sampel vektor dari k-dimensi vektor keluaran postfilter, \mathbf{C}_i merupakan matrik kovarian dari keluaran postfilter, dan $\boldsymbol{\mu}_i = [\mu_{i1} \quad \mu_{i2} \quad \dots \quad \mu_{ik}]^T = E[\mathbf{m}_p]$ merupakan vektor mean dari keluaran postfilter. Koefisien-koefisien pada matrik kovarian ditentukan sebagai berikut, untuk nilai-nilai sepanjang diagonal matrik merupakan nilai dari varian tekstur yang bersesuaian s_{pij}^2 , di luar elemen diagonal, yaitu elemen pada off-diagonal memiliki nilai 0.

3.4.2 Densitas Gabungan (*Mixture Density*)

Dalam praktek, akan terlihat bahwa Bayes Classifier mampu memberikan performance yang bagus untuk region-region, akan tetapi kurang memuaskan pada batas-batas. Hal ini menjadi suatu yang umum terjadi pada proses segmentasi dengan tanpa melihat metode yang digunakan. Untuk mengurangi kesalahan penempatan pada batas tekstur, digunakan densitas gabungan dengan memodifikasi Bayes Classifier. Pendekatan ini akan menguntungkan apabila diimplementasikan pada kasus kelas multivariansi Gaussian.

Prosedur untuk membangkitkan classifier tersebut adalah, pertama memilih nilai varian $s_{p \max j}^2$ terbesar untuk setiap sumbu feature yang bersesuaian dengan setiap channel filter j :

$$s_{p \max j}^2 \geq s_{pij}^2, \quad \alpha \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (3.26)$$

Kemudian, membentuk matrik kovarian \mathbf{C}_{max} , dimana elemen-elemen diagonalnya berupa nilai varian yang terbesar $s_{p \max j}^2$, $j = 1, 2, \dots, k$. Untuk

tekstur t_i , bentuk multivariansi dari densitas gabungan p_{mix} menjadi sebagai berikut,

$$p_{mix_i}(m_p) = \frac{1}{2} (p_i(m_p, C_{max}) + p_i(m_p, C_i)) \quad (3.27)$$

dimana $p_i(m_p, C_i)$ merupakan pdf multivariansi Gaussian yang asli dari persamaan (3.25) dan $p_i(m_p, C_{max})$ merupakan multivariansi Gaussian yang dibentuk dengan meletakkan nilai maksimum pada elemen-elemen diagonal untuk semua matrik kovarian dari tekstur. Berikutnya, hasil dari classifier ini digunakan untuk mengelompokkan piksel ke dalam kelas tekstur dengan menentukan densitas gabungan yang memiliki nilai pdf terbesar. Misal, $c(x,y) = \alpha$ sedemikian rupa sehingga

$$p_{mix_\alpha}(m_p(x,y)) \geq p_{mix_\beta}(m_p(x,y)), \quad \forall \beta \quad (3.28)$$

dimana $\beta \in \{1, 2, \dots, N\}$ dan p_{mix_β} merupakan densitas gabungan dari t_β .

3.6 UKURAN KESALAHAN SEGMENTASI (SEGMENTATION ERROR MEASURE)¹⁹

Untuk mengetahui kualitas filter yang digunakan, maka dibutuhkan sebuah perhitungan untuk menentukan ukuran kesalahan proses. Pada subbab sebelumnya telah dibuat model multivariansi statistika Gaussian untuk vektor hasil dari k buah channel filter. Hal ini memberikan pertimbangan bahwa jarak Bhattacharyya merupakan ukuran yang tepat dari performance feature.

¹⁹ ibid

region. Untuk itu dibuat ukuran kesalahan lokalisasi yang sederhana dan efektif, sehingga total ukuran kesalahan merupakan penjumlahan dari kesalahan pengelompokan ε_c dan kesalahan lokalisasi ε_l , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \varepsilon_l &= \varepsilon_c + \varepsilon_l \\ &= \frac{1}{N-1} \sum_{\alpha=1}^{N-1} \sum_{\beta=\alpha+1}^N (P_\alpha P_\beta)^{1/2} e^{-B(t_\alpha t_\beta)} + \frac{1}{k} \sum_{\gamma=1}^k \frac{2(N)(\sigma_{gy}^2 + \sigma_{py}^2)}{N^2} \end{aligned} \quad (3.32)$$

dimana N merupakan dimensi citra. Dalam tugas akhir ini total kesalahan tersebut digunakan untuk mengetahui ketelitian parameter filter yang digunakan.

Diasumsikan dua buah tekstur $t_\alpha(x, y)$ dan $t_\beta(x, y)$, maka jarak Bhattacharyya $B(t_\alpha, t_\beta)$ atau *B-distance* antara dua tekstur dinyatakan dengan

$$B(t_\alpha, t_\beta) = \frac{1}{8} (\mu_\alpha - \mu_\beta)^T \left[\frac{C_\alpha + C_\beta}{2} \right]^{-1} (\mu_\alpha - \mu_\beta) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\frac{1}{2} (C_\alpha + C_\beta)}{|C_\alpha|^{1/2} |C_\beta|^{1/2}} \right) \quad (3.29)$$

dimana μ_α, μ_β merupakan vektor-vektor mean, dan C_α, C_β merupakan matrik-matrik kovarian yang dihubungkan dengan kedua tekstur $t_\alpha(x, y)$ dan $t_\beta(x, y)$.

B-distance menunjukkan nilai batas atas untuk kesalahan klasifikasi (*classification error*) ε_c dari dua buah tekstur, untuk N buah kelas multivariansi Gaussian dinyatakan sebagai berikut,

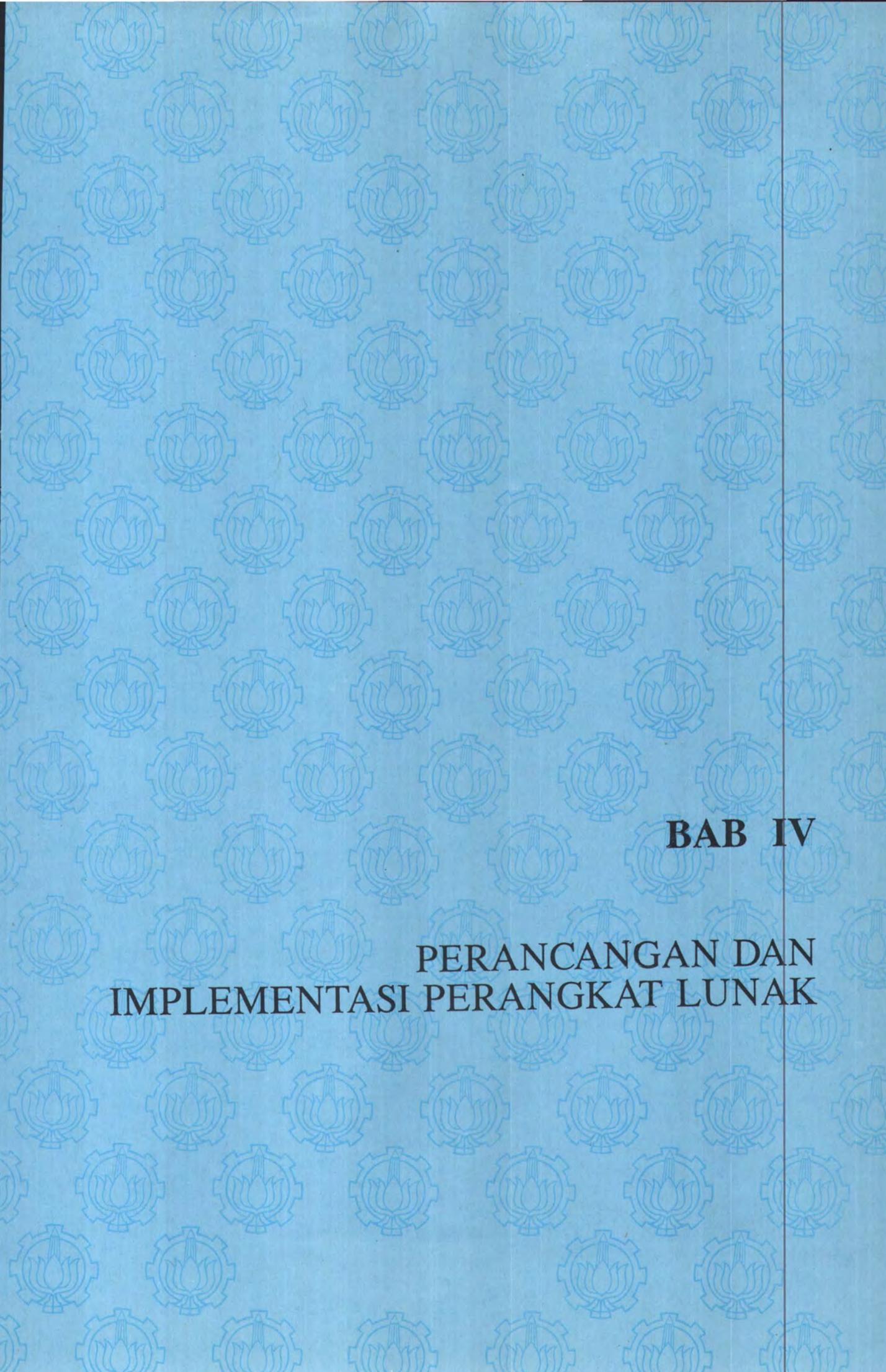
$$\varepsilon_c < \sum_{\alpha=1}^{N-1} \sum_{\beta=\alpha+1}^N (P_\alpha P_\beta)^{1/2} \rho_{\alpha\beta} \quad \text{dengan} \quad \rho_{\alpha\beta} = e^{-B(t_\alpha, t_\beta)} \quad (3.30)$$

dimana $\rho_{\alpha\beta}$ merupakan koefisien dua kelas Bhattacharyya, P_α merupakan nilai *priori* probabilitas dari tekstur yang bersangkutan. Persamaan di atas efektif untuk mendesain filter multi channel ketika jumlah tekstur kecil (<4), dimana seiring dengan meningkatnya jumlah tekstur, maka performance dari filter-filter yang didesain menjadi berkurang. Untuk mengatasi permasalahan ini, persamaan (3.30) dimodifikasi menjadi

$$\varepsilon_c < \sum_{\alpha=1}^{N-1} \sum_{\beta=\alpha+1}^N (P_\alpha P_\beta)^{1/2} \rho_{\alpha\beta} \leq \frac{1}{2} \quad (3.31)$$

dimana kondisi terburuk nilai batas atas dari ε_c adalah $\frac{1}{2}$.

Bhattacharyya error mampu menyediakan ukuran untuk mengelompokkan region-region tekstur secara akurat, akan tetapi kurang mewakili pada permasalahan lokalisasi yang akurat dari batas-batas antar



BAB IV

**PERANCANGAN DAN
IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK**

BAB IV
PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI
PERANGKAT LUNAK

Pada bab ini dibahas mengenai perancangan perangkat lunak yang meliputi deskripsi sistem, perancangan data, serta perancangan proses. Selain itu juga dibahas mengenai implementasi berbagai perancangan tersebut dalam program.

4.1 DESKRIPSI PERANGKAT LUNAK

Segmentasi tekstur merupakan sebuah proses untuk memisahkan komponen-komponen dari suatu citra dikelompokkan ke dalam tekstur-tekstur yang bersesuaian. Untuk melakukan proses tersebut, dipergunakan pendekatan dengan filter Gabor, yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan ciri khusus dari pola tekstur tertentu. Tahapan-tahapan prosesnya secara keseluruhan adalah penerimaan masukan dari user, pengambilan data, proses filtering citra masukan dengan filter Gabor (*prefiltering*), proses smoothing citra hasil prefilter (*prefiltered image*) dengan envelope Gaussian (*postfiltering*), proses pengelompokan keluaran postfilter (*postfiltered output*) ke dalam kelas-kelas yang bersesuaian (*classifier*), dan penampilan citra keluaran (citra hasil segmentasi). Selain itu, pada perangkat lunak ini juga ditambahkan dengan proses transformasi Fourier dan ekualisasi histogram.



4.1.1 Masukan

Dalam Tugas Akhir ini, seperti telah dijelaskan di bab awal, metode yang dipergunakan adalah metode supervise, sehingga masukan yang diberikan berupa citra yang terdiri dari tekstur-tekstur yang sudah dikenali oleh sistem. Untuk keperluan ini, telah disediakan citra hasil scanner dari dokumen cetak berupa koran yang memuat informasi teks dan gambar, dan beberapa contoh tekstur yang diambil dari tekstur Brodatz. Citra yang diinputkan kemudian dikonversikan ke dalam nilai gray level dengan nilai 0 – 255, dalam proses berikutnya citra yang sudah dikonversikan tersebut disimpan pada matrik yang memiliki dua jenis bilangan, yaitu bilangan real dan bilangan imajiner. Ukuran citra yang digunakan adalah 128 x 128 piksel.

4.1.2 Pengambilan Data

Pengambilan Data merupakan proses untuk mendapatkan data parameter filter. Proses ini menerima masukan dari pengguna (*user*) yang diinputkan secara manual berupa jumlah channel, indeks (nomor channel pada DataChannel.dbf) channel, yang selanjutnya akan diproses untuk mendapatkan nilai-nilai parameter (σ_b , U , V) dan jumlah channel dari filter yang akan digunakan dalam proses prefiltering. Untuk keperluan tersebut digunakan sebuah tabel DataChannel.dbf dengan data field sebagai berikut:

DataChannel	NOCHAN	U	V	BAND
-------------	--------	---	---	------

DataChannel merupakan nama file database dengan ekstensi .dbf, NOCHAN merupakan indeks channel filter dengan nilai parameter-parameter filter U , V , dan BAND.

4.1.3 Prefiltering

Proses prefiltering merupakan proses filtering citra masukan yang sudah diubah ke nilai gray levelnya, dengan menggunakan filter bandpass. Dalam hal ini digunakan filter Gabor dengan respon impuls merupakan perkalian antara fungsi Gaussian dan bilangan kompleks sebagaimana dijelaskan di bab terdahulu.

Pada proses ini terlebih dahulu dilakukan pengecekan terhadap jumlah channel filter. Pada masing-masing channel filter kemudian dilakukan konvolusi antara citra masukan dengan filter dari channel yang bersesuaian. Konvolusi dilakukan pada domain frekuensi, yaitu menggunakan transformasi Fourier. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut, pertama membentuk matrik filter Gabor, dengan koefisien matrik sesuai persamaan berikut,

$$h_j(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{gj}^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_{gj}^2}} e^{-j2\pi(u_jx+v_jy)}$$

kemudian dilakukan proses transformasi Fourier diskrit terhadap citra masukan dan matrik filter. Setelah itu dilakukan perkalian kompleks pada keduanya, sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \text{hasil}[x, y].\text{Re} &:= (\text{citra}[x, y].\text{Re} * \text{filter}[x, y].\text{Re}) - (\text{citra}[x, y].\text{Im} * \text{filter}[x, y].\text{Im}) \\ \text{hasil}[x, y].\text{Im} &:= (\text{citra}[x, y].\text{Re} * \text{filter}[x, y].\text{Im}) + (\text{citra}[x, y].\text{Im} * \text{filter}[x, y].\text{Re}) \end{aligned}$$

Dan yang terakhir dihitung nilai invers dari hasil perkalian tersebut menggunakan invers transformasi Fourier, menghasilkan citra hasil prefilter.

Nilai citra hasil prefilter (disebut *prefiltered image*) merupakan bilangan kompleks, untuk mengembalikan ke domain spasial nilai tersebut dikonversikan

ke bilangan riil dengan menghitung magnitudenya (disebut dengan *prefilter output*) dan akan dipergunakan dalam proses selanjutnya.

Persamaan untuk menghitung magnitude,

$$magnitude(x, y) = \sqrt{\text{Re}(x, y)^2 + \text{Im}(x, y)^2} .$$

4.1.4 Postfiltering

Proses postfiltering merupakan kelanjutan dari channel filter pada proses prefiltering, berfungsi untuk menghaluskan citra (*smoothing*). Pada proses ini dilakukan filtering pada keluaran prefilter dengan menggunakan filter Gaussian. Masukan yang diberikan pada proses tersebut adalah *prefilter output* dan nilai σ_p . Nilai σ_p digunakan untuk menentukan tingkat kehalusan dari keluaran prefilter, nilai ini dimasukkan secara manual oleh pengguna yang kemudian akan diproses untuk mencari nilai mean dan varian dari masing-masing tekstur. Disamping itu juga diberikan masukan berupa indeks tekstur dan jumlah tekstur. Untuk keperluan ini digunakan data tabel dari DataMV.dbf, dengan field berikut ini:

DataMV	NOTEKS	NOCHAN	SIGMA	MEAN	VARIAN
--------	--------	--------	-------	------	--------

NOTEKS merupakan indeks tekstur, SIGMA merupakan nilai σ_p , MEAN dan VARIAN merupakan nilai mean dan varian dari sampel tekstur hasil postfiltering. Hasil dari proses postfiltering disebut dengan *postfiltered output*.

4.1.5 Classifier

Proses classifier merupakan proses untuk mengelompokkan citra hasil postfilter pada kelas-kelas tekstur yang bersesuaian dengan menggunakan

aturan Bayes Classifier. Sebagaimana telah dijelaskan pada bab sebelumnya, penggunaan Bayes Classifier akan sangat berguna untuk memperkecil terjadinya kesalahan dalam pengelompokan, dan fungsi probabilitas yang tepat untuk aturan ini adalah fungsi densitas probabilitas Gaussian atau dikenal dengan PDF Gaussian. Pada proses ini nilai dari citra hasil postfilter dikelompokkan ke dalam tekstur yang bersesuaian dengan menghitung nilai PDF Gaussian dari keluaran postfilter tersebut, sebagai berikut:

$$p_i(\mathbf{m}_p, \mathbf{C}_i) = \frac{1}{(2\pi)^{k/2} |\mathbf{C}_i|^{1/2}} e^{-\frac{(\mathbf{m}_p - \boldsymbol{\mu}_i)^T \mathbf{C}_i^{-1} (\mathbf{m}_p - \boldsymbol{\mu}_i)}{2}}$$

Nilai PDF terbesar digunakan untuk memasukkan citra pada kelas tekstur. Hasil dari proses ini disebut dengan *classified image*, yaitu berupa citra yang telah dikelompokkan/dipisahkan berdasarkan kelas tekstur yang bersesuaian.

4.1.6 Keluaran

Hasil dari proses classifier ditampilkan berupa citra/gambar dimana tekstur yang berbeda akan diberi warna yang berlainan.

4.2 PERANCANGAN DATA

Pada bagian ini diuraikan perancangan data yang meliputi data masukan, data saat pemrosesan, dan data keluaran.

4.2.1 Data Masukan

Data masukan dari perangkat lunak ini berasal dari berkas masukan yang bertipe bitmap dengan ukuran 128 x 128 piksel. Di samping itu, untuk

mendapatkan nilai-nilai parameter filter, pengguna harus memberikan masukan mengenai jumlah tekstur, jumlah channel, indeks tekstur, dan indeks channel.

4.2.2 Data Saat Pemrosesan

Pada saat perangkat lunak menerima data masukan, ada beberapa data yang akan digunakan dalam proses yang bersesuaian dengan data masukan, yaitu:

- ✍ Nochan, adalah jumlah dari channel filter yang digunakan dalam merancang channel filter.
- ✍ Jute, adalah jumlah tekstur yang terdapat pada file masukan.
- ✍ Nilai parameter filter, adalah nilai parameter yang digunakan untuk merancang filter Gabor. Parameter yang dibutuhkan adalah σ_g , U , dan V , dimana σ_g adalah ukuran filter, U dan V menunjukkan frekuensi pusat dari filter.
- ✍ Nilai mean dan varian, adalah nilai rata-rata dan varian dari masing-masing tekstur hasil postfilter dengan parameter yang bersesuaian. Nilai ini akan dipergunakan untuk mengelompokkan keluaran postfilter dan menghitung kesalahan segmentasi (*error segmentation*).

Data-data tersebut di atas, selain data masukan, diperoleh dari data file DataChannel.dbf dan DataMV.dbf sesuai masukan dari pengguna.

4.2.3 Data Keluaran

Tujuan pembuatan perangkat lunak ini adalah untuk mengelompokkan citra ke dalam kelas-kelas tekstur tertentu, maka keluaran yang dihasilkan berupa citra dengan ukuran sesuai ukuran citra masukan, yakni 128 x 128 piksel,

dimana untuk kelas tekstur yang berlainan akan diberi warna berbeda. Jumlah warna sesuai jumlah kelas tekstur dari citra masukan, sebagai contoh, terdapat dua buah tekstur A dan tekstur B, maka piksel yang merupakan bagian dari tekstur A akan diberi warna *Teal* dan piksel yang merupakan bagian dari tekstur B diberi warna *Aqua*.

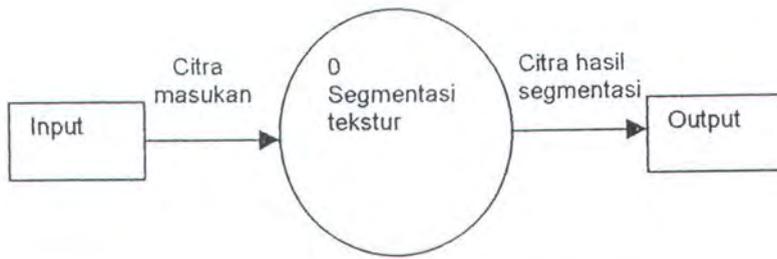
4.3 PERANCANGAN PROSES

Secara global, dalam perangkat lunak ini terdapat empat buah proses utama. Proses yang pertama adalah pengambilan parameter filter untuk memperoleh data mengenai parameter filter, jumlah channel, jumlah tekstur, nilai mean, dan varian. Berikutnya dilakukan proses prefiltering. Proses ketiga adalah postfiltering, selanjutnya proses classifier untuk mengelompokkan citra berdasarkan kelas/tekstur yang bersesuaian, maka akan diperoleh citra hasil segmentasi.

4.3.1 Diagram Alir Data (Data Flow Diagram)

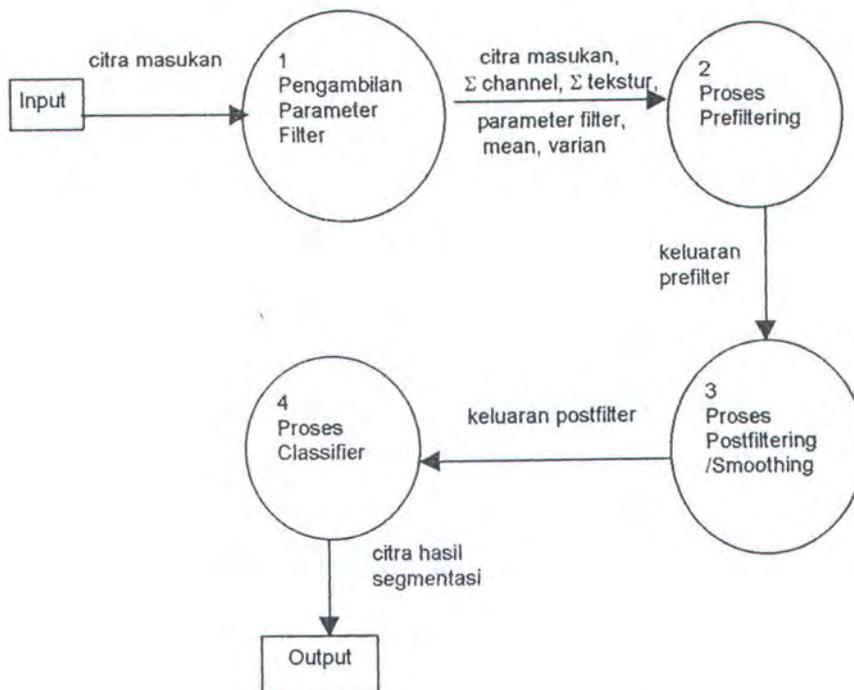
Diagram alir data (DFD) merupakan teknis grafis yang menggambarkan aliran informasi data dari masukan sampai keluaran. Diagram ini digunakan untuk menjelaskan berbagai proses yang akan dilakukan serta data-data yang diperlukan dalam tahap implementasi.

Susunan diagram alir data untuk perangkat lunak yang dibuat sebagaimana digambarkan berikut ini.



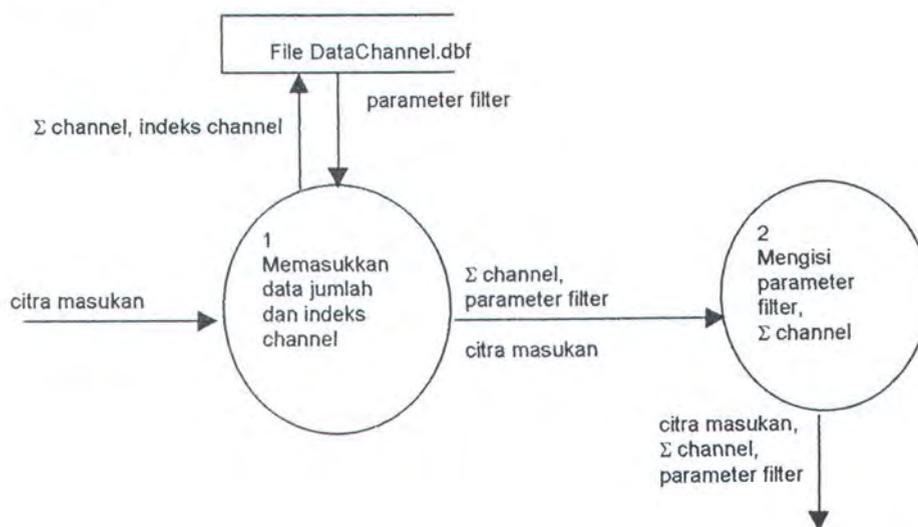
Gambar 4.1 Diagram alir data level 0

Data yang digunakan dalam level 0 ini berasal dari berkas masukan bertipe bitmap dengan ukuran 128 x 128 piksel, berupa citra yang terdiri dari dua buah atau lebih tekstur yang berlainan. Data bitmap yang diberikan kemudian dikonversikan ke dalam nilai gray levelnya untuk diproses lebih lanjut.

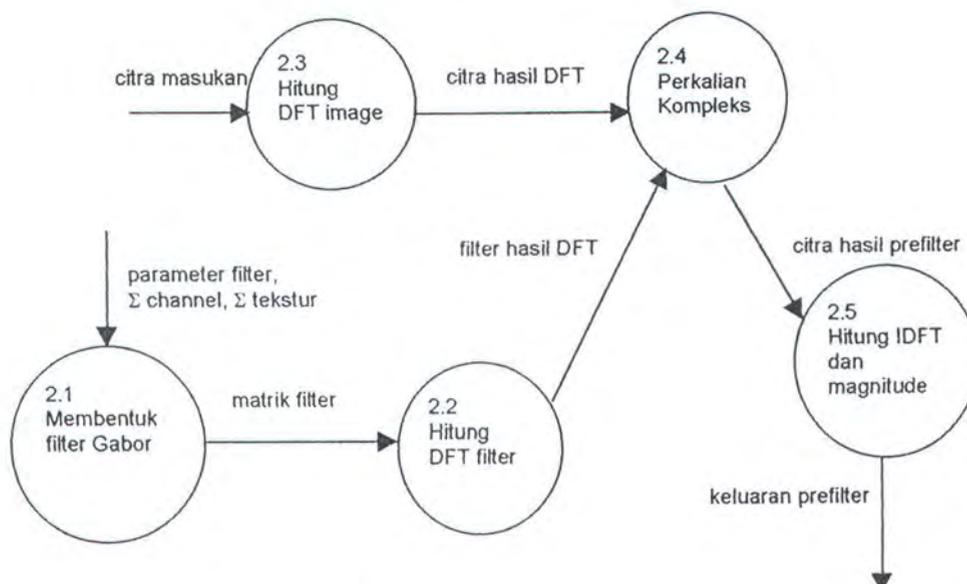


Gambar 4.2 Diagram alir data level 1, detil dari level 0

Diagram 1, 2, 3, dan 4 pada gambar 4.2 masih terdiri dari beberapa proses yang dapat dilihat secara berturut-turut pada gambar 4.3 sampai dengan gambar 4.6.

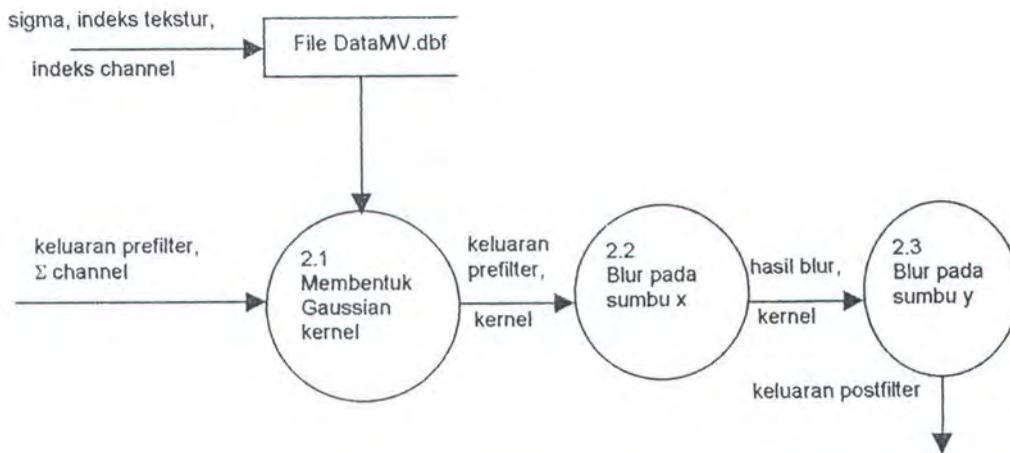


Gambar 4.3 Diagram alir data level 2, detail dari proses Pengambilan Data



Gambar 4.4 Diagram alir data level 2, detail dari proses Prefiltering





Gambar 4.5 Diagram alir data level 2, detail dari proses Postfiltering

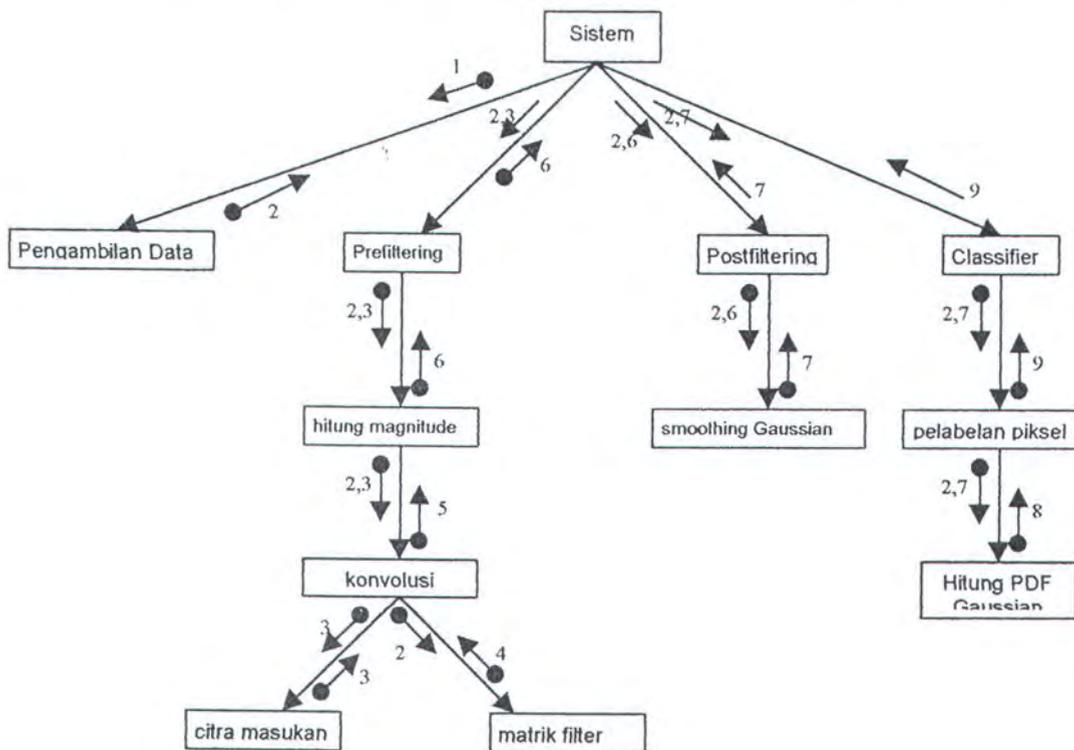


Gambar 4.6 Diagram alir data level 2, detail dari proses Classifier

Gambar 4.3, merupakan proses untuk mendapatkan data parameter, nilai mean dan varian, jumlah tekstur, dan jumlah channel. Gambar 4.4, merupakan proses filtering pada citra masukan dengan filter Gabor. Gambar 4.5, merupakan proses smoothing pada citra keluaran prefilter Gabor. Terakhir, gambar 4.6, merupakan proses pengelompokan citra yang telah dihaluskan ke dalam kelas-kelas tekstur yang bersesuaian.

4.3.2 Hirarki Modul

Diagram disain modul yang diimplementasikan pada tugas akhir ini untuk proses segmentasi secara keseluruhan dapat dijabarkan pada gambar berikut:



Gambar 4.8 Hirarki Modul dari Proses Segmentasi

Keterangan :

1. data masukan (Σ tekstur, Σ channel, indeks tekstur, indeks channel, sigma)
2. data parameter
3. citra masukan
4. matrik filter
5. citra hasil prefilter (*prefiltered image*)
6. keluaran prefilter (*prefilter output*)
7. keluaran postfilter/smoothing (*postfilter output*)

8. PDF Gaussian setiap piksel untuk setiap tekstur
9. citra hasil (*classified image*)

4.4 IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK

Pada bahasan ini akan dijelaskan mengenai implementasi dari berbagai perancangan yang telah dijelaskan di atas, yang meliputi implementasi struktur data beserta implementasi dalam tahapan-tahapan proses.

4.4.1 Implementasi Struktur Data

Program yang dirancang terdiri dari program utama dan tiga buah unit, yaitu modul1, modul2, dan filter. Modul1 berisi deklarasi dari tipe-tipe data yang digunakan dan prosedur-prosedur yang berhubungan dengan dasar-dasar pengolahan citra. Struktur dari unit ini dapat dilihat sebagai berikut:

```

MyData = record
    Rl,Im:double
end;

{tipe data untuk menyimpan parameter filter}
MyPow = record
    U,V:real;
    band:byte
end;

MyTArray = array of array of MyData;
MyArray = array of MyData;
MyRArray = array of array of double;
MyPowArray = array of MyPow;
MyMeVa = array of array of double;
ArrReal = array of double;

function ByteToTColor(scolor : byte) : TColor;
function TrueToGray (scolor : TColor) : byte;

procedure HistoEqual(var citas:MyTArray;deep:longword);

procedure ProsesDFT(var PG:MyTArray;N:longword);
procedure ProsesIDFT(var PG:MyTArray;N:longword);
function ProbDensitas (Rl, Im:double):double;

```

Unit modul2 berisi prosedur-prosedur yang berhubungan dengan proses pengambilan data dan perhitungan kesalahan segmentasi, sebagai berikut:

```
procedure baca_jum(var nochan, jute:byte);
procedure FindParam(var FilterT:MyPowArray;
                    var mean, varian:MyMeVa);
```

Unit filter berisi prosedur-prosedur yang berhubungan dengan proses filtering dengan filter Gabor dan smoothing/postfiltering Gaussian, sebagai berikut:

```
procedure Spatial_Filter(var Gab:MyTArray; band:byte;
                        deep:word;U,V:real);

procedure skala(var Gab:MyRArray;deep:word);
procedure ProsesSkala(var Gab:MyTArray;deep:word);

procedure ConvoF(var hasil:MyTArray ;filter,citra:MyTArray;
                 deep:word);

procedure Gaussian_Smooth(Source:MyTArray; sigma:real;
                           var OutPut:MyTArray;
                           lebar:integer);
```

Program utama dari perancangan perangkat lunak ini menerima masukan berupa file bitmap. Data masukan yang berupa file bitmap tersebut akan disimpan dalam nilai gray levelnya pada sebuah data TpPixel yang merupakan larik dua dimensi dari Tcolor (*array of array of Tcolor*). Data TpPixel ini akan digunakan dalam berbagai proses dengan mengkonversikannya pada sebuah larik dua dimensi dari MyData, yang memiliki tipe rekaman (*record*), yaitu Rl dan Im, keduanya bertipe double (dapat dilihat pada uni modul1). Rekaman ini diperlukan dalam proses, untuk menyimpan nilai riil dan imajiner. Data yang digunakan pada program utama ini dapat dilihat sebagai berikut:

```
{data untuk menyimpan nilai gray level dari citra masukan}
TpPixel:array of array of TColor;

{data untuk menyimpan ukuran citra}
lebar:longword;
```

```

{data untuk menyimpan data TpPixel pada saat proses}
foye:MyTArray;
tekstur,f_tekstur:array of MyRArray;
{data untuk menyimpan jumlah channel, dan jumlah tekstur}
nochan,jute:byte;

{data untuk menyimpan parameter filter}
FilterT:MyPowArray;

{data untuk menyimpan nilai mean dan nilai varian}
mean,varian:MyMeVa;

{data untuk menyimpan nilai PDF Gaussian}
prob:array of extended;

```

Adapun data yang akan ditampilkan merupakan larik dua dimensi dari tipe double, apabila data yang hendak ditampilkan memiliki tipe MyTArray, maka terlebih dahulu dikonversikan ke tipe MyRArray.

4.4.2 Implementasi Proses

Inti dari program ini adalah menjalankan tahapan-tahapan proses segmentasi, yaitu proses *prefiltering*, proses *postfiltering*, dan proses *classifier*. Implementasi dari tahapan-tahapan proses tersebut secara global dapat dituliskan sebagai berikut.

4.4.2.1 Proses Prefiltering

Proses *prefiltering* merupakan tahap pertama dalam proses segmentasi citra pada tugas akhir ini. Proses yang dilakukan adalah mengkonvolusikan citra masukan yang telah dihitung nilai gray levelnya dengan fungsi Gabor.

```

procedure Spatial_Filter(var Gab:MyTArray; band:byte; deep:word;
                        U,V:real);
var x,y:word;
    bagi,kali:double;
    temp:MyData;
begin
  setlength(Gab,deep,deep);
  bagi:=2*pi*sqr(band);

```

```

for x:=0 to deep-1 do
  for y:=0 to deep-1 do
    begin
      kali:=(sqr(x)+sqr(y))/(2*sqr(band));
      temp.Rl := (1/bagi)*exp(-kali)*cos(2*pi*(u*x+v*y));
      temp.Im := (1/bagi)*exp(-kali)*sin(2*pi*(u*x+v*y));
      Gab[x,y]:=temp
    end;
  end;
end;

procedure TSDIAppForm.PrefilterGabor1Click(Sender: TObject);
var temp,bantu,teks:MyTArray;
begin
  memasukkan nilai gray level citra masukan pada larik variabel
  teks

  transformasi Fourier Diskrit untuk citra masukan

  for i:=0 to nochan-1 do
    begin
      menghitung koefisien matrik filter dengan fungsi Gabor

      menghitung nilai transformasi Fourier dari matrik filter

      melakukan perkalian kompleks antara matrik filter dengan
      matrik teks

      menghitung nilai invers DFT dari hasil perkalian

      menghitung nilai magnitude hasil proses IDFT, simpan pada
      data tekstur
    end;
  penampilan hasil
end;

```

Keterangan :

- tekstur = larik satu dimensi dari matrik yang berisi nilai gray level citra masukan, jumlah larik sesuai jumlah channel
- Spasial_Filter = prosedur untuk menghitung koefisien matrik filter dengan menggunakan fungsi Gabor

4.4.2.2 Proses Postfiltering

Proses postfiltering dilakukan setelah melalui proses prefiltering.

Implementasi dalam program secara global dapat dilihat berikut ini:

```

procedure Make_Gaussian_Kernel(sigma:double; var kernel:ArrReal;
var windowsize:longword);
var
  i, center      : word;
  x, fx, sum     : double;

begin
  windowsize := trunc (1 + 2 * ceil(2.5 * sigma));
  for i:=0 to windowsize-1 do
  begin
    x := i - center;
    fx := power(2.71828, -0.5*x*x/(sigma*sigma)) / (sigma *
      sqrt(6.2831853));
    kernel[i] := fx;
    sum := sum+fx;
  end;

  for i:=0 to windowsize-1 do
    kernel[i] := kernel[i] / sum;
  end;

procedure Gaussian_Smooth(Source:MyTArray; sigma:real;
var OutPut:MyTArray; lebar:integer);
begin
  bentuk kernel Gaussian
  blur pada sumbu x
  blur pada sumbu y
end;

procedure TSDIAppForm.PostfilterGaussian1Click(Sender: TObject);
var i,x,y:byte;
begin
  for i:=0 to nochan-1 do
    Gaussian_Smooth(tekstur[i],2*FilterT[i].band,f_tekstur,lebar);
  penampilan hasil
end;

```

Keterangan :

- Gaussian_Smooth = prosedur untuk proses smoothing
- f_tekstur = larik satu dimensi dari matrik yang berisi nilai citra hasil smoothing yang akan dikelompokkan, jumlah larik sesuai jumlah channel



4.4.2.3 Proses Classifier

Tahap berikutnya adalah pengelompokan citra yang sudah melewati proses postfiltering. Pada tahap ini, pengguna diberi pilihan untuk menentukan jumlah channel. Untuk channel tunggal, implementasinya berbeda dengan jumlah channel lebih dari satu. Berikut masing-masing prosedur secara global:

{channel tunggal}

```
procedure TSDIAppForm.SatuChannelClick(Sender: TObject);
begin
  if jute=2 then
    begin
      FindTreshold(bagi, varian, mean);
      FindKelas(Image2, bagi)
    end
  else
    begin
      for i:=0 to lebar-1 do
        for j:=0 to lebar-1 do
          begin
            cek:=0;
            for x:=0 to jute-1 do
              begin
                bagi:=(sqr(f_tekstur[0,i,j].Rl-mean[x,0]))/
                  (2*sqr(varian[x,0]));
                prob[x]:= (1/(sqrt(2*pi)*varian[x,0]))*exp(-bagi);
              end;
            find_prob(Image2,i,j)
          end
        end
      end
    end;
end;
```

{multi channel}

```
procedure class_multi(no:byte;var Image:Timage);
begin
  for x:=0 to jute-1 do
    begin
      det[x]:=1;
      max[x]:=sqr(varian[x,0]);
      for y:=0 to no-1 do
        begin
          det[x]:=det[x]*sqr(varian[x,y]);
          if max[x]<sqr(varian[x,y]) then max[x]:=sqr(varian[x,y])
        end
      end;
    end;

  for i:=0 to lebar-1 do
    for j:=0 to lebar-1 do
      begin
        for x:=0 to jute-1 do
```

```

begin
  bagi:=0;
  kali:=0;
  for y:=0 to no-1 do
  begin
    bagi:=bagi+(sqr(f_tekstur[y,i,j].Rl-mean[x,y])/
      (2*sqr(varian[x,y])));
    kali:=kali+(sqr(f_tekstur[y,i,j].Rl-mean[x,y])/
      (2*max[x]))
  end;
  pmix:=(1/(sqr(power(2*pi,no))*sqr(power(max[x],no))))*
    exp(-kali);
  prob[x]:=(1/(sqr(power(2*pi,no))*sqr(det[x])))*
    exp(-bagi);
  prob[x]:=(prob[x]+pmix)/2
end;
find_prob(Image,i,j)
end;
end;

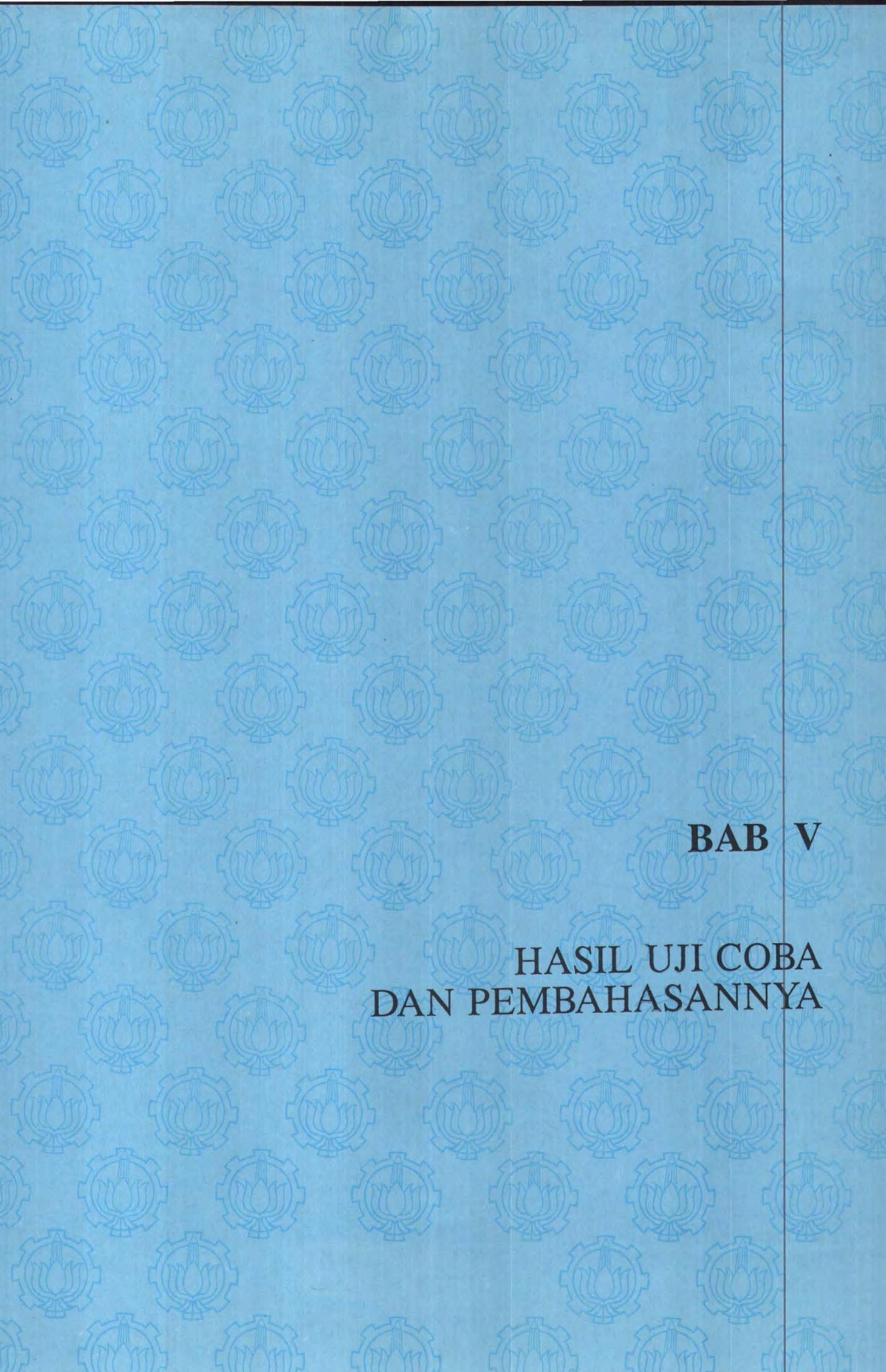
```

Keterangan:

FindTreshold = prosedur untuk menghitung nilai treshold untuk dua kelas tekstur dengan satu buah channel.

FindKelas = prosedur untuk memasukkan ke dalam kelas tekstur yang bersesuaian dengan menggunakan nilai treshold yang telah diperoleh pada prosedur FindTreshold.

find_prob = prosedur untuk mencari nilai pdf terbesar yang digunakan untuk memasukkan piksel-piksel ke dalam kelas tekstur tertentu.



BAB V

**HASIL UJI COBA
DAN PEMBAHASANNYA**

BAB V

HASIL UJI COBA DAN PEMBAHASANNYA

Dalam bab ini diuraikan mengenai hasil uji coba perangkat lunak dengan beberapa masukan dan parameter yang berbeda. Terlebih dahulu dipaparkan mengenai lingkungan tempat perangkat lunak ini dijalankan, selain itu juga akan dipaparkan beberapa pembahasan dari uji coba yang dilakukan.

Berbagai uji coba di bawah ini dijalankan pada komputer dengan spesifikasi sebagai berikut:

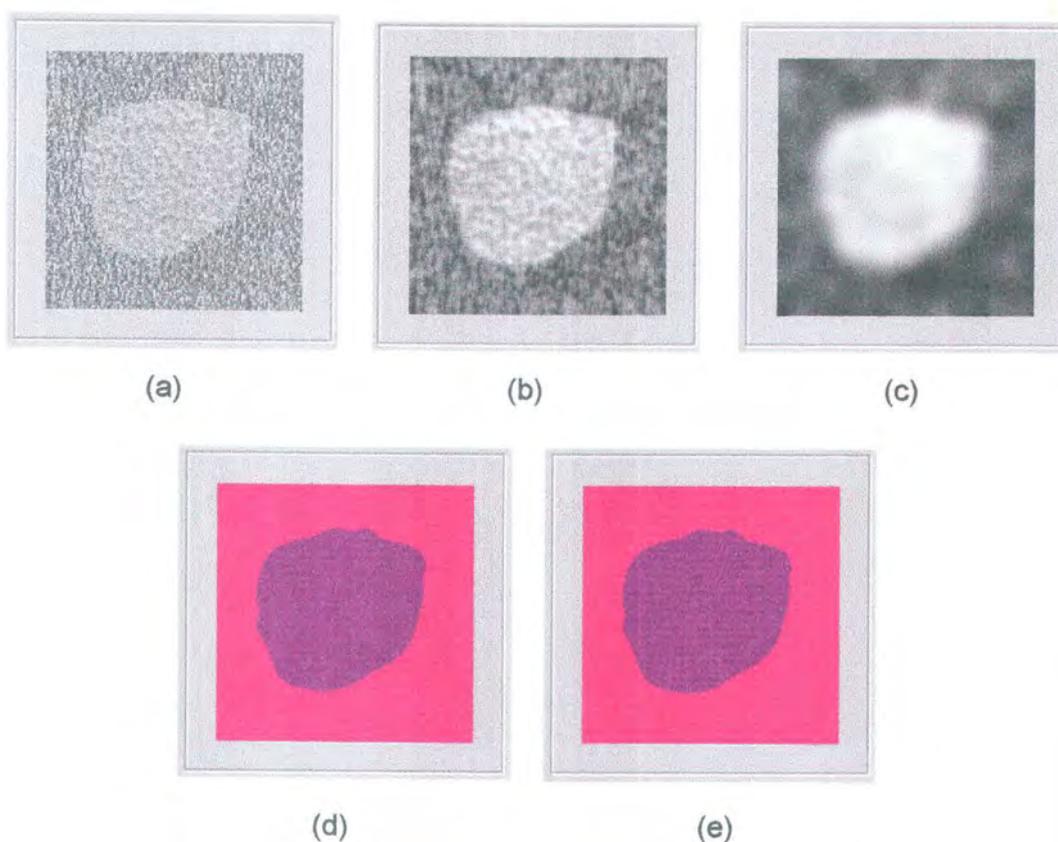
- ✍ Processor Pentium 233
- ✍ Memory 32 MegaByte
- ✍ Hard Disk 1.2 GigaByte
- ✍ VGA Memory 1 MegaByte

Semakin tinggi spesifikasi komputer yang digunakan akan memberikan peningkatan pada kecepatan proses.

Perangkat lunak ini dibuat dengan memakai bahasa pemrograman Delphi 4.0 dan menggunakan sistem operasi *Windows 98*.

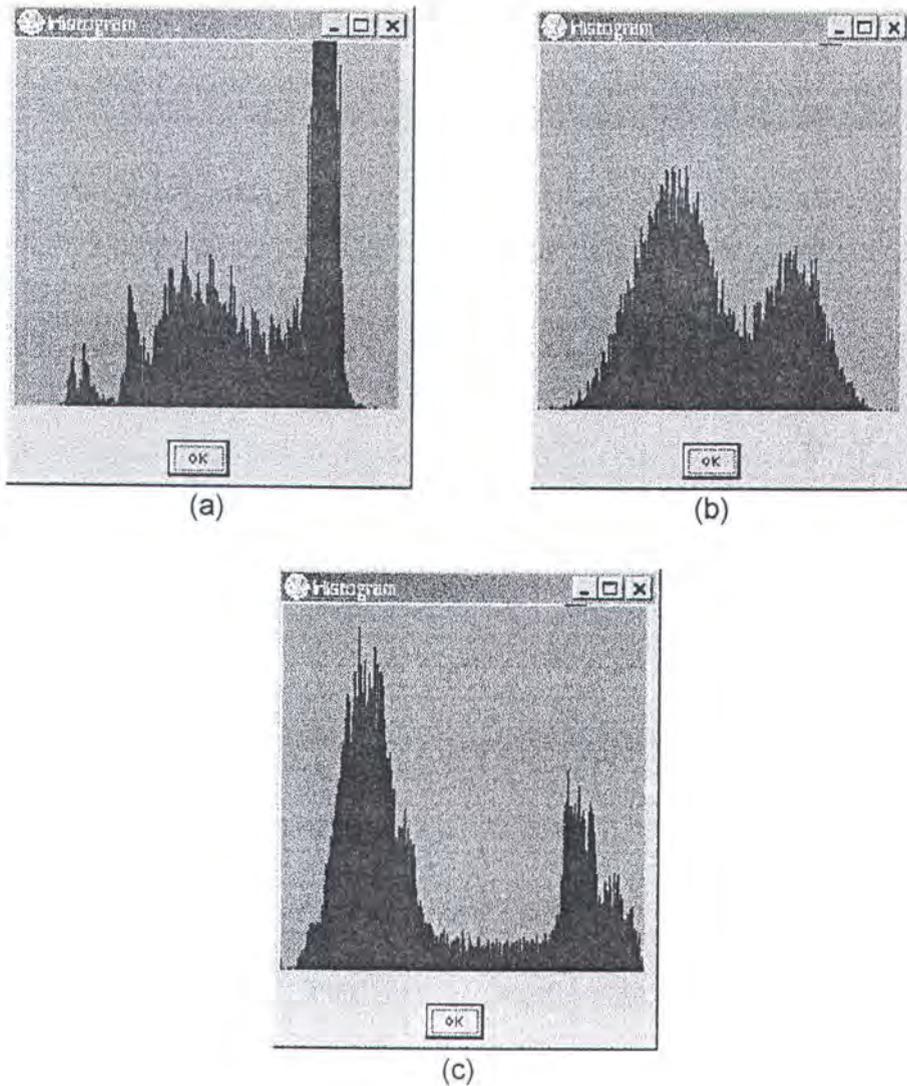
Berikut ini diberikan beberapa hasil uji coba terhadap perangkat lunak yang dibuat. Tekstur yang digunakan dalam uji coba ini diambil dari contoh-contoh tekstur Brodazt yang merupakan data bitmap 256 warna. Untuk membentuk citra masukan, dilakukan penggabungan dari masing-masing contoh tekstur yang diambil dari tekstur Brodazt. Penggabungan ini dilakukan dengan menggunakan fasilitas yang ada pada PaintBrush. Disamping itu juga disertakan masukan dari dokumen cetak yang terdiri dari teks dan gambar yang memiliki

karakteristik half-tone. Pada uji coba yang pertama diberikan masukan citra berukuran 128 x 128 piksel yang terdiri dari dua buah tekstur : PigSkin di bagian tengah dan Pressed di bagian luar, pada uji coba pertama ini dilakukan uji coba dengan nilai parameter yang berbeda, parameter pertama adalah (2, 0, 0) dan parameter kedua adalah (2, 0.499, 0). Hasil uji coba dapat dilihat pada gambar (5.1).



- (a) Citra masukan
- (b) Proses Prefiltering
- (c) Proses Postfiltering, $\sigma_p = 4$
- (d) Proses Classifier dengan parameter filter (2, 0, 0),
kesalahan segmentasi = 4.882812500000000E-0003
- (e) Proses Classifier dengan parameter filter (2, 0.499, 0),
kesalahan segmentasi = 4.882812500000002E-0003

Gambar 5.1 Hasil Uji Coba 1

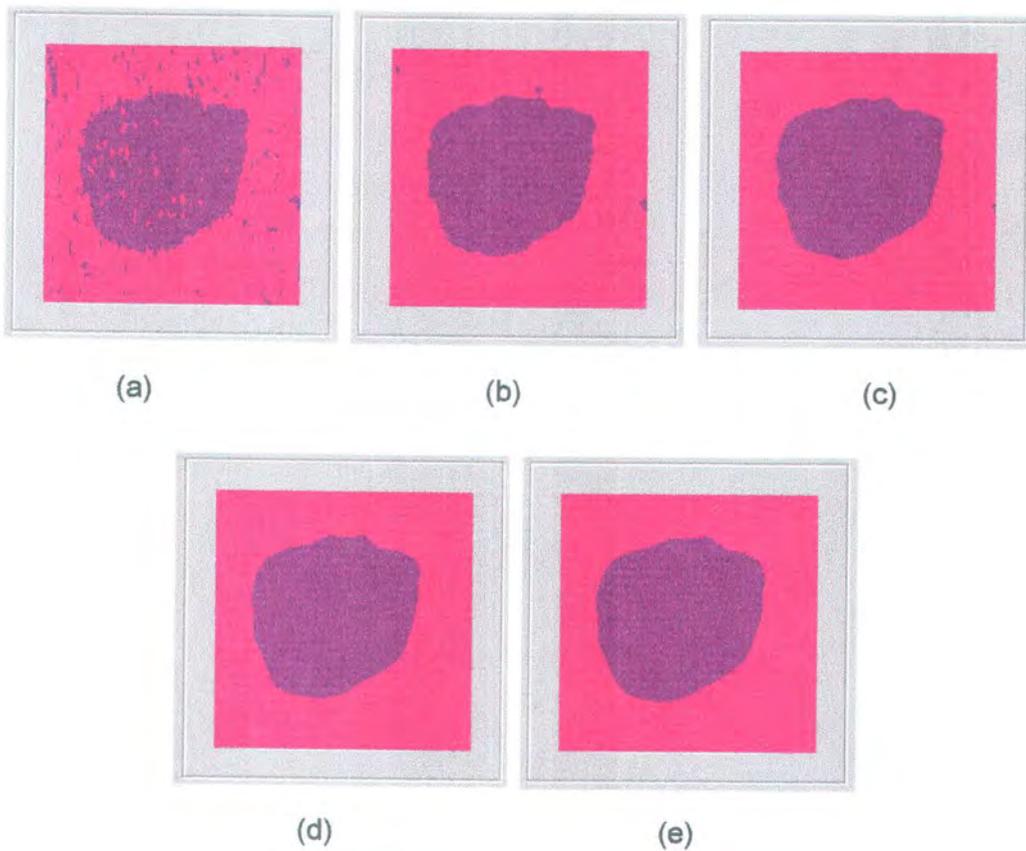


- (a) Citra masukan
- (b) Proses Prefiltering
- (c) Proses Postfiltering, $\sigma_p = 4$

Gambar 5.2 Histogram Uji Coba 1

Pada hasil uji coba 1, terlihat bahwa hasil segmentasi dengan parameter kedua memberikan nilai kesalahan lebih besar dibanding parameter filter pertama dengan selisih yang kecil. Dari uji coba ini menunjukkan bahwa ukuran kesalahan segmentasi bisa digunakan untuk memperkirakan hasil akhir dari citra yang telah dikelompokkan berdasarkan kelas tekstur yang bersesuaian. Pada

citra dengan masukan yang sama, meskipun nilai-nilai parameter yang digunakan berbeda, apabila nilai kesalahan dari parameter filter yang digunakan sama atau mendekati, maka citra akhir yang diperoleh akan terlihat sama (sulit dibedakan). Gambar 5.2 memperlihatkan histogram dari citra masukan, citra hasil prefiltering dan citra hasil postfiltering dari uji coba pertama dengan parameter filter (2, 0, 0).

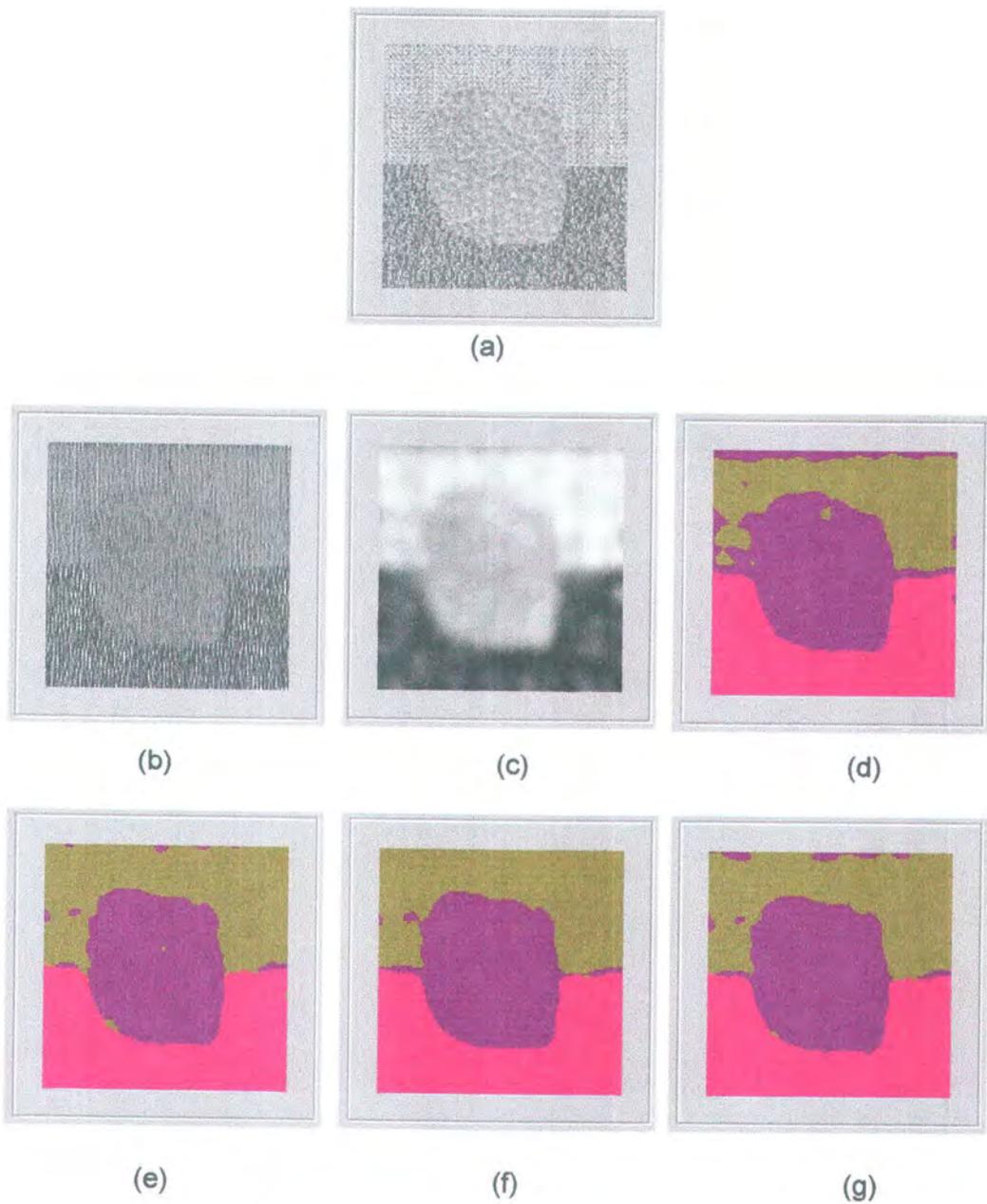


- (a) Proses Classifier dengan 1 channel, $\sigma_p = 1$
- (b) Proses Classifier dengan 1 channel, $\sigma_p = 2$
- (c) Proses Classifier dengan 1 channel, $\sigma_p = 3$
- (d) Proses Classifier dengan 1 channel, $\sigma_p = 4$
- (e) Proses Classifier dengan 1 channel, $\sigma_p = 5$

Gambar 5.3 Hasil Uji Coba

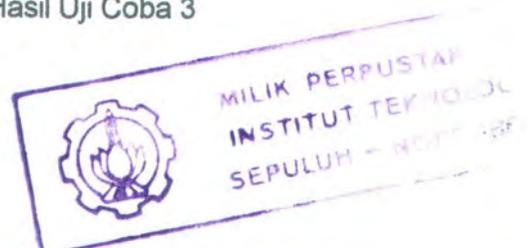
Uji coba kedua dilakukan pada masukan yang sama dengan parameter filter (2, 0.499, 0). Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai σ_p untuk proses postfiltering yang berbeda. Dari hasil uji coba di atas, terlihat bahwa penggunaan nilai σ_p yang berbeda akan memberikan hasil segmentasi yang berbeda, untuk nilai $\sigma_p = 1$ tepi-tepi antara dua tekstur kelihatan tajam, semakin besar nilai σ_p citra semakin melebar (proses blurring). Hal ini menunjukkan bahwa penentuan nilai σ_p juga berpengaruh terhadap hasil akhir.

Pada uji coba ketiga, diberikan masukan yang terdiri dari tiga buah tekstur yang berbeda, yaitu tekstur PigSkin, Pressed, dan Herringbone_weave. Pada masukan ini dilakukan uji coba dengan menggunakan 2 pasangan dari 3 buah parameter filter. Pasangan pertama, berturut-turut yaitu (2,0.499,0.5), (2, 0.5, 0.5), dan (2, -0.17, 0.41), dan pasangan kedua berturut-turut yaitu (2,0.499,0.5), (2, 0.5, 0.5), dan (4, 0.5, 0). Dari hasil uji coba pada gambar 5.4 terlihat bahwa penggunaan filter lebih dari satu (multi channel) akan mendukung hasil segmentasi menjadi lebih baik, namun pada gambar 5.4(g), penambahan channel filter tidak menjadikan hasil yang lebih baik. Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan pasangan parameter filter yang bisa dilihat dari nilai kesalahan, pada gambar tersebut digunakan pasangan parameter filter kedua yang memiliki nilai kesalahan lebih besar pada penggunaan tiga buah channel dibandingkan dengan penggunaan dua buah channel, sehingga citra akhir yang diperoleh untuk penggunaan tiga buah channel lebih buruk dibandingkan citra akhir yang menggunakan dua buah channel (dapat dilihat pada gambar 5.4(e) dan 5.4(g)). Dari hasil uji coba ini terlihat bahwa pemilihan nilai-nilai parameter filter yang digunakan serta pemilihan pasangan yang digunakan untuk membentuk multi channel, memberikan pengaruh terhadap citra akhir.

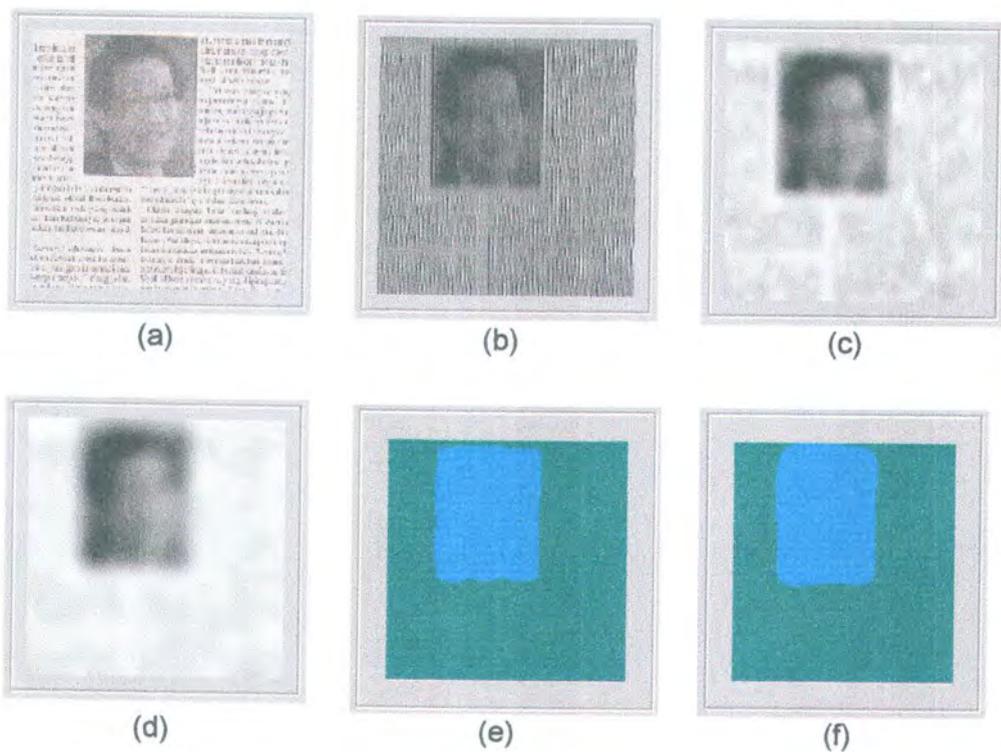


- (a) Citra Masukan
 (b) Proses Prefiltering
 (c) Proses Postfiltering, $\sigma_p = 3$
 (d) Proses Classifier dengan 1 channel, parameter filter (2, 0.499, 0),
 kesalahan segmentasi = 4.50717356168847E-0001
 (e) Proses Classifier dengan 2 channel, parameter filter (2, 0.499, 0) dan (2, 0.5, 0.5),
 kesalahan segmentasi = 2.54871367853413E-0001
 (f) Proses Classifier dengan 3 channel, parameter filter (2, 0.499, 0), (2, 0.5, 0.5),
 dan (2, -0.17, 0.41), kesalahan segmentasi = 2.54763823799184E-0001
 (g) Proses Classifier dengan 3 channel, parameter filter (2, 0.499, 0), (2, 0.5, 0.5),
 dan (4, 0.5, 0), kesalahan segmentasi = 2.56266440755646E-0001

Gambar 5.4 Hasil Uji Coba 3



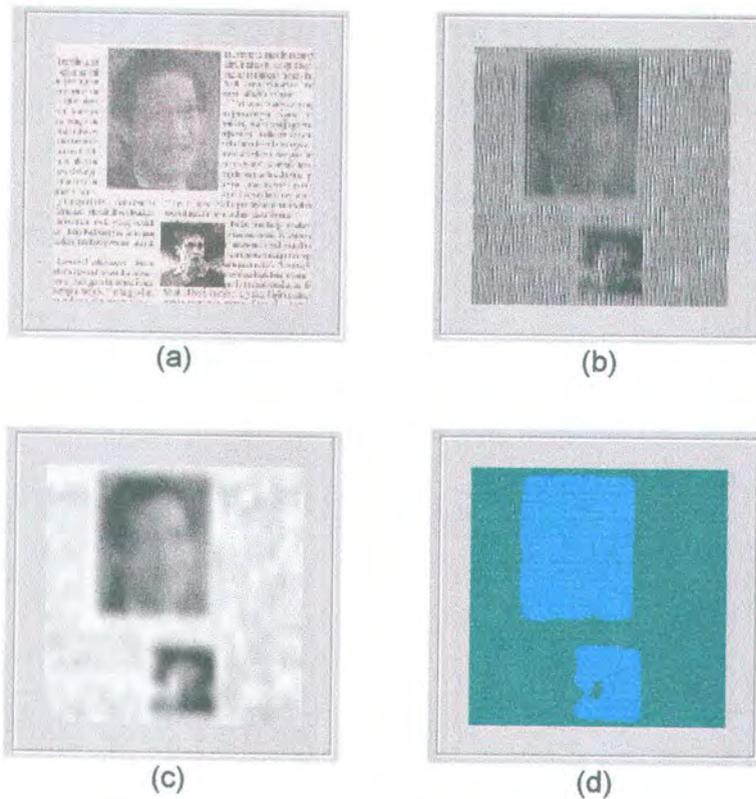
Pada bagian batas antara tekstur yang berlainan dari gambar 5.4 terlihat adanya kesalahan pengelompokan, hal ini merupakan kejadian yang umum dalam proses segmentasi multi tekstur. Kesalahan tersebut terjadi, karena adanya kesalahan arah trayek dari piksel yang sering terjadi, khususnya pada batas antara dua kelas tekstur. Sebagai pengembangan berikutnya digunakan metode postprocessing untuk mengatasi permasalahan tersebut.



- (a) Citra Masukan
- (b) Proses Prefiltering
- (c) Proses Postfiltering, $\sigma_p = 2$
- (d) Proses Postfiltering, $\sigma_p = 4$
- (e) Proses Classifier dengan 1 channel, $\sigma_p = 2$
kesalahan segmentasi = 4.88281271078083E-0003
- (f) Proses Classifier dengan 1 channel, $\sigma_p = 4$
kesalahan segmentasi = 7.81250000000001E-0003

Gambar 5.5 Hasil Uji Coba 4

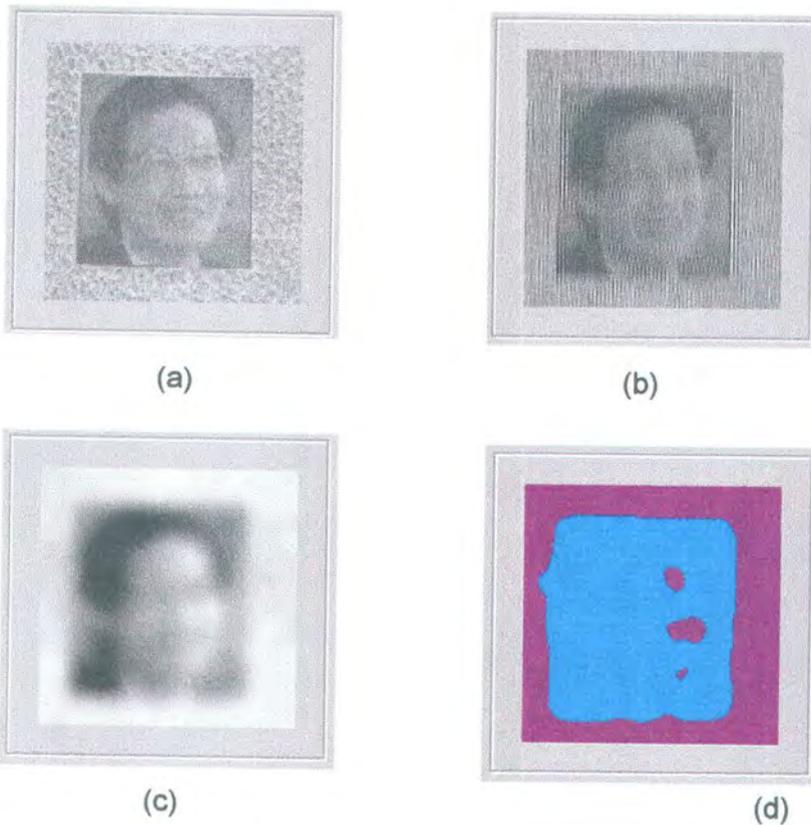
Uji coba keempat dilakukan pada dokumen cetak yang terdiri dari pola gambar dan teks dengan parameter filter (4, 0.55, 0.025). Data dokumen cetak ini diperoleh dari proses scanner koran dengan resolusi 100 dpi. Uji coba kelima juga dilakukan pada dokumen cetak yang terdiri dari dua buah gambar, dengan parameter filter yang sama, hasil dari uji coba ini dapat dilihat pada gambar 5.5 dan 5.6.



- (a) Citra Masukan
 (b) Proses Prefiltering
 (c) Proses Postfiltering, $\sigma_p = 2$
 (e) Proses Classifier dengan 1 channel, $\sigma_p = 2$
 kesalahan segmentasi = 1.56481789739648E-0002

Gambar 5.6 Hasil Uji Coba 5

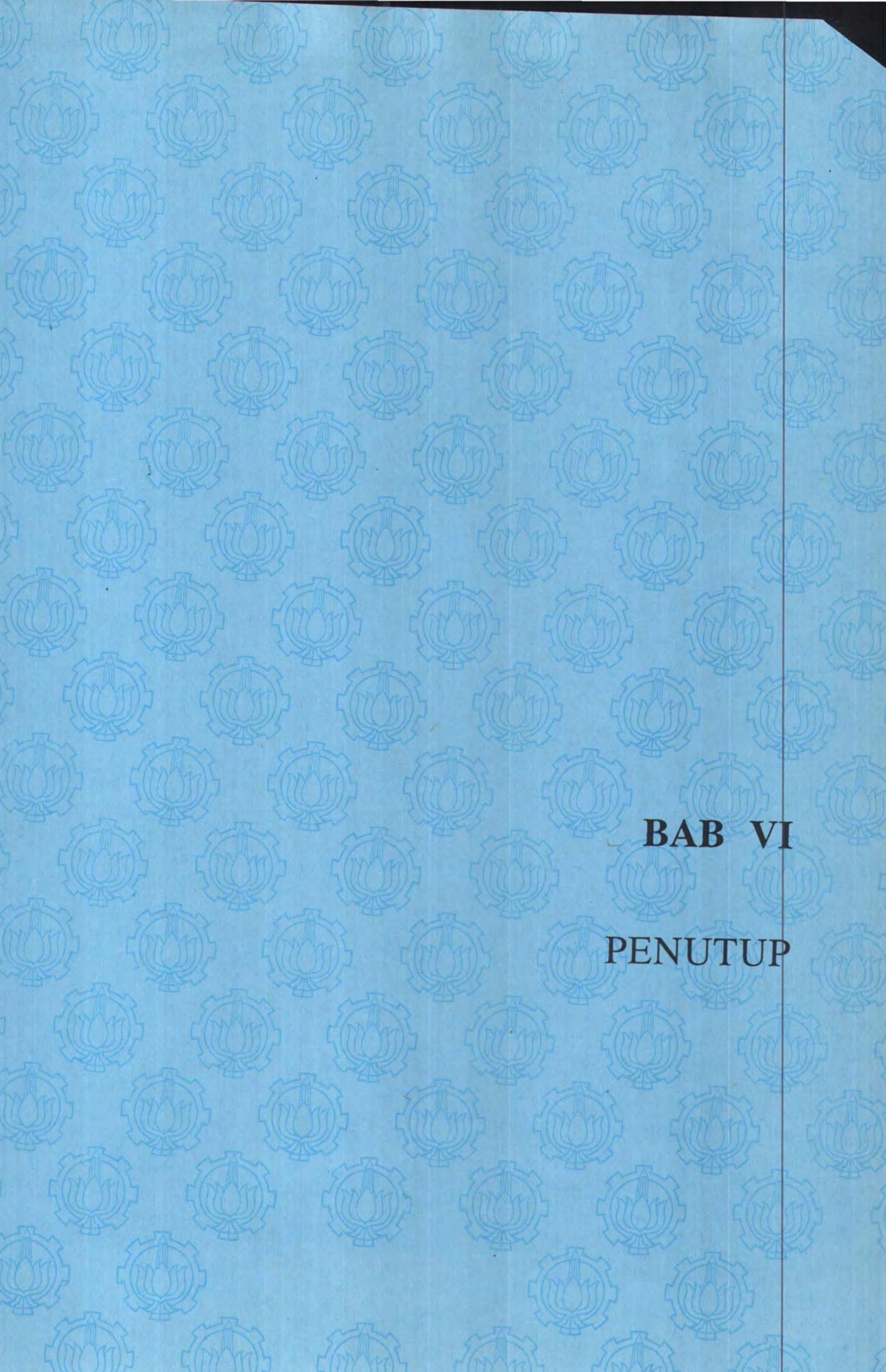
Dari hasil uji coba keempat dan kelima, terlihat bahwa gambar yang memiliki karakteristik halftone akan memiliki pola tekstur yang berbeda dengan data teks. Hal ini akan menguntungkan dalam sebuah proses analisis citra yang hanya membutuhkan data gambar saja atau data teks saja. Masing-masing data gambar dari hasil uji coba kelima akan memiliki pola tekstur yang sama.



- (a) Citra Masukan
- (b) Proses Prefiltering
- (c) Proses Postfiltering, $\sigma_p = 4$
- (d) Proses Classifier dengan 1 channel, parameter filter (4, 0.5, 0)
kesalahan segmentasi = 7.812500000000000E-0003

Gambar 5.7 Hasil Uji Coba 6

Uji coba keenam menggunakan masukan dari tekstur Brodatz yang diberi noise berupa gambar dari dokumen cetak, masukan yang merupakan data bitmap 256 warna, sehingga di sini terjadi perubahan tipe dari data gambar dokumen cetak yang semula merupakan data bitmap 24-bit. Parameter filter yang digunakan (4, 0.5, 0). Seperti hasil analisa sebelumnya, gambar dari dokumen cetak memiliki karakteristik halftone, di mana setelah melalui proses prefiltering akan memiliki pola tekstur tertentu. Hal ini akan mendukung dalam proses segmentasi menggunakan kriteria tekstur, karena data gambar akan dikenali sebagai sebuah tekstur yang memiliki pola tersendiri.



BAB VI
PENUTUP

BAB VI

PENUTUP

Pada bab-bab sebelumnya, yaitu dari bab II sampai bab V telah diuraikan mengenai perancangan perangkat lunak ini, mulai dari latar belakang, teori-teori pendukung, perumusan tahapan-tahapan yang dilalui, sampai dengan implementasi program disertai hasil uji coba dan analisa. Pada bab ini diuraikan beberapa hal yang dapat disimpulkan dari hasil-hasil pengujian program dan beberapa saran dengan harapan untuk lebih menyempurnakan perancangan yang telah dibuat ini.

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil uji coba perangkat lunak ini, dapat diketahui bahwa penggunaan filter Gabor pada sebuah citra yang memiliki permukaan bertekstur akan membentuk pola-pola tekstur yang khusus sehingga akan mempermudah dalam melakukan proses segmentasi dengan berdasarkan kriteria tekstur. Pada dasarnya, penggunaan filter yang banyak akan mendukung hasil segmentasi yang lebih baik, akan tetapi untuk beberapa kasus penggunaan tersebut justru tidak memberikan hasil yang lebih baik. Hal ini terjadi apabila pasangan filter yang digunakan memiliki ukuran kesalahan yang lebih besar dibandingkan penggunaan sebelumnya, maka penambahan filter berikutnya tidak memberikan pengaruh yang lebih baik, sebagai contoh dapat dilihat pada uji coba dengan menggunakan 3 buah tekstur.

Pada semua kasus, yaitu yang menggunakan filter tunggal maupun multi filter, hasil akhir yang diperoleh dipengaruhi oleh parameter-parameter filter yang

digunakan. Apabila parameter yang digunakan memiliki kesalahan kecil, maka akan memberikan hasil segmentasi yang baik.

Dari hasil uji coba dapat diambil kesimpulan bahwa ukuran kesalahan yang digunakan untuk menghitung ketelitian parameter filter memiliki hubungan dengan citra hasil segmentasi. Apabila nilai kesalahan dari parameter filter kecil, maka hasil akhir dari citra yang telah dikelompokkan berdasarkan kelas teksturnya akan terlihat lebih bagus dibandingkan dengan parameter filter yang memiliki kesalahan lebih besar. Dengan kata lain, semakin besar ukuran kesalahan, citra akhir yang diperoleh akan semakin jelek.

Disamping dilakukan uji coba pada citra bergray level, pada perangkat lunak ini juga diujikan gambar dari dokumen cetak yang memiliki pola halftone. Dengan penggunaan filter pada citra masukan, gambar yang memiliki pola halftone akan memiliki pola-pola tekstur yang khusus, dan identik untuk semua gambar. Dengan kata lain setiap gambar dari dokumen cetak merupakan satu tekstur yang sama.

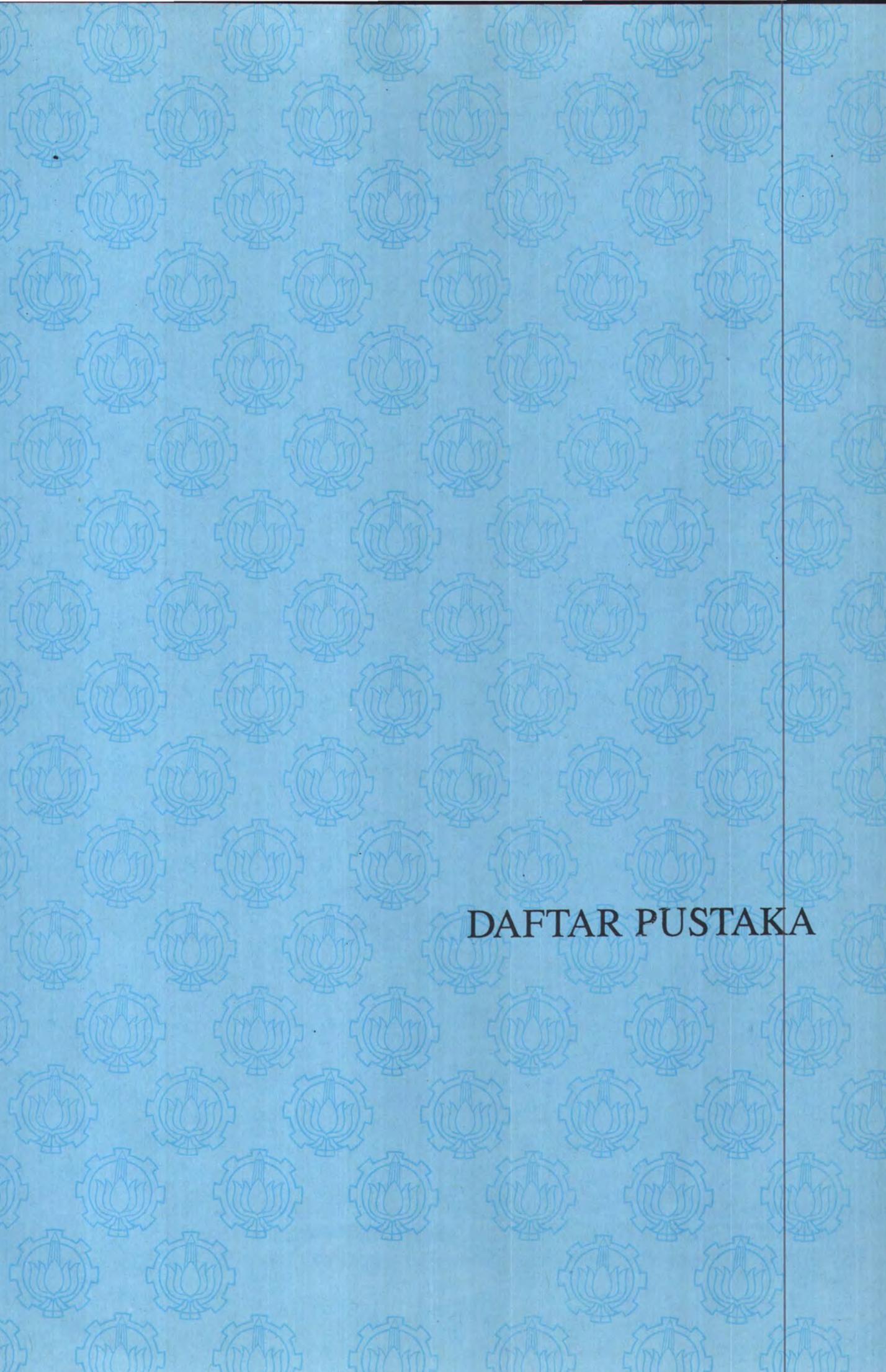
5.2 SARAN

Perancangan perangkat lunak ini masih bisa dikembangkan lebih lanjut, beberapa saran untuk pengembangan diberikan berikut ini,

- Algoritma untuk melakukan proses segmentasi menggunakan metode supervise, sehingga terbatas pada tekstur-tekstur yang sudah dikenali oleh sistem, dalam hal ini bisa dikembangkan menggunakan metode unsupervised.
- Dari hasil uji coba disimpulkan bahwa parameter filter merupakan faktor yang berpengaruh terhadap proses segmentasi. Semakin kecil nilai kesalahan dari

parameter filter yang digunakan, semakin bagus hasil yang diperoleh. Untuk pengembangan selanjutnya, diharapkan adanya perancangan yang mendesain parameter-parameter filter dengan nilai kesalahan sekecil mungkin menggunakan metode tertentu.

- Pengembangan tahapan postprocessing untuk menangani kesalahan pengelompokan yang biasa terjadi pada bagian batas antara kelas tekstur yang berbeda.

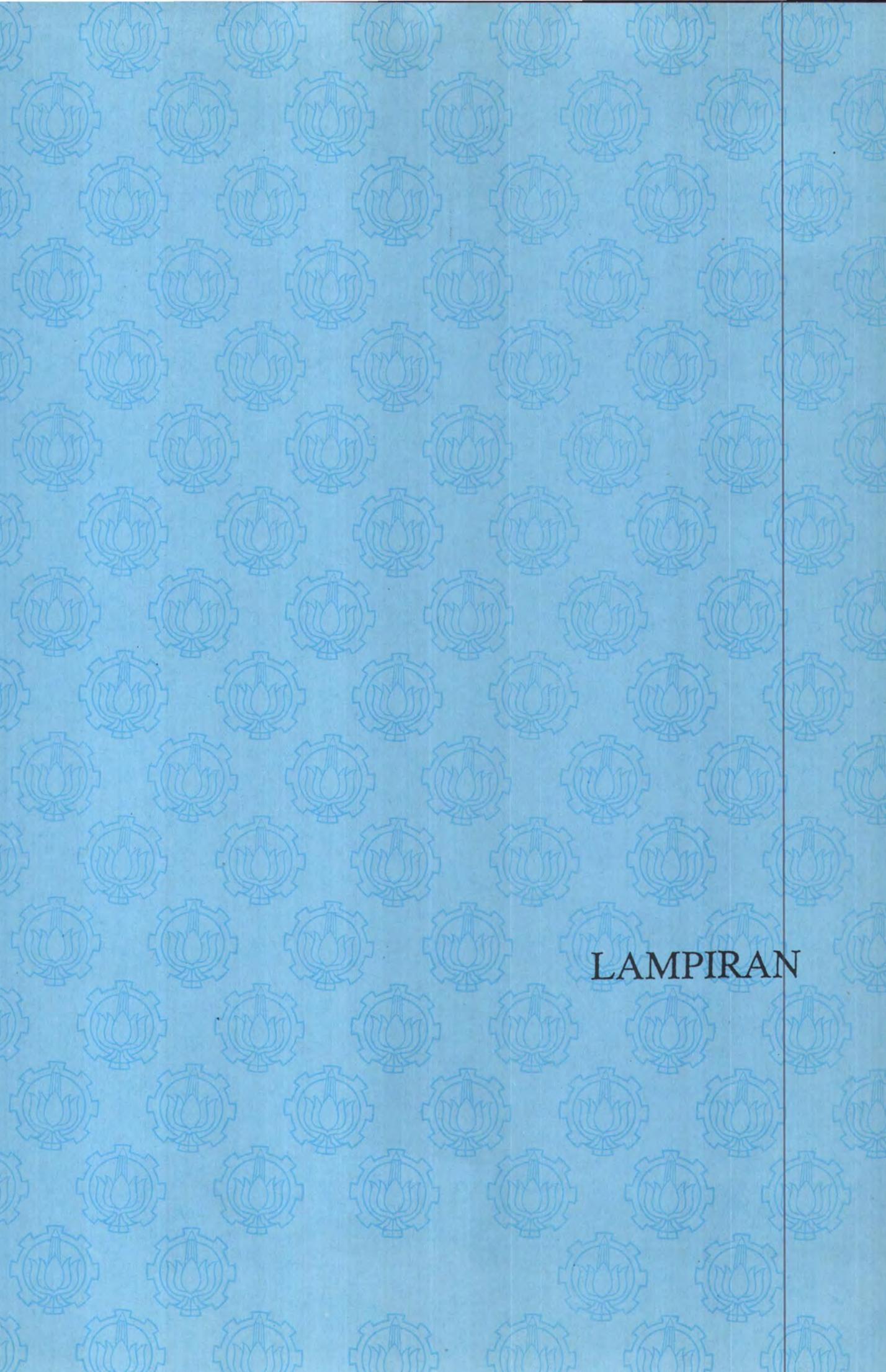


DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Dunn, Dennis, William E. Higgins, *Texture Segmentation Using 2-D Gabor Elementary Functions*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, volume 16, nomor 2, Februari 1994.
2. Dunn, Dennis, William E. Higgins, *Optimal Gabor Filter for Texture Segmentation*, IEEE Transactions on Image Processing, volume 4, nomor 7, July 1995.
3. Embree, P., Kimble, B., "C Language Algorithms For Digital Signal Processing", PrenticeHall.
4. Gonzales, Rafael C., Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Second Edition, Addison-Wesley Publishing Co., Tennessee, 1987.
5. Turner, M.R., *Texture Discrimination by Gabor Functions*, Biological Cybernetics, volume 55, 1986.
6. Walpole, Ronald E., Raymond H. Myers, *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*, Terbitan ke-2, diterjemahkan oleh R.K. Sembiring, Penerbit ITB, Bandung, 1986.
7. Weldon, Thomas P., William E. Higgins, Dennis F. Dunn, *Efficient Gabor Filter Design for Texture Segmentation*, PREPRINT of Pattern Recognition 1996 © 1996 Pattern Rec.Soc.
8. Weldon, Thomas P., William E. Higgins, *Design of Multiple Gabor Filters for Texture Segmentation*, IEEE Proc. ICASSP-96, Atlanta, GA, 1996.
9. Young, Tzay Y., King-Sun Fu, *Handbook of Pattern Recognition and Image Processing*, Academic Press, Inc., 1986.





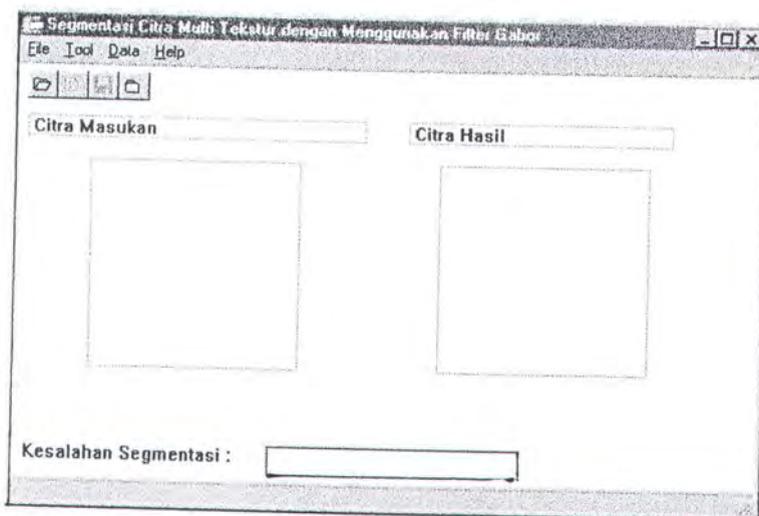
LAMPIRAN

LAMPIRAN

A. PETUNJUK PEMAKAIAN (USER MANUAL)

ANTARMUKA PERANGKAT LUNAK

Perangkat lunak ini memiliki empat menu utama pada tampilan awal editor masukan, yaitu menu **File**, **Tool**, **Data**, dan **Help**. Selain menu utama, perangkat lunak ini juga dilengkapi dengan empat buah tombol cepat (*Speedbutton*), yaitu **Open**, **Open Teks**, **Save**, dan **Exit**.



Gambar L.1 Tampilan Program

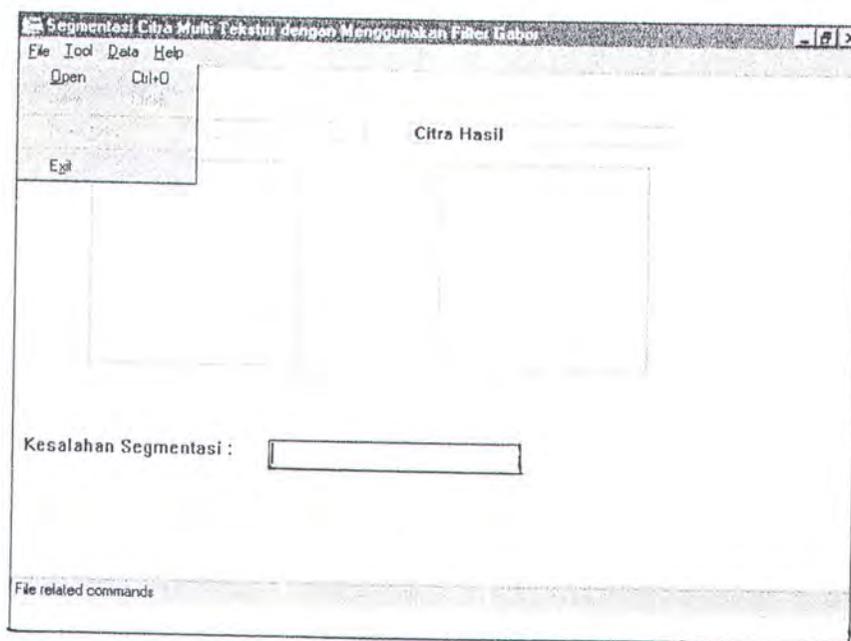
Menu File

Menu File terdiri atas empat submenu yang semuanya berhubungan dengan berkas citra masukan, yaitu:

- **Open**, untuk membuka berkas citra yang sudah ada. Pengguna akan diminta menuliskan nama dan lokasi berkas citra yang akan dibuka melalui sebuah

jendela dialog, pada menu dialog ini dilengkapi dengan jendela untuk menampilkan berkas citra.

- **Save**, untuk menyimpan berkas citra yang telah diproses oleh pengguna.
- **Open Teks**, untuk membuka berkas teks yang berisi informasi data citra yang sudah melalui proses prefiltering. Menu ini merupakan menu tambahan untuk membantu mempercepat proses.
- **Exit**, untuk menghentikan program



Gambar L.2 Tampilan Menu File

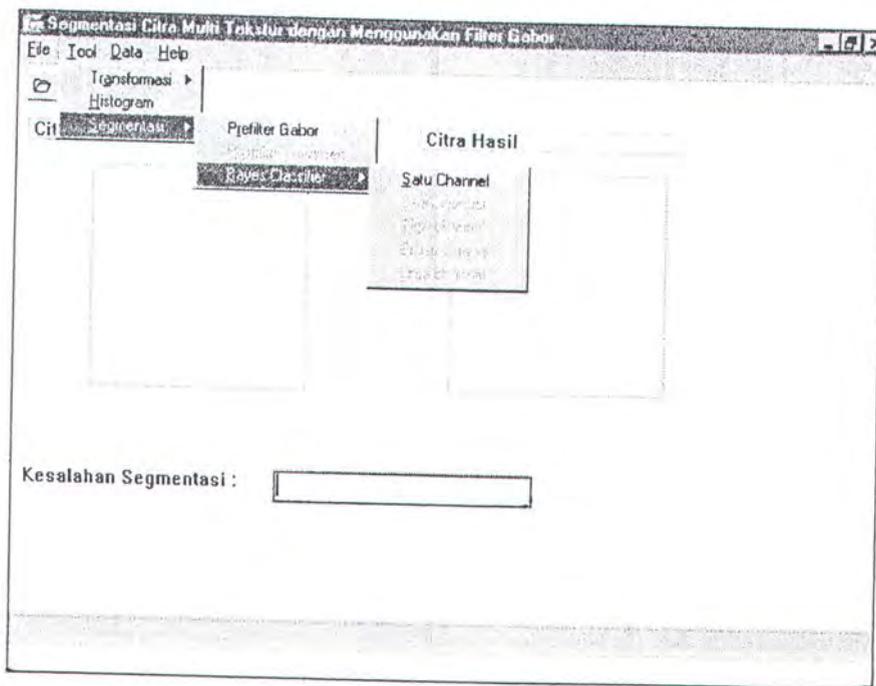
Menu Tool

Menu Tool adalah menu yang berhubungan dengan tahapan proses yang akan dilakukan pada berkas citra masukan. Menu ini terdiri atas tiga submenu, yaitu:

- **Tranformasi**, untuk melakukan proses transformasi pada berkas citra masukan, submenu ini dibagi menjadi dua submenu, yaitu **Diskrit** untuk

menghitung nilai transformasi Fourier diskrit dan **Invers** untuk menghitung nilai invers dari transformasi Fourier diskrit.

- **Histogram**, untuk melakukan proses mempertajam kontras pada berkas citra masukan.
- **Segmentasi**, untuk melakukan tahapan proses segmentasi. Menu ini terdiri dari tiga submenu, yaitu **Prefilter Gabor** untuk menjalankan proses filtering dengan menggunakan filter Gabor, **Postfilter Gaussian** untuk menjalankan proses smoothing, dan **Bayes Classifier** untuk menjalankan proses pengelompokan. Submenu Bayes Classifier terdiri dari lima submenu untuk menentukan jumlah channel, yaitu **Satu Channel** untuk menjalankan proses satu channel, **Dua Channel**, **Tiga Channel**, **Empat Channel**, dan **Lima Channel**.

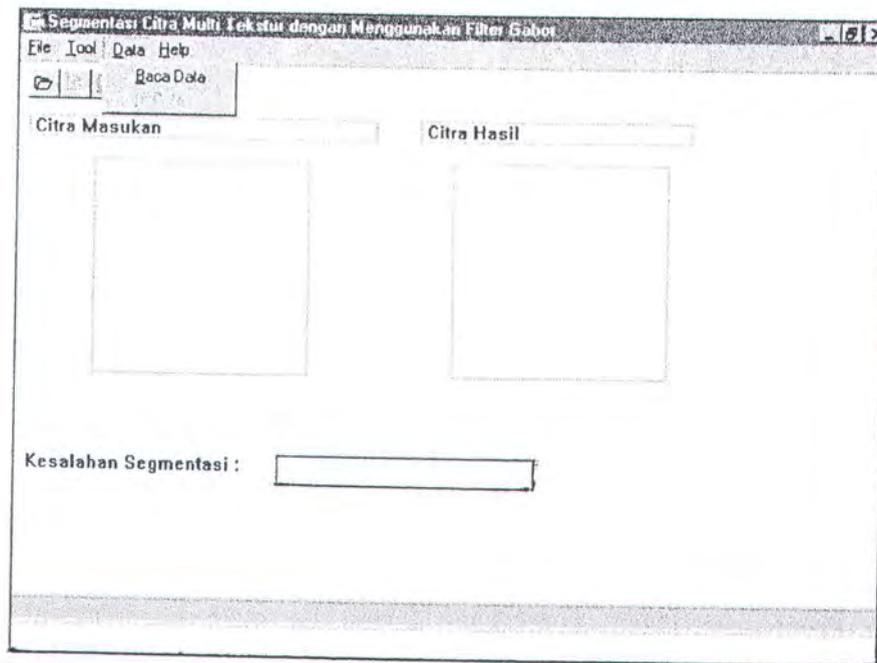


Gambar L.3 Tampilan Menu Tool

Menu Data

Menu Data adalah menu yang berhubungan dengan nilai parameter-parameter yang akan digunakan dalam proses segmentasi dan data mean dan varian yang menjadi ciri tertentu dari pola tekstur. Menu ini terdiri dari tiga submenu, yaitu:

- **Baca data**, untuk membaca data dari berkas DataMV.dbf setelah pengguna memberikan masukan yang diinginkan.
- **Isi data**, untuk mengisi data parameter filter, nilai mean dan varian, jumlah tekstur, dan jumlah channel.

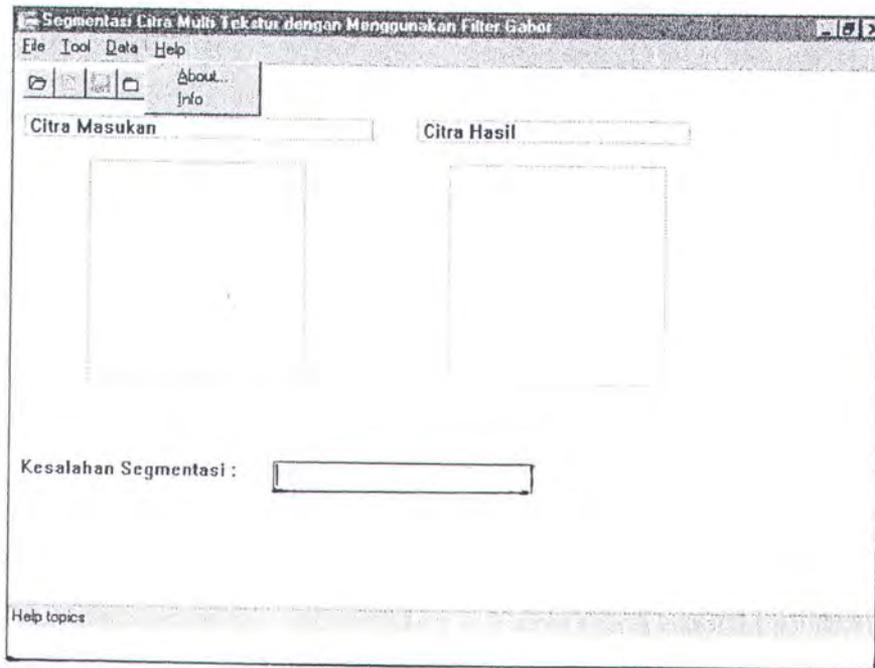


Gambar L.4 Tampilan Menu Data

Menu Help

Menu yang keempat, yaitu menu Help, hanya berisi dua submenu **About** dan **Info**. Submenu **About** ini memberikan informasi tentang perangkat lunak

yang sedang aktif, sedangkan submenu **Info** memberikan informasi data indeks tekstur dan indeks channel.

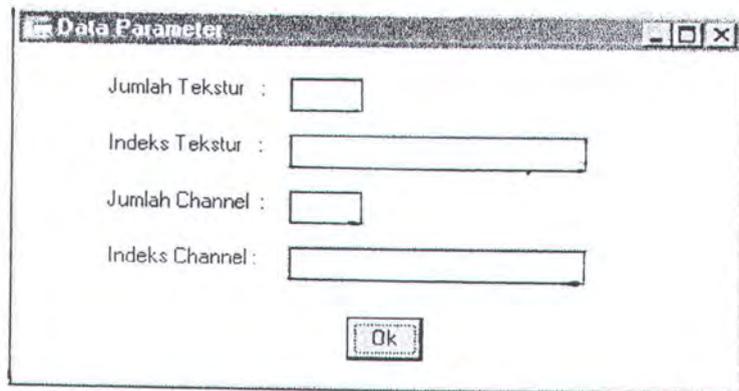


Gambar L.5 Tampilan Menu Help

Keempat *Speedbutton* yang ada pada perangkat lunak ini berfungsi sebagaimana submenu yang bersesuaian.

TATA CARA PENGGUNAAN PERANGKAT LUNAK

Untuk menjalankan perangkat lunak ini, pertama kali pengguna harus memberikan masukan berupa file bitmap *.bmp. Langkah berikutnya adalah memberikan masukan mengenai jumlah tekstur, indeks tekstur, jumlah channel, indeks channel. Untuk keperluan ini, pengguna dapat melihat pada file DataMV.dbf pada lampiran c. Proses tersebut dilakukan oleh pengguna dengan memilih menu **Data-Baca Data**, maka akan keluar tampilan sebagai berikut:



The image shows a dialog box titled "Data Parameter". It contains four input fields with labels: "Jumlah Tekstur", "Indeks Tekstur", "Jumlah Channel", and "Indeks Channel". Each label is followed by a small rectangular input box. The "Indeks Tekstur" and "Indeks Channel" boxes are significantly longer than the others. At the bottom center of the dialog box is a button labeled "Ok".

Gambar L6. Tampilan untuk Membaca Data

Misal indeks tekstur yang diberikan adalah nomor 3,4, dan 5, maka data masukan untuk indeks tekstur diisi dengan 3-4-5. Demikian juga masukan untuk indeks channel memiliki format yang sama. Setelah itu pengguna memilih menu **Data-Isi Data** untuk mengisikan data dari DataMV ke variabel-variabel yang akan digunakan dalam proses selanjutnya.

Setelah tahapan-tahapan di atas dilakukan, berikutnya dijalankan tahapan proses segmentasi, secara berturut-turut pengguna memilih menu **Tool-Segmentasi-Prefilter Gabor, Postfilter Gaussian, Bayes Classifier**. Pada sub menu **Postfilter Gaussian**, pengguna diminta untuk memberikan masukan nilai sigma dari filter Gaussian. Pada submenu **Classifier**, pengguna bisa memilih menu sesuai jumlah channel yang diinginkan. Apabila pengguna menggunakan fasilitas menu **Open Teks**, maka untuk menu **Tool-Prefilter Gabor** bisa dilewati dan langsung memilih menu **Tool-Postfilter Gaussian**.

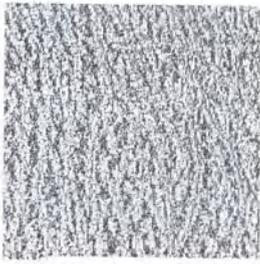
Disamping tahapan-tahapan untuk menjalankan proses segmentasi, ada tiga proses tambahan yang disediakan oleh perangkat lunak ini, yaitu proses transformasi Fourier diskrit dan proses inversnya, serta proses Histogram.

Pengguna dapat menjalankan proses tersebut dengan memilih menu **Tool-Transformasi-Diskrit, Tool-Transformasi-Invers, dan Tool-Histogram.**

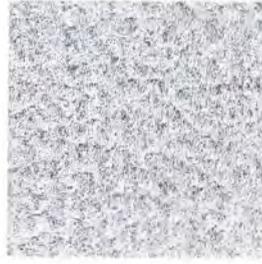
A. CONTOH TEKSTUR BRODATZ

Pada tugas akhir ini, citra tekstur yang digunakan untuk uji coba diambil dari tekstur Brodatz dengan format bitmap (.bmp) 256 warna. Pada gambar berikut, diberikan beberapa sampel dari tekstur Brodatz untuk tugas akhir ini sebanyak tujuh buah tekstur, yaitu Pigskin, Pressed, Beachsand, Herringbone_weave, Grass, Straw, dan Plastic Bubble.

Untuk masing-masing tekstur di bawah memiliki nomor indeks 3 sampai dengan 8 sesuai urutannya, yaitu nomor indeks 3 untuk Pressed, nomor 4 untuk Pigskin, nomor 5 untuk Beachsand, nomor 6 untuk Herringbone_weave, nomor 7 untuk Grass, nomor 8 untuk Straw, dan nomor 9 untuk Plastic Bubble, sedangkan indeks tekstur 1 adalah Teks, dan indeks 2 adalah Gambar.



(a)



(b)



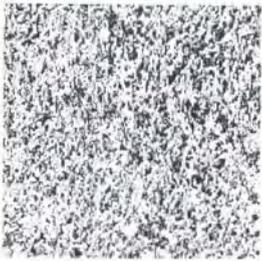
(c)



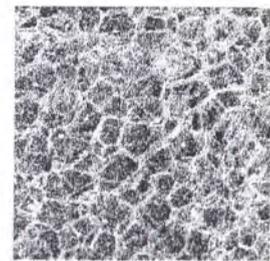
(d)



(e)



(f)



(g)

- (a) Pressed
- (b) Pigskin
- (c) Beachsand
- (d) Herringbone_Weave
- (e) Grass
- (f) Straw
- (g) Plastic Bubble

Gambar L.6 Contoh-contoh tekstur Brodazt

B. DATA FILE DATACHANNEL.DBF

File DataChannel.dbf berisi nilai-nilai parameter filter yang disediakan dalam perancangan perangkat lunak ini. Pada pemakaiannya, pengguna cukup memasukkan nomor indeks dari channel, berikut isi dari file tersebut,

DataChannel	Nochan	Band	U	V
1	1	2	0.00	0.00
2	2	2	0.499	0.00
3	3	2	0.50	0.50
4	4	2	-0.50	0.00
5	5	4	0.50	0.00
6	6	4	0.50	0.50
7	7	4	0.55	0.025
8	8	2	-0.17	0.41
9	9	2	0.19	0.00
10	10	2	0.17	0.125

C. DATA FILE DATAMV.DBF

File DataMV.dbf berisi nilai mean dan varian yang akan dibutuhkan pada saat proses pengelompokan, nilai ini diperoleh dengan menggunakan sampel dari masing-masing tekstur yang melalui proses prefiltering dan postfiltering. Hasil keluaran dari postfiltering kemudian dihitung nilai mean dan variannya berdasarkan nilai sigma yang bersesuaian. Di bawah ini contoh data pada file DataMV.Dbf untuk indeks tekstur 1 dan 3.

DataMV	Noteks	Nochan	Sigma	Mean	Varian
1	1	1	1	1.00699680220363	3.0605163874523e-2
2	1	1	2	1.00706060209594	2.2590325011644e-2
3	1	1	3	1.00706437519242	1.8965659884292e-2
4	1	1	4	1.00708990284973	1.6861077176176e-2
5	1	1	5	1.00714061586924	1.5280177344785e-2
6	1	2	1	0.584620232487224	5.780087148969e-3
7	1	2	2	0.584633544735458	3.228136814899e-3
8	1	2	3	0.584632146297396	3.228136814899e-3
9	1	2	4	0.584635539439578	2.867078696475e-3
10	1	2	5	0.584645037848202	2.602472179646e-3
11	1	6	1	0.505588530888612	2.027664284985e-3
12	1	6	2	0.505588530888612	1.406193138467e-3
13	1	6	3	0.505587087873277	0.00104327622021
14	1	6	4	0.505585946639003	8.37169108954e-4
15	1	6	5	0.505585521256449	7.01946551571e-4
16	1	7	1	0.53759394529948	2.437605812281e-3
17	1	7	2	0.537596009584883	1.802613173786e-3
18	1	7	3	0.537596131465913	1.513748194752e-3
19	1	7	4	0.537598607404469	1.348870092913e-3
20	1	7	5	0.537604138132578	1.225546461871e-3
21	1	5	1	0.53871983507403	2.216962942427e-3
22	1	5	2	0.538722985120208	1.664015927307e-3
23	1	5	3	0.538722321822265	1.424198682359e-3
24	1	5	4	0.538723794325775	1.274044487273e-3
25	1	5	5	0.538728205002889	0.0011572651935
26	1	8	1	0.540874198108331	3.71955751352333e-3
27	1	8	2	0.540863502904949	2.01078942256446e-3
28	1	8	3	0.540868404246964	1.52033606159774e-3
29	1	8	4	0.540875078640058	1.34424068338890e-3
30	1	8	5	0.540881198576535	1.23767455812872e-3
31	1	9	1	0.695638891139773	1.35353394602913e-2
32	1	9	2	0.695664101142882	9.24576161917926e-3
33	1	9	3	0.695660003861960	7.51391624936239e-3
34	1	9	4	0.695666434125813	6.59196114261386e-3
35	1	9	5	0.695685003208447	5.93907561090369e-3
36	1	10	1	0.642382384421220	1.15689932066258e-2
37	1	10	2	0.642406372951671	7.04432781068913e-3
38	1	10	3	0.642402586210781	5.50241669949983e-3
39	1	10	4	0.642406354029285	4.79958264891024e-3
40	1	10	5	0.642418931977861	4.31901341870450e-3

81	3	1	1	0.864120159623424	2.0363538500582e-2
82	3	1	2	0.864178845420818	1.4632455504116e-2
83	3	1	3	0.864256173012943	1.1646083773094e-2
84	3	1	4	0.864300726900866	9.944681590469e-3
85	3	1	5	0.864317032874762	8.774493728217e-3
86	3	2	1	0.561200323372732	5.589937746803e-3
87	3	2	2	0.561211585582547	2.915668464749e-3
88	3	2	3	0.561221207722321	2.180069935084e-3
89	3	2	4	0.561226427561415	1.799801259714e-3
90	3	2	5	0.561228195502912	1.545061898564e-3
91	3	3	1	0.519942020081274	6.262971775784e-3
92	3	3	2	0.519939725577148	3.627755215708e-3
93	3	3	3	0.519940216119909	2.469333545884e-3
94	3	3	4	0.519942396801344	1.870776762794e-3
95	3	3	5	0.519945948671393	1.485022209592e-3
96	3	4	1	0.561195778534598	5.589740882836e-3
97	3	4	2	0.561207040800877	2.915012334767e-3
98	3	4	3	0.561216663894521	2.179484505314e-3
99	3	4	4	0.561221882998059	0.00179931707848
100	3	4	5	0.561223645763434	1.544672044923e-3
101	3	5	1	0.528182553244839	2.522787162961e-3
102	3	5	2	0.528184994097113	0.00162376567413
103	3	5	3	0.528186479895252	1.263135526401e-3
104	3	5	4	0.528187800395424	0.00104370594444
105	3	5	5	0.528189126987891	8.86849511513e-4
106	3	8	1	0.532772743169647	3.861718510241e-3
107	3	8	2	0.532772444784432	2.122521059333e-3
108	3	8	3	0.532777622720095	1.499823216629e-3
109	3	8	4	0.532780950987527	1.181971127985e-3
110	3	8	5	0.53278102602604	9.78710546014e-4
111	3	9	1	0.642213149380506	1.2339281198301e-2
112	3	9	2	0.642245043964081	6.618401232867e-3
113	3	9	3	0.642281116218891	4.831126719902e-3
114	3	9	4	0.642297824616094	3.985896031688e-3
115	3	9	5	0.64230231559921	3.453831426775e-3
116	3	10	1	0.603967879345607	9.674611742729e-3
117	3	10	2	0.60398928869044	5.004916396258e-3
118	3	10	3	0.604016356616134	3.556382903565e-3
119	3	10	4	0.604029896606077	2.885193720159e-3
120	3	10	5	0.604033446806487	2.469152659586e-3



E. DATA SAAT PEMROSESAN UNTUK ORDO 16 * 16 (indeks tekstur 2 dan 4, indeks channel 5)

Citra Asal

100663 29	137507 37	103952 94	119085 33	123032 91	980315 7	127638 42	126980 49	120401 19	973736 4	107900 52	881626 2	848729 7	101321 22	986895 0	108558 45
109874 31	118427 40	796095 3	940839 9	107900 52	128954 28	118427 40	130928 07	123690 84	118427 40	118427 40	116453 61	126980 49	113821 89	114479 82	121059 12
106584 66	123032 91	763198 8	690826 5	532923 3	500026 8	519764 7	585557 7	657930 0	743460 9	763198 8	677667 9	104610 87	100663 29	113163 96	124348 77
124348 77	986895 0	730302 3	500026 8	500026 8	500026 8	625033 5	973736 4	100663 29	743460 9	743460 9	835571 1	111848 10	114479 82	105268 80	122374 98
122374 98	796095 3	572399 1	572399 1	572399 1	763198 8	973736 4	921102 0	105926 73	115137 75	605295 6	848729 7	113163 96	109216 38	967157 1	120401 19
980315 7	113163 96	625033 5	519764 7	657930 0	782936 7	901364 1	993474 3	993474 3	107900 52	638192 1	730302 3	111848 10	123032 91	119085 33	118427 40
115137 75	101321 22	532923 3	519764 7	572399 1	657930 0	940839 9	940839 9	940839 9	657930 0	638192 1	868467 6	105926 73	822412 5	113163 96	121717 05
940839 9	105926 73	657930 0	532923 3	638192 1	730302 3	710564 4	782936 7	120401 19	105926 73	120401 19	100663 29	135533 58	103952 94	104610 87	123690 84
921102 0	111848 10	953998 5	888205 5	763198 8	815833 2	868467 6	743460 9	104610 87	940839 9	121717 05	993474 3	125006 70	101979 15	121717 05	723723 0
126980 49	100663 29	901364 1	848729 7	796095 3	835571 1	796095 3	815833 2	940839 9	105926 73	111190 17	888205 5	105268 80	106584 66	888205 5	888205 5
117769 47	120401 19	710564 4	519764 7	690826 5	815833 2	868467 6	710564 4	993474 3	109874 31	901364 1	993474 3	126322 56	112506 03	842150 4	131586 00
109216 38	113163 96	690826 5	532923 3	763198 8	657930 0	743460 9	848729 7	993474 3	111190 17	815833 2	953998 5	123690 84	123690 84	126980 49	104610 87
111848 10	119085 33	532923 3	519764 7	532923 3	782936 7	657930 0	677667 9	901364 1	815833 2	796095 3	993474 3	124348 77	120401 19	101979 15	121717 05
960577 8	109874 31	122374 98	108558 45	107900 52	112506 03	111848 10	121717 05	115137 75	101979 15	934260 6	107900 52	130270 14	111848 10	101321 22	986895 0
980315 7	126980 49	132901 86	105926 73	109216 38	128296 35	133559 79	117769 47	118427 40	110532 24	107900 52	114479 82	114479 82	104610 87	875046 9	107900 52
848729 7	993474 3	119743 26	112506 03	129612 21	894784 8	119743 26	122374 98	122374 98	914522 7	116453 61	967157 1	980315 7	104610 87	108558 45	112506 0

Gray Level Citra Asal

153	209	158	181	187	149	194	193	183	148	164	134	129	154	189	183
167	180	121	143	164	196	180	199	188	180	180	177	193	173	198	170
162	187	116	105	81	76	79	89	100	113	116	103	159	153	174	159
189	150	111	76	76	76	95	148	153	113	113	127	170	174	149	159
186	121	87	87	87	116	148	140	161	175	92	129	172	166	154	150
149	172	95	79	100	119	137	151	151	164	97	111	170	187	173	174
175	154	81	79	87	100	143	143	143	100	97	132	161	125	153	172
143	161	100	81	97	111	108	119	183	161	183	153	206	158	174	160
140	170	145	135	116	124	132	113	159	143	185	151	190	155	166	147
193	153	137	129	121	127	121	124	143	161	169	135	160	162	187	181
179	183	108	79	105	124	132	108	151	167	137	151	192	171	125	172
166	172	105	81	116	100	113	129	151	169	124	145	188	188	158	159
170	181	81	79	81	119	100	103	137	124	121	151	189	183	155	185
146	167	186	165	164	171	170	185	175	155	142	164	198	170	162	135
149	193	202	161	166	195	203	179	180	168	164	174	174	159	171	128
129	151	182	171	197	136	182	186	186	139	177	147	149	159	188	193

Hasil Proses Prefiltering

2.38564 2566225 04E-1	3.79177 8671246 10E-1	1.41689 7912173 66E-1	3.47574 4198220 19E-1	2.12156 6783906 20E-1	3.06709 1523621 23E-1	2.87659 1820198 85E-1	2.91166 5962141 89E-1	3.11902 2998345 61E-1	2.21306 4166357 46E-1	3.22422 6868726 73E-1	2.17501 7398664 97E-1	3.59910 5813986 90E-1	2.19266 2437830 45E-1	3.30217 9568681 16E-1	2.79233 2201417 21E-1
2.46572 9723363 55E-1	3.80540 6243444 92E-1	1.19856 9994185 08E-1	3.53215 3154689 14E-1	1.69422 3947352 02E-1	3.04886 9208203 82E-1	2.46208 9084157 65E-1	2.88569 9648903 60E-1	2.77451 2201125 76E-1	2.27476 1091823 46E-1	2.98287 9328129 66E-1	2.07334 3065027 46E-1	3.61796 6125124 87E-1	2.07119 3052259 38E-1	3.30016 2073881 52E-1	2.82468 0230197 02E-1
2.57032 9236559 91E-1	3.52482 5018817 93E-1	1.23081 0166676 06E-1	3.12787 1567836 33E-1	1.61498 5589586 04E-1	2.71363 8524188 08E-1	2.36363 0999366 00E-1	2.93156 2950573 95E-1	2.62169 0777683 87E-1	2.17994 9549639 67E-1	2.83187 5204062 19E-1	2.05500 4156741 92E-1	3.62975 4455962 47E-1	2.10007 5219664 50E-1	3.04818 1678982 61E-1	2.75666 6146579 23E-1
2.53681 7825321 09E-1	3.15651 0549784 24E-1	1.23328 1262360 08E-1	2.80200 4842361 40E-1	1.53411 2983566 63E-1	2.63696 4807083 85E-1	2.35386 9367533 22E-1	2.81524 8126473 72E-1	2.69171 1004748 14E-1	2.27515 3345288 13E-1	2.34979 1527236 06E-1	2.39199 6015921 00E-1	3.34493 0207243 24E-1	2.33902 8234552 96E-1	2.95640 6687535 63E-1	2.86795 8922429 81E-1
2.42498 7074957 76E-1	3.21430 4593473 02E-1	8.94750 3640338 12E-1	2.76331 5984399 46E-1	1.33177 9247810 50E-1	2.68825 4648016 90E-1	2.22149 2929520 06E-1	2.86329 9684576 14E-1	2.58014 9042665 12E-1	2.47244 5451068 95E-1	1.84757 5190586 65E-1	2.64171 6236448 65E-1	3.15627 9334242 47E-1	2.61653 5236982 36E-1	3.22983 1651261 18E-1	3.14224 4559770 37E-1

2.67607	2.88463	8.43383	2.54940	1.22587	2.61171	2.25626	2.74143	2.58056	2.18966	1.83595	2.61595	3.12675	2.40639	3.60719	3.22827
8218489	4487137	6549358	8750800	3254905	3056498	9864223	4619060	5222914	4887090	6899628	3742670	8996893	0618374	7605288	2349194
37E-1	78E-1	99E-1	79E-1	69E-1	96E-1	14E-1	53E-1	41E-1	06E-1	11E-1	70E-1	09E-1	53E-1	66E-1	27E-1
2.71458	2.85555	6.77667	2.49634	1.11726	2.61912	2.04275	2.71885	2.77408	2.08626	2.24080	2.33909	3.60255	1.94131	4.10196	3.02864
9139004	2701398	8837119	6585425	2362518	5081459	3454863	5179255	5117915	5294654	4301819	0822301	5590182	0700966	6986156	3863260
82E-1	15E-1	30E-1	14E-1	44E-1	37E-1	60E-1	15E-1	11E-1	26E-1	64E-1	88E-1	27E-1	38E-1	95E-1	50E-1
3.30916	2.40562	1.19499	2.24753	1.28906	2.54191	2.03146	2.52530	2.96753	1.90523	2.75970	1.96873	4.05098	1.50538	3.94612	2.78508
8921231	0408841	1543915	0031490	3494252	5112791	2432899	9690636	1755314	2402659	3644879	8180888	1471364	0720916	9813877	0487227
76E-1	64E-1	34E-1	28E-1	76E-1	92E-1	46E-1	33E-1	89E-1	99E-1	82E-1	94E-1	12E-1	43E-1	98E-1	43E-1
3.60056	2.06892	1.66816	1.99340	1.57087	2.38939	2.04490	2.41952	2.96582	2.03188	2.89585	1.84531	4.09987	1.46499	3.65797	1.93314
7651866	0578859	5780428	4359053	5285338	5586760	7672618	8381724	7684987	5381717	9739528	6346212	0914114	6457382	5422000	6806680
74E-1	41E-1	16E-1	70E-1	74E-1	99E-1	30E-1	19E-1	18E-1	92E-1	70E-1	45E-1	57E-1	64E-1	27E-1	39E-1
3.30315	2.45483	1.33518	2.13732	1.49398	2.48208	1.98579	2.25818	3.10255	2.04798	2.90807	1.95154	4.10272	1.52474	3.57380	1.81510
1060193	3261621	8281733	3094114	0303046	7532349	3357416	8084801	7376075	6718482	5864047	1311166	8287768	4628150	2887277	5573480
02E-1	67E-1	82E-1	81E-1	71E-1	15E-1	19E-1	90E-1	03E-1	01E-1	36E-1	97E-1	07E-1	86E-1	46E-1	25E-1
3.37165	2.44320	1.31920	2.04284	1.66288	2.23668	2.10478	2.13144	3.17037	2.15282	2.71249	2.20481	3.94440	1.82800	3.35511	2.24166
9873107	8796688	8794577	9561389	2057450	6650350	5416761	6093090	9175453	5684168	9993319	8760836	9440323	5379238	1338424	4803660
28E-1	34E-1	46E-1	58E-1	02E-1	28E-1	94E-1	46E-1	42E-1	15E-1	64E-1	09E-1	72E-1	37E-1	41E-1	24E-1
3.13821	2.75340	8.67119	2.31549	1.30898	2.55331	1.67567	2.32752	2.92145	2.19763	2.58788	2.38066	3.86296	2.02598	3.22317	2.21414
8399812	1280728	5823503	8781755	2168199	9099875	0365698	4436829	8563678	3896310	5056105	0016879	3944915	6313498	9938767	6006454
10E-1	57E-1	19E-1	53E-1	58E-1	67E-1	29E-1	38E-1	71E-1	17E-1	32E-1	85E-1	23E-1	22E-1	57E-1	96E-1
3.02452	2.86915	1.22982	2.36704	1.61476	2.61082	1.87027	2.51862	2.84499	2.30186	2.48823	2.61213	3.76558	2.13945	2.95840	2.51405
7139127	2404625	7365056	9181667	4397495	0629770	2790572	7396227	3167002	7744668	3700311	0971688	2042446	9990511	7737328	1244457
62E-1	00E-1	07E-1	82E-1	16E-1	11E-1	30E-1	73E-1	26E-1	85E-1	23E-1	66E-1	03E-1	25E-1	50E-1	13E-1
2.71709	3.29929	1.40566	2.53476	1.84535	2.84816	2.12415	2.60273	2.91785	2.33935	2.57670	2.72118	3.60254	2.25075	3.06973	2.52290
8402962	2411402	4225134	4778099	9755950	1628732	8133950	7056646	8477762	4010609	9959550	9050500	2766430	7945873	4749760	9766175
52E-1	08E-1	49E-1	34E-1	43E-1	88E-1	52E-1	11E-1	07E-1	05E-1	76E-1	24E-1	39E-1	92E-1	22E-1	96E-1
2.50047	3.41022	1.69740	2.66046	2.25029	2.53353	2.74353	2.40001	3.24938	1.99197	3.07161	2.29819	3.73356	2.12777	2.79233	2.75507
3684806	7811302	7029912	8171322	7006123	3226829	1169838	8071078	0561449	6248591	3705006	4955801	3484020	4376125	2201417	2457510
98E-1	98E-1	98E-1	36E-1	09E-1	17E-1	47E-1	06E-1	65E-1	39E-1	19E-1	77E-1	94E-1	99E-1	21E-1	56E-1
3.76802	1.54987	3.20954	2.16675	2.67759	3.01236	2.47011	3.34689	1.86752	3.30801	1.98507	3.67126	2.12769	3.00586	2.82468	2.71893
6882217	3019245	7898359	5342372	4590613	9864695	0469885	3935200	0722553	5015930	0167698	3886307	5414437	0076636	0230197	9026673
69E-1	11E-1	36E-1	64E-1	15E-1	96E-1	18E-1	14E-1	57E-1	25E-1	99E-1	55E-1	61E-1	36E-1	02E-1	07E-1

Hasil Proses Postfiltering

7.51670	7.50989	7.51376	7.51660	7.52796	7.54325	7.56167	7.58316	7.60671	7.63139	7.65642	7.68160	7.70326	7.73165	7.75030	7.77400
0129198	5515551	2883560	7275639	0431952	6365771	5109128	2554912	6578340	7369288	1236421	0048328	3085577	0057279	9649735	2291651
12E-1	03E-1	73E-1	25E-1	96E-1	46E-1	07E-1	14E-1	67E-1	94E-1	46E-1	02E-1	17E-1	16E-1	43E-1	34E-1

7.48759 7879856 02E-1	7.48005 0072394 95E-1	7.48360 2510903 08E-1	7.48668 1492347 01E-1	7.49904 0925151 24E-1	7.51586 3937233 72E-1	7.53631 3200876 53E-1	7.56026 7168529 45E-1	7.58657 1946787 85E-1	7.61412 1905499 40E-1	7.64197 8839085 61E-1	7.66970 8498723 12E-1	7.69402 6640726 63E-1	7.72455 8309352 37E-1	7.74518 8313857 24E-1	7.77046 3216352 42E-1
7.45601 0510098 25E-1	7.44756 6357845 05E-1	7.45074 8814859 26E-1	7.45404 4601031 99E-1	7.46751 2769836 22E-1	7.48601 0639962 12E-1	7.50871 8848577 07E-1	7.53541 6889540 89E-1	7.56477 0561870 23E-1	7.59547 7116501 16E-1	7.62641 5658963 97E-1	7.65686 5802965 72E-1	7.68399 0093056 46E-1	7.71671 1562857 38E-1	7.73932 0372817 83E-1	7.76610 0867868 69E-1
7.42361 8172999 72E-1	7.41410 7008981 59E-1	7.41684 3632317 46E-1	7.42028 7734310 66E-1	7.43490 4534166 46E-1	7.45512 9676565 12E-1	7.48022 3168320 75E-1	7.50982 3563580 02E-1	7.54238 9253834 68E-1	7.57639 0697582 59E-1	7.61049 8071583 61E-1	7.64366 5407071 43E-1	7.67357 1014673 79E-1	7.70833 0827625 98E-1	7.73275 3518526 70E-1	7.76076 7562317 46E-1
7.39196 7310800 74E-1	7.38122 3916298 00E-1	7.38343 3118031 97E-1	7.38692 6215336 99E-1	7.40267 1764432 88E-1	7.42460 1276988 00E-1	7.45211 6327748 62E-1	7.48467 2606244 45E-1	7.52049 7254009 22E-1	7.55780 7395664 82E-1	7.59504 1048065 61E-1	7.63079 5035679 24E-1	7.66331 4292934 89E-1	7.69983 4534385 55E-1	7.72578 2298518 43E-1	7.75464 3283749 56E-1
7.36286 6913802 31E-1	7.35074 5294265 97E-1	7.35234 9807293 01E-1	7.35575 9321322 99E-1	7.37254 1195827 13E-1	7.39605 0610041 91E-1	7.42590 0724494 67E-1	7.46132 5160775 58E-1	7.50030 3746093 44E-1	7.54078 0963456 28E-1	7.58094 5294102 54E-1	7.61901 5479288 12E-1	7.65383 2205006 56E-1	7.69170 4483845 08E-1	7.71876 8040584 12E-1	7.74797 7912092 46E-1
7.33709 2756792 84E-1	7.32346 4005757 00E-1	7.32437 0574929 98E-1	7.32754 9859225 88E-1	7.34522 5780565 04E-1	7.37014 4232266 33E-1	7.40218 1257362 06E-1	7.44031 9942922 64E-1	7.48228 2878317 10E-1	7.52572 8450053 16E-1	7.56858 2844825 42E-1	7.60867 3564168 04E-1	7.64544 5179500 57E-1	7.68427 2390389 66E-1	7.71204 3251717 01E-1	7.74114 3288701 00E-1
7.31664 1027242 96E-1	7.30147 8140534 33E-1	7.30162 9793288 26E-1	7.30444 1819757 86E-1	7.32279 2000777 16E-1	7.34884 9500847 43E-1	7.38277 9042372 74E-1	7.42330 3448283 71E-1	7.46789 3830360 78E-1	7.51392 4783868 47E-1	7.55906 0725748 36E-1	7.60074 9437427 36E-1	7.63899 6892461 14E-1	7.67830 2895298 04E-1	7.70631 2072105 11E-1	7.73481 5812882 17E-1
7.30256 0525116 38E-1	7.28595 2564781 93E-1	7.28534 1655849 93E-1	7.28768 8481378 92E-1	7.30645 3567972 15E-1	7.33332 7715294 40E-1	7.36875 5196334 13E-1	7.41121 2143013 74E-1	7.45794 0407057 98E-1	7.50605 0653373 52E-1	7.55296 1355564 24E-1	7.59577 7152003 45E-1	7.63497 6519968 72E-1	7.67430 9354619 83E-1	7.70212 5539549 32E-1	7.72963 4462727 78E-1
7.29519 1109697 57E-1	7.27734 5987653 74E-1	7.27602 4682825 86E-1	7.27786 6680954 71E-1	7.29678 1545818 85E-1	7.32413 5298033 73E-1	7.36060 7930629 33E-1	7.40446 4982598 46E-1	7.45275 6263294 10E-1	7.50236 5073775 84E-1	7.55049 4702242 27E-1	7.59396 6151769 38E-1	7.63360 3228756 81E-1	7.67258 5001836 97E-1	7.69986 4392235 08E-1	7.72611 6044034 48E-1
7.29415 9012051 19E-1	7.27538 0215901 97E-1	7.27345 7881194 83E-1	7.27481 8190345 54E-1	7.29364 4262481 59E-1	7.32116 2179482 12E-1	7.35821 7957744 59E-1	7.40291 9337080 88E-1	7.45217 1917893 64E-1	7.50268 0828075 02E-1	7.55147 6644479 02E-1	7.59517 2455958 08E-1	7.63478 8331288 20E-1	7.67314 2805498 67E-1	7.69965 4409526 60E-1	7.72453 6526638 13E-1
7.29757 0093105 40E-1	7.27817 6605516 37E-1	7.27578 6413575 57E-1	7.27674 2125183 17E-1	7.29532 5313072 52E-1	7.32279 5384819 10E-1	7.36008 5926290 22E-1	7.40520 2615288 50E-1	7.45495 2001197 20E-1	7.50590 8561355 58E-1	7.55497 1539864 01E-1	7.59861 7121213 70E-1	7.63792 7219302 77E-1	7.67554 7977435 44E-1	7.70122 7042239 31E-1	7.72479 5649981 31E-1
7.30545 7369899 76E-1	7.28580 1828110 34E-1	7.28310 2185334 02E-1	7.28373 8578729 05E-1	7.30191 4941670 50E-1	7.32909 4368358 47E-1	7.36621 8554491 72E-1	7.41125 2903157 18E-1	7.46095 8114020 38E-1	7.51183 5432296 25E-1	7.56070 3762126 17E-1	7.60398 4496697 58E-1	7.64267 8072840 69E-1	7.67945 8706288 51E-1	7.70426 0425658 92E-1	7.72661 0671768 24E-1
7.31687 0287994 23E-1	7.29733 5263942 11E-1	7.29454 2366110 89E-1	7.29501 4763914 95E-1	7.31272 6594884 67E-1	7.33947 3001361 87E-1	7.37613 4554932 96E-1	7.42068 6589563 20E-1	7.46989 0728665 97E-1	7.52022 9033236 40E-1	7.56849 0828761 26E-1	7.61112 0259433 79E-1	7.64892 5136820 15E-1	7.68477 0555492 17E-1	7.70866 0733684 05E-1	7.72988 9216318 22E-1
7.33058 7623589 22E-1	7.31144 7984546 83E-1	7.30871 3875377 61E-1	7.30912 1247917 53E-1	7.32631 9217579 04E-1	7.35250 7978072 52E-1	7.38846 6516508 48E-1	7.43221 8758955 79E-1	7.48056 5488671 11E-1	7.53001 3578218 11E-1	7.57736 3697959 71E-1	7.61914 1570306 00E-1	7.65588 0165517 93E-1	7.69075 8363102 20E-1	7.71374 7840133 39E-1	7.73398 3493629 20E-1

