

BAB 2 HEMISPHERIC STRUCTURE OF HIDDEN LAYER DAN IMPLEMENTASI DENGAN INFORMASI SUDUT YANG DIKETAHUI

Pada Bab ini akan dijelaskan mengenai struktur Jaringan Syaraf Tiruan Hemispheric Structure of Hidden Layer (JST HSHL) yang dikembangkan oleh Prof. Dr. Benyamin Kusumoputro, M.Eng, Dr.Eng dan dilaksanakan oleh beberapa penelitian sebelumnya yang dilanjutkan oleh penulis dalam penelitian ini. Penjelasan ini meliputi arsitektur JST HSHL, vektor sudut pandang, vektor posisi, faktor pengali masukan dan keluaran lapisan tersembunyi, fungsi aktivasi, fungsi kesalahan dan sinyal kesalahan, fungsi kesalahan pelatihan, laju pelatihan dan momentum, aturan pelatihan JST HSHL, algoritma JST HSHL, serta aturan pengujian.

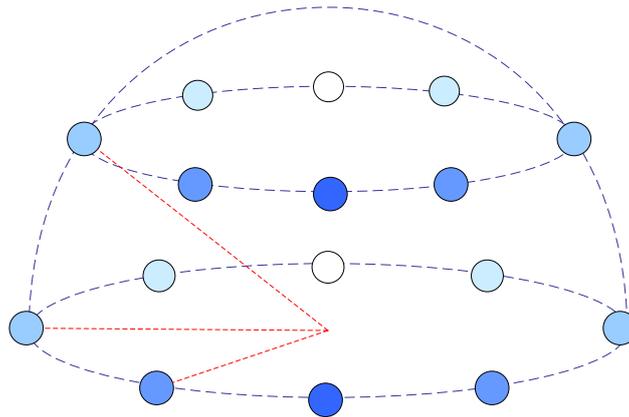
2.1 Arsitektur JST HSHL

Peningkatan kemampuan pengenalan JST Multi Layer Perceptron (MPL) dapat dilakukan dengan memodifikasi lapisan tersembunyi seperti yang telah dilakukan Suyatno yang mengkasikan struktur lapisan tersembunyi menjadi kumpulan lingkaran – lingkaran yang berbentuk silinder[SYM99]. JST yang dihasilkan ini mampu mengenali objek 3 dimensi dengan sudut horizontal yang beragam.

Lalu penelitian ini dilanjutkan dengan mengganti struktur lapisan tersembunyi yang semula silinder menjadi setengah bola konsentris oleh Galuh Dian Maulana. Hal ini bertujuan agar struktur JST dapat mengenali objek 3 dimensi dengan tidak hanya sudut horizontal yang beragam melainkan juga sudut vertikal yang beragam pula.

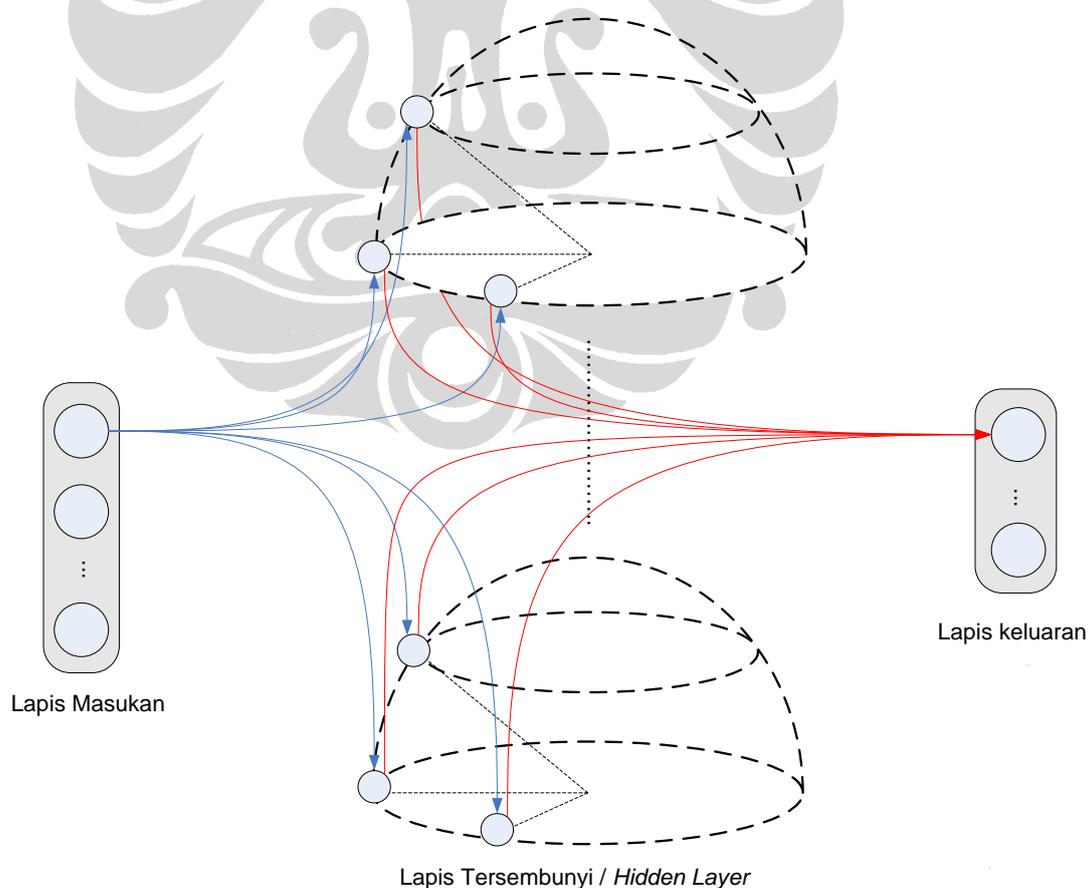
Arsitektur JST HSHL itu sendiri memiliki 3 lapisan. Lapisan pertama adalah lapisan masukan. Banyak neuron pada lapisan masukan bergantung pada besar vektor masukan. Pada penelitian kali ini, lapisan masukan menerima input vektor 1D berukuran 50, hal ini disebabkan data gambar yang dijadikan masukan berukuran 32x32 telah ditransformasikan kedalam ruang eigen dengan menggunakan Principle Component Analysis (PCA) dengan ukuran dimensi 1x50.

Lapisan kedua adalah lapisan tersembunyi yang berbentuk setengah bola konsentris yang terdiri dari neuron – neuron yang berada pada lapisan kulit dari setengah bola, letak dari neuron – neuron ini juga berada pada sudut vertikal dan horizontal tertentu.



Gambar 2.1 Ilustrasi Neuron yang berada pada *hemispher* di lapisan tersembunyi

Setiap bentuk cincin mewakili sudut elevasi tertentu dari kamera. Satu buah setengah bola disebut satu sublapis lapisan tersembunyi. Jumlah dari sublapis yang digunakan sebaiknya sama dengan kelas objek – objek yang akan dikenali yang dalam penelitian ini adalah jumlah dari orang yang akan dikenali [SYM99] **Error! Reference source not found.** Neuron – neuron pada lapisan tersembunyi terhubung penuh ke setiap neuron pada lapisan masukan (*fully connected*).



Gambar 2.2 Struktur JST HSHL dan keterkaitan neuron tiap lapisan

Lapisan ketiga adalah lapisan keluaran. Lapisan ini terdiri dari neuron – neuron yang berjumlah sesuai dengan jumlah objek yang akan dikenali. Seperti neuron pada lapisan tersembunyi yang terhubung penuh dengan neuron pada lapisan masukan, neuron – neuron yang ada pada lapisan keluaran juga terhubung penuh dengan neuron – neuron yang ada pada lapisan tersembunyi. Pada lapisan ini, setiap neuron menghasilkan nilai keluaran yang akan dievaluasi untuk *update* bobot pada fase pelatihan ataupun menghasilkan nilai keluaran pada fase pengujian.

2.2 Vektor Sudut Pandang dan Vektor Posisi

Pada JST HSHL ini salah satu faktor yang digunakan adalah sudut yang dimiliki setiap neuron dan sudut kamera yang dapat diambil dari gambar yang dijadikan masukan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, struktur JST HSHL pada lapisan tersembunyi berbentuk setengah bola (*hemispher*) dimana pusat dari setengah bola tersebut adalah letak objek wajah yang akan dijadikan masukan sedangkan letak kamera – kamera dan neuron – neuron tersebut berada pada lapisan kulit dari *hemispher*.

Dengan demikian, sudut pandang kamera terhadap objek wajah pada pusat *hemispher* tersebut dapat direpresentasikan dalam sistem koordinat bola. Transformasi koordinat bola dari letak setiap kamera menuju koordinat kartesius dapat menghasilkan *vektor sudut pandang*. Begitu pula yang letak neuron – neuron yang ada pada *hemispher*, transformasi koordinat bola dari posisi setiap neuron menuju koordinat kartesius akan menghasilkan *vektor posisi*. Kedua vektor tersebut (vektor sudut pandang dan vektor posisi) akan digunakan untuk menentukan faktor masukan dan faktor keluaran pada struktur JST HSHL yang akan dijelaskan kemudian.

2.2.1 Vektor Sudut Pandang

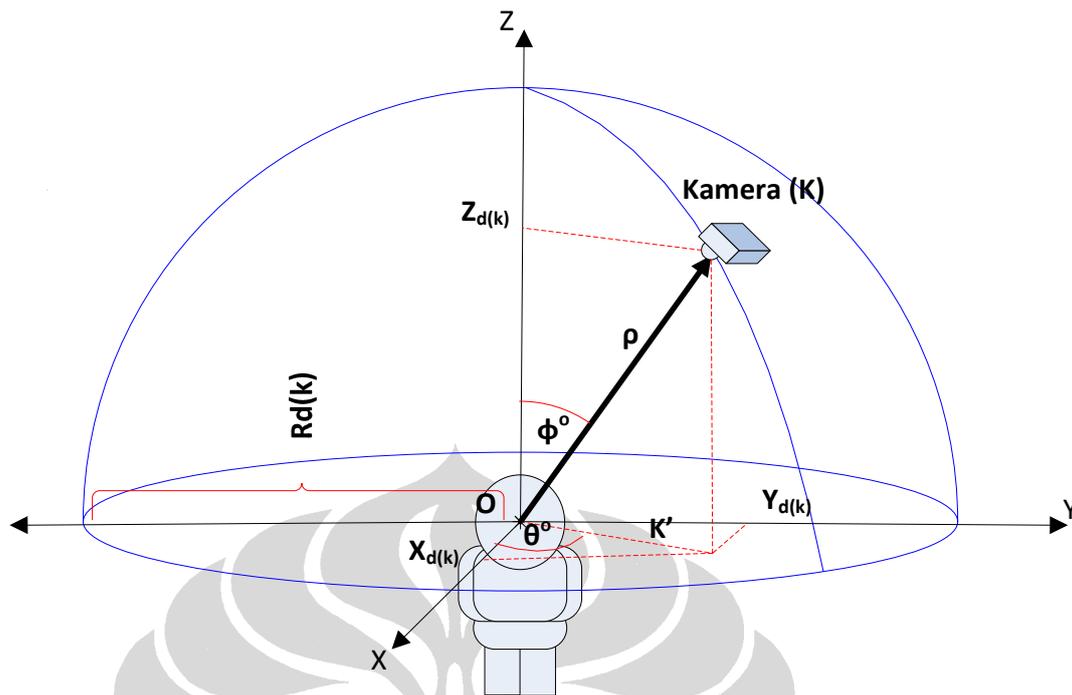
Setiap titik letak kamera direpresentasikan dengan koordinat *hemispher* (ρ, θ, φ) dengan ρ adalah panjang OK , θ adalah sudut antara K' dengan sumbu X positif dan φ adalah sudut antara vektor $|OK|$ dengan sumbu Z positif. Karena ρ adalah jari – jari *hemispher* $R_{d(k)}$ maka vektor sudut pandang $\mathbf{d}(k)$ adalah

$$\mathbf{d}(k) = [R_{d(k)}, \theta_{d(k)}, \varphi_{d(k)}] \quad (2 - 1)$$

Untuk mentransformasi vektor sudut pandang dari koordinat bola ke koordinat kartesius akan digunakan perhitungan sebagai berikut

$$\mathbf{d}(k) = [X_{d(k)}, Y_{d(k)}, Z_{d(k)}] \quad (2 - 2)$$

$$\mathbf{d}(k) = [R_{d(k)} \sin\theta_{d(k)} \cos\varphi_{d(k)}, R_{d(k)} \sin\theta_{d(k)} \sin\varphi_{d(k)}, R_{d(k)} \cos\theta_{d(k)}] \quad (2 - 3)$$



Gambar 2.3 Vektor Sudut Pandang

2.2.2 Vektor Posisi

Seperti halnya kamera, setiap neuron juga memiliki representasi koordinat *hemispher* berupa (ρ, θ, φ) dengan ρ adalah panjang ON , θ adalah sudut antara N' dengan sumbu X positif dan φ adalah sudut antara vektor $|ON|$ dengan sumbu Z positif. Karena ρ adalah jari – jari *hemispher* $R_{v(st)}$ maka vektor posisi $\mathbf{v}(st)$ adalah

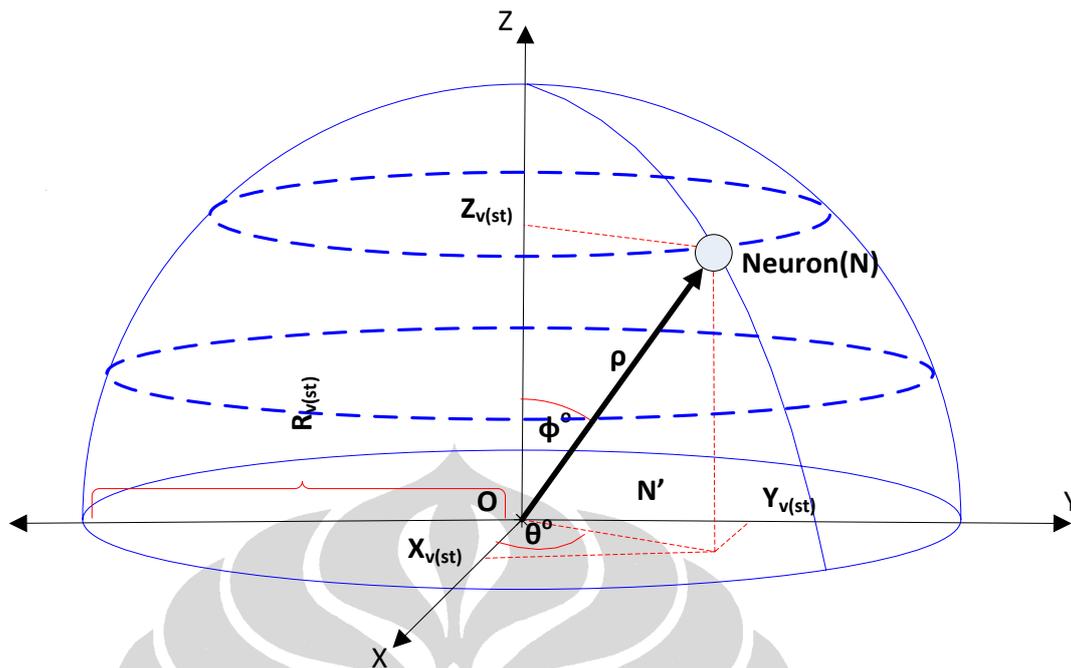
$$\mathbf{v}(st) = [R_{v(st)}, \theta_{v(st)}, \varphi_{v(st)}] \quad (2 - 4)$$

Untuk vektor posisi memiliki koordinat kartesius sebagai berikut

$$\mathbf{v}(st) = [X_{v(st)}, Y_{v(st)}, Z_{v(st)}]$$

$$\mathbf{v}(st) = [R_{v(st)} \sin\theta_{v(st)} \cos\varphi_{v(st)}, R_{v(st)} \sin\theta_{v(st)} \sin\varphi_{v(st)}, R_{v(st)} \cos\varphi_{v(st)}] \quad (2 - 5)$$

Dimana s adalah indeks cincin pada *hemispher* dan t adalah indeks neuron pada suatu cincin di *hemispher*.

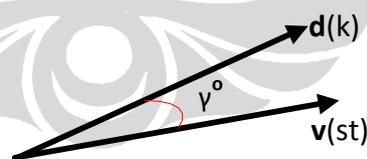


Gambar 2.4 Vektor Posisi

2.3 Faktor Pengali Masukan dan Keluaran Lapisan tersembunyi

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa vektor sudut pandang dan vektor posisi digunakan untuk menentukan faktor masukan (gh_{st}) dan faktor keluaran (go_{st}) pada lapisan tersembunyi.

Jika titik pusat antara vektor sudut pandang dan vektor posisi dihimpitkan maka perbedaan posisi antara kamera dan neuron pada struktur JST HSHL dapat dimodelkan sebagai dot product antara $d(k)$ dan $v(st)$



Gambar 2.5 Ilustrasi antara vektor sudut pandang $d(k)$ dan vektor posisi $v(st)$

$$\mathbf{d}(k) \cdot \mathbf{v}(st) = \|\mathbf{d}(k)\| \|\mathbf{v}(st)\| \cos \gamma \quad (2 - 6)$$

dengan :

- γ adalah sudut terkecil antara $\mathbf{d}(k)$ dan vektor posisi, $0 \leq \gamma \leq \pi$

$$\|\mathbf{d}(k)\| = \sqrt{X_{\bar{d}(k)}^2 + Y_{\bar{d}(k)}^2 + Z_{\bar{d}(k)}^2} \quad (2 - 7)$$

$$\|\mathbf{v}(st)\| = \sqrt{X_{\bar{v}(st)}^2 + Y_{\bar{v}(st)}^2 + Z_{\bar{v}(st)}^2} \quad (2 - 8)$$

Lalu, faktor masukan gh_{st} dari JST HSHL adalah sebagai berikut:

$$gh_{st} = \begin{cases} \mathbf{d}(k) \bullet \mathbf{v}(st) & \text{jika } (\mathbf{d}(k) \bullet \mathbf{v}(st)) \geq 0 \\ 0 & \text{jika } (\mathbf{d}(k) \bullet \mathbf{v}(st)) < 0 \end{cases} \quad (2 - 9)$$

Sedangkan faktor keluaran go_{st} dari JST HSHL ini adalah sebagai berikut:

$$go_{st} = \begin{cases} 1 & \text{jika } (\mathbf{d}(k) \bullet \mathbf{v}(st)) \geq 0 \\ 0 & \text{jika } (\mathbf{d}(k) \bullet \mathbf{v}(st)) < 0 \end{cases} \quad (2 - 10)$$

Dengan persamaan (2 - 9) dan (2 - 10) maka untuk menghitung nilai masukan ke setiap neuron pada lapisan tersembunyi dari lapisan masukan dan nilai aktivasi yang dihasilkan adalah sebagai berikut

$$z_{st} = S(z_in_{st}) \quad (2 - 11)$$

$$Z_in_{st} = gh_{st} (b_{jst} + \sum_{i=1}^I x_i v_{ijst}) \quad (2 - 12)$$

Sedangkan untuk nilai keluaran dari lapisan tersembunyi menuju lapisan keluaran adalah sebagai berikut

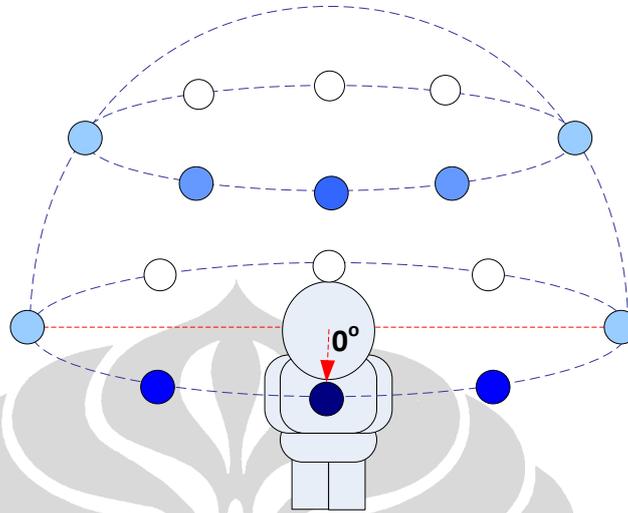
$$o_k = S(y_in_k) \quad (2 - 13)$$

$$y_in_k = b_k + \sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T go_{st} w_{kjst} z_{jst} \quad (2 - 14)$$

Dapat dilihat dari persamaan (2 - 12) bahwa faktor gh_{st} mempengaruhi seberapa besar masukan ke tiap neuron pada lapisan tersembunyi dalam proses pelatihan. Setiap neuron yang memiliki vektor posisi yang searah dengan vektor sudut pandang dari kamera akan mendapatkan sinyal masukan yang lebih kuat sedangkan semakin besar sudut yang dibentuk vektor posisi dari neuron dengan vektor sudut pandang (γ) akan semakin kecil pula sinyal masukan yang diterimanya. Sedangkan untuk neuron yang vektor posisinya memiliki besar sudut ($\gamma < -\pi/2$ atau $\gamma > \pi/2$) atau dengan kata lain kedua vektor tersebut bersebrangan[WBP04] maka nilai masukan yang dihasilkan diabaikan atau 0.

Faktor go_{st} digunakan pada saat menentukan nilai masukan dari lapisan keluaran. Faktor ini berguna seperti faktor gh_{st} pada lapisan tersembunyi, go_{st} berguna untuk memberikan sinyal yang lebih besar kepada neuron yang harus lebih banyak belajar[WBP04]. Seperti pada persamaan (2 - 14) jika go_{st} bernilai 1 maka neuron tersebut akan memberikan masukan kepada lapisan keluaran sedangkan jika go_{st} bernilai 0 diabaikan.

Berikut ini adalah ilustrasi jika ada objek wajah yang memiliki sudut pandang kamera dengan sudut $\theta = 0^\circ$ dan $\varphi = 0^\circ$ maka intensitas warna menunjukkan intensitas neuron dalam mendapatkan masukan (semakin gelap semakin besar)



Gambar 2.6 Ilustrasi intensitas masukan yang diterima tiap neuron

2.4 Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi $S(\bullet)$ adalah fungsi yang digunakan untuk mengeluarkan nilai yang digunakan sebagai masukan baik dari lapisan masukan menuju lapisan tersembunyi dan dari lapisan tersembunyi menuju lapisan keluaran. Fungsi aktivasi ini haruslah memiliki perhitungan yang efisien dan mendukung dalam proses pelatihan. Oleh karena itu, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan fungsi aktivasi yang diantaranya adalah sebagai berikut[DRP00]

- $S(\bullet)$ adalah fungsi non linear.
- $S(\bullet)$ memiliki nilai asimtotik untuk masukan yang semakin besar atau semakin kecil. Dengan kata lain $S(\bullet)$ memiliki nilai jenuh. Hal ini diperlukan untuk mengkompresi nilai masukan kedalam range tertutup.
- $S(\bullet)$ kontinu dan differentiable untuk semua nilai \bullet . Hal ini penting karena, metode pelatihan propagasi balik menggunakan turunan dari fungsi aktivasi untuk menentukan perbaikan bobot. $S(\bullet)$ naik secara monoton (monotonically increase) dan, dari segi biaya komputasi, lebih baik lagi jika $S'(\bullet)$ dapat dinyatakan dalam $S(\bullet)$.

Fungsi *sigmoid* adalah fungsi yang memiliki karakteristik tersebut di atas. Terdapat dua jenis yang termasuk fungsi sigmoid yaitu fungsi *sigmoid biner* dan fungsi *sigmoid bipolar* Adapun kedua fungsi *sigmoid* adalah sebagai berikut

- Fungsi *sigmoid biner*

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (2 - 15)$$

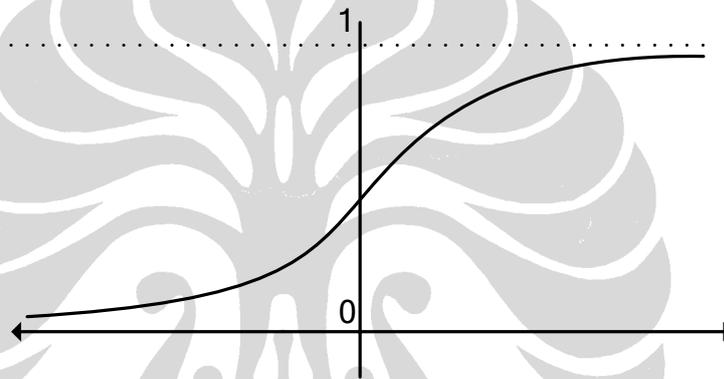
$$f'(x) = f(x)[1 - f(x)] \quad (2 - 16)$$

- o Fungsi *sigmoid bipolar*

$$f(x) = \frac{2}{1 + \exp(-x)} - 1 \quad (2 - 17)$$

$$f'(x) = \frac{1}{2}[1 + f(x)][1 - f(x)] \quad (2 - 18)$$

Pada penelitian kali ini, digunakan fungsi sigmoid biner sebagai fungsi aktivasi.



Gambar 2.7 Fungsi sigmoid biner

2.5 Fungsi Kesalahan dan Sinyal Kesalahan

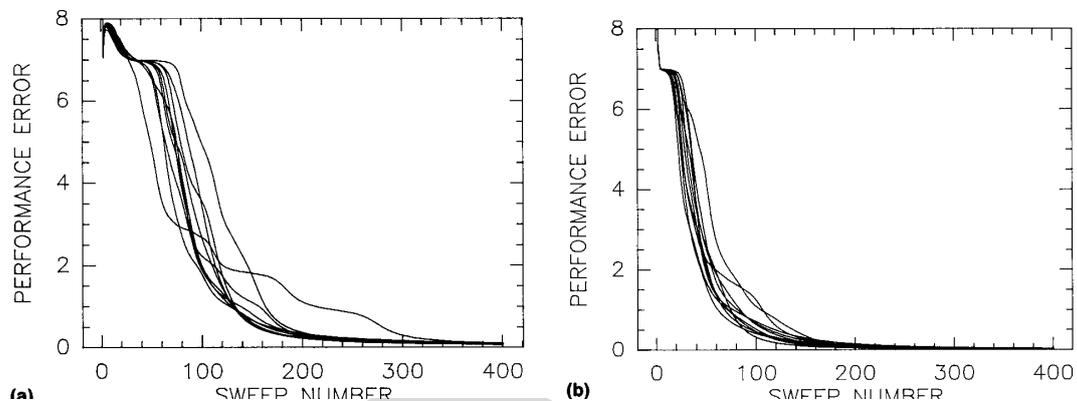
Fungsi kesalahan dan sinyal kesalahan ini digunakan sebagai umpan balik dalam proses pelatihan pada struktur JST HSHL setiap pola pelatihan yang memanfaatkan pendekatan *gradient descent* untuk memperbaiki bobot pada jaringan. Arah dan fungsi gradien diturunkan dengan menggunakan fungsi aktivasi pada neuron lapisan keluaran.

Pada penelitian kali ini, digunakan fungsi kesalahan cross entropy yang juga digunakan pada penelitian sebelumnya. Fungsi cross entropy adalah sebagai berikut

$$E = \sum -t_q \ln(o_q) - (1 - t_q) \ln(1 - o_q) \quad (2 - 19)$$

Menurut van Ooyen dan Nienhuis, fungsi cross entropy dapat mempercepat konvergensi jaringan[VNC92]. Pada fungsi kesalahan *Root Mean Squared Error* neuron output bisa memberikan respon yang sangat jauh dari target, tetapi hanya menghasilkan sinyal error yang kecil. Penggunaan *cross entropy* sebagai fungsi kesalahan menyebabkan sinyal kesalahan berbanding lurus dengan beda antara nilai keluaran (o_k) dan target (t_k). sehingga sinyal kesalahan tetap cukup besar untuk error

yang ekstrim. Hal ini dapat mempercepat konvergensi di epoch-epoch awal, saat bobot masih sedikit menyesuaikan diri.



Gambar 2.8 Perbandingan kecepatan konvergensi antara pelatihan dengan *mean squared error* (a) dan *cross entropy error* (b)

Gambar di atas menunjukkan perbandingan antara kedua metode. JST yang digunakan terdiri atas delapan neuron input, tiga neuron tersembunyi dan delapan neuron keluaran. JST tersebut digunakan untuk menyelesaikan masalah encoding (*encoding problem*). Jaringan dilatih untuk memetakan pola masukan berupa *string* 8 bit yang saling ortogonal, yang dipetakan menjadi *string* 3 bit pada neuron tersembunyi, dan kemudian dipetakan kembali menjadi *string* 8 bit yang sama dengan pola masukan di neuron keluaran. Dapat dilihat konvergensi pelatihan dengan *cross entropy* lebih cepat dibandingkan dengan *root mean squared error*[WBP04].

Meskipun demikian, turunya error dengan terlalu cepat mengarah kepada kondisi *overfitting* dimana JST kehilangan kemampuan untuk menggeneralisasi masukan yang tidak dilatihkan. Untuk menghindari hal ini, dalam penelitian ini, jumlah epoch pelatihan dibatasi jika sudah mencapai *tingkat kesalahan pelatihan* tertentu[WBP04].

2.6 Fungsi Kesalahan Pelatihan

Berbeda dengan fungsi kesalahan yang telah dijelaskan sebelumnya, fungsi kesalahan pelatihan adalah fungsi untuk memonitor laju pelatihan secara keseluruhan dengan mengakumulasikan semua nilai fungsi kesalahan dari setiap pola pelatihan dalam satu epoch.

Pada penelitian ini digunakan fungsi kesalahan pelatihan *root mean square normalized error*

$$E_{rms} = \frac{1}{PQ} \sqrt{\sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q (t_{pq} - o_{pq})^2} \quad (2 - 20)$$

dengan

- P adalah jumlah pola masukan untuk pelatihan.

- Q adalah jumlah neuron pada lapisan keluaran.

2.7 Laju Pelatihan dan Momentum

Sesuai metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *back propagation*, untuk melakukan perbaikan bobot dalam jaringan dalam proses pelatihan digunakan aturan sebagai berikut

$$w_{k+1} = w_k + \Delta w_k \quad (2 - 21)$$

$$\Delta w_k = \alpha \delta_k + \eta \Delta w_{k-1} \quad (2 - 22)$$

Dengan α adalah laju pelatihan dengan range nilai antara 0 s/d 1 dan η adalah momentum dimana δ_k adalah nilai error dari neuron pada lapisan keluaran ataupun error dari lapisan tersembunyi.

Momentum diperkenalkan oleh Rumelhart (1986). Momentum bertujuan untuk mempertahankan stabilitas jaringan. Momentum yang besar menjaga agar perubahan bobot kearah yang global minimum tetap menuju kesana. Analogi yang sesuai misalnya adalah kendaraan besar (truk) dan kendaraan kecil (sedan) yang sedang berjalan dengan kecepatan tetap yang sama. Meskipun keduanya bergerak dengan kecepatan yang sama dan kearah yang sama, sedan lebih mudah untuk merubah arah dibandingkan truk. Nilai η dipilih dalam interval [0,1] [WBP04].

2.8 Aturan Pelatihan HSHL

Aturan pelatihan JST HSHL sebenarnya tidak jauh berbeda dengan *neural network with back propagation*. Memiliki 2 tahapan besar yaitu *feed forward* dan *back propagation*, pada fase *feed forward* setiap neuron pada lapisan masukan x_{ij} memberikan masukan ke setiap neuron v_{jst} pada lapisan tersembunyi, lalu setiap neuron v_{jst} yang ada pada lapisan tersembunyi mengkalkulasi nilai keluaran yang nantinya akan menjadi nilai masukan pada setiap neuron y_k pada lapisan keluaran yang nantinya setiap neuron lapisan keluaran y_k akan menghasilkan nilai keluaran o_k . Sesuai dengan pendekatan *back propagation* yang pelatihan yang *supervise* maka nilai keluaran o_k dari setiap neuron y_k pada lapisan keluaran akan dibandingkan dengan nilai yang seharusnya t_k dan akan dikalkulasi pada fase *back propagation*.

$$\delta_k = t_k - o_k \quad (2 - 23)$$

Pada fase *back propagation*, setiap bobot dari jaringan baik antara lapisan masukan dengan lapisan tersembunyi maupun antara lapisan tersembunyi dengan lapisan keluaran akan dilakukan penyesuaian dengan aturan sebagai berikut

Dalam *update* bobot w_{qjst} jaringan antara lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran digunakan aturan sebagai berikut

$$w_{kfst}(t+1) = w_{kfst}(t) + \Delta w_{kfst}(t+1) \quad (2-24)$$

$$\Delta w_{kfst}(t+1) = \alpha \delta_k z_{fst} g o_{st} + \eta \Delta w_{kfst}(t) \quad (2-25)$$

Update bias b_k pada lapisan neuron tersembunyi dan lapisan keluaran adalah

$$b_k(t+1) = b_k(t) + \Delta b_k(t+1) \quad (2-26)$$

$$\Delta b_k(t+1) = \alpha \delta_k + \eta \Delta b_k(t) \quad (2-27)$$

Pada proses *update* bobot v_{ijst} pada jaringan antara lapisan masukan dan lapisan tersembunyi juga menggunakan persamaan yang sama dengan proses *update* bobot pada jaringan lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran yang sebelumnya harus mencari nilai sinyal kesalahan δ_{jst} yang dihitung dengan

$$\delta_{jst} = \sum \delta_k w_{kfst} f'(Z_{in_{jst}})(1 - z_{jst}) \quad (2-28)$$

$$v_{ijst}(t+1) = v_{ijst}(t) + \Delta v_{ijst}(t+1) \quad (2-29)$$

$$\Delta v_{ijst}(t+1) = \alpha \delta_{jst} x_i g h_{st} + \eta \Delta v_{ijst}(t) \quad (2-30)$$

Update bias b_{st} pada neuron lapisan tersembunyi adalah

$$b_{st}(t+1) = b_{st}(t) + \Delta b_{st}(t) \quad (2-31)$$

$$\Delta b_{st}(t+1) = \alpha \delta_{st} + \eta \Delta b_{st}(t) \quad (2-32)$$

2.9 Algoritma JST HSHL

Adapun urutan atau algoritma dalam melakukan proses pelatihan maupun pengujian akan dijelaskan sebagai berikut

2.9.1 Algoritma Pelatihan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pelatihan menggunakan JST HSHL memiliki dua tahapan besar yaitu feed forward dan back propagation. Adapun algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut

1. Inisialisasi bobot awal setiap jaringan baik antara lapisan masukan dan lapisan tersembunyi maupun antara lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran, bias tiap neuron pada lapisan tersembunyi dan neuron pada lapisan keluaran, α , η , batasan epoch, dan batasan tingkat kesalahan pelatihan.
2. Selama batasan tingkat kesalahan belum tercapai, lakukan langkah 3 dan 4.

3. Fase *Feed Forward*

- a. Hitung nilai gh_{st} pada setiap neuron lapisan tersembunyi (2 - 9).
- b. Hitung nilai go_{st} pada setiap neuron lapisan tersembunyi (2 - 10).
- c. Hitung nilai masukan $z_{in_{st}}$ setiap neuron pada lapisan tersembunyi (2 - 12).
- d. Hitung nilai aktivasi z_{st} setiap neuron pada lapisan tersembunyi (2 - 11).
- e. Hitung nilai masukan y_{in_k} setiap neuron pada lapisan keluaran (2 - 14).
- f. Hitung nilai aktivasi o_k setiap neuron pada lapisan keluaran (2 - 13).

4. Fase *Back Propagation*

- a. Bandingkan nilai aktivasi o_k neuron lapisan keluaran dengan target t_k yang telah ditentukan dengan menghitung sinyal kesalahan (2 - 23).
 - b. Hitung update bobot Δw_{kjst} pada jaringan antara lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran (2 - 25) begitu juga update bias Δb_k neuron pada lapisan keluaran (2 - 27).
 - c. Hitung nilai sinyal kesalahan δ_{jst} setiap neuron pada lapisan tersembunyi (2 - 28).
 - d. Hitung *update* bobot Δv_{ijst} pada jaringan antara lapisan masukan dan lapisan tersembunyi (2 - 30) begitu juga update bias Δb_{st} neuron pada lapisan tersembunyi (2 - 32).
 - e. Ubah bobot w_{kjst} jaringan antara lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran (2 - 24) begitu juga bias pada neuron pada lapisan keluaran (2 - 26).
 - f. Ubah bobot v_{ijst} jaringan antara lapisan masukan dan lapisan tersembunyi (2 - 29) begitu juga bias b_{st} pada neuron pada lapisan tersembunyi (2 - 31).
5. Hitung total kesalahan *epoch* dengan menggunakan fungsi *root mean square normalized error* (2 - 20).

6. Bandingkan nilai total kesalahan epoch dengan batasan tingkat kesalahan, jika masih lebih besar nilai total kesalahan epoch maka lakukan langkah 3 dan 4 kembali namun jika tidak, proses pelatihan selesai.

2.9.2 Algoritma Pengujian

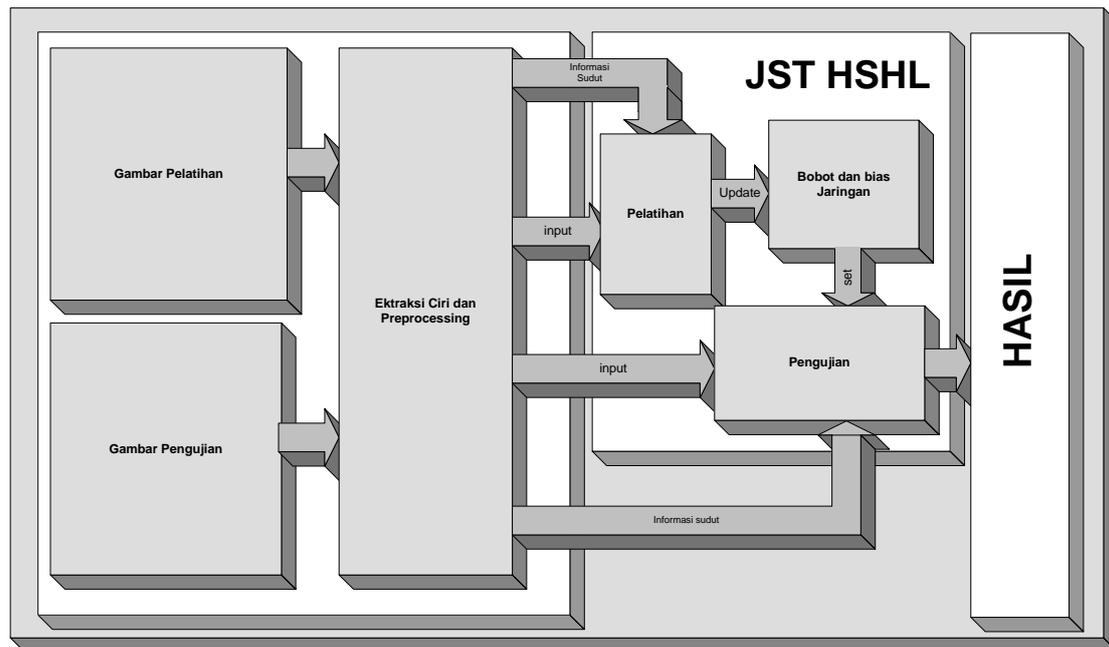
Pada proses pengujian memiliki algoritma yang tidak jauh berbeda dengan proses pelatihan namun pada proses pengujian hanya sampai proses *feed forward* saja. Berikut penjabaran algoritma dari pengujian JST HSHL

1. Inisialisasi bobot awal setiap jaringan baik antara lapisan masukan dan lapisan tersembunyi maupun antara lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran, bias tiap neuron pada lapisan tersembunyi dan neuron pada lapisan keluaran, α , η , batasan epoch, dan batasan tingkat kesalahan pelatihan.
2. Untuk setiap pola pengujian lakukan langkah 3 s/d 8.
3. Hitung nilai gh_{st} pada setiap neuron lapisan tersembunyi (2 - 9).
4. Hitung nilai go_{st} pada setiap neuron lapisan tersembunyi (2 - 10).
5. Hitung nilai masukan $z_{in_{st}}$ setiap neuron pada lapisan tersembunyi (2 - 12).
6. Hitung nilai aktivasi z_{st} setiap neuron pada lapisan tersembunyi (2 - 11).
7. Hitung nilai masukan y_{in_k} setiap neuron pada lapisan keluaran (2 - 14).
8. Hitung nilai aktivasi o_k setiap neuron pada lapisan keluaran (2 - 13).

Nilai dari o_k setiap neuron lapisan keluaran inilah yang dapat ditentukan apakah benar tidaknya nilai keluaran dari JST HSHL.

2.10 Percobaan

Secara garis besar terdapat 2 tahapan besar percobaan dalam penelitian ini yang antara lain adalah ekstraksi ciri data sebagai masukan dalam JST HSHL, pelatihan struktur jaringan, lalu pengujian, serta analisa dari hasil pengujian.



Gambar 2.9 Bagan proses percobaan HSHL dengan informasi sudut wajah diketahui

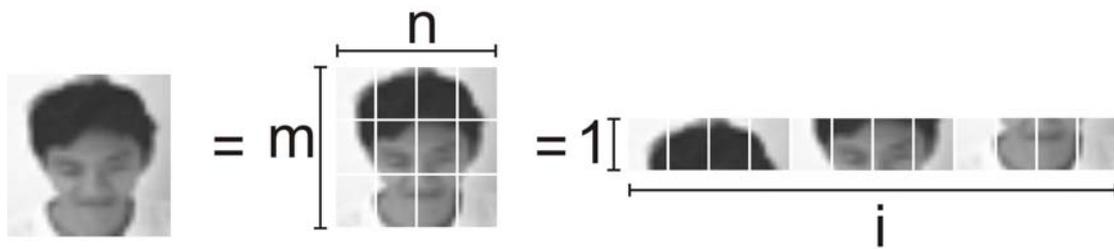
2.10.1 Ekstraksi Ciri Data Masukan

Pada percobaan dalam penelitian ini, setiap data gambar yang diambil dari data pustaka *Computational Intelligence Lab* yang terdiri dari 1776 data dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Terdiri dari 4 orang indonesia (Adhit, Inut, Mamat, Uyo).
- Setiap orang memiliki 444 data.
- Memiliki ekspresi kaget, kaca mata, normal dan senyum.

Data tersebut akan diakuisisi ke dalam percobaan dengan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

- Setiap data gambar yang berdimensi $m \times n$ dirubah menjadi vektor berukuran $1 \times i$ dengan i adalah $m \times n$. Dalam penelitian ini, data gambar berdimensi 32×32 sehingga besar ukuran vektor adalah 1×1024 . Data vektor tersebut disimpan kedalam *file* yang berekstensikan *.dat*. Berikut adalah ilustrasi perubahan data gambar berdimensi $m \times n$ ke dalam vektor berukuran $1 \times i$.



Gambar 2.10 Ilustrasi perubahan dari gambar ($m \times n$) menjadi vektor ($1 \times i$)

- o Kumpulan vektor data di atas, selanjutnya akan ditransformasikan ke dalam ruang ciri / ruang eigen dengan menggunakan metode *Transformasi Karhunen-Loeve* atau *Principal Component Analysis*. Dalam penelitian ini data vektor A yang berukuran 1×1024 akan ditransformasikan ke dalam ruang eigen dengan matriks transformasi w menjadi vektor lain Y dalam ruang eigen yang memiliki ukuran yang lebih kecil yaitu 1×50 ($Y = w A$).

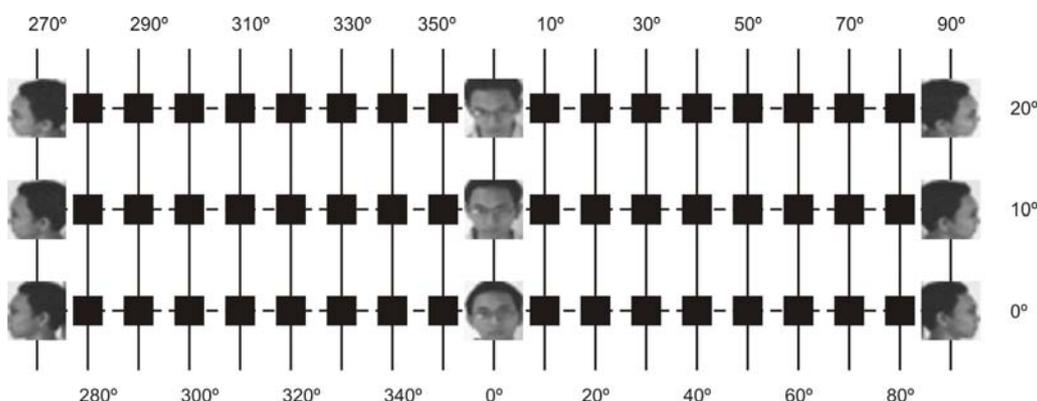
Vektor yang dihasilkan setelah transformasi inilah yang akan menjadi masukan dalam pelatihan ataupun pengujian struktur JST HSHL.

2.10.2 Pelatihan JST HSHL

Proses pelatihan struktur jaringan dalam penelitian ini dilakukan 4 jenis pelatihan dengan variasi data pelatihan berdasarkan sudut pandang yang setiap jenis pelatihan dilakukan sebanyak 5 kali dengan kata lain total pelatihan sebanyak 20 kali. Tujuan dari 4 pelatihan ini adalah melatih jaringan dengan menggunakan data wajah yang memiliki informasi sudut yang semakin sedikit sehingga dapat dibandingkan tingkat pengenalan setiap pelatihan yang telah dilakukan.

Pelatihan 1

Pelatihan 1 ini mencoba untuk melatih struktur JST HSHL dengan masukan data yang memiliki sudut pandang selang 10° . Berikut adalah ilustrasi pelatihan pelatihan 1



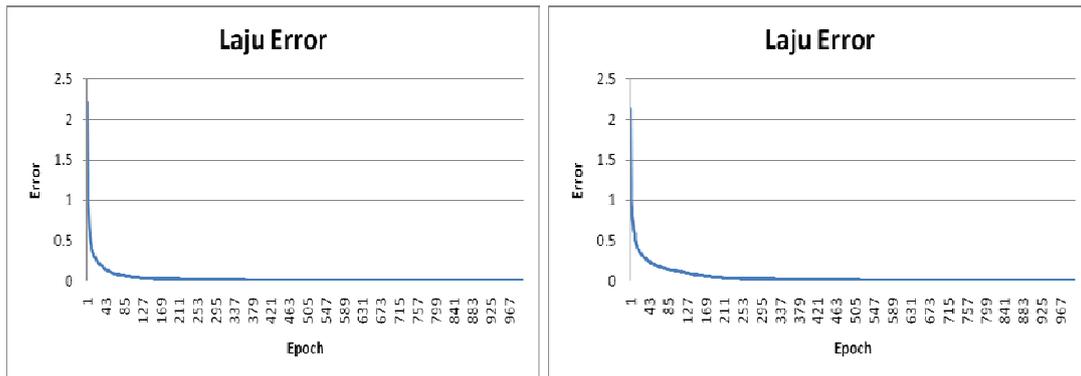
Gambar 2.11 Ilustrasi data yang dilatih pada pelatihan 1

Pada pelatihan satu digunakan data wajah per 10° , Sedangkan skenario pelatihan 1 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Skenario Pelatihan 1

Data	Jumlah Orang	4 orang
	Ekspresi	Kacamata, kaget, Normal, dan Senyum
	Jumlah data	912
	Dimensi Data	1x50
	Sudut Pandang Data	<ul style="list-style-type: none"> ○ Horizontal : $-90^\circ, -80^\circ, -70^\circ, -60^\circ, -50^\circ, -40^\circ, -30^\circ, -20^\circ, -10^\circ, 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$. ○ Vertikal : $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$.
Struktur Jaringan	neuron lapisan tersembunyi	<ul style="list-style-type: none"> ○ Horizontal : $-90^\circ, -60^\circ, -30^\circ, 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$. ○ Vertikal : $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$. ○ Jumlah total = 112.
	Momentum	0.4
	Laju Pelatihan	0.1
	Batas Error	0.01
	Batas Epoch	10000

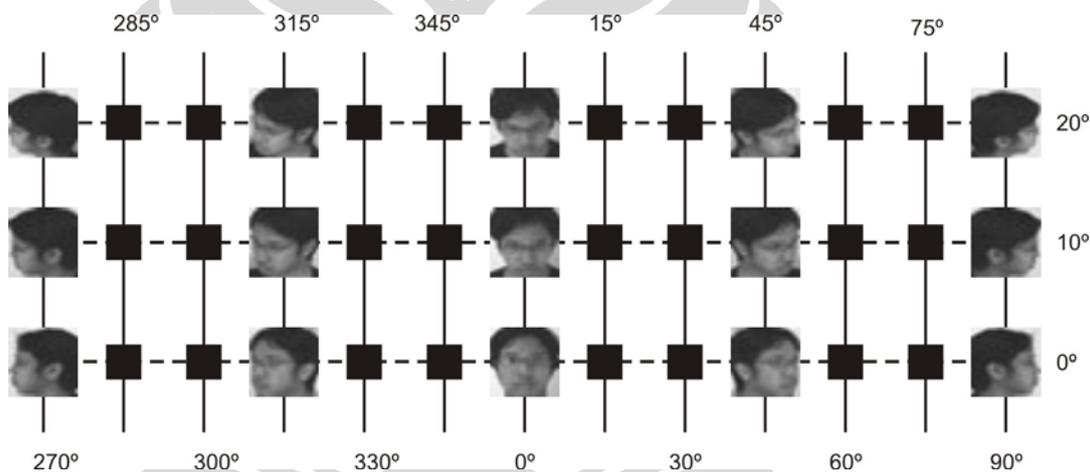
Sesuai dengan skenario di atas pola pelatihan 1 dijalankan dan menghasilkan penurunan error sebagai gambar berikut



Gambar 2.12 Contoh Laju error yang terjadi pada pelatihan 1

Pelatihan 2

Pelatihan 2 mencoba untuk melatih struktur JST HSHL dengan data yang memiliki sudut pandang horizontal yang selang 15° . Berikut adalah ilustrasi dari pelatihan 2



Gambar 2.13 Ilustrasi data yang dilatih pada pelatihan 2

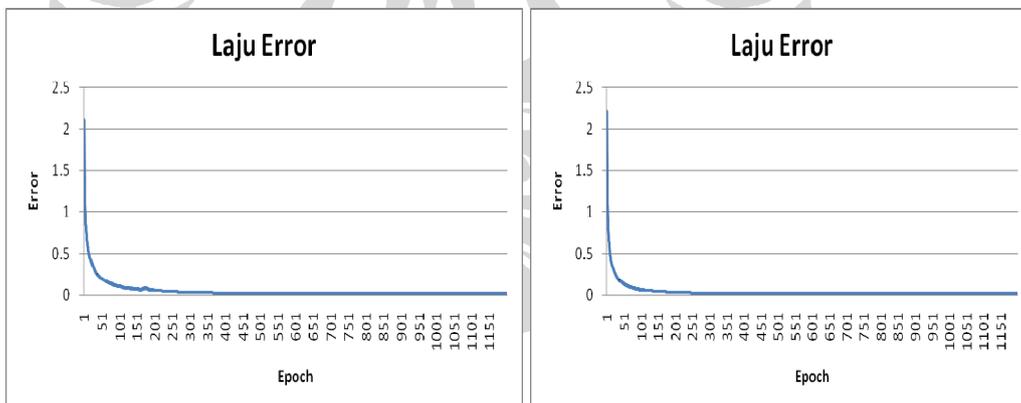
Pada pelatihan dua digunakan data wajah per 15° , Sedangkan skenario dari pelatihan 2 adalah sebagai berikut

Tabel 2.2 Skenario Pelatihan 2

Data	Jumlah Orang	4 orang
	Ekspresi	Kacamata, kaget, Normal, dan Senyum
	Jumlah data	624
	Dimensi Data	1x50
	Sudut Pandang Data	o Horizontal : $-90^\circ, -75^\circ, -60^\circ, -45^\circ, -30^\circ, -15^\circ, 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ,$

		75°,90°.
		o Vertikal : 0°, 10°, 20°.
Struktur Jaringan	neuron lapisan tersebunyi	o Horizontal : -90°, -60°, -30°, 0°, 30°, 60°, 90°. o Vertikal : 0°, 10°, 20°, 30°. o Jumlah total = 112.
	Momentum	0.4
	Laju Pelatihan	0.1
	Batas Error	0.01
	Batas Epoch	10000

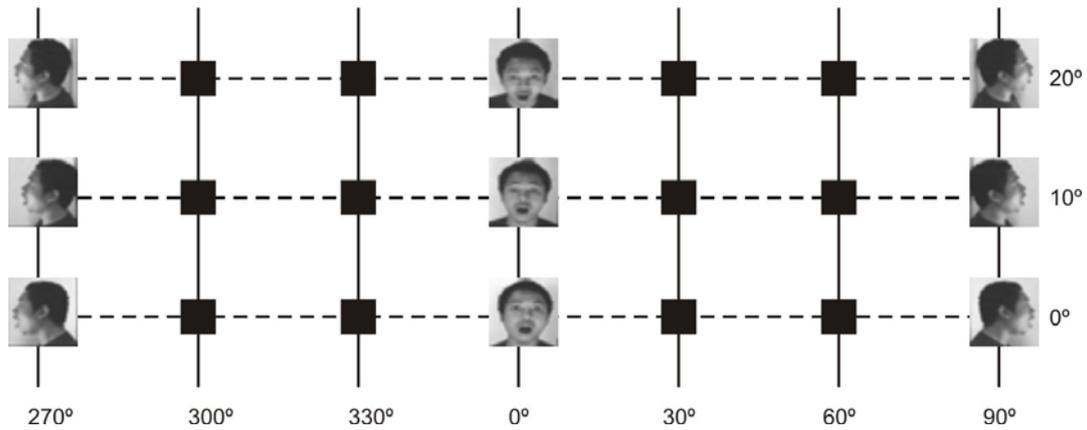
Sesuai dengan skenario di atas pola pelatihan 2 dijalankan dan menghasilkan penurunan error sebagai gambar berikut



Gambar 2.14 Contoh laju *error* yang terjadi pada pelatihan 2

Pelatihan 3

Pelatihan 3 ini mencoba untuk melatih struktur JST HSHL dengan masukan data yang memiliki sudut pandang selang 30°. Berikut adalah ilustrasi pelatihan pelatihan 3



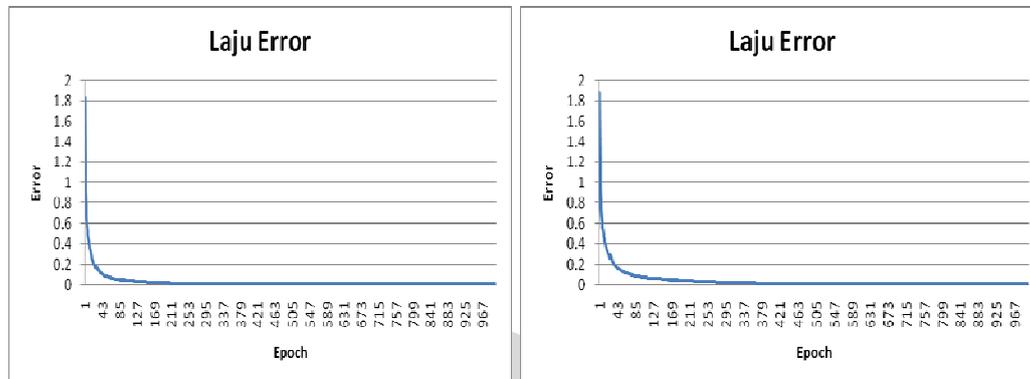
Gambar 2.15 Ilustrasi data yang dilatih pada pelatihan 3

Pada pelatihan tiga digunakan data wajah per 30°, Sedangkan skenario pelatihan 3 adalah sebagai berikut

Tabel 2.3 Tabel 2.4 Skenario Pelatihan 3

Data	Jumlah Orang	4 orang
	Ekspresi	Kacamata, kaget, Normal, dan Senyum
	Jumlah data	336
	Dimensi Data	1x50
	Sudut Pandang Data	<ul style="list-style-type: none"> ○ Horizontal : -90°, -60°, -30°, 0°, 30°, 60°, 90°. ○ Vertikal : 0°, 10°, 20°.
Struktur Jaringan	neuron lapisan tersebunyi	<ul style="list-style-type: none"> ○ Horizontal : -90°, -60°, -30°, 0°, 30°, 60°, 90°. ○ Vertikal : 0°, 10°, 20°, 30°. ○ Jumlah total = 112.
	Momentum	0.4
	Laju Pelatihan	0.1
	Batas Error	0.01
	Batas Epoch	10000

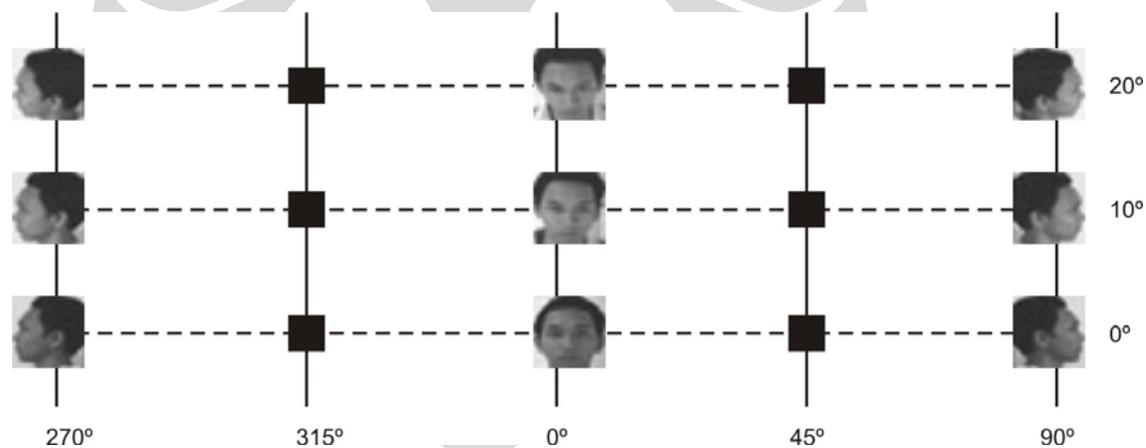
Sesuai dengan skenario di atas pola pelatihan 3 dijalankan dan menghasilkan penurunan error sebagai gambar berikut:



Gambar 2.16 Contoh laju *error* yang terjadi pada pelatihan 3

Pelatihan 4

Pelatihan 4 mencoba untuk melatih struktur JST HSHL dengan data yang memiliki sudut pandang horizontal yang selang 45° . Berikut adalah ilustrasi dari pelatihan 4



Gambar 2.17 Ilustrasi data yang dilatih pada pelatihan 4

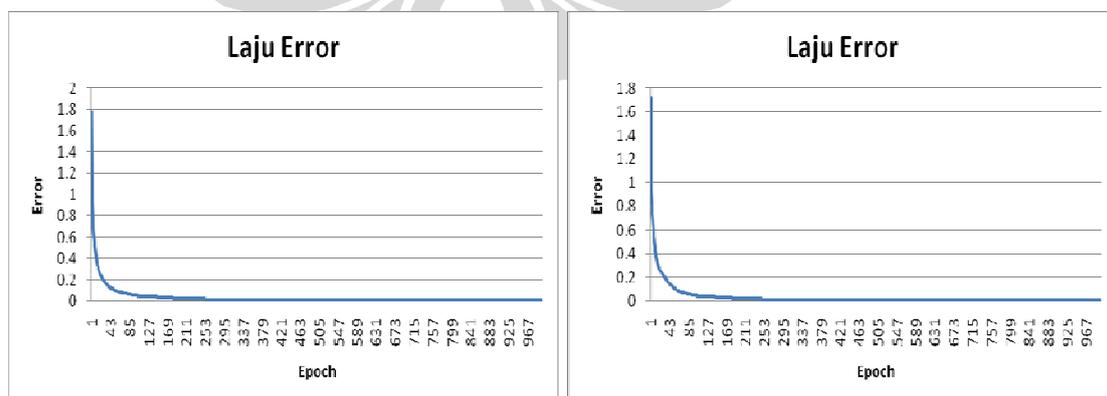
Pada pelatihan empat digunakan data wajah per 45° , Sedangkan skenario dari pelatihan 2 adalah sebagai berikut

Tabel 2.5 Skenario Pelatihan 4

Data	Jumlah Orang	4 orang
	Ekspresi	Kacamata, kaget, Normal, dan

		Senyum
	Jumlah data	240
	Dimensi Data	1x50
	Sudut Pandang Data	<ul style="list-style-type: none"> ○ Horizontal : -90°, -45°, 0°, 45°, 90°. ○ Vertikal : 0°, 10°, 20°.
	neuron lapisan tersembunyi	<ul style="list-style-type: none"> ○ Horizontal : -90°, -60°, -30°, 0°, 30°, 60°, 90°. ○ Vertikal : 0°, 10°, 20°, 30°. ○ Jumlah total = 112.
	Momentum	0.4
Struktur Jaringan	Laju Pelatihan	0.1
	Batas Error	0.01
	Batas Epoch	10000

Sesuai dengan skenario di atas pola pelatihan 4 dijalankan dan menghasilkan penurunan error sebagai gambar berikut



Gambar 2.18 Contoh laju *error* yang terjadi pada pelatihan 4

2.10.3 Pengujian JST HSHL

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa dalam percobaan ini menggunakan 4 jenis pelatihan berdasarkan sudut pandang data. Oleh karena itu, pada pengujian JST

HSHL juga terbagi menjadi 4 pengujian berdasarkan 4 jenis hasil pelatihan. Namun dalam pengujian ini menggunakan skenario pengujian tunggal agar hasil pengujian dapat dibandingkan. Dengan menggunakan pelatihan yang menggunakan data yang semakin sedikit diharapkan dengan proses pengujian ini dapat diketahui berapa besar kemampuan JST HSHL dalam mengenali data yang tidak dilatih. Adapun skenario yang digunakan dalam pengujian pada penelitian ini adalah

Tabel 2.6 Skenario Pengujian JST HSHL

Data	Jumlah Orang	4 orang
	Ekspresi	Kaget, Kacamata, Normal dan Senyum
	Jumlah data	480
	Dimensi Data	1x50
	Sudut Pandang Data	<ul style="list-style-type: none"> ○ Horizontal : -90°, -75°, -60°, -45°, -30°, -15°, 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°. ○ Vertikal : 0°, 10°, 20°. <p>Sudut Pandang data gambar diberikan</p>
Struktur Jaringan	neuron lapisan tersebunyi	<ul style="list-style-type: none"> ○ Horizontal : -90°, -60°, -30°, 0°, 30°, 60°, 90°. ○ Vertikal : 0°, 10°, 20°, 30°. ○ Jumlah total = 112.
	Momentum	0.4
	Laju Pelatihan	0.1

2.10.4 Hasil dan Analisa Percobaan

Dengan menggunakan skenario pengujian seperti yang dijelaskan sebelumnya, pada penelitian ini telah menghasilkan 4 hasil percobaan sebagai berikut.

Percobaan 1

Dengan menggunakan struktur JST HSHL yang telah melalui proses pelatihan sesuai pelatihan 1, secara umum pengenalan objek wajah 3D pada pengujian 1 di jabarkan sebagai berikut

Tabel 2.7 Tingkat Pengenalan Wajah 3D Percobaan 1

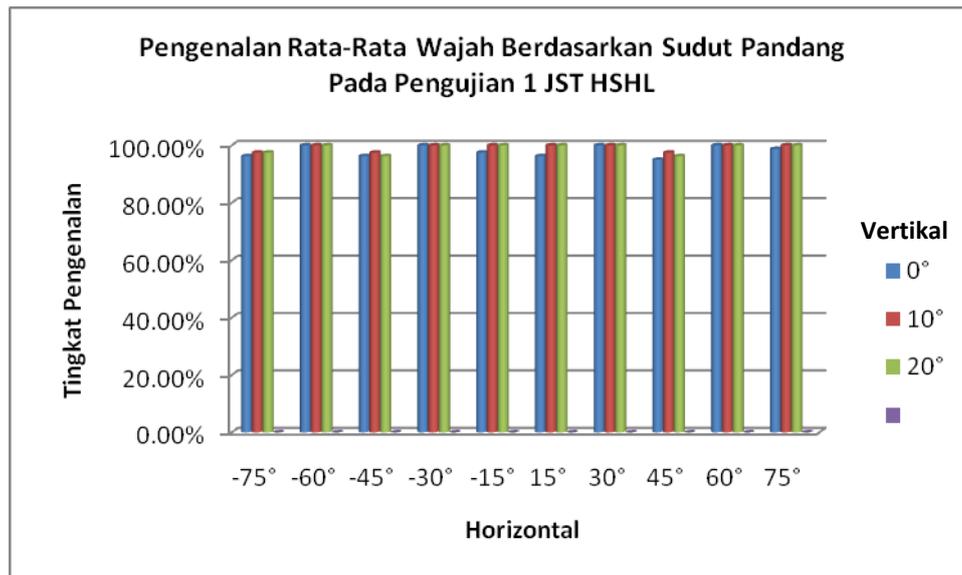
Percobaan	Tingkat Pengenalan (%)				
	Adhit	Inut	Mamat	Uyo	Total
1	100.00	100.00	95.83	100.00	98.95
2	96.66	100.00	99.16	99.16	98.75
3	99.16	99.16	99.16	99.16	99.16
4	96.66	99.16	97.50	100.00	98.33
5	100.00	98.33	95.83	100.00	98.54
Rata-Rata	98.49	99.33	97.49	99.66	98.74

Pengamatan lain yang dilakukan dalam penelitian ini adalah bagaimana tingkat pengenalan wajah 3D berdasarkan sudut pandang. Secara rata – rata tingkat pengenalan keempat wajah berdasarkan sudut pandang pada pengujian 1 adalah sebagai berikut

Tabel 2.8 Pengenalan rata – rata wajah berdasarkan sudut pandang pengujian 1

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	96.25%	100.00%	96.25%	100.00%	97.50%	96.25%	100.00%	95.00%	100.00%	98.75%
10°	97.50%	100.00%	97.50%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	97.50%	100.00%	100.00%
20°	97.50%	100.00%	96.25%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	96.25%	100.00%	100.00%

Kita juga dapat melihat data pengujian 1 tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



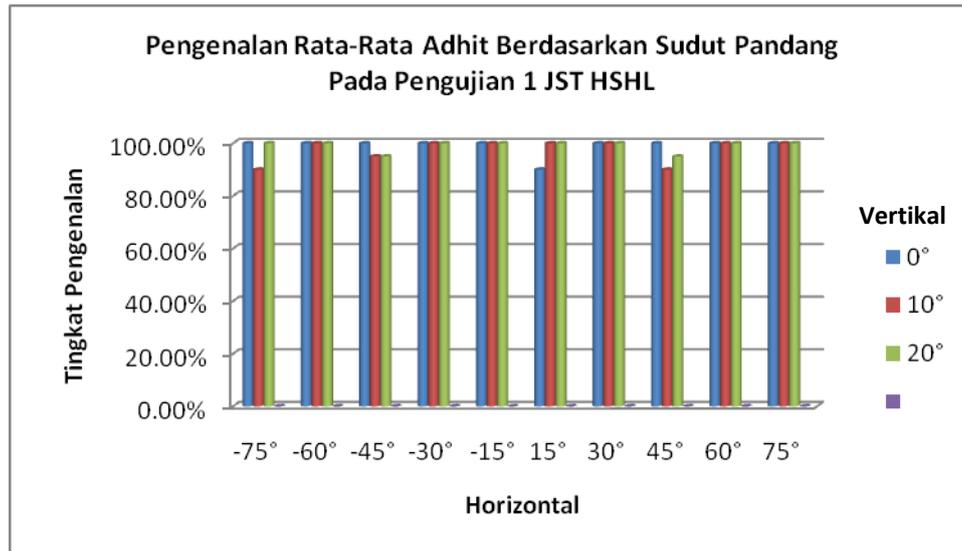
Gambar 2.19 Grafik Pengenalan rata – rata wajah berdasarkan sudut pandang pada pengujian 1 JST HSHL

Untuk objek wajah adhit yang telah dilakukan percobaan menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.9 Pengenalan rata – rata adhit berdasarkan sudut pandang pengujian 1 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	90.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
10°	90.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	90.00%	100.00%	100.00%
20°	100.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%

Atau kita dapat melihat representasi hasil dalam bentuk grafik sebagai berikut



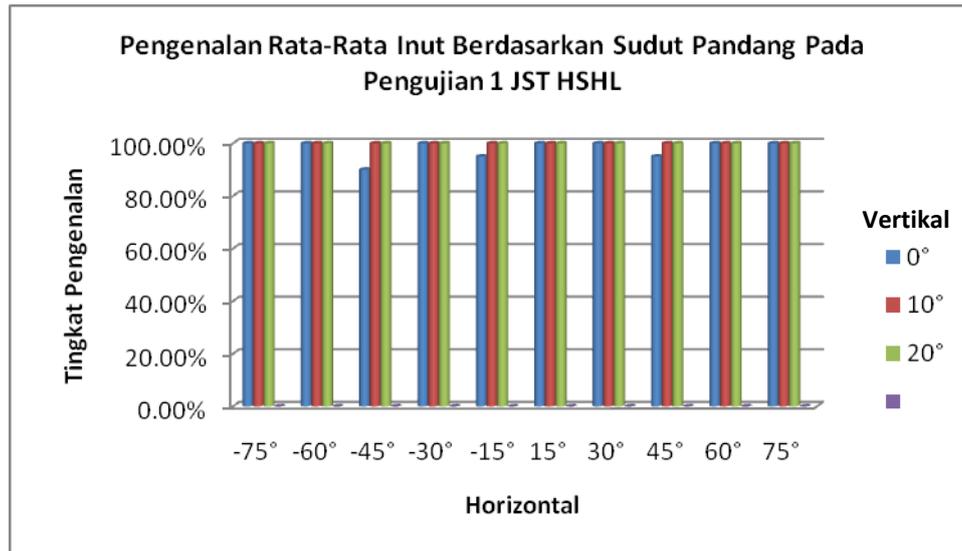
Gambar 2.20 Grafik pengenalan rata – rata adhit berdasarkan sudut pandang pengujian 1 JST HSHL

Untuk objek wajah inut yang telah dilakukan percobaan menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.10 Pengenalan rata – rata inut berdasarkan sudut pandang pengujian 1 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	100.00%	100.00%	90.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%
10°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
20°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Atau kita dapat melihat representasi hasil dalam bentuk grafik sebagai berikut



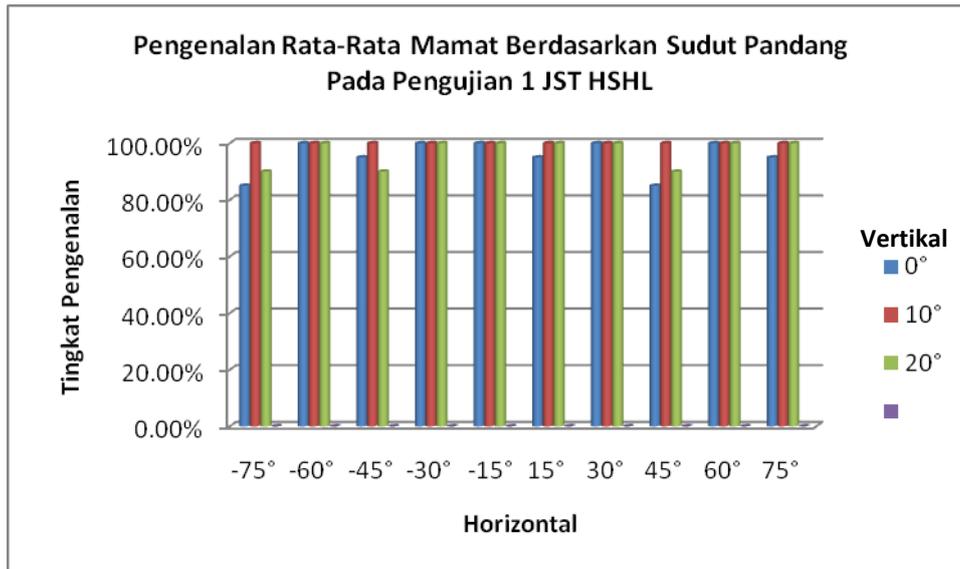
Gambar 2.21 Grafik Pengenalan rata – rata inut berdasarkan sudut pandang pengujian 1 JST HSHL

Untuk objek wajah mamat yang telah dilakukan percobaan menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.11 Pengenalan rata – rata mamat berdasarkan sudut pandang pengujian 1 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	85.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%	95.00%	100.00%	85.00%	100.00%	95.00%
10°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
20°	90.00%	100.00%	90.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	90.00%	100.00%	100.00%

Atau kita dapat melihat representasi hasil dalam bentuk grafik sebagai berikut



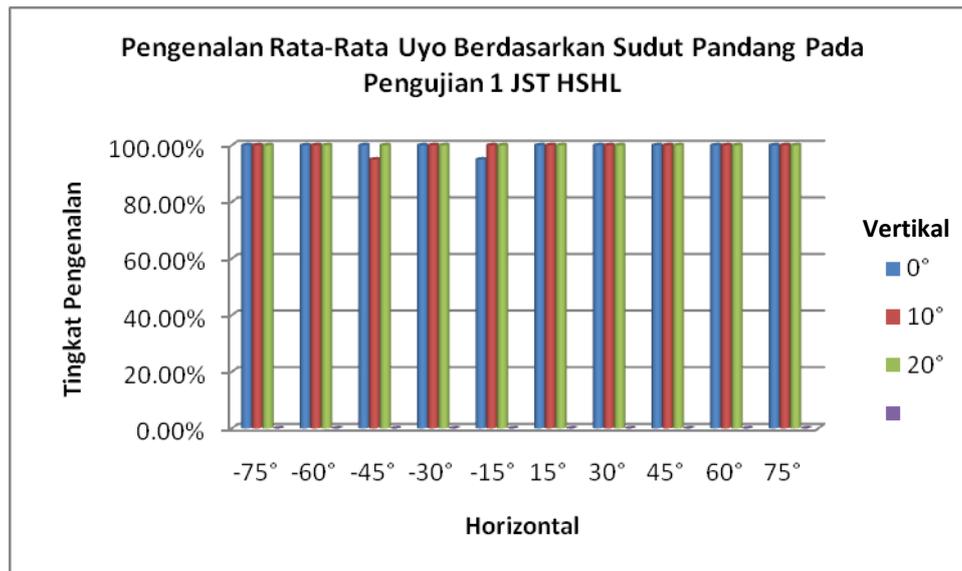
Gambar 2.22 Grafik Pengenalan rata – rata mamat berdasarkan sudut pandang pengujian 1 JST HSHL

Untuk objek wajah uyo yang telah dilakukan percobaan menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.12 Pengenalan rata – rata uyo berdasarkan sudut pandang pengujian 1 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
10°	100.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
20°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Atau kita dapat melihat representasi hasil dalam bentuk grafik sebagai berikut



Gambar 2.23 Grafik Pengenalan rata – rata uyo berdasarkan sudut pandang pengujian 1 JST HSHL

Percobaan 2

Dengan menggunakan struktur JST HSHL yang telah melalui proses pelatihan sesuai pelatihan 2, secara umum pengenalan objek wajah 3D di jabarkan sebagai berikut

Tabel 2.13 Tingkat Pengenalan Wajah 3D Percobaan 2

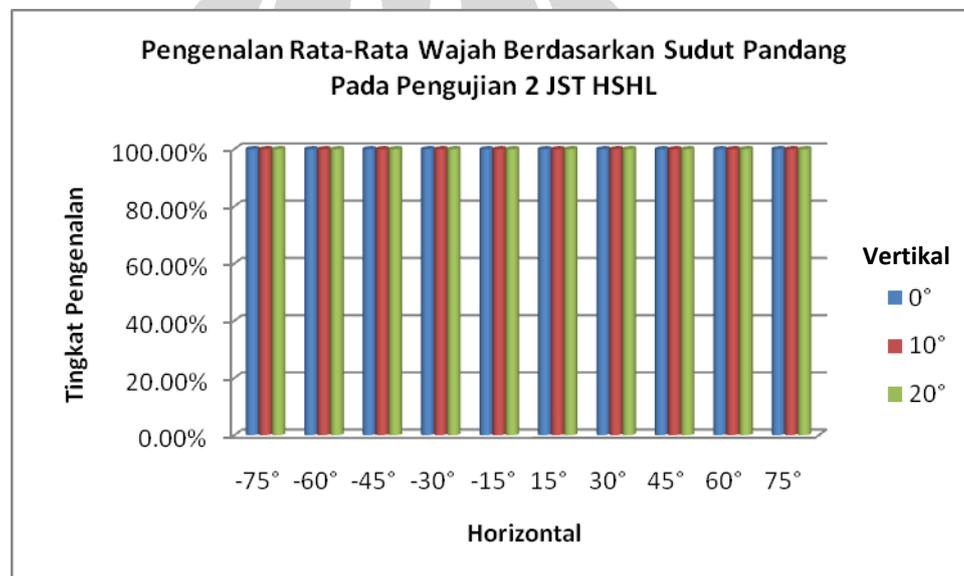
Percobaan	Tingkat Pengenalan (%)				
	Adhit	Inut	Mamat	Uyo	Total
1	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
2	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
4	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
5	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Rata-Rata	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Pengamatan lain yang dilakukan dalam penelitian ini adalah bagaimana tingkat pengenalan wajah 3D berdasarkan sudut pandang. Secara rata – rata tingkat pengenalan keempat wajah berdasarkan sudut pandang pada pengujian 1 adalah sebagai berikut

Tabel 2.14 Pengenalan rata – rata wajah berdasarkan sudut pandang pengujian 2 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
10°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
20°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



Gambar 2.24 Grafik pengenalan rata – rata wajah berdasarkan sudut pandang pengujian 2 JST HSHL

Percobaan 3

Dengan menggunakan struktur JST HSHL yang telah melalui proses pelatihan sesuai pelatihan 3, secara umum pengenalan objek wajah 3D di jabarkan sebagai berikut

Tabel 2.15 Tingkat Pengenalan Wajah 3D Percobaan 3 JST HSHL

Percobaan	Tingkat Pengenalan (%)				
	Adhit	Inut	Mamat	Uyo	Total
1	82.50	94.16	92.50	95.00	91.04
2	90.0	95.83	95.00	93.33	93.54

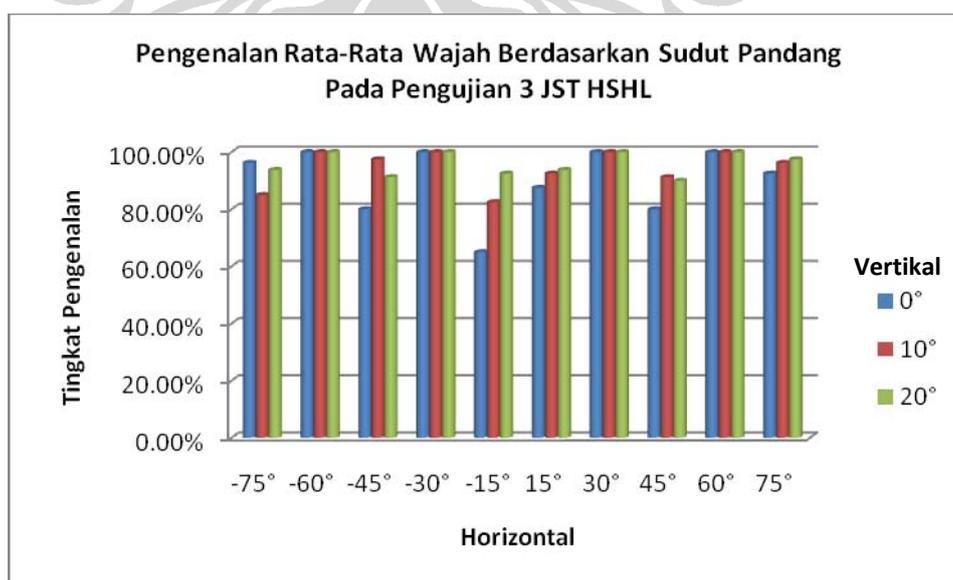
3	93.33	95.00	91.66	92.50	93.12
4	92.50	95.83	96.66	98.33	95.83
5	92.50	94.16	90.00	99.16	93.95
Rata-Rata	90.16	94.99	93.16	95.66	93.49

Pengamatan lain yang dilakukan dalam penelitian ini adalah bagaimana tingkat pengenalan wajah 3D berdasarkan sudut pandang. Secara rata – rata tingkat pengenalan wajah berdasarkan sudut pandang pada pengujian 1 adalah sebagai berikut

Tabel 2.16 Pengenalan rata – rata wajah berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	96.25%	100.00%	80.00%	100.00%	65.00%	87.50%	100.00%	80.00%	100.00%	92.50%
10°	85.00%	100.00%	97.50%	100.00%	82.50%	92.50%	100.00%	91.25%	100.00%	96.25%
20°	93.75%	100.00%	91.25%	100.00%	92.50%	93.75%	100.00%	90.00%	100.00%	97.50%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



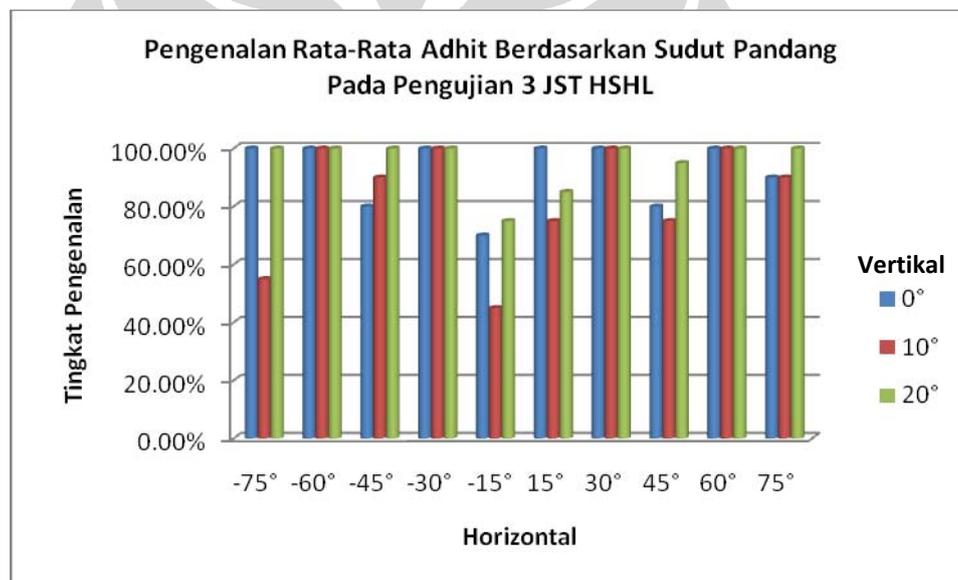
Gambar 2.25 Grafik pengenalan rata – rata wajah berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

Untuk objek wajah adhit yang telah dilakukan pengujian pada percobaan 3 menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.17 Pengenalan rata – rata adhit berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	100.00%	100.00%	80.00%	100.00%	70.00%	100.00%	100.00%	80.00%	100.00%	90.00%
10°	55.00%	100.00%	90.00%	100.00%	45.00%	75.00%	100.00%	75.00%	100.00%	90.00%
20°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	75.00%	85.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



Gambar 2.26 Grafik pengenalan rata – rata adhit berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

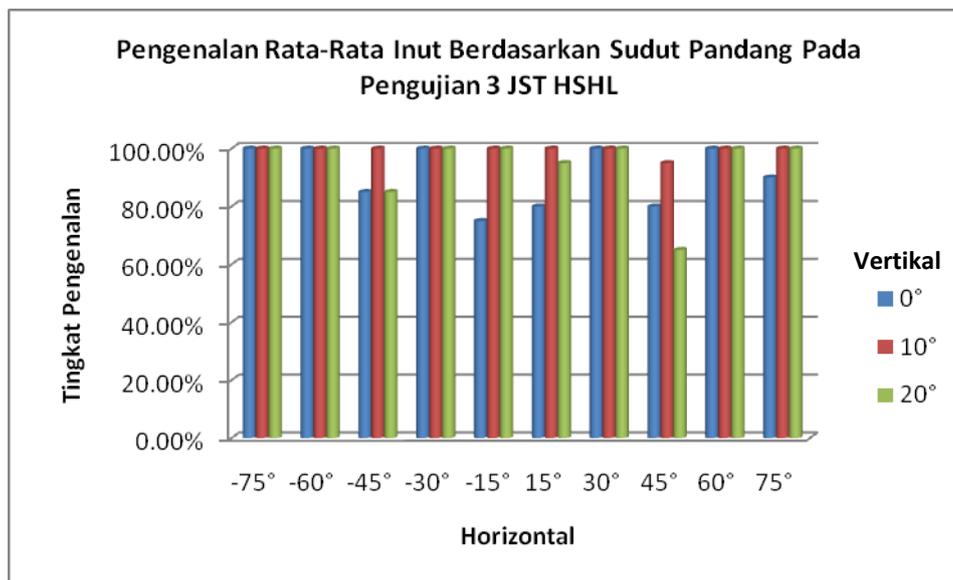
Untuk objek wajah inut yang telah dilakukan pengujian pada percobaan 3 menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.18 Pengenalan rata – rata inut berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	100.00%	100.00%	85.00%	100.00%	75.00%	80.00%	100.00%	80.00%	100.00%	90.00%

10°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%
20°	100.00%	100.00%	85.00%	100.00%	100.00%	95.00%	100.00%	65.00%	100.00%	100.00%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



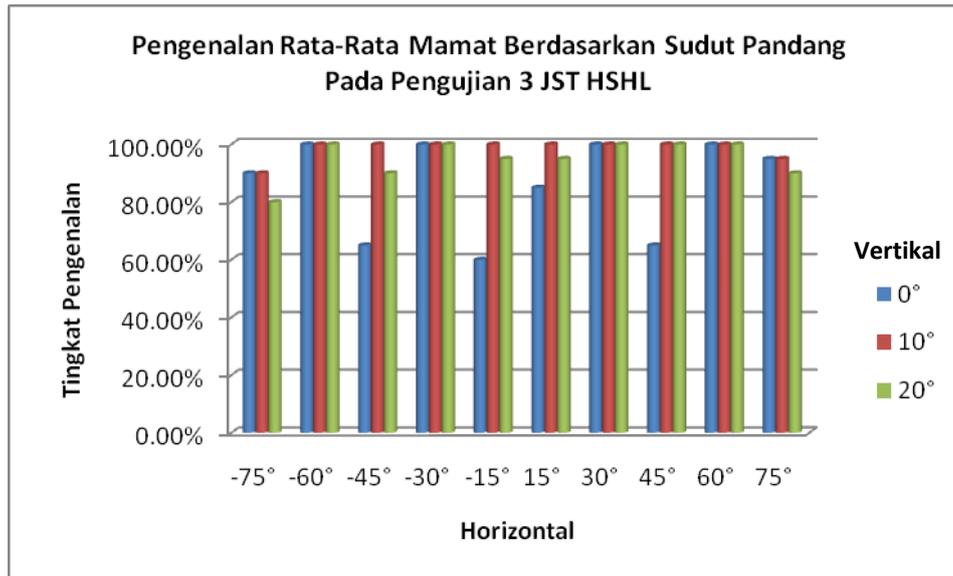
Gambar 2.27 Grafik Pengenalan rata – rata inut berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

Untuk objek wajah mamat yang telah dilakukan pengujian pada percobaan 3 menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.19 Pengenalan rata – rata mamat berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	90.00%	100.00%	65.00%	100.00%	60.00%	85.00%	100.00%	65.00%	100.00%	95.00%
10°	90.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	95.00%
20°	80.00%	100.00%	90.00%	100.00%	95.00%	95.00%	100.00%	100.00%	100.00%	90.00%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



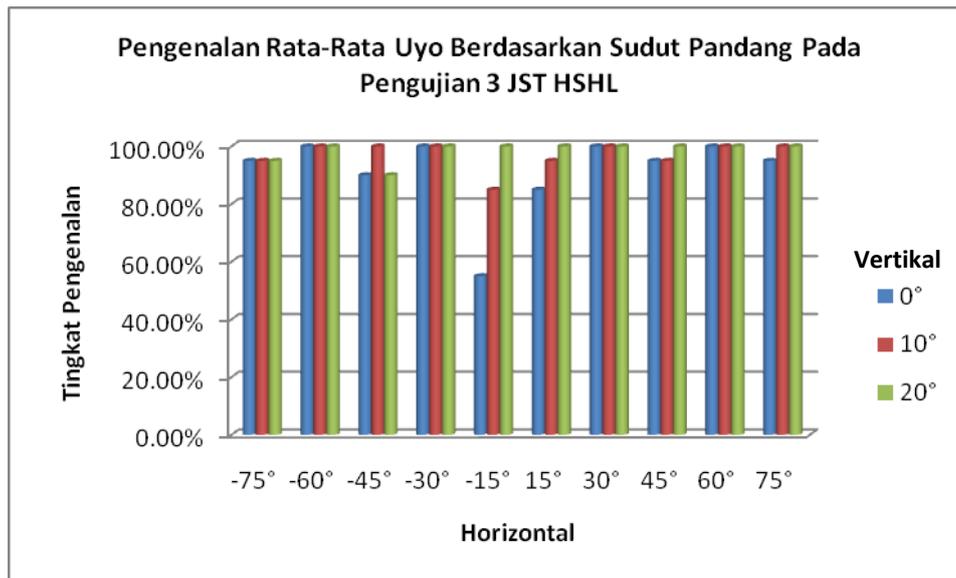
Gambar 2.28 Grafik Pengenalan rata – rata mamat berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

Untuk objek wajah uyo yang telah dilakukan pengujian pada percobaan 3 menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.20 Pengenalan rata – rata uyo berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	95.00%	100.00%	90.00%	100.00%	55.00%	85.00%	100.00%	95.00%	100.00%	95.00%
10°	95.00%	100.00%	100.00%	100.00%	85.00%	95.00%	100.00%	95.00%	100.00%	100.00%
20°	95.00%	100.00%	90.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



Gambar 2.29 Grafik Pengenalan rata – rata uyo berdasarkan sudut pandang pengujian 3 JST HSHL

Percobaan 4

Dengan menggunakan struktur JST HSHL yang telah melalui proses pelatihan sesuai pelatihan 4, secara umum pengenalan objek wajah 3D di jabarkan sebagai berikut

Tabel 2.21 Tingkat Pengenalan Wajah 3D Percobaan 4 JST HSHL

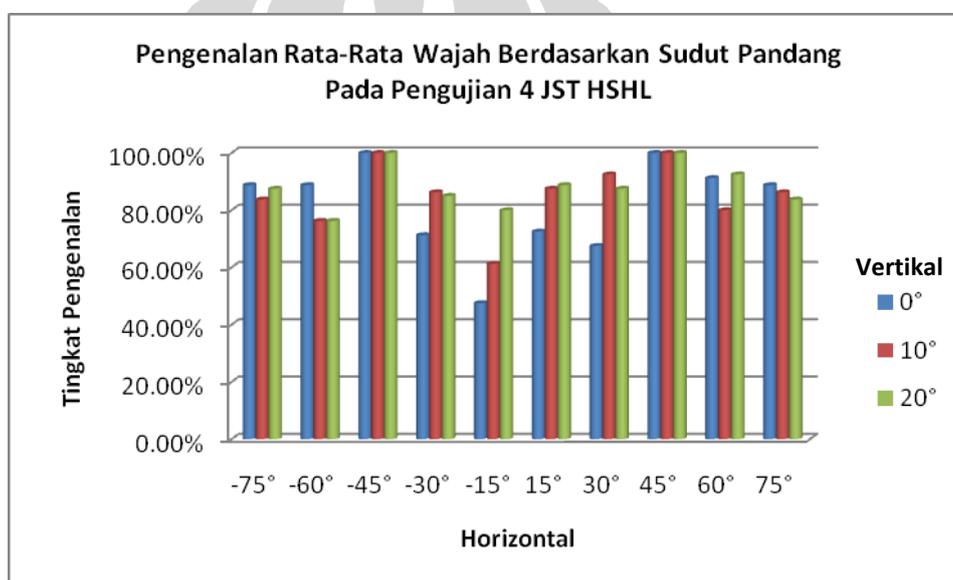
Percobaan	Tingkat Pengenalan (%)				
	Adhit	Inut	Mamat	Uyo	Total
1	66.66	86.66	86.66	92.50	83.12
2	70.00	95.83	85.83	94.16	86.45
3	72.50	91.66	89.16	97.50	87.70
4	62.50	94.16	85.83	93.33	83.95
5	71.66	89.16	83.33	91.66	83.95
Rata-Rata	68.664	91.494	86.162	93.83	85.034

Pengamatan lain yang dilakukan dalam penelitian ini adalah bagaimana tingkat pengenalan wajah 3D berdasarkan sudut pandang. Secara rata – rata tingkat pengenalan keempat wajah berdasarkan sudut pandang pada pengujian 4 adalah sebagai berikut

Tabel 2.22 Pengenalan rata – rata wajah berdasarkan sudut pandang pengujian 4 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	88.75%	88.75%	100.00%	71.25%	47.50%	72.50%	67.50%	100.00%	91.25%	88.75%
10°	83.75%	76.25%	100.00%	86.25%	61.25%	87.50%	92.50%	100.00%	80.00%	86.25%
20°	87.50%	76.25%	100.00%	85.00%	80.00%	88.75%	87.50%	100.00%	92.50%	83.75%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



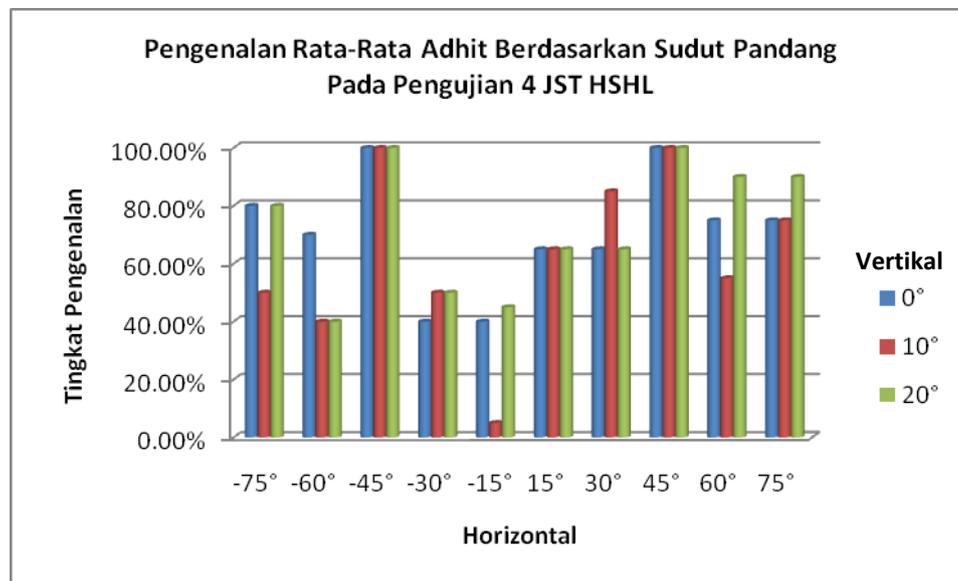
Gambar 2.30 Grafik pengenalan rata – rata wajah berdasarkan sudut pandang pengujian 4 JST HSHL

Untuk objek wajah adhit yang telah dilakukan pengujian pada percobaan 4 menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.23 Pengenalan rata – rata adhit berdasarkan sudut pandang pada pengujian 4 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	80.00%	70.00%	100.00%	40.00%	40.00%	65.00%	65.00%	100.00%	75.00%	75.00%
10°	50.00%	40.00%	100.00%	50.00%	5.00%	65.00%	85.00%	100.00%	55.00%	75.00%
20°	80.00%	40.00%	100.00%	50.00%	45.00%	65.00%	65.00%	100.00%	90.00%	90.00%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



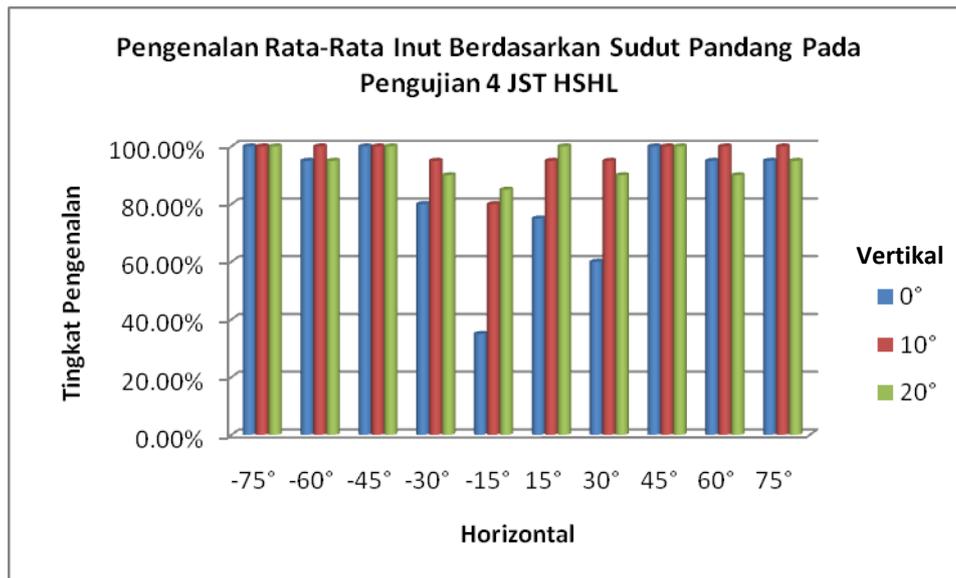
Gambar 2.31 Grafik pengenalan rata – rata adhit berdasarkan sudut pandang pengujian 4 JST HSHL

Untuk objek wajah inut yang telah dilakukan pengujian pada percobaan 4 menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.24 Pengenalan rata – rata inut berdasarkan sudut pandang pada pengujian 4 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	100.00%	95.00%	100.00%	80.00%	35.00%	75.00%	60.00%	100.00%	95.00%	95.00%
10°	100.00%	100.00%	100.00%	95.00%	80.00%	95.00%	95.00%	100.00%	100.00%	100.00%
20°	100.00%	95.00%	100.00%	90.00%	85.00%	100.00%	90.00%	100.00%	90.00%	95.00%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



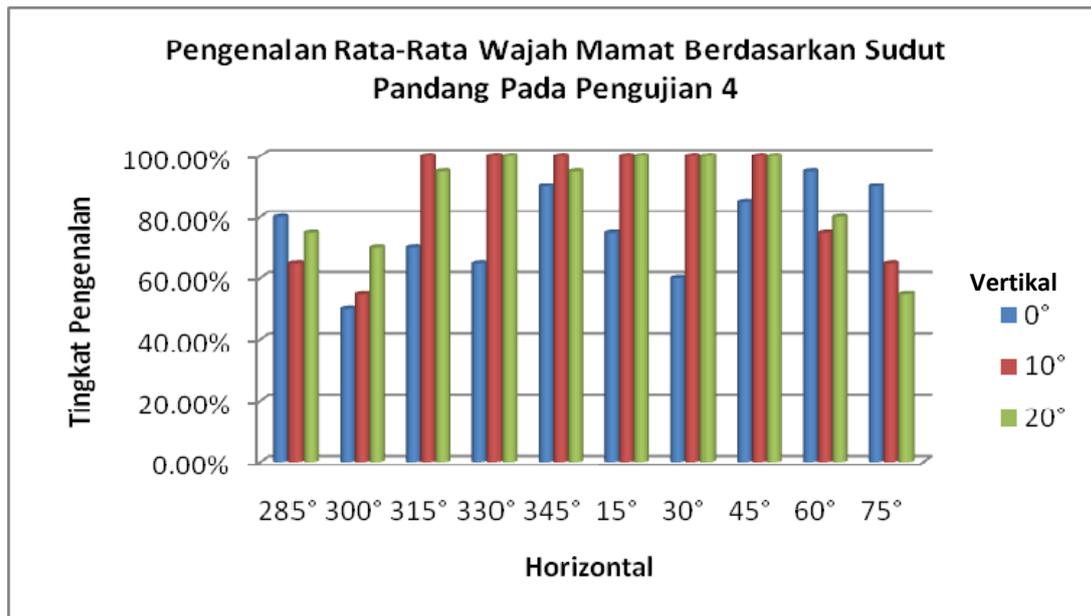
Gambar 2.32 Grafik Pengenalan rata – rata inut berdasarkan sudut pandang pengujian 4 JST HSHL

Untuk objek wajah mamat yang telah dilakukan pengujian pada percobaan 4 menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.25 Pengenalan rata – rata mamat berdasarkan sudut pandang pada pengujian 4 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	75.00%	90.00%	100.00%	70.00%	75.00%	55.00%	55.00%	100.00%	100.00%	85.00%
10°	85.00%	65.00%	100.00%	100.00%	95.00%	95.00%	100.00%	100.00%	70.00%	75.00%
20°	75.00%	85.00%	100.00%	100.00%	100.00%	90.00%	95.00%	100.00%	90.00%	60.00%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



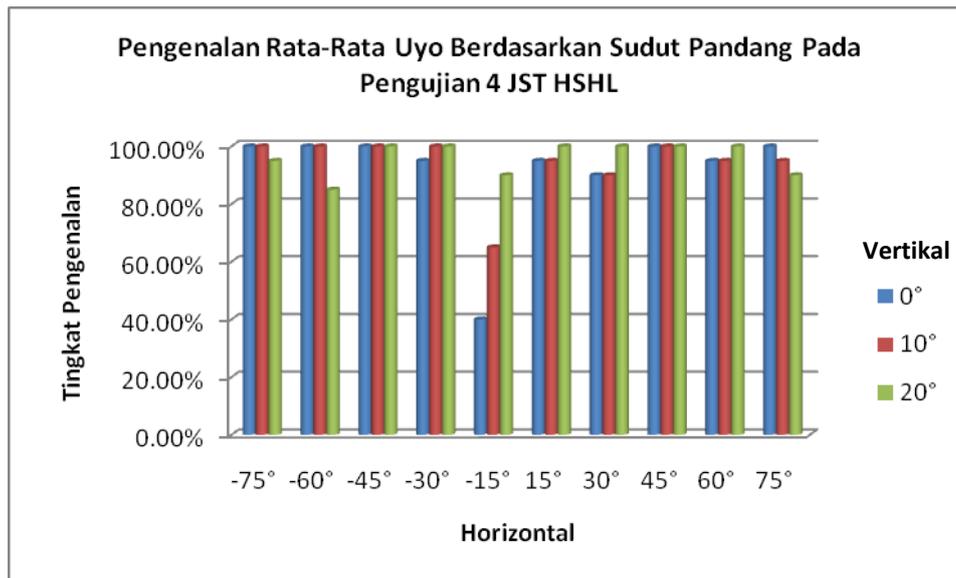
Gambar 2.33 Grafik Pengenalan rata – rata mamat berdasarkan sudut pandang pengujian 4 JST HSHL

Untuk objek wajah uyo yang telah dilakukan pengujian pada percobaan 4 menghasilkan data pengenalan sebagai berikut

Tabel 2.26 Pengenalan rata – rata uyo berdasarkan sudut pandang pada pengujian 4 JST HSHL

Vertikal	Horizontal									
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	15°	30°	45°	60°	75°
0°	100.00%	100.00%	100.00%	95.00%	40.00%	95.00%	90.00%	100.00%	95.00%	100.00%
10°	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	65.00%	95.00%	90.00%	100.00%	95.00%	95.00%
20°	95.00%	85.00%	100.00%	100.00%	90.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	90.00%

Kita juga dapat melihat data tersebut sebagai representasi grafik sebagai berikut



Gambar 2.34 Grafik Pengenalan rata – rata uyo berdasarkan sudut pandang pengujian 4 JST HSHL

