

UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PEMANFAATAN RUANG DCT LOGARITMA
UNTUK MELAKUKAN KOMPENSASI ILUMINASI DAN
NORMALISASI DALAM PENGENALAN WAJAH**

SKRIPSI

Muhammad Firdaus S L

0606074161

Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Departemen Teknik Elektro

Depok, Juli 2010



UNIVERSITAS INDONESIA
ANALISIS PEMANFAATAN RUANG DCT LOGARITMA
UNTUK MELAKUKAN KOMPENSASI ILUMINASI DAN
NORMALISASI DALAM PENGENALAN WAJAH

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

Muhammad Firdaus S L
0606074161

Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Departemen Teknik Elektro
Depok, Juli 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya
nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Firdaus S L

NPM : 0606074161

Tanda Tangan :

Tanggal : 8 Juli 2010

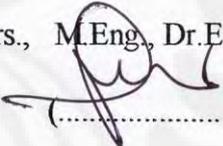
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Firdaus S L
NPM : 0606074161
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Pemanfaatan Ruang DCT Logaritma Untuk
Melakukan Kompensasi Iluminasi Dan Normalisasi Dalam Pengenalan Wajah

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Benyamin Kusumoputro, Drs., M.Eng., Dr.Eng



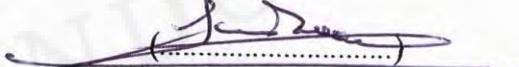
(.....)

Penguji : Dr. Abdul Muis ST, M.Eng



(.....)

Penguji : Dr. Ir. Dodi Sudiana M.Eng



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juli 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menjadi Sarjana Teknik jurusan Teknik Komputer Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan seminar yang berjudul "*Analisis Pemanfaatan Ruang DCT Logaritma Untuk Melakukan Kompensasi Iluminasi Dan Normalisasi Dalam Pengenalan Wajah*", sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan seminar ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, saya ingin memberikan penghargaan dan terima kasih kepada :

1. Prof. Benyamin Kusumoputro, Drs., M.Eng., Dr.Eng selaku dosen pembimbing yang telah mengarahkan dan membantu dalam pembuatan skripsi ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selama ini setia mendukung saya dalam segala hal.
3. Kakak saya beserta Felix, Napo, Kun-kun, CGD, dan yang lainnya yang juga mendukung saya meskipun lebih banyak membuat saya kesal.
4. Pihak *Sampoerna Foundation* yang telah mendukung penuh kuliah saya di UI selama 4 tahun ini.
5. Rekan-rekan SFSC Jakarta: Iis, Wandi, Nico, Tuti, Ikhsan, dan teman-teman dari *intake* lainnya yang tak bisa saya ucapkan satu per satu.
6. Teman-teman satu bimbingan: Ifa, Roy dan Ai. Ifa, Roy insya Allah kita ketemu di balairung setelah berjuang bersama selama ini. Ai, menyusul semester depan ya
7. Cindy Chairunnisa, teman yang paling sering memberikan tumpangan kendaraan pulang padaku. Makasih, Cho. Aku bakal kangen suasana kita pulang bareng. Terima kasih juga atas traktiran dan kebaikanmu selama ini.

8. Teddy Febriyanto, teman yang paling sering menjadi tempat *sharing* saya selama ini. Mungkin di masa depan kita masih bisa berpikir bersama.
9. Nara Brahma Pramodhana dan Boma AA, kalian tempat bertanya saat aku *gaptek*
10. Untuk seorang teman yang telah memberikanku banyak hal tanpa sepengetahuannya
11. Rekan-rekan TRUI: Candra, Deny, Ansyah, Vektor, Radit, Arif Nur, Syukron, dan yang lainnya yang telah mendukung selama saya berada di TRUI
12. Teman seperjuangan di pulau Sempu: Taher, Kahlil, Apit, Danu, Dolos, Rommy, Hung, Tinjo, Dandy, Ricky, Reza, dan lainnya. Nanti kita jalan-jalan lagi ya.
13. Teman yang sering memberikanku tumpangan seperti Anti, Ilyas, Bule, Dandy, Aziz, Sidik, Mawan, dan lainnya.
14. Untuk sivitas akademika, teman lainnya, dan semua yang pernah berhubungan denganku. Terima kasih semuanya

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga seminar ini membawa manfaat bagi semua khususnya bagi mahasiswa.

Depok, Juli 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Firdaus S L

NPM : 0606074161

Program studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Nonokklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS PEMANFAATAN RUANG DCT LOGARITMA UNTUK
MELAKUKAN KOMPENSASI ILUMINASI DAN NORMALISASI
DALAM PENGENALAN WAJAH**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan), Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta sebagai pemegang hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 8 Juli 2010

Yang menyatakan

Muhammad Firdaus S L

ABSTRAK

Nama : Muhammad Firdaus Syawaludin Lubis
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis Pemanfaatan Ruang DCT Logaritma
Untuk Melakukan Kompensasi Iluminasi Dan
Normalisasi Dalam Pengenalan Wajah

Tulisan ini membahas mengenai pemanfaatan ruang dct logaritma untuk melakukan proses kompensasi iluminasi dan normalisasi terhadap gambar wajah agar didapatkan akurasi pengenalan oleh sistem pengenal wajah yang lebih baik dari sebelumnya. Pertama-tama, gambar wajah akan ditransformasi menuju ruang logaritma baru kemudian menuju ruang dct (menjadi ruang dct logaritma). Pada ruang DCT logaritma akan dieliminasi komponen iluminasi, karena komponen ini bervariasi berdasarkan tingkat penerangan dari gambar, dari gambar wajah sehingga didapatkan nilai iluminasi yang merata di seluruh bagian wajah saat kembali ke ruang logaritma. Proses normalisasi dilakukan dengan menetapkan nilai yang sama pada komponen DC di seluruh gambar wajah, baik data uji maupun data database. Akhirnya, proses kompensasi iluminasi dan normalisasi pada data uji dan data database akan semakin menyerupakan gambar wajah dari orang yang sama dan semakin membedakan gambar wajah dari orang-orang yang berbeda. Hasil ini diyakini akan meningkatkan akurasi sistem pengenalan wajah.

Kata kunci:
Pengenalan wajah, kopensasi iluminasi, normalisasi, ruang DCT logaritma

ABSTRACT

Name : Muhammad Firdaus Syawaludin Lubis
Study Program : Teknik Elektro
Title : Analysis of Using DCT Logarithm Space To Compensate Illumination And Normalization In Face Recognition

This paper discusses about the using of DCT logarithms space to perform illumination compensation and normalization process of face images to better recognition accuracy obtained by the facial recognition. First, the facial image will be transformed into logarithmic space and then headed for the DCT (the DCT space logarithms). At the DCT logarithm space, illumination components will be eliminated, because these components vary according to level of illumination of the image, to obtain the illumination is evenly distributed over the face when returning to the logarithmic space. Normalization process is done by setting the same value on the DC component in the entire facial image, as well as test data and database data. Finally, the illumination compensation and normalization process on the test data and database data will be increasingly equate facial image of the same people and increasingly differentiate facial images from different people. These results are thought to increase the accuracy of facial recognition systems.

Keywords:

Face recognition, illumination compensation, DCT logarithm space, normalization



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penulisan	1
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Tahapan Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perkembangan Kompensasi Iluminasi Dalam Pengenal Wajah	5
2.2 Kompensasi Iluminasi	7
2.3 Transformasi Logaritma	10
2.4 Discrete Cosine Transform (DCT)	11
2.5 Normalisasi	14
2.6 Principal Component Analysis	15
2.7 Euclidean Distance	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Skema Eksperimen	21
3.2 Parameter Pada Seluruh Uji	27

BAB 4 HASIL DAN ANALISIS EKSPERIMEN	28
4.1 Hasil dan Analisis Eksperimen Uji Internal.....	28
4.1.1 Uji Internal Kelompok 1	29
4.1.2 Uji Internal Kelompok 2	29
4.1.3 Uji Internal Kelompok 3	30
4.1.4 Uji Internal Kelompok 4	31
4.1.5 Analisis Seluruh Uji Internal	31
4.2 Hasil dan Analisis Eksperimen Uji Eksternal	33
4.2.1 Eksperimen 1	33
4.2.2 Eksperimen 2 dan 3	34
4.2.3 Eksperimen 4 dan 5	37
4.2.4 Analisis Seluruh Uji Eksternal	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	42

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 1	34
Tabel 4.2 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 2	35
Tabel 4.3 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 3	36
Tabel 4.4 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 4	38
Tabel 4.5 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 5	39
Tabel 4.6 Hasil Keseluruhan Uji Eksternal	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem pengenalan wajah dengan menggunakan kompensasi iluminasi pada tahap preprocessing	7
Gambar 2.2 Visualisasi himpunan S	12
Gambar 2.3 Visualisasi himpunan T	13
Gambar 2.4 Pembuatan matriks wajah jadi satu baris vektor.....	16
Gambar 2.5 Penyusunan vektor gambar wajah menjadi matriks.....	16
Gambar 3.1 Tahapan Eksperimen	21
Gambar 3.2 Contoh Kelas dan Kelompok.....	22
Gambar 3.3 Eksperimen Uji Internal	23
Gambar 3.4 Eksperimen 1 Pada Uji Uji Eksternal	24
Gambar 3.5 Eksperimen 2 Pada Uji Uji Eksternal	25
Gambar 3.6 Eksperimen 3 Pada Uji Uji Eksternal	26
Gambar 3.7 Eksperimen 4 Pada Uji Uji Eksternal	26
Gambar 3.8 Eksperimen 5 Pada Uji Uji Eksternal	27
Gambar 4.1 Hasil Uji Internal Kelompok 1	29
Gambar 4.2 Hasil Uji Internal Kelompok 2	29
Gambar 4.3 Hasil Uji Internal Kelompok 3	30
Gambar 4.4 Hasil Uji Internal Kelompok 4	31
Gambar 4.5 Hasil Uji Internal Seluruh Kelompok	32
Gambar 4.6 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 1	33
Gambar 4.7 Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 1	34
Gambar 4.8 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 2	35
Gambar 4.9 Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 2	35
Gambar 4.10 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 3	36
Gambar 4.11 Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 3	37
Gambar 4.12 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 4	37
Gambar 4.13 Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 4	38
Gambar 4.14 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 5	39
Gambar 4.15 Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 5	39
Gambar 4.16 Grafik Hasil Keseluruhan Uji Eksternal.....	40

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian yang dilakukan pada skripsi, permasalahan yang diteliti, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian, tahapan penelitian, serta sistematika penulisan laporan seminar.

1.1 Latar Belakang

Aplikasi pengenalan wajah (*face recognition*) telah melingkupi banyak bidang teknologi dewasa ini. Berbagai perbaikan dalam sistem pengenalan wajah terus dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam segi akurasi maupun lama waktu pengenalan. Namun, masih terdapat beberapa kendala yang harus dihadapi oleh sistem pengenalan wajah saat ini. Salah satu kendala yang dihadapi oleh sistem pengenalan wajah adalah saat ia harus mengenali gambar wajah yang memiliki variasi iluminasi yang tak merata. Hal ini dikarenakan gambar dari suatu wajah dapat tampak berbeda bergantung dari penerangan saat pengambilan gambar. Karena itulah, telah banyak metode yang diajukan untuk mengeliminasi dampak dari variasi iluminasi tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam laporan ini adalah bagaimana cara memperbaiki tingkat ketepatan dari sistem pengenalan wajah dengan memanfaatkan ruang DCT logaritma. Akan dilihat apakah proses kompensasi iluminasi dan normalisasi memanfaatkan ruang DCT logaritma dapat meningkatkan akurasi keberhasilan pengenalan oleh sistem pengenalan wajah.

1.3 Tujuan Penulisan

Berikut ini beberapa tujuan penelitian yang dilakukan:

1. Memahami dan menganalisis apakah penggunaan ruang dct logaritma dalam proses kompensasi iluminasi dan normalisasi dapat semakin menyerupakan gambar-gambar wajah yang berasal dari orang yang sama.

2. Memahami dan menganalisis apakah penggunaan ruang dct logaritma dalam proses kompensasi iluminasi dan normalisasi dapat semakin membedakan gambar-gambar wajah yang berasal dari orang yang berbeda
3. Memahami dan menganalisis bagaimana memanfaatkan ruang dct logaritma dalam proses kompensasi iluminasi dan normalisasi sebagai tahapan *pre-processing* dalam sistem pengenalan wajah

1.4 Batasan Masalah

Ada beberapa batasan masalah dari penelitian yang dilakukan:

1. Gambar yang dipakai seluruhnya adalah wajah tampak depan dan hanya memperlihatkan bagian kepala tanpa rambut.
2. Gambar-gambar wajah yang dipakai dalam penelitian dibagi ke dalam 10 kelas. Kelas sendiri merupakan sekumpulan gambar wajah yang berasal dari orang yang sama
3. Dalam satu kelas, gambar akan dibagi lagi menjadi beberapa kelompok menggunakan metode SOM yang telah Penulis buat sebelumnya. Kelompok ini sendiri terdiri dari sekumpulan gambar wajah dengan tingkat penerangan yang serupa
4. Gambar yang menjadi database adalah gambar dengan tingkat penerangan yang merata di seluruh permukaan wajah.
5. Seluruh gambar berekstensi bmp dengan ukuran 192 x 168. Namun, gambar akan di-resize menjadi 50 x 50 agar dapat dimanipulasi dalam *software*.
6. Gambar akan dikonversi menjadi *grayscale* di seluruh proses.
7. Seluruh gambar eksperimen berasal dari *Cropped Yale Database*.
8. Penulis menggunakan MATLAB untuk melakukan eksperimen.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian dalam laporan ini adalah:

1. Dapat memberikan pemahaman dasar bagi siapa pun yang ingin meneliti suatu metode kompensasi tingkat penerangan gambar wajah untuk aplikasi pengenalan wajah yang dapat mengenali gambar dengan baik.

2. Dapat digunakan sebagai sebuah referensi dalam membuat suatu metode kompensasi tingkat penerangan gambar wajah dalam aplikasi pengenalan wajah.

1.6 Tahapan Penelitian

Penelitian dimulai dengan mencari terlebih dahulu berbagai literatur mengenai metode kompensasi tingkat penerangan gambar wajah dalam aplikasi pengenalan wajah. Penulis kemudian mempelajari beberapa metode kompensasi iluminasi gambar wajah seraya mencoba untuk membuat program aplikasinya dengan menggunakan MATLAB.

Penulis akhirnya menemukan metode kompensasi iluminasi menggunakan transformasi ruang DCT logaritma dapat diaplikasikan oleh Penulis dengan cukup baik. Hal ini ditandai dengan didapatkannya gambar hasil kompensasi iluminasi yang lebih baik secara pengamatan kualitatif. Penulis pun memutuskan untuk membuktikan hal ini melalui beberapa eksperimen untuk mendapatkan bukti kuantitatif. Akhirnya, Penulis membuat suatu sistem pengenalan wajah sederhana untuk menjadi sistem uji.

Pada awal eksperimen, Penulis menggunakan metode *backpropagation* dalam sistem pengenalan wajah tersebut. Penulis pun melakukan apa yang dikatakan dalam literatur untuk melakukan kompensasi iluminasi. Namun, hasil kuantitatif yang Penulis dapatkan ternyata mengecewakan. Penulis beralih menggunakan *euclidean distance* untuk menggantikan posisi *backpropagation* dalam sistem pengenalan wajah. Namun, hasil yang didapat tetap mengecewakan.

Kemudian, Penulis mendapati bahwa proses pengujian dalam literatur tidaklah sesuai dengan yang dilakukan penguji. Penguji akhirnya kembali melakukan analisis kegagalan eksperimen sebelumnya dengan lebih cermat dan memiliki beberapa dugaan. Pada akhirnya, Penulis menduga bahwa manipulasi dari gambar wajah dalam *database* akan membantu memperbaiki akurasi sistem pengenalan wajah. Akhirnya, Penulis membagi penelitian ke dalam 2 eksperimen uji. Hasil-hasil yang didapat dalam uji ini akhirnya memberikan hasil yang positif. Sehingga, Penulis menjadikannya sebagai bahan dalam tulisan ini.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan skripsi ini dibagi atas lima bab dengan gambaran umum sebagai berikut:

- BAB 1 PENDAHULUAN. Bab ini menjelaskan latar belakang penulisan, pernyataan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, tahapan penulisan, dan sistematika penulisan laporan.
- BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA. Bab ini akan menjelaskan teori kompensasi iluminasi dan normalisasi beserta beberapa teori penunjang pemahaman dan pelaksanaan eksperimen dalam penelitian
- BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN. Bab ini menjelaskan eksperimen-eksperimen yang Penulis lakukan. Akan dijelaskan algoritma berjalannya eksperimen beserta alasan dan tujuan dilakukannya masing-masing eksperimen. Akan diberikan pula paramater-parameter yang dipakai selama eksperimen.
- BAB 4 HASIL DAN ANALISIS EKSPERIMEN. Bab ini berisi hasil dan analisis dari setiap eksperimen. Akan dianalisis alasan dari hasil yang didapat dalam setiap eksperimen beserta hal-hal apa saja yang membuat perbedaan hasil antara eksperimen yang satu dengan eksperimen yang lain.
- BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN. Bab ini berisi kesimpulan dan saran. Pada bagian kesimpulan akan diberikan ikhtisar penting yang didapatkan setelah melakukan analisis menyeluruh terhadap seluruh eksperimen. Pada bagian saran akan dijelaskan langkah-langkah apa saja yang dapat dilakukan, misalnya, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada eksperimen-eksperimen mendatang.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menjelaskan teori penunjang pemahaman dan pelaksanaan eksperimen yang Penulis lakukan. Di sini, Penulis akan menjelaskan teori yang menunjang pemahaman kompensasi iluminasi dan normalisasi yang dilakukan dalam eksperimen.

2.1 Perkembangan Kompensasi Iluminasi Dalam Pengenal Wajah

Sistem pengenalan wajah telah berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir. Telah banyak metode yang diajukan untuk membuat sistem pengenal wajah yang lebih baik. Namun, sistem pengenal wajah yang ada tetap mengalami kesulitan saat mengolah data yang memiliki variasi penerangan. Sebagai contoh, Adini et al [1] menyatakan bahwa variasi wajah dikarenakan efek iluminasi selalu lebih besar dibandingkan karena variasi wajah karena perubahan perubahan ekspresi. Efek iluminasi ini sendiri disebabkan tingkat penerangan yang berbeda-beda pada bagian gambar wajah. Hingga kini, variasi iluminasi masih merupakan tantangan bagi para peneliti.

Hingga saat ini, terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengatasi variasi iluminasi. Metode-metode tersebut dapat dibagi menjadi 3 kategori utama:

a. *Preprocessing* dan *normalization*

Pada metode ini, gambar mengalami proses *pre-processing* menggunakan beberapa teknik *image processing* untuk melakukan proses kompensasi iluminasi dan normalisasi. Hal ini dimaksudkan agar wajah dapat terlihat stabil dalam berbagai kondisi penerangan. Metode-metode yang digunakan misalnya *histogram equalization* (HE), *gamma correction*, *logarithm transform*, dan lainnya. Metode dalam kategori ini paling sederhana dibanding metode dalam kategori

lainnya. Namun, variasi iluminasi masih sulit diatasi dengan menggunakan metode-metode umum ini.

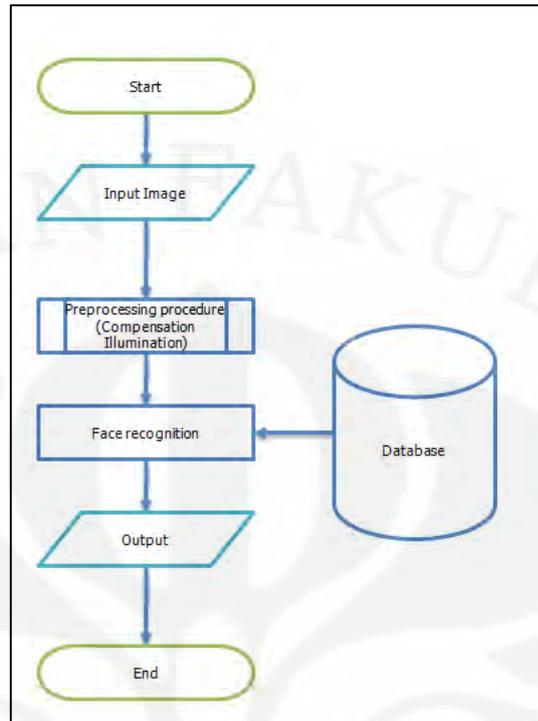
b. *Invariant Feature Extraction*

Pada metode ini, fitur wajah yang stabil dalam berbagai kondisi penerangan akan diambil. Beberapa metode yang bekerja berdasarkan prinsip ini misalnya *edge maps*, *gabor-like filter*, LDA, dan lainnya. Sayangnya, metode ini masih sangat bergantung pada macam gambar-gambar yang menjadi *database*. Sehingga, penggunaan data masukan yang berbeda dari data *database* akan menurunkan akurasi sistem pengenalan wajah.

c. *Face Modelling*

Pada metode ini, model 3D dari suatu gambar wajah berusaha untuk dikonstruksi. Contoh metode yang bekerja dengan prinsip ini misalnya *illumination cone* [2]. Metode dalam kategori ini dapat memberikan hasil yang paling baik daripada metode dalam kategori lainnya. Namun, metode ini memerlukan proses komputasi yang kompleks. Sehingga, seringkali membatasi penggunaannya sistem pengenalan wajah sehari-hari.

Pada tulisan ini, Penulis akan mengadopsi metode yang diajukan oleh Chen et al [3] dengan memanfaatkan ruang DCT logaritma. Penulis memutuskan mengadopsi metode tersebut dikarenakan Penulis mendapatkan pengamatan kualitatif yang terbaik dengan metode ini dibanding saat bereksperimen dengan metode lain yang telah Penulis coba. Metode ini sendiri dapat dikelompokkan dalam kategori pertama. Karena itulah, proses kompensasi iluminasi dan normalisasi pada eksperimen ini dilakukan pada tahap *preprocessing*. Jelasnya, perhatikan gambar 2.1



Gambar 2. 1 Sistem pengenalan wajah dengan menggunakan kompensasi iluminasi dan normalisasi pada tahap preprocessing

2.2 Kompensasi Iluminasi

Definisi dari kompensasi iluminasi adalah suatu proses atau metode yang ditujukan untuk mengkompensasi variasi iluminasi yang buruk dari suatu gambar wajah. Dalam penelitian, Penulis melakukan beberapa eksperimen. Namun, inti dari seluruh eksperimen ialah untuk menganalisis pemanfaatan ruang DCT logaritma untuk kompensasi variasi iluminasi dalam gambar.

Lalu, apakah yang dimaksud dengan memanfaatkan ruang DCT logaritma? Semua berangkat dari kenyataan bahwa nilai total piksel dari *grayscale image* $f(x,y)$ adalah hasil kali dari reflektansi $r(x,y)$ dengan iluminasi $e(x,y)$ pada piksel yang terkait [4]:

$$f(x,y) = r(x,y)e(x,y) \dots \dots \dots (2.1)$$

Iluminasi sangat terkait dengan kondisi penerangan dari gambar. Penerangan yang berbeda akan memberikan nilai iluminasi yang berbeda pula. Iluminasi sendiri terletak dalam komponen frekuensi rendah dari gambar dan reflektansi terletak dalam komponen frekuensi tinggi dari gambar. Tidak seperti

iluminasi, reflektansi dari setiap piksel gambar hampir tak berubah dalam berbagai kondisi pencahayaan. Oleh karena itulah, untuk mendapatkan gambar yang lebih baik untuk tujuan sistem pengenalan wajah maka salah satu yang dapat dilakukan ialah mendapatkan nilai yang murni reflektansi dari setiap piksel gambar. Berarti, yang harus dilakukan adalah mengkompensasi komponen iluminasi dari piksel gambar.

Penggunaan ruang DCT logaritma akan memberikan kemudahan dalam hal kompensasi iluminasi tersebut. Untuk dapat lebih memahaminya, perhatikan terlebih dahulu proses transformasi logaritma terhadap setiap piksel gambar yang secara matematis berarti:

$$\log(f(x, y)) = \log(r(x, y)) + \log(e(x, y)) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

$\log(f(x, y))$ = Nilai total piksel gambar wajah dalam ruang logaritma

$\log(r(x, y))$ = Nilai reflektansi piksel gambar wajah dalam ruang logaritma

$\log(e(x, y))$ = Nilai iluminasi piksel gambar wajah dalam ruang logaritma

Sekarang, anggaplah $e'(x, y)$ adalah besarnya nilai iluminasi setiap piksel yang diinginkan terdapat pada gambar wajah yang telah dikompensasi. Tentunya, nilai $e'(x, y)$ adalah konstan / sama di seluruh piksel gambar wajah (tak terjadi variasi di setiap piksel). Maka, kaitan $e'(x, y)$ terhadap nilai dari setiap piksel gambar hasil kompensasi yang diinginkan $f'(x, y)$ dalam ruang logaritma adalah:

$$\log(f'(x, y)) = \log(r(x, y)) + \log(e'(x, y)) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$= \log(r(x, y)) + \log(e(x, y)) - \epsilon(x, y) \dots \dots (2.4)$$

$$= \log(f(x, y)) - \epsilon(x, y) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

$\epsilon(x, y)$ = Bilangan kompensator

Dari persamaan (2.5) dapat dilihat bahwa nilai total piksel yang diinginkan akan didapatkan dengan mengurangi nilai total piksel asli dengan bilangan kompensator dengan proses pengurangan terjadi dalam ruang logaritma.

Sekarang, perhatikan bagaimana transformasi DCT dilakukan. Transformasi ini dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \frac{\pi(2x+1)u}{2M} \cos \frac{\pi(2y+1)v}{2N} \quad (2.6)$$

Dimana:

$$\alpha(u) = \frac{1}{\sqrt{M}}, \quad u = 0$$

$$= \sqrt{\frac{2}{M}}, \quad u = 1, 2, \dots, M - 1$$

$$\alpha(v) = \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad v = 0$$

$$= \sqrt{\frac{2}{N}}, \quad v = 1, 2, \dots, M - 1$$

M = Ukuran baris dari basis 2D ruang DCT

N = Ukuran kolom dari basis 2D ruang DCT

Penjelasan mengenai transformasi DCT sendiri akan dijelaskan lebih detil di bagian lain.

Sekarang, apabila kita mengurangi persamaan (2.6) dengan suatu bilangan $\sum_{i=1}^n E(u_i v_i)$ maka akan didapatkan persamaan berikut:

$$F'(x, y) = \sum_u^{M-1} \sum_v^{N-1} E(u, v) - \sum_{i=1}^n E(u_i, v_i) \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

$$= F(x, y) - \sum_{i=1}^n E(u_i, v_i) \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

$$E(u, v) = \alpha(u)\alpha(v)C(u, v) \cos \frac{\pi(2x+1)u}{2M} \cos \frac{\pi(2y+1)v}{2N}$$

Proses pengurangan pada persamaan (2.8) serupa dengan proses pemberian nilai 0 kepada beberapa frekuensi. Frekuensi yang dikurangkan inilah

yang dilambangkan dengan $\sum_{i=1}^n E(u_i, v_i)$ dengan i adalah frekuensi yang dikurangi sebanyak n buah. Perhatikan bahwa persamaan (2.8) dengan persamaan (2.5) cukup serupa. Di sini $F(x, y)$ dapat diserupakan dengan $\log(f(x, y))$, $\sum_{i=1}^n E(u_i, v_i)$ diserupakan dengan $\epsilon(x, y)$, dan $F'(x, y)$ diserupakan dengan $\log(f'(x, y))$. Dengan kata lain, $\sum_{i=1}^n E(u_i v_i)$ dapat dikatakan sebagai bilangan bilangan kompensator pada ruang DCT.

Dan, dengan mengetahui bahwa komponen iluminasi terletak pada frekuensi rendah dan perubahan utama yang menyebabkan perbedaan penampilan wajah dalam kondisi pencahayaan buruk terletak pada variasi komponen iluminasi yang terjadi maka dengan menjadikan $\sum_{i=1}^n E(u_i, v_i)$ sebagai kumpulan komponen frekuensi rendah dari gambar wajah dalam ruang logaritma akan diperoleh suatu gambar yang terkompensasi iluminasi. Gambar yang dihasilkan akan memberikan penampilan yang hampir serupa dengan wajah saat pencahayaan baik. Gambar ini tentunya diharapkan memberikan akurasi pengenalan oleh sistem pengenalan wajah yang lebih baik dari saat gambar wajah belum dikompensasi. Inilah yang menjadi dasar penggunaan ruang DCT logaritma untuk mengkompensasi iluminasi yang akan diteliti dalam eksperimen.

2.3 Transformasi Logaritma

Transformasi logaritma sebenarnya hanyalah proses transformasi nilai dari setiap piksel gambar wajah dengan menggunakan fungsi logaritma:

$$f'(x, y) = c * \log(f(x, y) + 1) \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

$f'(x, y)$ = Nilai piksel gambar wajah setelah proses transformasi

$f(x, y)$ = Nilai piksel gambar wajah sebelum proses transformasi

c = Konstanta

Pada eksperimen, penulis memberi nilai konstanta c sebesar $255/\log(256)$ agar gambar wajah tetap mencakup nilai dari 0 hingga 255. Penjumlahan dengan 1 di atas adalah untuk menghindarkan transformasi logaritma dari piksel bernilai 0 karena nilai ini akan memberikan *error* dalam penghitungan logaritma.

2.4 Discrete Cosine Transform (DCT)

Terdapat 4 jenis DCT yaitu DCT-I, DCT-II, DCT-III, dan DCT-IV. DCT-II inilah yang dipakai dalam eksperimen. DCT-II dengan ukuran $M \times N$ didefinisikan sebagai berikut:

$$C(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \frac{\pi(2x+1)u}{2M} \cos \frac{\pi(2y+1)v}{2N} \quad (2.10)$$

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v) C(u, v) \cos \frac{\pi(2x+1)u}{2M} \cos \frac{\pi(2y+1)v}{2N} \quad (2.11)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \alpha(u) &= \frac{1}{\sqrt{M}}, & u &= 0 \\ &= \sqrt{\frac{2}{M}}, & u &= 1, 2, \dots, M-1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha(v) &= \frac{1}{\sqrt{N}}, & v &= 0 \\ &= \sqrt{\frac{2}{N}}, & v &= 1, 2, \dots, M-1 \end{aligned}$$

$C(u, v)$ = Nilai piksel dalam ruang DCT

$f(x, y)$ = Nilai piksel dalam ruang wajah awal (spatial)

Persamaan (2.10) dan persamaan (2.11) mungkin terlihat kompleks dan rumit terutama bagi yang baru melihatnya. Tapi ingatlah bahwa transformasi DCT hanyalah proses merepresentasikan suatu vektor dari ruang lama, dalam hal ini ruang spatial gambar, menuju ruang baru, dalam hal ini ruang frekuensi dari DCT.

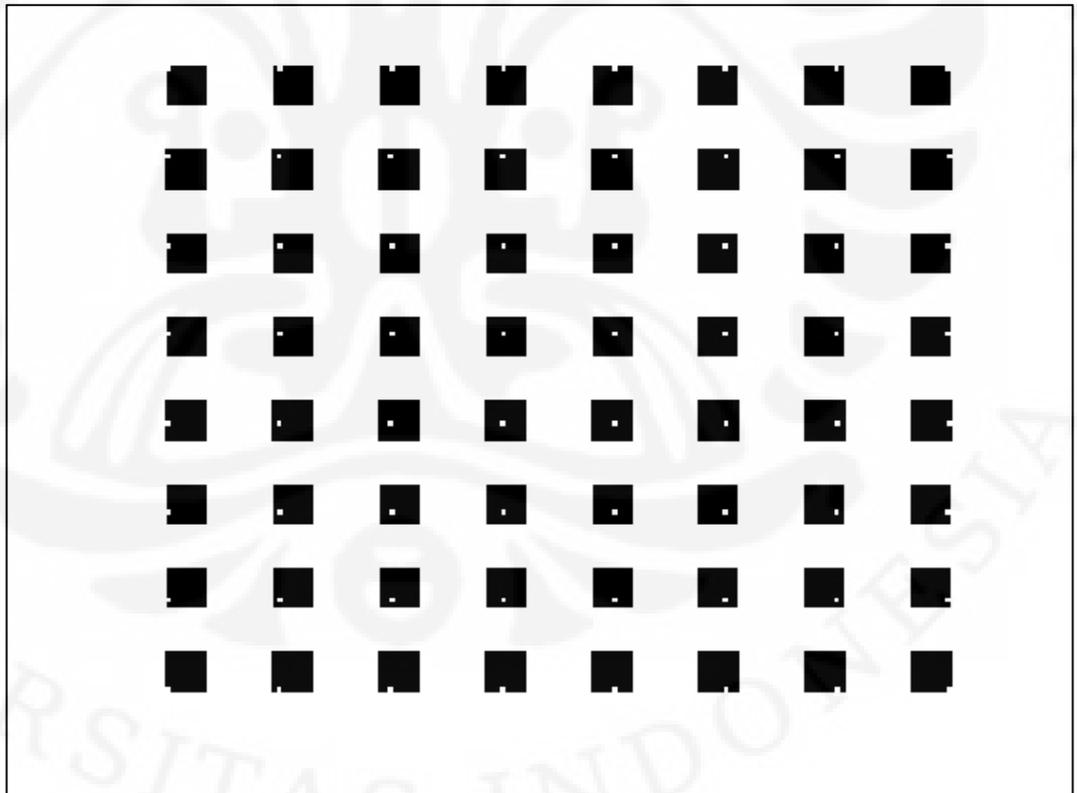
Lalu, apakah yang makna yang ada dalam persamaan (2.10) dan (2.11)? Pertama-tama, ingatlah definisi dari ruang vektor. Ruang vektor adalah sekumpulan vektor yang dapat dibentuk melalui kombinasi linear dari vektor-vektor yang menjadi basis ruang tersebut. Secara matematis, jika V adalah suatu ruang vektor dan $S = \{\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_r\}$ adalah himpunan basis dari ruang vektor V

maka setiap vektor \mathbf{v} yang terdapat dalam V dapat dibentuk dan merupakan suatu kombinasi linear dari vektor dalam himpunan S :

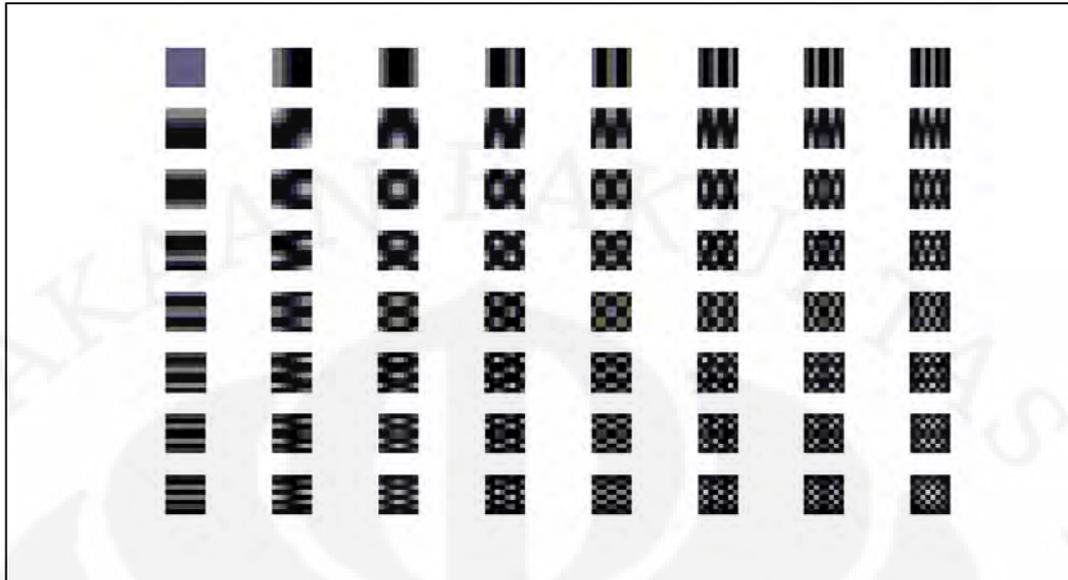
$$\mathbf{v} = \sum_{k=1}^r c_k \mathbf{v}_k \dots\dots\dots(2.12)$$

Dari definisi di atas dapat dilihat bahwa yang membedakan ruang vektor yang satu dengan ruang vektor lainnya adalah basis-basis penyusunnya. Namun, seringkali vektor dari suatu ruang V tetap dapat direpresentasikan oleh ruang vektor W lainnya. Representasi vektor ini di W jelaslah berbeda dibanding representasi vektor ini di V .

Sederhananya, ruang V dalam kasus kita adalah ruang spatial. Dan, Ruang W dalam kasus kita adalah ruang frekuensi. Misalkan, basis untuk kedua ruang terdapat dalam himpunan $S = \{\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_r\}$ dan $T = \{\mathbf{t}_1, \mathbf{t}_2, \dots, \mathbf{t}_r\}$. Maka, himpunan S dan T dengan ukuran piksel gambar adalah $r = 8 \times 8$, dapat divisualisasikan oleh gambar berikut:



Gambar 2. 2 Visualisasi himpunan S



Gambar 2. 3 Visualisasi himpunan T

Dari gambar 2.2 dan 2.3 dapat dilihat bahwa jumlah basis dan jumlah komponen basis kedua ruang adalah sama dengan ukuran piksel gambar, 8×8 .

Dari manakah gambar 2.2 dan gambar 2.3 berasal? Sulit untuk mendapatkan persamaan matematis yang memperlihatkan fungsi dari himpunan S . Namun, himpunan T didapatkan dari persamaan:

$$t(u, v) = k \cos \frac{\pi(2x+1)u}{2M} \cos \frac{\pi(2y+1)v}{2N} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

$$u = 0, 1, \dots, M - 1$$

$$v = 0, 1, \dots, N - 1$$

$k = \text{konstanta}$

$t(u, v) = \text{Basis dalam ruang } T$

Dapat dilihat bahwa $t(u, v)$ persamaan (2.13) memiliki kesamaan dengan bagian trigonometri dari persamaan (2.10). Hal ini wajar karena persamaan (2.10) merupakan t_k pada persamaan (2.14). Persamaan (2.14) sendiri merupakan persamaan untuk mencari koefisien c_k dari masing-masing basis t_k untuk

merepresentasikan nilai dari suatu vektor \mathbf{w} pada ruang vektor W . Ruang W sendiri direntangkan oleh himpunan basis T .

$$c_k = \sum_{k=1}^r \langle \mathbf{w}, \mathbf{t}_k \rangle \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan:

Pada kasus yang diberikan sebelumnya, nilai $\langle \mathbf{w}, \mathbf{t}_k \rangle = \langle \mathbf{w}, \mathbf{t}_k \rangle(u, v) = w(x, y)t(u, v, x, y)$ dan $\sum_{k=1}^r = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1}$. Dengan menyubstitusi nilai $w(x, y) = f(x, y)$ dan nilai $t(x, y)$ seperti persamaan (2.13), dengan menyesuaikan nilai k , maka persamaan (2.10) telah kita dapatkan. Persamaan (2.11) didapatkan dengan konsep yang sama namun peran persamaan (2.14) diganti dengan persamaan (2.12). Berarti, persamaan (2.11) hanyalah pembentukan kembali nilai piksel dalam ruang spatial setelah sebelumnya berada dalam ruang frekuensi DCT. Karena itulah, persamaan (2.11) disebut sebagai persamaan *invers* transformasi DCT.

Nilai frekuensi yang diwakili oleh basis ruang DCT 2D sendiri dapat dihitung dengan memakai nilai u dan v yang serupa dengan nilai u dan v persamaan (2.10) dengan menggunakan persamaan:

$$f = \sqrt{u^2 + v^2} \dots \dots \dots (2.15)$$

Nilai u dan v merupakan nilai baris dan kolom kurang 1 dari letak basis-basis yang terdapat dalam gambar 2.3. Perhatikan gambar 2.3 dan contoh gambar wajah yang digunakan dalam eksperimen (terdapat pada lampiran). Berbagai macam kondisi variasi iluminasi pada gambar wajah memiliki keserupaan dengan dengan basis-basis ruang DCT berfrekuensi rendah pada gambar 2.3. Jadi, adalah logis bila penghilangan komponen frekuensi rendah akan mengkompensasi variasi iluminasi dari gambar.

2.5 Normalisasi

Proses normalisasi adalah menyamakan nilai komponen DC dari seluruh gambar wajah di seluruh kelas dengan nilai yang sama. Hal ini akan menyamaratakan tingkat *contrast* dari seluruh gambar wajah. Basis komponen DC

sendiri adalah basis berfrekuensi 0. Atau, pada gambar 2.3 adalah basis pada posisi paling kiri atas ($u = 1, v = 1$).

Penjelasan dalam gambar dari proses kompensasi iluminasi dan normalisasi gambar wajah secara keseluruhan sendiri dapat dilihat pada bagian lampiran. Pada gambar tersebut terangkum keseluruhan proses kompensasi iluminasi dan normalisasi yang telah Penulis jelaskan sejauh ini.

2.6 Principal Component Analysis

Principal Component Analysis (PCA) merupakan suatu metode standard, mencakup bidang yang luas mulai dari neurosains maupun komputer grafis, guna mendapatkan fitur-fitur penting dari sekumpulan data (vektor dalam kasus ini). PCA sangat umum digunakan karena metode ini sederhana dan tidak memerlukan parameter apa pun dalam pengerjaannya.

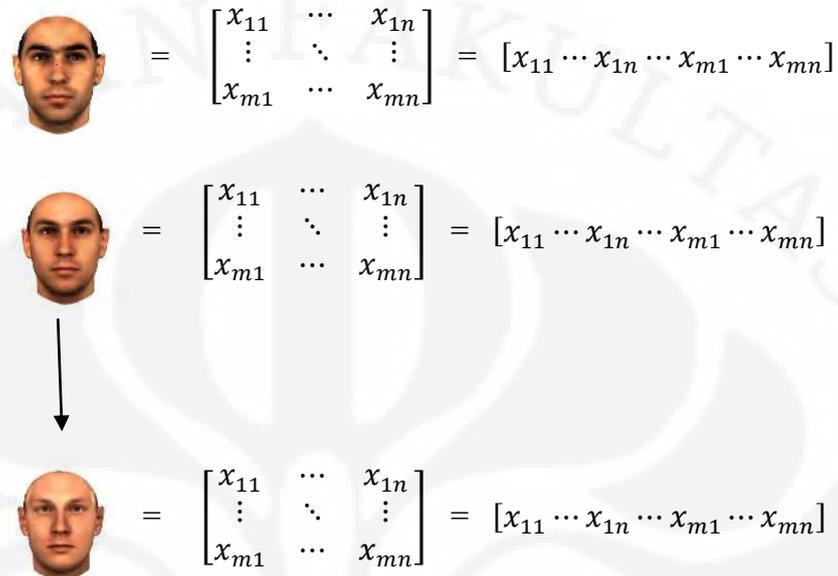
Inti dari PCA ialah bagaimana menentukan basis-basis ruang baru untuk merepresentasikan sekumpulan vektor dari basis-basis ruang lamanya. Di ruang baru ini setiap dimensi akan memiliki variansi sebesar-besarnya dan kovariansi antar dimensi sebesar 0. Pada ruang yang baru ini akan terlihat dimensi mana (dimensi di ruang baru) yang memiliki efek kecil terhadap setiap vektor. Basis-basis yang terkait dengan dimensi ini akan dibuang sehingga dimensi vektor tereduksi menjadi lebih kecil dari dimensinya saat di ruang asal.

Basis-basis penyusun ruang vektor baru disebut sebagai *principal components*. *Principal components* ini sendiri merupakan vektor-vektor eigen dari matriks kovariansi yang dibentuk oleh dimensi-dimensi lama. Detilnya, perhatikanlah langkah-langkah yang Penulis gunakan untuk mendapatkan matriks transformasi dari ruang vektor lama ke ruang vektor baru berikut. Algoritma PCA adalah sebagai berikut:

1. Menyusun sistem pada ruang vektor lama

Pada tahap ini akan disusun sistem pada ruang vektor lama. Caranya ialah dengan mengambil vektor-vektor dari gambar wajah yang digunakan sebagai *database* sistem. Awalnya, vektor yang diambil dari gambar wajah tersebut berupa matriks dengan dimensi $m \times n$. Kemudian, matriks tersebut akan diolah

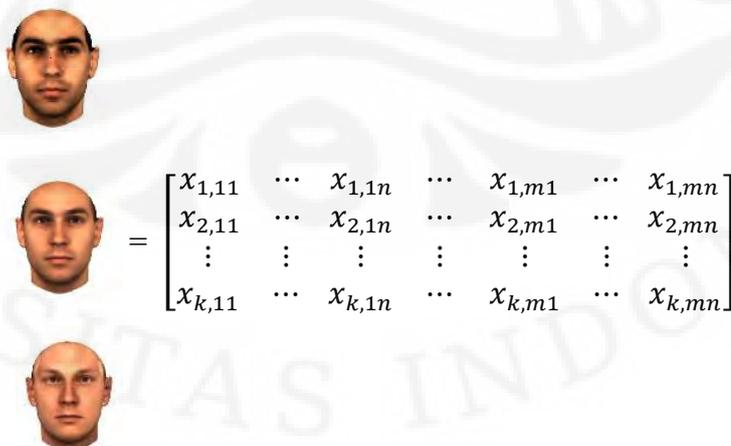
menjadi matriks satu baris dengan ukuran $1 \times (n \times m)$. Perhatikan ilustrasi berikut untuk lebih jelasnya.



$$\begin{aligned}
 \text{Face 1} &= \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = [x_{11} \cdots x_{1n} \cdots x_{m1} \cdots x_{mn}] \\
 \text{Face 2} &= \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = [x_{11} \cdots x_{1n} \cdots x_{m1} \cdots x_{mn}] \\
 \text{Face 3} &= \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = [x_{11} \cdots x_{1n} \cdots x_{m1} \cdots x_{mn}]
 \end{aligned}$$

Gambar 2.4 Pembuatan matriks wajah menjadi satu baris vektor

Setelah vektor diolah menjadi suatu matriks baris maka setiap vektor yang diambil dari setiap gambar wajah tersebut dideretkan per baris. Andaikan *database* sistem terdiri dari k gambar wajah maka sistem lama akan tersusun oleh matriks dengan ukuran $k \times (n \times m)$. Perhatikan ilustrasi berikut untuk jelasnya.



$$\begin{aligned}
 \text{Face 1} & \\
 \text{Face 2} &= \begin{bmatrix} x_{1,11} & \cdots & x_{1,1n} & \cdots & x_{1,m1} & \cdots & x_{1,mn} \\ x_{2,11} & \cdots & x_{2,1n} & \cdots & x_{2,m1} & \cdots & x_{2,mn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{k,11} & \cdots & x_{k,1n} & \cdots & x_{k,m1} & \cdots & x_{k,mn} \end{bmatrix} \\
 \text{Face 3} &
 \end{aligned}$$

Gambar 2.5 Penyusunan vektor gambar wajah membentuk matriks sistem

2. Lakukan normalisasi *z-score* dari setiap vektor penyusun sistem pada ruang vektor lama

Sekarang, sistem terdiri dari matriks $X = [x_{ij}]_{k \times (n \times m)}$. Kemudian, carilah rata-rata maupun standard deviasi dari vektor-vektor penyusun sistem lama per dimensinya. Rata-rata per dimensi dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\mu_j = \frac{\sum_{i=1}^k x_{ij}}{k} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

μ_j = Nilai rata-rata seluruh vektor pada dimensi j

x_{ij} = Nilai setiap vektor i pada dimensi j

k = Jumlah total vektor dari gambar wajah *user* yang dijadikan *database*

Standard deviasi sendiri dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_{ij} - \mu_j)^2}{k}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan:

σ_j = Nilai standar deviasi seluruh vektor pada dimensi j

μ_j = Nilai rata-rata seluruh vektor-vektor pada dimensi j

x_{ij} = Nilai setiap vektor i pada dimensi j

k = Jumlah total vektor dari gambar wajah *user* yang dijadikan *database*

Berikutnya barulah didapatkan nilai *zscore* dari sistem:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j} \dots\dots\dots(2.18)$$

Kini, sistem telah berada dalam kondisi normalisasi *z-score* dan tersipan dalam matriks $Z = [z_{ij}]_{k \times (n \times m)}$ berikut:

$$Z = \begin{bmatrix} z_{1,11} & \cdots & z_{1,1n} & \cdots & z_{1,m1} & \cdots & z_{1,mn} \\ z_{2,11} & \cdots & z_{2,1n} & \cdots & z_{2,m1} & \cdots & z_{2,mn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{k,11} & \cdots & z_{k,1n} & \cdots & z_{k,m1} & \cdots & z_{k,mn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.19)$$

3. Mencari matriks kovariansi antar dimensi dari vektor penyusun sistem pada ruang vektor lama yang telah mengalami proses *zscore*

Untuk mendapatkan matriks kovariansi C yang dimaksud, digunakan proses perkalian matriks berikut:

$$C = \frac{z^T z}{k} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

Z = Matriks sistem pada ruang vektor lama setelah normalisasi *z-score*

Z^T = *Transpose* dari matriks Z

K = Jumlah gambar wajah *user* yang menjadi *database*

4. Mencari nilai eigen maupun vektor eigen dari matriks kovariansi tersebut
Tahap berikutnya adalah mencari nilai eigen maupun vektor eigen dari matriks kovariansi. Hal ini dilakukan dengan memecahkan persamaan berikut:

$$\det(\lambda I - C) = 0 \dots\dots\dots(2.21)$$

Nilai λ yang didapatkan merupakan nilai eigen. Untuk mencari vektor eigen dari nilai eigen bersangkutan, perlu dipecahkan persamaan matriks berikut:

$$[\lambda I - C] \vec{\lambda} = \vec{0} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana:

λ = Nilai eigen

I = Matriks identitas

C = Matriks kovarian

$\vec{\lambda}$ = Vektor eigen

Vektor $\vec{\lambda}$ yang memecahkan persamaan di atas merupakan vektor eigen dari nilai eigen yang bersangkutan.

5. Mengurutkan vektor-vektor eigen dari yang bernilai eigen terbesar hingga yang bernilai eigen terkecil. Setelah vektor-vektor eigen didapat, berikutnya akan diurutkan vektor-vektor eigen tersebut berurut dari yang bernilai eigen terbesar menuju yang bernilai eigen terkecil. Vektor-vektor ini akan diurutkan per barisnya.
6. Mengambil sejumlah tertentu vektor eigen (jumlah ini menentukan dimensi total dari ruang vektor yang baru). Pada tahap inilah akan diambil matriks transformasi yang akan mentransformasi sistem dari ruang vektor lama ke ruang vektor baru. Matriks ini terdiri dari vektor-vektor eigen terurut yang telah dicari sebelumnya. Tidak seluruh vektor eigen diambil melainkan hanyalah vektor eigen yang bernilai eigen besar saja. Pemotongan jumlah vektor eigen inilah yang membuat dimensi dari ruang vektor baru nantinya lebih sedikit dari ruang vektor lama. Misalnya, mengambil hanya 50 baris teratas vektor eigen bernilai eigen terbesar akan mereduksi dimensi sistem menjadi 50, mengambil 20 baris teratas vektor eigen akan mereduksi dimensi menjadi 20, dan seterusnya. Vektor-vektor eigen inilah yang disebut sebagai *principal components*.
7. Mengalikan matriks penyusun sistem pada ruang vektor lama dengan matriks yang tersusun dari vektor eigen yang telah dicari sebelumnya untuk mendapatkan sistem dalam ruang vektor yang baru dengan dimensi yang lebih sedikit. Untuk mengalikan kedua matriks ini, salah satu matriks haruslah di-*transpose* terlebih dahulu. Pada penelitian ini, penulis men-*transpose* matriks penyusun sistem pada ruang vektor lama. Hasilnya sendiri Penulis *transpose* balik untuk mendapatkan matriks penyusun ruang vektor baru yang tiap barisnya merupakan vektor baru dari tiap gambar wajah.

2.7 Euclidean Distance

Proses akhir dari pengujian dalam eksperimen dalam penelitian menggunakan *Euclidean Distance* (ED) sebagai penentu keputusannya. ED ini sendiri yang Penulis gunakan sebagai *classifier* dalam sistem penegenal wajah yang Penulis buat. Ada beberapa alasan yang membuat Penulis memutuskan untuk menggunakan ED sebagai alat ukur dari sistem pengujian:

1. ED merupakan suatu alat hitung jarak antar vektor sederhana yang telah diketahui konsepnya secara luas. Diharapkan Pembaca dapat berpikir kritis terhadap efek maupun tepat atau tidaknya ED dipakai dalam proses pengujian eksperimen ini.
2. ED hanya memikirkan jarak antara dimensi yang bersesuaian dari dua vektor yang ditinjau. ED tidaklah memikirkan hubungan antar dimensi yang terdapat dalam satu vektor sehingga keserupaan antar dimensi yang bersesuaian dari kedua vektor tinjauan adalah sangat penting. Hal ini semakin meningkatkan kesukaran karena, dalam kasus gambar, penglihatan secara kualitatif tak menjamin didapatkannya hasil yang lebih baik dibandingkan gambar sebelum kompensasi saat diaplikasikan dalam sistem pengujian eksperimen ini.

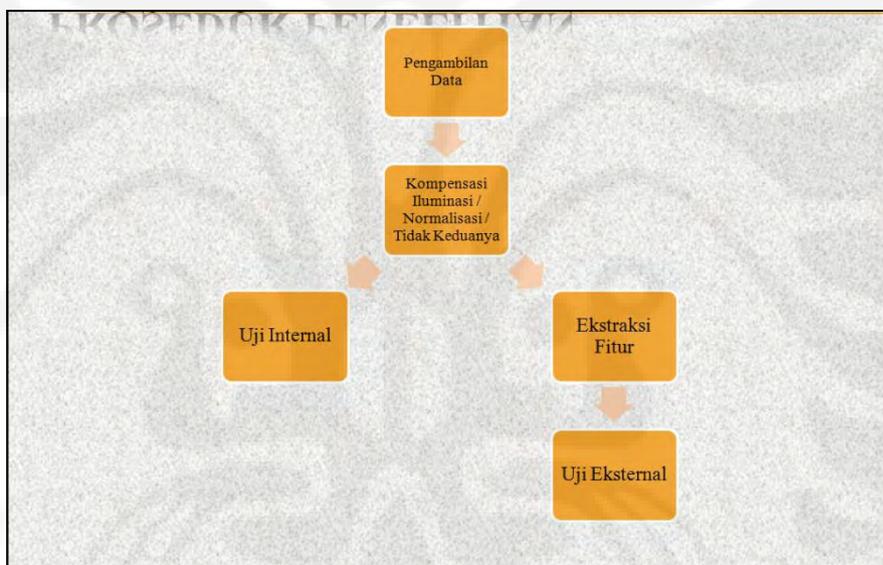
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan skema eksperimen kompensasi iluminasi dan normalisasi yang dilakukan dalam penelitian. Selain itu, akan diberikan pula parameter-parameter yang Penulis gunakan dalam eksperimen.

3.1 Skema Eksperimen

Eksperimen yang dilakukan dalam penelitian dibagi dalam beberapa tahapan. Berikut adalah diagram alir dari tahapan eksperimen tersebut:



Gambar 3.1 Tahapan Eksperimen

Gambar 3.1 memperlihatkan bahwa eksperimen yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi menjadi 2 : uji internal dan uji eksternal. Sebelum melakukan uji ini, dilakukan tahap-tahap persiapan data (baik data uji maupun data *database*). Kedua uji beserta persiapan data akan dijelaskan kemudian.

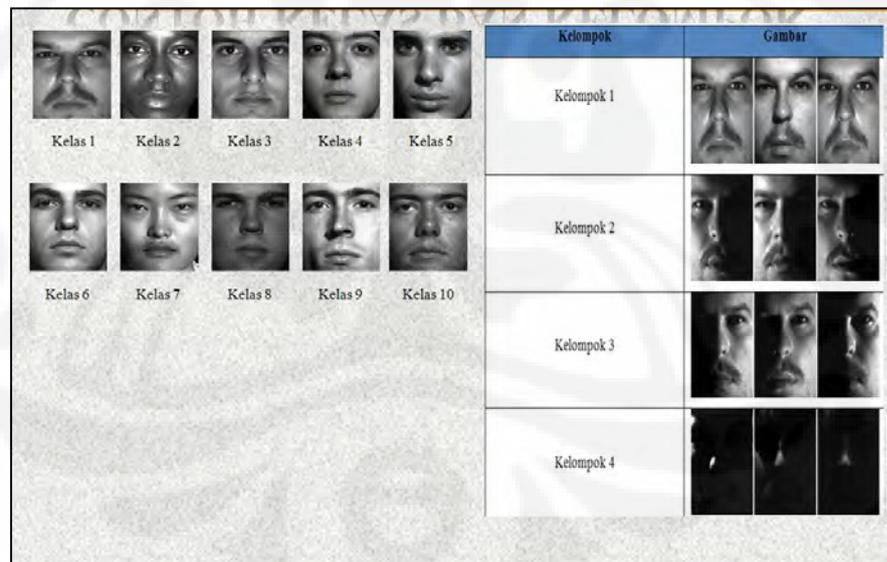
a. Pengambilan data

Pada tahap ini, Penulis melakukan pengambilan seluruh macam data yang akan digunakan dalam eksperimen. Jenis data yang diperlukan ialah data uji dan data *database*. Data uji adalah data yang Penulis gunakan sebagai

masukannya dari suatu sistem uji yang Penulis buat dalam eksperimen. Sedangkan, data *database* adalah data yang menyusun sistem uji tersebut. Baik data uji maupun *database* keduanya berasal dari *yale cropped database*.

Kedua data ini adalah gambar wajah dengan ukuran piksel 192 x 168 dengan penerangan yang bervariasi. Untuk data uji, Penulis membagi gambar-gambar wajah tersebut ke dalam 10 kelas dengan masing-masing kelas terdiri dari 4 kelompok. Dalam kelas yang sama terdapat sekumpulan gambar wajah yang berasal dari orang yang sama. Sedangkan, pada setiap kelompok terdapat gambar wajah dengan tipe penerangan yang sama.

Tipe-tipe penerangan yang ada adalah: gambar dengan penerangan baik di seluruh bagian wajah, gambar dengan penerangan baik hanya di bagian kiri wajah, gambar dengan penerangan baik di bagian kanan wajah, dan gambar dengan penerangan buruk di seluruh bagian wajah. Untuk data *database* sendiri, Penulis hanya menggunakan gambar wajah dengan penerangan yang baik di seluruh bagian wajah. Berikut adalah contoh kelas dan kelompok yang Penulis gunakan dalam eksperimen:



Gambar 3.2 Contoh Kelas dan Kelompok

b. Kompensasi Iluminasi / Normalisasi / Tidak Keduanya

Pada tahap ini, data (bisa data uji maupun data *database*) akan mengalami berbagai alternatif metode kompensasi. Alternatif tersebut antara lain: kompensasi iluminasi (KI), kompensasi iluminasi + normalisasi (KI + N), atau

tak mengalami proses apa pun (Normal). Metode mana yang akan dipakai bergantung pada jenis uji yang akan dilakukan.

c. Ekstraksi Fitur

Pada tahap ini, akan dilakukan proses reduksi dimensi dengan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA). Proses reduksi akan memotong dimensi dari vektor data sehingga vektor data akan lebih cepat untuk diproses.

d. Uji Internal

Uji ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa serupakah data-data dari suatu kelas setelah data-data tersebut mengalami proses kompensasi. Hal ini dilakukan dengan memeriksa keserupaan masing-masing data dengan suatu data lain (data referensi). Untuk mengukur keserupaan, Penulis menggunakan metode ED dengan menjadikan data-data tersebut.

Uji ini dilakukan pada setiap data. Karena setiap data mengalami 3 macam kompensasi (Normal, KI, dan KI+N) maka akan dihasilkan 3 macam keluaran untuk setiap data. Untuk keperluan analisis, Penulis membagi uji ini ke dalam 4 eksperimen dengan masing-masing eksperimen mewakili 1 kelompok dari suatu kelas. Perhatikan gambar berikut untuk lebih jelasnya.

Gambar 3.3 Tahapan Eksperimen Uji Internal

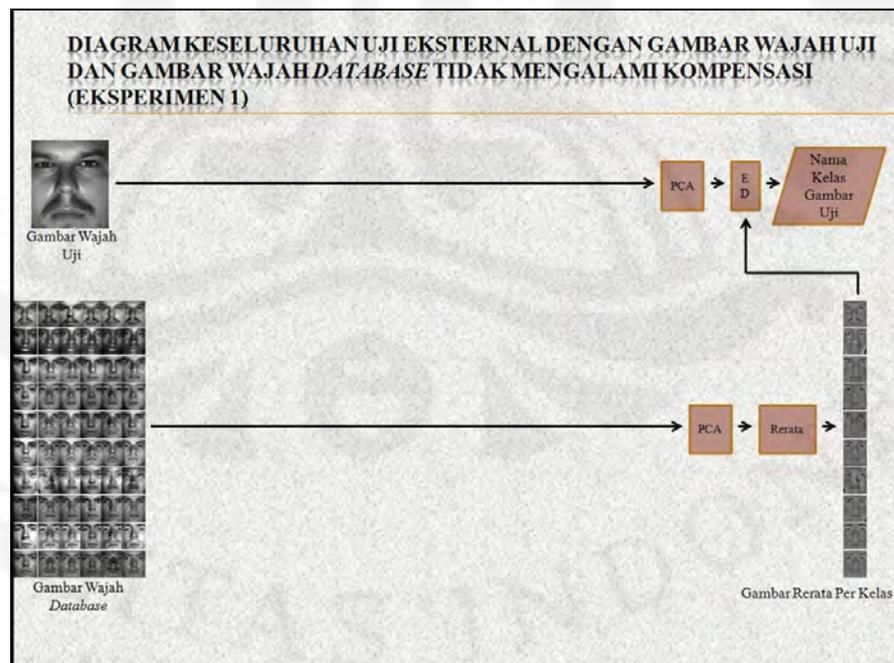
e. Uji Eksternal

Uji ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa berbedakah data-data dari suatu kelas dengan data-data dari kelas lainnya setelah data-data tersebut mengalami kompensasi. Hal ini dilakukan dengan memasukkan data tersebut ke dalam suatu sistem pengenalan wajah yang Penulis buat dan dilihat apakah keluaran dari sistem pengenalan wajah tersebut adalah kelas dari data masukan. Dalam sistem pengenalan wajah yang Penulis buat, Penulis menggunakan ED sebagai *classifier*-nya.

Uji ini juga dilakukan pada seluruh data uji. Pada uji inilah data *database* digunakan. *Database* terdiri dari gambar wajah dari ke-10 kelas dengan masing-masing kelas diwakili 20 gambar. Keseluruh gambar adalah gambar wajah dengan penerangan baik di seluruh bagian wajah.

Pada uji ini akan dilakukan 5 macam eksperimen berbeda. Masing-masing eksperimen memiliki bertujuan menunjang hasil eksperimen satu sama lainnya untuk mengetahui besarnya perbedaan data dari satu kelas dengan data dari kelas lainnya.

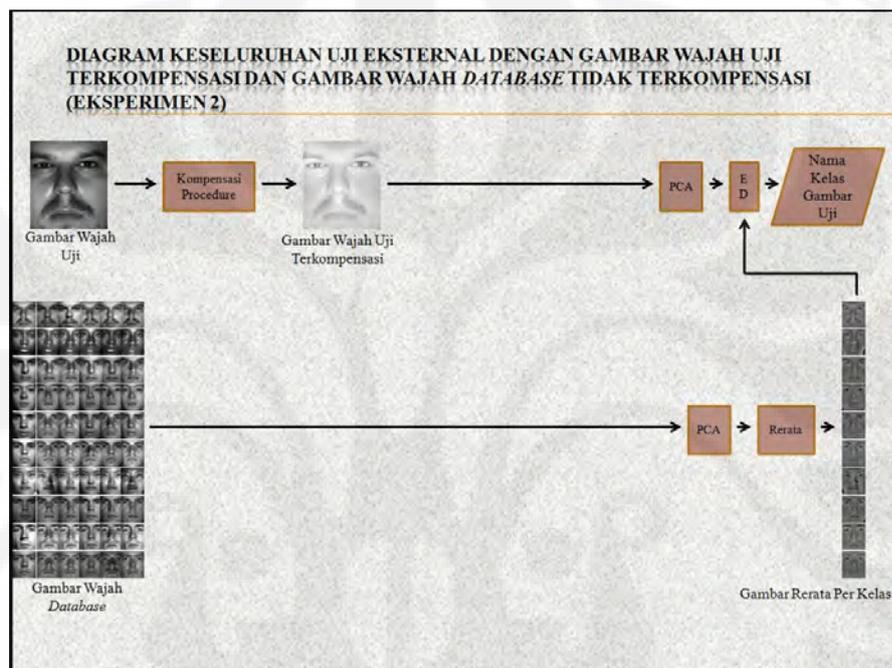
a. Eksperimen 1 : Data uji dan Database adalah normal



Gambar 3.4 Eksperimen 1 pada uji eksternal

Eksperimen ini bertujuan mengetahui apakah benar data dari satu kelas dengan data dari kelas lainnya sulit dibedakan satu sama lainnya sehingga diperlukan suatu proses kompensasi untuk memperbaikinya. Gambar 3.4 memberikan gambaran tahapan yang dilakukan dalam eksperimen ini.

b. Eksperimen 2 : Data uji bersifat KI dan database bersifat normal



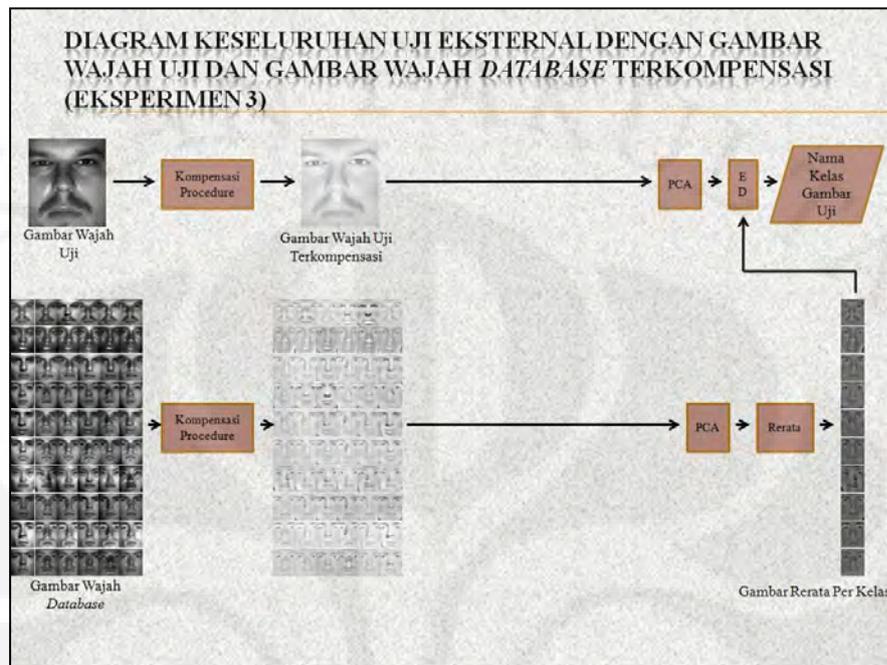
Gambar 3.5 Eksperimen 2 Pada Uji Eksternal

Eksperimen ini bertujuan mengetahui apakah benar data uji dari satu kelas setelah mengalami proses KI akan dapat digunakan dalam sistem pengenalan wajah guna mendapatkan tingkat pengenalan yang lebih baik. Gambar 3.5 memberikan gambaran tahapan yang dilakukan dalam eksperimen ini.

c. Eksperimen 3 : Data uji dan database adalah KI

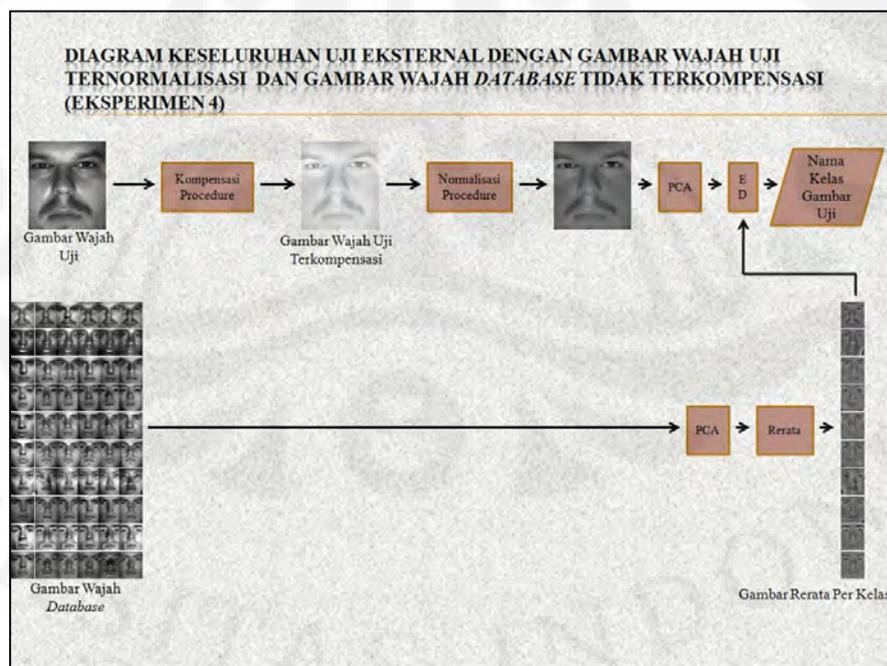
Eksperimen ini bertujuan mengetahui apakah benar data uji dari satu kelas setelah mengalami proses KI akan dapat digunakan dalam sistem pengenalan wajah, dimana *database*-nya juga mengalami proses KI, guna mendapatkan tingkat pengenalan yang

lebih baik. Gambar 3.6 memberikan gambaran tahapan yang dilakukan dalam eksperimen ini.



Gambar 3.6 Eksperimen 3 Pada Uji Eksternal

d. Eksperimen 4 : Data uji adalah KI + N dan database adalah normal

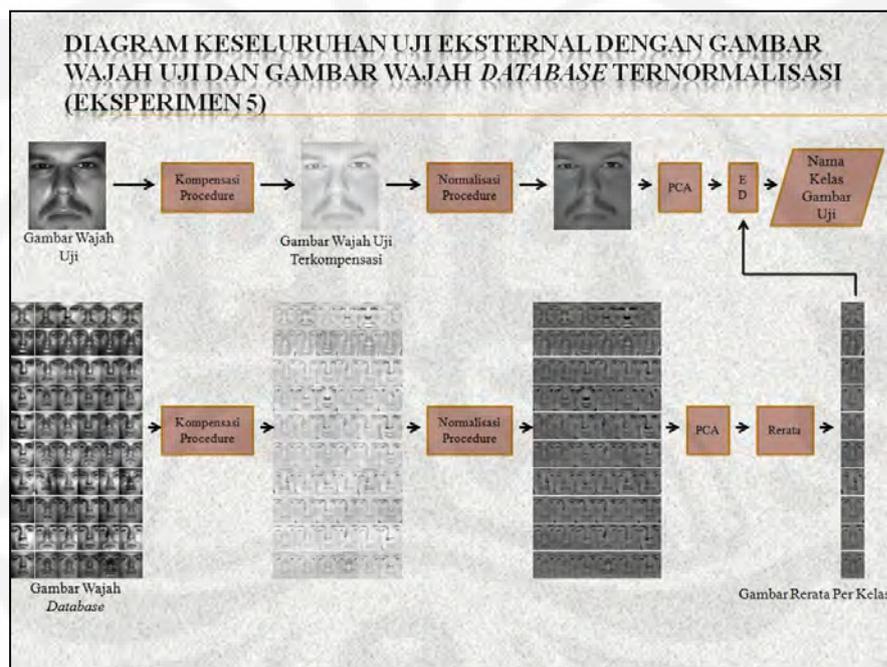


Gambar 3.7 Eksperimen 4 Pada Uji Eksternal

Eksperimen ini bertujuan mengetahui apakah benar data uji dari satu kelas setelah mengalami proses KI + N akan dapat digunakan dalam sistem pengenalan wajah guna mendapatkan tingkat pengenalan yang lebih baik. Gambar berikut memberikan gambaran tahapan yang dilakukan dalam eksperimen ini.

e. Eksperimen 5 : Data uji dan database adalah KI + N

Eksperimen ini bertujuan mengetahui apakah benar data uji dari satu kelas setelah mengalami proses KI + N akan dapat digunakan dalam sistem pengenalan wajah, dimana *database*-nya juga mengalami proses KI + N, guna mendapatkan tingkat pengenalan yang lebih baik. Gambar berikut memberikan gambaran tahapan yang dilakukan dalam eksperimen ini.



Gambar 3.8 Eksperimen 5 Pada Uji Eksternal

3.2 Parameter Pada Seluruh Uji

- PCA digunakan untuk mereduksi dimensi data dari 192 x 168 menjadi 20
- Frekuensi *cut-off* yang digunakan dalam proses KI maupun KI + N adalah 7
- Komponen frekuensi DC dari seluruh data saat proses KI + N adalah 19000



BAB 4

HASIL DAN ANALISIS EKSPERIMEN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil eksperimen beserta analisis dari hasil masing-masing eksperimen. Penulis sendiri membagi pembahasan menjadi 2 bagian: uji internal dan uji eksternal. Pada setiap bagian, Penulis akan menganalisis hasil dari seluruh eksperimen.

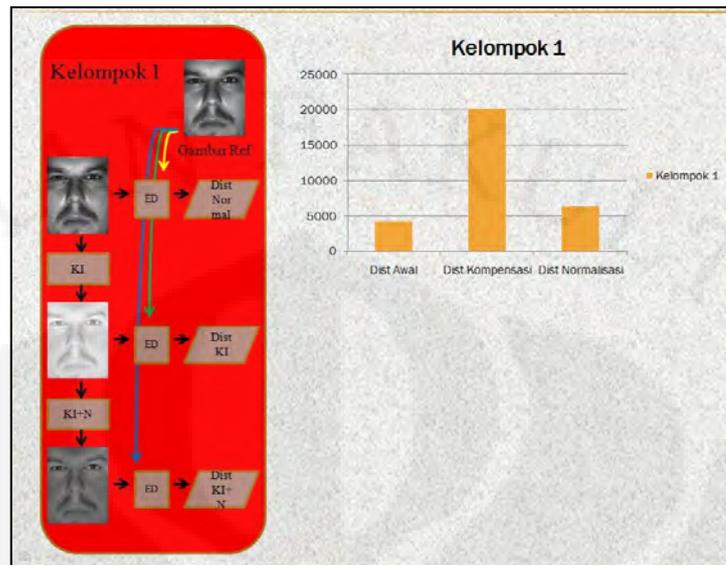
4.1 Hasil dan Analisis Eksperimen Uji Internal

Pada bagian ini Penulis akan memberikan penjelasan mengenai eksperimen meliputi hasil dan analisis dari setiap eksperimen pada uji internal. Penulis membagi pembahasan menjadi 4 bagian dengan masing-masing bagian mewakili 1 kelompok. Untuk kelompok 2 dan 3, akan dibagi lagi menjadi 2 bagian yaitu bagian kiri dan kanan wajah

Dari setiap uji internal di setiap kelompok akan didapatkan 3 keluaran dalam diagram batang. Keluaran *Dist Awal* menyatakan jarak antara vektor referensi dengan vektor data uji bersifat normal. Vektor referensi adalah vektor dari rata-rata seluruh vektor data *database* dari kelas data yang bersangkutan. Artinya, andaikan data uji berasal dari kelas 1, vektor referensi adalah rata-rata dari 20 vektor data *database* dari kelas 1. Keluaran *Dist Kompensasi* sendiri menyatakan jarak antara vektor referensi dengan vektor data uji bersifat KI dan keluaran *Dist Normalisasi* menyatakan jarak antara vektor referensi dengan vektor data uji bersifat KI+N.

Keluaran *Dist Awal* menyatakan tingkat keserupaan antara data awal dengan data referensi. Keluaran *Dist Kompensasi* menyatakan seberapa serupakah data terkompensasi dengan data referensi. Sedangkan, keluaran *Dist Normalisasi* menyatakan keserupaan data terkompensasi dan ternormalisasi dengan data referensi. Dari ketiga keluaran ini dapat dilihat apakah data akan semakin serupa dengan data yang diinginkan (data referensi). Semakin kecil hasil keluaran maka kedua data (data uji dan data referensi) semakin serupa.

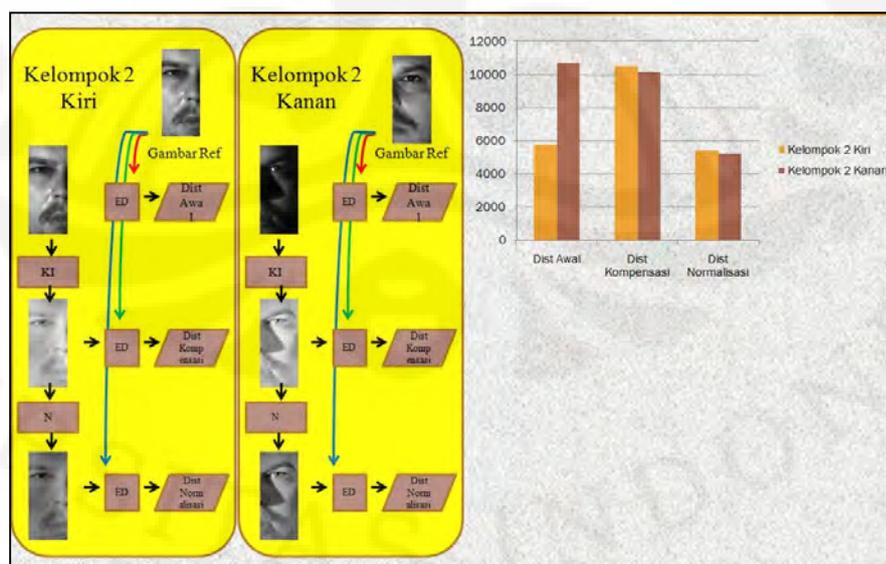
4.1.1 Uji Internal Kelompok 1



Gambar 4.1 Hasil Uji Internal Kelompok 1

Dapat dilihat bahwa besarnya keluaran *Dist Awal* berkisar 4000, keluaran *Dist Kompensasi* berkisar 20000, dan keluaran *Dist Normalisasi* berkisar 6000. Dapat dilihat, untuk kelompok 1, proses KI dan KI+N semakin menjauhkan keserupaan data uji dengan data referensi.

4.1.2 Uji Internal Kelompok 2



Gambar 4.2 Hasil Uji Internal Kelompok 2

Pada uji internal kelompok 2, Penulis membagi hasilnya menjadi 2 bagian. Untuk data *kelompok 2 kiri* (keserupaan vektor gambar wajah bagian kiri dengan vektor gambar wajah referensi) nilai *Dist Awal* berkisar 6000, *Dist Kompensasi* berkisar 11000 dan *Dist Normalisasi* berkisar 5000. Untuk data *kelompok 2 kanan* (keserupaan vektor gambar wajah bagian kanan dengan vektor gambar wajah referensi) nilai *Dist Awal* berkisar 11000, *Dist Kompensasi* berkisar 10000 dan *Dist Normalisasi* berkisar 5000.

Dapat dilihat bahwa bagian kiri gambar wajah cukup serupa dengan gambar wajah referensi. Proses KI membuat tingkat keserupaan ini menurun. Namun, proses KI+N meningkatkan keserupaan ini lagi. Hal yang sama terjadi untuk gambar wajah bagian kanan. Bedanya, proses KI telah mampu menyerupakan gambar wajah bagian kanan dengan gambar wajah referensi.

4.1.3 Uji Internal Kelompok 3



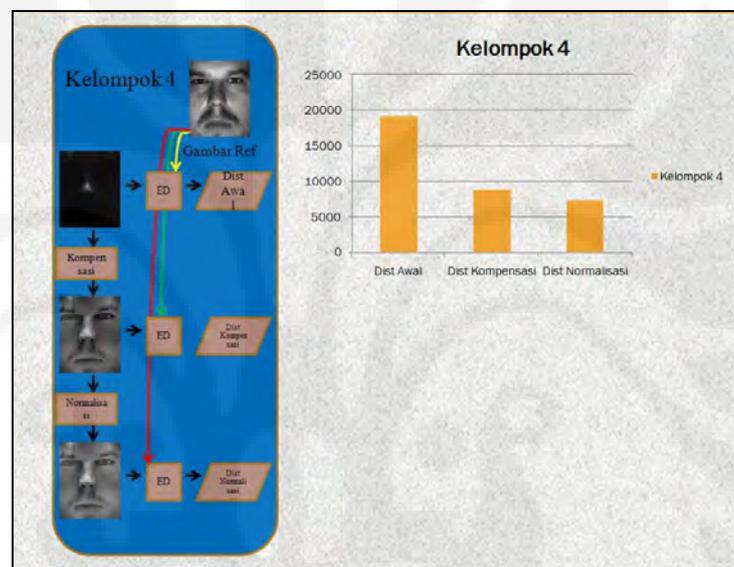
Gambar 4.3 Hasil Uji Internal Kelompok 3

Pada uji internal kelompok 3, Penulis membagi hasilnya menjadi 2 bagian. Untuk data *kelompok 3 kiri* (keserupaan vektor gambar wajah bagian kiri dengan vektor gambar wajah referensi) nilai *Dist Awal* berkisar 14000, *Dist Kompensasi* berkisar 6000 dan *Dist Normalisasi* berkisar 5000. Untuk data *kelompok 3 kanan* (keserupaan vektor gambar wajah bagian kanan dengan vektor gambar wajah

referensi) nilai *Dist Awal* berkisar 6000, *Dist Kompensasi* berkisar 6000 dan *Dist Normalisasi* berkisar 5000.

Dapat dilihat bahwa bagian kiri gambar wajah cukup serupa dengan gambar wajah referensi. Proses KI membuat tingkat keserupaan ini meningkat. Proses KI+N semakin meningkatkan keserupaan ini lagi. Hal yang sama terjadi untuk gambar wajah bagian kanan. Bedanya, proses KI sedikit menurunkan tingkat keserupaan gambar wajah bagian kanan dengan gambar wajah referensi.

4.1.4 Uji Internal Kelompok 4

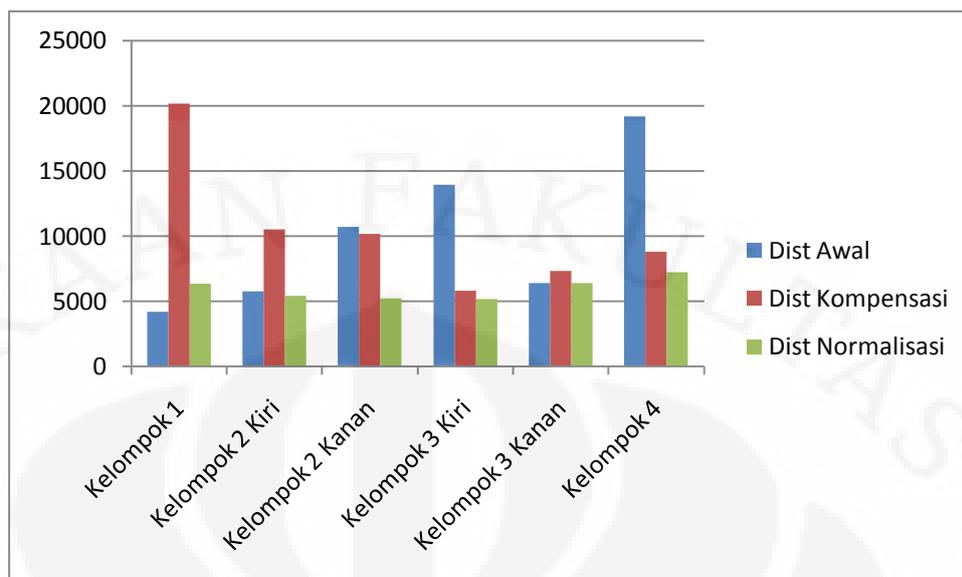


Gambar 4.4 Hasil Uji Internal Kelompok 4

Dapat dilihat bahwa besarnya keluaran *Dist Awal* berkisar 19000, keluaran *Dist Kompensasi* berkisar 9000, dan keluaran *Dist Normalisasi* berkisar 7000. Dapat dilihat, untuk kelompok 1, proses KI dan KI+N semakin mendekatkan keserupaan data uji dengan data referensi.

4.1.5 Analisis Seluruh Uji Internal

Dari grafik di bawah, dapat dilihat bahwa gambar uji sebelum mengalami proses KI maupun KI+N, perhatikan batang berwarna biru, adalah cukup berbeda (lebih besar dari 10000 AU) dengan gambar referensi. Pengecualian terjadi untuk kelompok 1, kelompok 2 kiri, dan kelompok 3 kanan.



Gambar 4.5 Hasil Uji Internal Seluruh Kelompok

Untuk kelompok 1, hal ini wajar karena gambar referensi berasal dari sebagian gambar uji kelompok 1. Sehingga, proses manipulasi pada gambar uji akan menjauhkan keserupaan gambar uji dengan gambar referensi. Untuk kelompok 2 kiri dan kelompok 3 kanan, hal ini karena gambar referensi untuk bagian kiri dari gambar wajah kelompok 2 dan gambar referensi untuk bagian kanan dari gambar wajah kelompok 3 memiliki tingkat penerangan yang baik.

Pada kelompok 1, kelompok 2 kiri, dan kelompok 3 kanan (dimana tingkat keserupaan dengan gambar referensinya tinggi) proses kompensasi iluminasi belum mampu mendekatkan gambar data uji dengan gambar data referensi. Sebaliknya, pada 3 kelompok lainnya, proses kompensasi iluminasi telah mampu meningkatkan keserupaan antara gambar wajah data uji dengan gambar wajah data referensi.

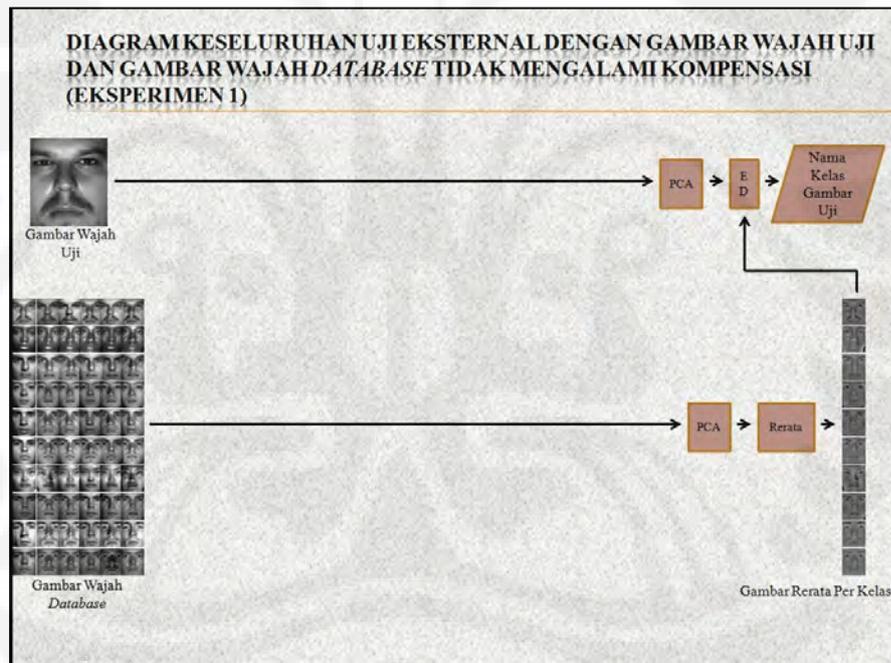
Namun, untuk seluruh kelompok kecuali kelompok 1, proses kompensasi iluminasi dan normalisasi mampu meningkatkan keserupaan gambar wajah data uji dengan gambar wajah data referensi. Untuk kelompok 1, alasan yang sama dengan sebelumnya dapat digunakan sebagai alasan perbedaan hasil yang didapatkannya dibanding kelompok lain. Hasil ini juga menjelaskan bahwa proses kompensasi iluminasi dan iluminasi telah mampu meningkatkan keserupaan antara data-data dari kelas yang sama.

4.2 Hasil dan Analisis Eksperimen Uji Eksternal

Pada bagian ini Penulis akan memberikan penjelasan mengenai eksperimen meliputi hasil dan analisis dari setiap eksperimen pada uji eksternal. Uji eksternal ini terbagi menjadi 5 eksperimen. Eksperimen-eksperimen ini dibagi menjadi 3 bagian dalam tahap analisisnya. Pada bagian akhir akan dianalisis hasil keseluruhan uji eksternal.

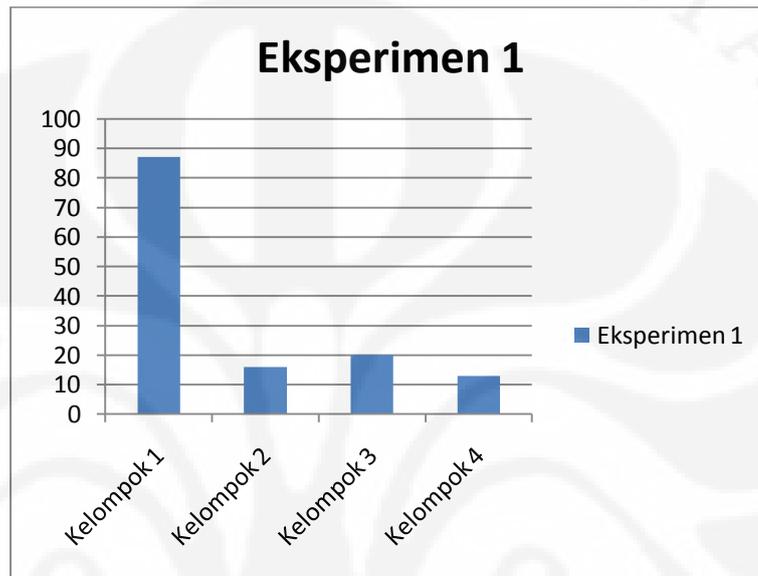
Pada pembahasan hasil dan analisis uji eksternal ini, akan didapatkan persentase keberhasilan sistem pengenalan wajah terhadap ke-4 kelompok. Akan diberikan juga persentase keberhasilan sistem pengenalan wajah gabungan seluruh kelompok.

4.2.1 Eksperimen 1 (data uji dan data database bersifat normal)



Gambar 4.6 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 1

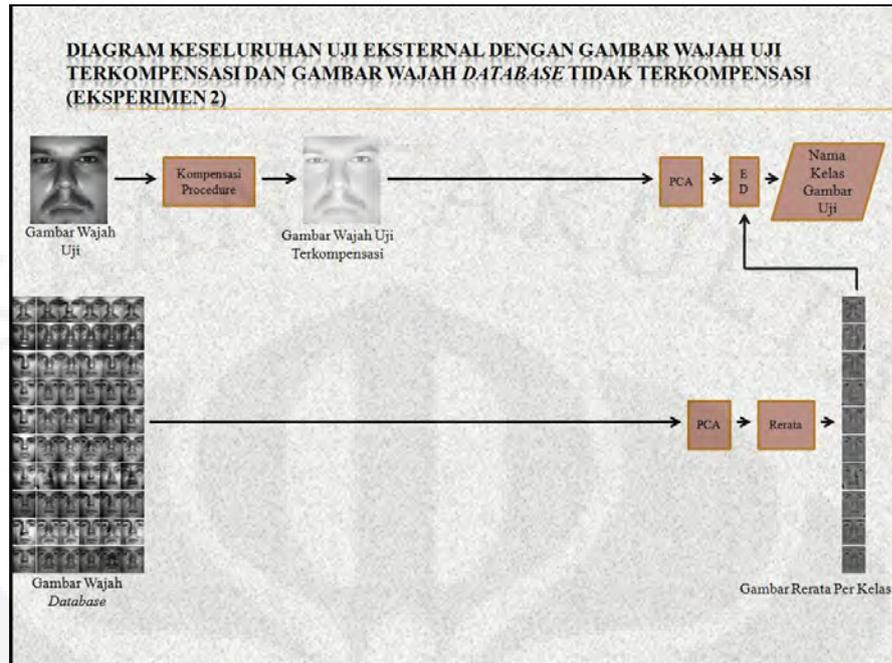
Gambar di atas memperlihatkan algoritma dari sistem pengenalan wajah dari eksperimen ini. Untuk mengetahui hasil eksperimen 1 sendiri, dapat dilihat dalam tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.1 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 1**Gambar 4.7** Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 1

Dari grafik dan tabel di atas dapat dilihat bahwa persentase keberhasilan pengenalan kelompok 1 adalah yang paling tinggi. Hal ini wajar karena pada kelompok ini terdapat gambar-gambar wajah dengan penerangan baik di seluruh bagian gambar. Tingkat pengenalan yang rendah pada 3 kelompok lainnya dapat dimaklumi karena gambar wajah memang belum mengalami kompensasi iluminasi maupun normalisasi sehingga masih sulit dibedakan antara gambar wajah dari satu kelas dengan gambar wajah kelas lainnya.

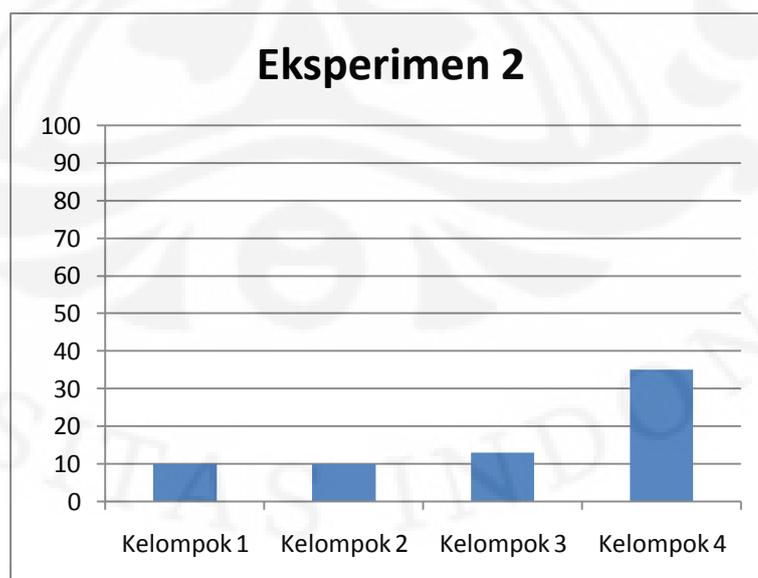
4.2.2 Eksperimen 2 (data uji bersifat KI dan data database bersifat normal) dan Eksperimen 3 (data uji dan data database bersifat KI)

Gambar 4.8 di bawah memperlihatkan algoritma dari sistem pengenalan wajah dari eksperimen 2. Hasil eksperimen 2 sendiri terdapat dalam tabel 4.2 dan gambar 4.9.



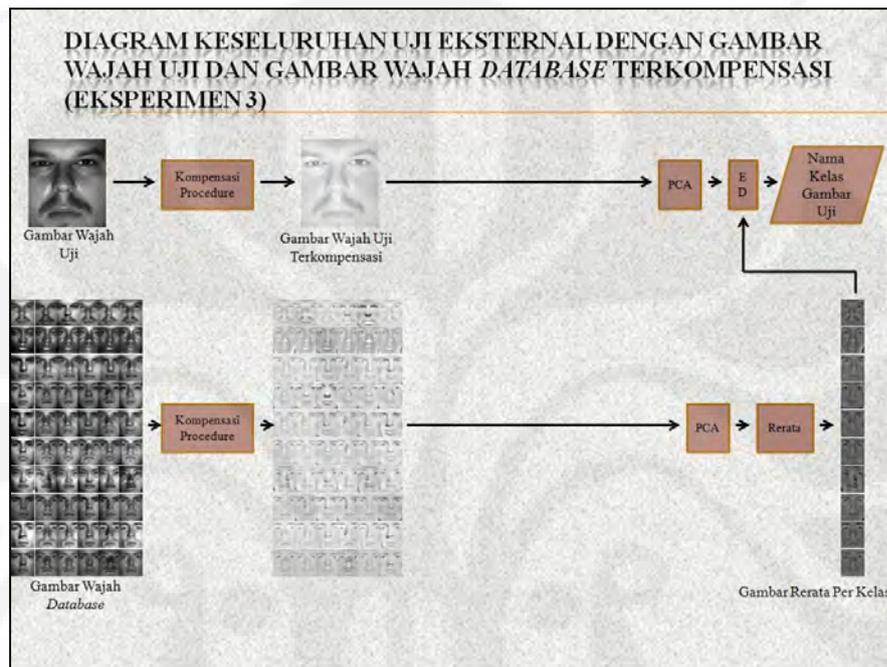
Gambar 4.8 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 2

Tabel 4.2 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 2



Gambar 4.9 Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 2

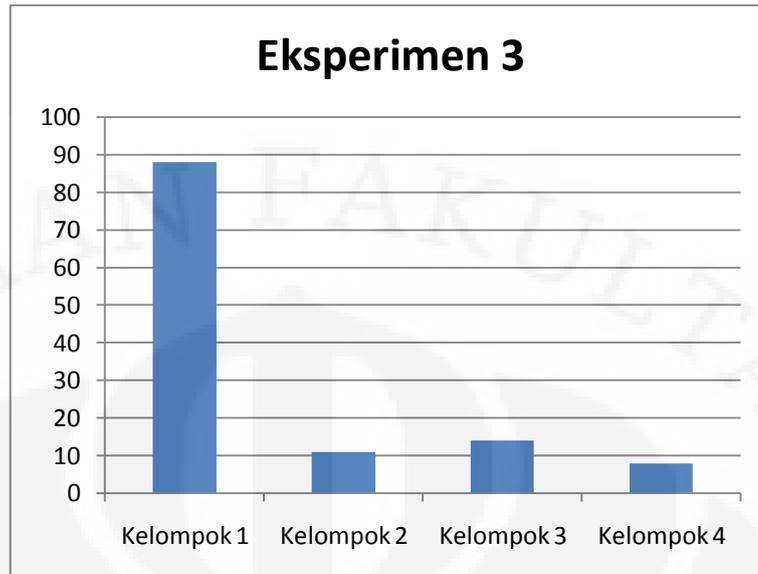
Dari tabel dan diagram di atas dapat dilihat bahwa tingkat pengenalan tertinggi didapat pada kelompok 4. Hal ini karena tingkat penerangan dari gambar wajah uji kelompok 4 lebih menyerupai tingkat penerangan dari gambar wajah *database* dibanding lainnya. Untuk kelompok lainnya, tingkat penerangan yang didapat gambar wajah uji cukup berbeda dengan tingkat penerangan gambar wajah *database* sehingga persentase keberhasilannya pun kecil.



Gambar 4.10 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 3

Gambar di atas memperlihatkan algoritma dari sistem pengenalan wajah dari eksperimen 2. Hasil eksperimen 2 sendiri terdapat dalam tabel dan diagram batang berikut.

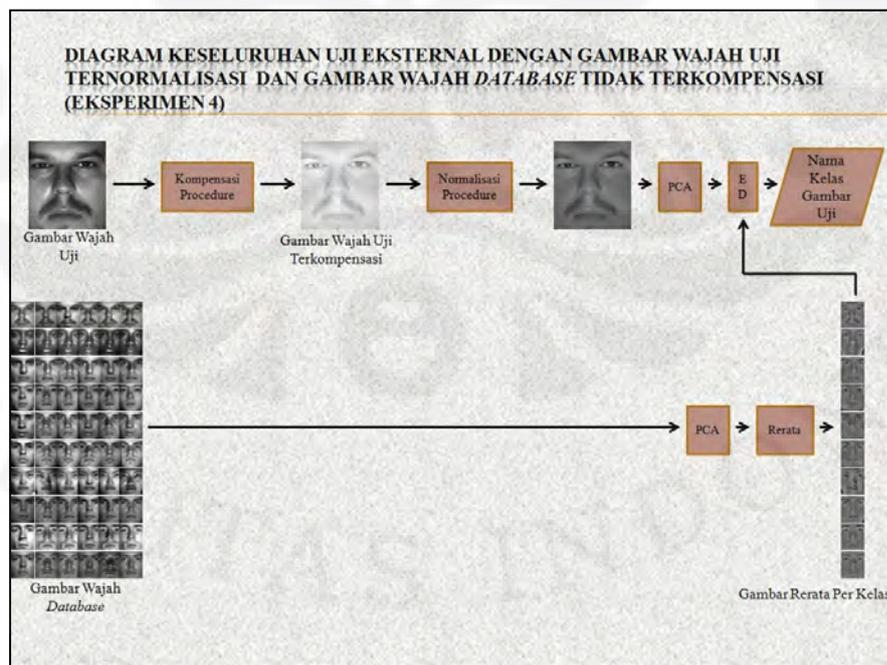
Tabel 4.3 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 3



Gambar 4.11 Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 3

Dapat dilihat bahwa kelompok 1 memiliki tingkat pengenalan paling baik. Proses kompensasi iluminasi pada gambar wajah *database* membuat persebaran keberhasilan sistem pengenalan wajah menyerupai hasil eksperimen 1.

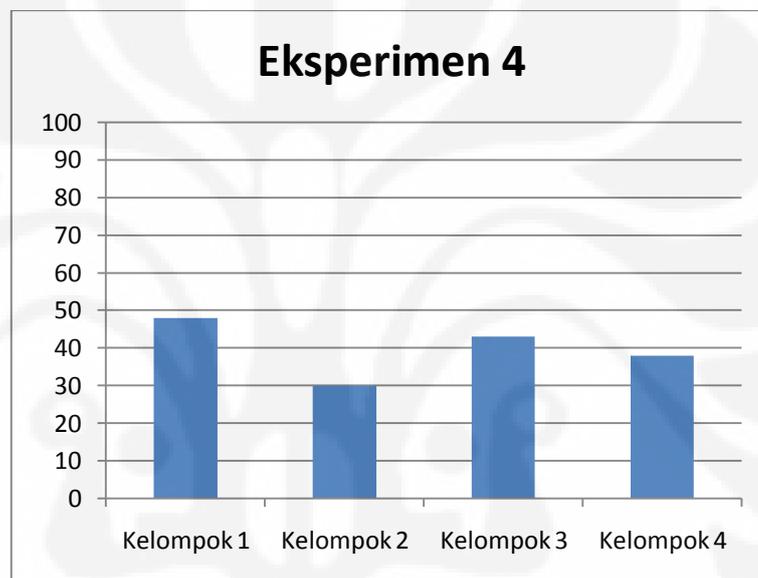
4.2.3 Eksperimen 4 (data uji bersifat KI+N dan data database bersifat normal) dan Eksperimen 5 (data uji dan data database bersifat KI+N)



Gambar 4.12 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 4

Gambar di atas memperlihatkan algoritma dari sistem pengenalan wajah dari eksperimen 4. Hasil eksperimen 4 sendiri terdapat dalam tabel dan diagram batang berikut.

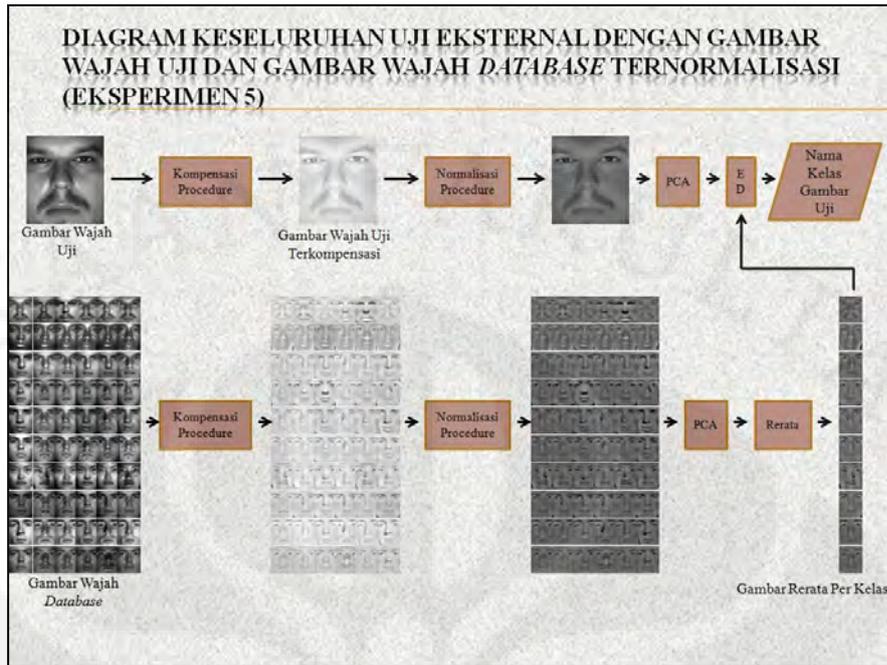
Tabel 4.4 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 4



Gambar 4.13 Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 4

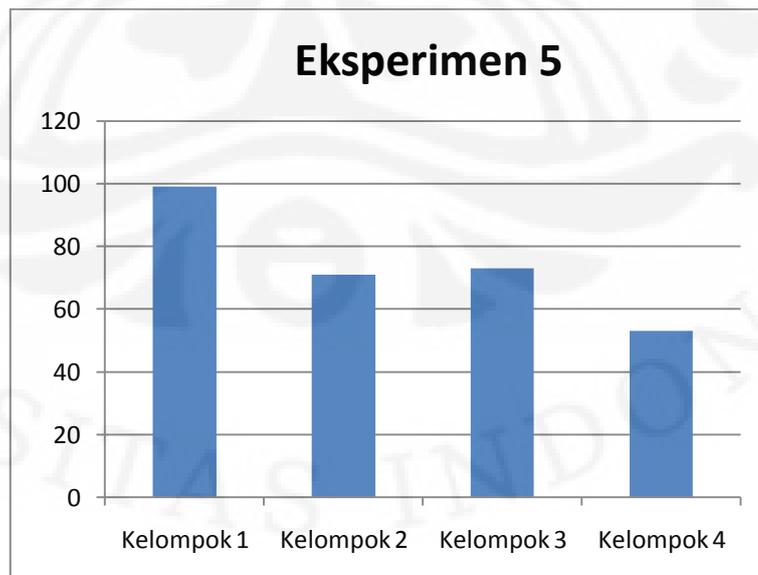
Dari gambar dan diagram di atas dapat dilihat bahwa persebaran tingkat persentase keberhasilan pengenalan merata di seluruh kelompok. Persentase keberhasilan tertinggi masih didapatkan oleh kelompok 1.

Perhatikan gambar 4.14 berikut. Dari gambar 4.14 dapat dilihat algoritma dari sistem pengenalan wajah dari eksperimen 5. Algoritmanya serupa dengan eksperimen 4 namun, sama seperti eksperimen 3, seluruh gambar wajah *database* juga mengalami proses kompensasi iluminasi dan normalisasi seperti halnya gambar wajah uji. Hasil eksperimen 5 sendiri terdapat dalam tabel 4.5 dan grafik pada gambar 4.15.



Gambar 4.14 Algoritma Uji Eksternal Eksperimen 5

Tabel 4.5 Hasil Uji Eksternal Eksperimen 5

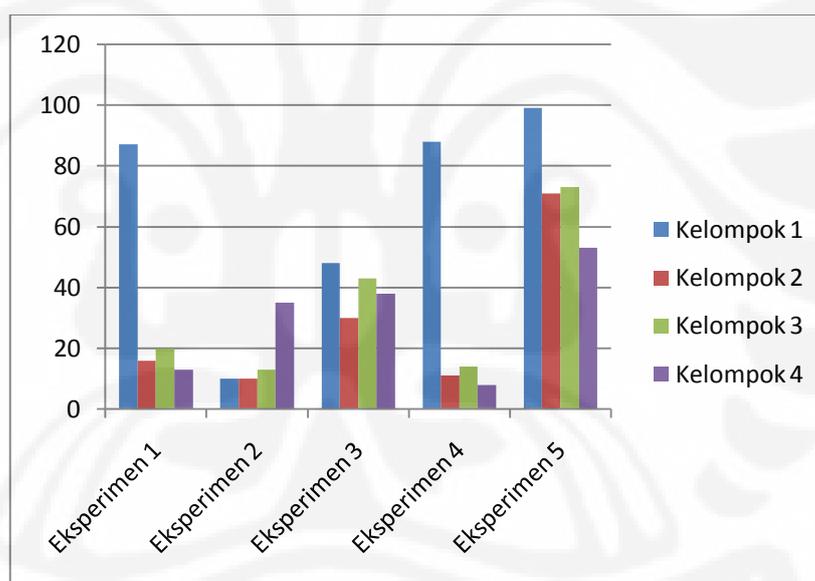


Gambar 4.15 Grafik Hasil Uji Eksternal Eksperimen 5

Dari tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa persebaran tingkat persentase keberhasilan pengenalan adalah merata untuk setiap kelompok. Persentase tertinggi sendiri didapatkan oleh kelompok 1.

4.2.4 Analisis Seluruh Uji Eksternal

Tabel 4.6 Hasil Keseluruhan Uji Eksternal



Gambar 4.16 Grafik Hasil Keseluruhan Uji Eksternal

Dari eksperimen 1 dapat dilihat bahwa gambar wajah dari satu kelas dengan kelas lainnya sulit dibedakan. Dari eksperimen 2 dan eksperimen 3 dapat dilihat bahwa proses KI, baik untuk gambar wajah uji maupun untuk seluruh gambar wajah (uji dan *database*), belum mampu menghasilkan tingkat pengenalan yang baik untuk seluruh kelompok. Dari eksperimen 4 dan 5 dapat dilihat bahwa penggunaan proses KI+N dapat meratakan tingkat keberhasilan pengenalan dari seluruh kelompok. Bahkan, hasil dari kelompok 5 menunjukkan hasil yang cukup

memuaskan. Selain itu, dari eksperimen 3 dan 5 dapat dilihat bahwa manipulasi *database* dengan proses KI maupun KI+N akan memberikan tingkat keberhasilan pengenalan yang baik. Dari hasil-hasil tersebut dapat dilihat bahwa proses KI+N telah mampu semakin membedakan gambar wajah dari satu kelas dengan kelas lainnya kendati proses KI+N harus dilakukan juga pada gambar wajah *database*.

Persentase keberhasilan sendiri sebenarnya dapat ditingkatkan lagi dengan menggunakan frekuensi *cut off* yang berbeda selain 7. Angka 7 sebenarnya Penulis pilih secara acak. Berdasarkan referensi [3], nilai terbaik ada berkisar 18-25. Jumlah dimensi PCA yang dipakai pun seharusnya bukan 20. Hasil analisis kurva PCA pada lampiran memperlihatkan bahwa dimensi PCA yang seharusnya dipakai adalah 30. Besarnya komponen DC juga bisa diubah. Nilai 19000 pun Penulis pilih secara acak. Terakhir, proses pengelompokan dengan SOM sebenarnya kurang tepat. Sebenarnya pengelompokan yang lebih tepat untuk *cropped yale database* telah disediakan oleh si Pembuat *database*.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi berbagai kesimpulan dari hasil dan analisis semua eksperimen serta saran untuk pengembangan selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan dari berbagai eksperimen dan analisisnya yang ada pada bab 4:

1. Penggunaan kompensasi iluminasi dalam ruang dct logaritma mampu meratakan tingkat pencahayaan dari suatu gambar. Namun, belum dapat menyerupakan seluruh gambar dari kelas yang sama
2. Penggunaan normalisasi mampu menyerupakan seluruh gambar dari kelas yang sama
3. Penggunaan kompensasi iluminasi dalam ruang dct logaritma belum dapat membedakan gambar dari suatu kelas dengan gambar dari kelas lainnya
4. Penggunaan normalisasi mampu membedakan gambar dari suatu kelas dengan gambar dari kelas lainnya
5. Untuk digunakan dalam sistem pengenalan wajah sebagai tahap perataan pencahayaan, gambar seharusnya setelah mengalami kompensasi iluminasi dalam ruang dct logaritma juga mengalami proses normalisasi. Hal ini berlaku untuk seluruh gambar, baik gambar database maupun gambar uji

5.2 Saran

Berikut ini adalah beberapa saran untuk peneliti yang akan melanjutkan penelitian ini:

1. Gunakan jumlah dimensi ruang eigen yang sedikit lebih banyak dari yang ditentukan sebelumnya. Hal ini agar Peneliti tersebut tidak melakukan kesalahan serupa dengan yang Penulis lakukan.

2. Menggunakan *backpropagation* untuk menggantikan peran ED dalam sistem uji. Hal ini dikarenakan pada sistem pengenalan wajah sesungguhnya jarang menggunakan ED sebagai *classifier* dan lebih banyak menggunakan *neural network* (salah satunya *backpropagation*)
3. Lakukan proses pengelompokan sesuai metode yang telah disediakan oleh Pembuat *database*.
4. Gunakan frekuensi *cut-off* yang berbeda dari yang Penulis pakai, berkisar 18-25, untuk mendapat akurasi pengenalan yang lebih baik.
5. Gunakan nilai lain sebagai konstanta komponen DC dari gambar wajah

DAFTAR REFERENSI

- [1] Y. Aldini, Y. Moses, S. Ullman, "Face recognition: the problem of compensating for changes in illumination direction", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligent, 19 (7), pp.721-732, 1997.
- [2] A. S. Georghiades, P. N. Belhumeur, and D. W. Jacobs, "From few to many: illumination cone models for face recognition under variable lighting and pose," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel., vol. 23, no.6, pp. 630–660, Jun. 2001.
- [3] W. Chen, M.J. Er, S. Wu, "Illumination compensation and normalization for robust face recognition using discrete cosine transform in logarithm domain", IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics. B,36 (2) pp. 458-466, 2006.
- [4] E.H. Land, J.J. McCann, "Lightness and retinex theory", Journal of the Optical. Society of America,61 (1), pp. 1-11, 1971.