

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

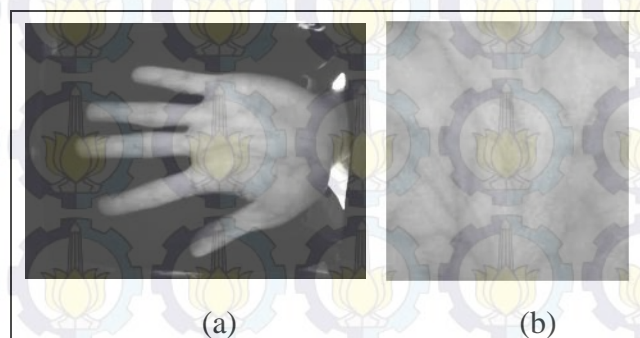
Bab ini berisi pembahasan hasil uji coba dari penelitian yang telah dilakukan. Berdasarkan hasil uji coba tersebut, dilakukan proses analisis untuk mengetahui beberapa hal yang akan menjadi kesimpulan dari penelitian ini.

#### 4.1 Lingkungan Uji Coba

Pada penelitian ini, sistem pengenalan *palm vein* diimplementasikan dalam bentuk GUI (*Graphical User Interface*) dengan menggunakan perangkat lunak Matlab R2011b dan beberapa *library* yang telah tersedia. Adapun untuk uji coba sistem, digunakan PC dengan spesifikasi prosesor berjenis Intel Core i5 2.30 GHz, memori berkapasitas 4 GB serta *harddisk* berkapasitas 500 GB.

#### 4.2 Data Uji Coba

Data yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 600 citra telapak tangan dari *Dataset CASIA Multi-Spectral Palmprint V1.0*. *Dataset* tersebut merupakan citra 8-bit *grey level* berukuran 768 x 576 piksel dan berformat JPEG. Komposisi dalam *dataset* ini terdiri dari 6 sampel untuk setiap orang.

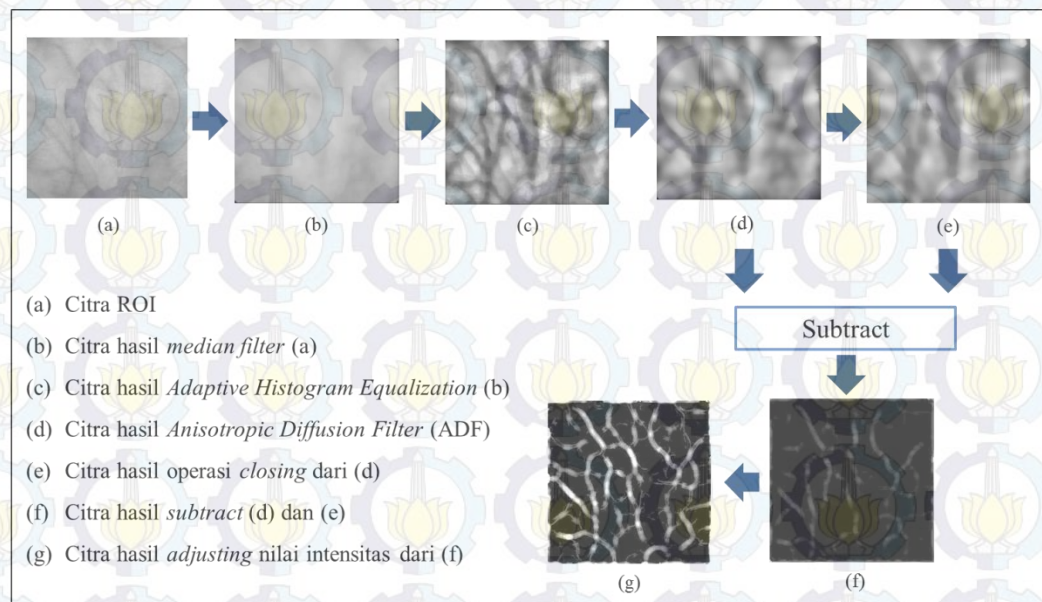


Gambar 4.1 Citra telapak tangan (a), dan citra hasil deteksi ROI (b).

Dalam uji coba yang dilakukan, *dataset* dibagi menjadi dua bagian, yaitu 500 citra (5 sampel untuk setiap orang) untuk *database* dan 100 citra (1 sampel untuk setiap orang) untuk data *testing*. Dalam sistem yang dibangun, seluruh data

uji coba (baik citra uji maupun citra *database*) akan melalui tahap deteksi *region of interest* (ROI) dan praproses sebelum melalui tahap ekstraksi fitur.

Citra telapak tangan pada Gambar 4.1(a) merupakan contoh data uji coba yang digunakan dalam penelitian ini. Setelah melalui tahap deteksi ROI seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4, diperoleh citra ROI dari citra telapak tangan, seperti yang ditunjukkan Gambar 4.1(b). Selanjutnya beberapa tahapan praproses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 akan dilakukan terhadap citra ROI. Citra hasil untuk setiap tahapan dalam praproses ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Citra hasil pada setiap tahapan praproses.

Gambar 4.2(a) merupakan citra ROI yang akan dipraproses. Tahap awal dari praproses adalah *resize* ukuran citra menjadi 256 x 256 piksel menggunakan interpolasi bikubik. Penghilangan *noise* citra dilakukan menggunakan *median filter* dengan kernel berukuran 10 x 10. Citra hasil *median filter* ditunjukkan pada Gambar 4.2(b). Proses *enhancement* terhadap citra dilakukan menggunakan *contrast-limited adaptive histogram equalization* (CLAHE). Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.2(c).

Selanjutnya beberapa tahapan yang dilakukan untuk memisahkan objek *vein* dan *background* (telapak tangan) yaitu: 1) *Anisotropic Diffusion Filter* (Perona dan Malik, 1990), 2) operasi morfologi *closing*, dan 3) *subtracting*



(mengurangkan) citra hasil *Anisotropic Diffusion Filter* dengan citra hasil operasi *closing*. Hasil dari ketiga tahapan tersebut masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4.2(d), (e) dan (f). Sebagai tahap akhir dari praproses, dilakukan perbaikan nilai intensitas citra (*adjusting*). Hasil dari tahapan ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2(g) disebut citra *palm vein* karena bagian *vein* dari telapak tangan sudah cukup jelas secara visual. Citra *palm vein* hasil praproses merupakan citra *grayscale* berukuran 256 x 256 piksel. Citra *palm vein* tersebut selanjutnya akan menjadi citra input pada setiap uji coba dalam penelitian ini.

### 4.3 Uji Coba

Pada tahap uji coba, sistem pengenalan *palm vein* yang dibangun akan diuji dengan menggunakan pengujian identifikasi yaitu pengujian *one-to-many*, setiap citra uji dicocokkan dengan seluruh citra *database* kemudian akan dihitung besar akurasi dari pengenalan seluruh citra uji (Lee, 2012). Dalam pengujian identifikasi, sistem dievaluasi dengan menggunakan CRR (*correct recognition rate*).

Proses pengujian dilakukan pada 600 citra *palm vein*, dengan cara mencocokkan 100 citra uji dengan 500 citra *database*. Pencocokan citra uji dan citra dalam *database* dilakukan dengan menggunakan metode Fuzzy *k*-NN. Akurasi pengenalan CRR diperoleh dengan menghitung perbandingan jumlah dari pengenalan citra data uji yang benar dengan jumlah keseluruhan data uji menggunakan persamaan (2.16). Hasil akurasi yang diperoleh akan divalidasi menggunakan prosedur *k-fold cross validation* dengan  $k=6$ , karena terdapat 6 jumlah citra sampel untuk setiap telapak tangan. Dari prosedur *k-fold cross validation* yang digunakan, diperoleh rata-rata akurasi (*mean accuracy*) untuk setiap hasil uji coba.

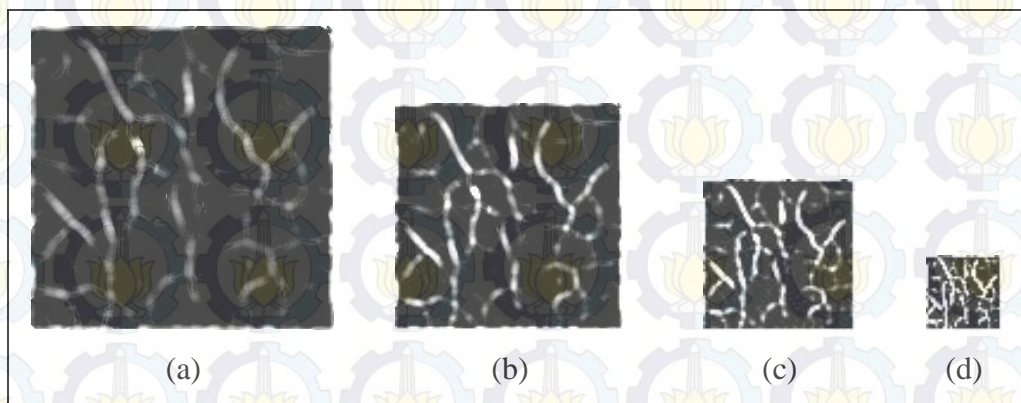
Pada tahapan uji coba juga dilakukan pengukuran waktu komputasi untuk mengukur kinerja dari sistem yang telah dibangun. Waktu komputasi yang diperoleh pada uji coba ini merupakan total waktu komputasi untuk pengenalan keseluruhan citra (100 citra uji).



Terdapat beberapa uji coba yang dilakukan dalam penelitian ini untuk menganalisis parameter-parameter yang optimal untuk metode yang diusulkan, yaitu parameter  $m$  pada Transformasi Wavelet 2D yang menunjukkan jumlah level dekomposisi, parameter  $N$  pada metode *Local Line Binary Pattern* yang menunjukkan jumlah ketetanggaan piksel yang digunakan pada operator vertikal dan horizontal, jenis *filter* Wavelet yang menghasilkan akurasi terbaik, serta parameter  $k$  pada metode Fuzzy  $k$ -NN yang menunjukkan jumlah ketetanggaan terdekat yang dipertimbangkan saat proses pengenalan.

#### 4.3.1 Hasil Uji Coba Level Dekomposisi pada Transformasi Wavelet 2D

Pada tahapan ini, dilakukan uji coba terhadap parameter  $m$  yang menunjukkan level dekomposisi Transformasi Wavelet 2D. Citra yang digunakan sebagai input adalah citra aproksimasi hasil dekomposisi (Gambar 3.6(a)). Tujuan dari uji coba ini adalah untuk memperoleh nilai  $m$  yang optimal. Terdapat tiga nilai parameter  $m$  yang digunakan pada uji coba ini yaitu  $m=1$ ,  $m=2$  dan  $m=3$ .



Gambar 4.3 (a) citra hasil praproses, (b) hasil dekomposisi dengan  $m=1$ , (c) hasil dekomposisi dengan  $m=2$  dan (d) hasil dekomposisi dengan  $m=3$ .

Gambar 4.3 menunjukkan contoh hasil dekomposisi Transformasi Wavelet 2D untuk setiap  $m$  level menggunakan *filter* Wavelet Haar. Gambar 4.3(a) merupakan citra *palm vein* hasil praproses berukuran 256 x 256 piksel, citra tersebut merupakan citra input yang akan diproses pada uji coba ini. Gambar 4.3(b) merupakan citra hasil dekomposisi 1 level berukuran 128 x 128 piksel, Gambar 4.3(c) merupakan citra hasil dekomposisi 2 level berukuran 64 x 64



piksel dan Gambar 4.3(d) merupakan citra hasil dekomposisi 3 level berukuran 32 x 32 piksel.

Setelah didapatkan citra hasil dekomposisi, dilakukan evaluasi dengan cara mencocokkan 100 citra uji dengan 500 citra *database*. Akurasi diperoleh dengan menghitung perbandingan jumlah dari pengenalan citra data uji yang benar dengan jumlah keseluruhan data uji menggunakan persamaan (2.16). Hasil akurasi tersebut divalidasi menggunakan *6-fold cross validation*, sehingga untuk setiap  $m$  level dekomposisi diperoleh rata-rata akurasi (*mean accuracy*). Selain akurasi, dievaluasi pula waktu komputasi untuk setiap  $m$  level dekomposisi. Waktu komputasi yang diperoleh pada uji coba ini merupakan total waktu komputasi untuk pengenalan keseluruhan citra (100 citra uji).

Tabel 4.1 Hasil Uji Coba Level Dekomposisi Transformasi Wavelet 2D.

$m$ Level	Ukuran Citra Hasil Dekomposisi (piksel)	Ukuran Fitur	Rata-rata Akurasi Pengenalan (%)	Waktu (detik)
1	128 x 128	16384	82.7	65.49
2	64 x 64	4096	85.3	19.05
3	32 x 32	1024	91.8	8.31

Tabel 4.1 menunjukkan hasil uji coba pengenalan citra *palm vein* untuk setiap  $m$  level dekomposisi. Dari tabel tersebut terlihat bahwa pada dekomposisi level 1, ukuran citra aproksimasi direduksi menjadi 128 x 128 piksel dengan panjang fitur 16384, dan diperoleh rata-rata akurasi pengenalan sebesar 82.7% dan waktu komputasi sebesar 65.49 detik. Pada dekomposisi level 2, ukuran citra aproksimasi direduksi menjadi 64 x 64 piksel dengan panjang fitur 4096, dan diperoleh rata-rata akurasi pengenalan sebesar 85.3% dan waktu komputasi sebesar 19.05 detik. Sedangkan pada dekomposisi level 3, ukuran citra aproksimasi direduksi menjadi 32 x 32 piksel dengan panjang fitur 1024, dan diperoleh rata-rata akurasi pengenalan sebesar 91.8% dan waktu komputasi sebesar 8.31 detik.



#### 4.3.2 Hasil Uji Coba Level Dekomposisi dan Jumlah Piksel Ketetanggaan



















Pada uji coba ini, citra input yang digunakan merupakan citra aproksimasi hasil  $m$  level ( $m = 1, 2, 3$ ) pada dekomposisi Transformasi Wavelet 2D menggunakan *filter* Haar. Dari hasil dekomposisi, diperoleh citra aproksimasi dengan ukuran  $128 \times 128$  piksel untuk dekomposisi level 1,  $64 \times 64$  piksel untuk dekomposisi level 2 dan  $32 \times 32$  piksel untuk dekomposisi level 3. Setiap citra aproksimasi hasil  $m$  level dekomposisi selanjutnya akan mengalami proses ekstraksi fitur dengan menggunakan metode LLBP dengan 6 nilai  $N$  yang berbeda ( $N = 7, 9, 11, 13, 15$  dan  $17$ ). Tujuan dari uji coba ini adalah untuk mendapatkan parameter  $m$  dan  $N$  yang optimal untuk pengenalan *palm vein*.

Dari proses ekstraksi fitur, diperoleh fitur tekstur yang berukuran sama dengan citra aproksimasi pada setiap level dekomposisi, yaitu  $128 \times 128$  atau 16384 fitur untuk dekomposisi level 1,  $64 \times 64$  atau 4096 fitur untuk dekomposisi level 2 dan  $32 \times 32$  atau 1024 fitur untuk dekomposisi level 3. Contoh hasil ekstraksi fitur untuk setiap  $m$  level dekomposisi dan  $N$  jumlah piksel ketetanggaan dari satu citra telapak tangan dapat divisualisasikan dalam bentuk citra seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Fitur tekstur dari citra uji yang dihasilkan pada uji coba ini akan dicocokkan dengan fitur tekstur pada *database* menggunakan Fuzzy  $k$ -NN dengan  $k = 2$ . Akurasi pengenalan CRR diperoleh dengan menghitung perbandingan jumlah dari pengenalan citra data uji yang benar dengan jumlah keseluruhan data uji menggunakan persamaan (2.16). Hasil akurasi tersebut selanjutnya divalidasi menggunakan *6-fold cross validation*, sehingga untuk setiap  $m$  level dekomposisi dan  $N$  jumlah piksel ketetanggaan, diperoleh rata-rata akurasi (*mean accuracy*). Selain akurasi, pada uji coba ini juga dilakukan evaluasi dan analisis terhadap waktu komputasi untuk setiap  $m$  level dekomposisi dan  $N$  jumlah piksel ketetanggaan. Waktu komputasi yang diperoleh pada uji coba ini merupakan total waktu komputasi untuk pengenalan keseluruhan citra (100 citra uji).



Tabel 4.2 Contoh Hasil Ekstraksi Fitur dari Satu Citra *Palm Vein* dengan Variasi Nilai  $m$  untuk Level Dekomposisi dan  $N$  Jumlah Piksel Ketetanggaan.

$N$ jumlah piksel	$m$ Level Dekomposisi		
	1	2	3
7			
9			
11			
13			
15			
17			



Tabel 4.3 menunjukkan rata-rata akurasi pada hasil uji coba pengenalan citra *palm vein* untuk setiap  $m$  level dekomposisi dan  $N$  jumlah piksel ketetanggaan. Sedangkan Tabel 4.4 menunjukkan waktu komputasi pada hasil uji coba pengenalan citra *palm vein* untuk setiap  $m$  level dekomposisi dan  $N$  jumlah piksel ketetanggaan.

Tabel 4.3 Hasil Uji Coba untuk Setiap  $m$  Level Dekomposisi dan  $N$  Jumlah Piksel Ketetanggaan.

$m$ level	Rata-rata akurasi pengenalan untuk setiap $N$ LLBP (%)					
	$N=7$	$N=9$	$N=11$	$N=13$	$N=15$	$N=17$
1	93.50	93.50	93.50	93.50	93.50	93.50
2	93.83	93.83	93.83	93.83	93.83	93.83
3	93.83	93.83	94.00	94.00	94.00	94.00

Tabel 4.4 Waktu Komputasi untuk setiap  $m$  Level Dekomposisi dan  $N$  Jumlah Piksel Ketetanggaan.

$m$ level	Waktu Komputasi untuk setiap $N$ LLBP (detik)						Rata-rata Waktu Komputasi (detik)
	$N=7$	$N=9$	$N=11$	$N=13$	$N=15$	$N=17$	
1	61.04	62.64	62.67	64.11	64.25	67.47	63.70
2	14.97	15.51	15.56	15.66	17.20	17.36	16.04
3	5.44	5.69	5.72	5.74	5.96	8.77	6.22

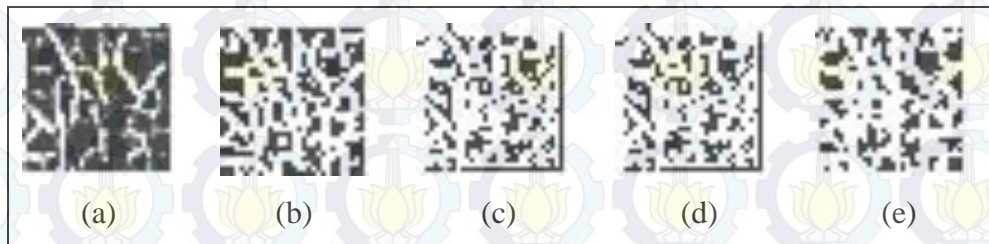
Dari Tabel 4.3 tersebut terlihat bahwa nilai rata-rata akurasi tertinggi, yaitu 94.00% diperoleh pada pengenalan citra *palm vein* hasil dekomposisi 3 level dengan  $N=11$ ,  $N=13$ ,  $N=15$  dan  $N=17$ . Dari keempat nilai  $N$  yang berbeda tersebut dipilih  $N=11$  sebagai parameter optimal karena berdasarkan Tabel 4.4, di antara keempat nilai  $N$  tersebut, waktu komputasi tersingkat diperoleh pada saat  $N=11$ . Oleh karena itu nilai  $m=3$  dan  $N=11$  dianggap sebagai nilai optimal untuk parameter  $m$  dan  $N$  pada uji coba ini. Dari Tabel 4.4 terlihat pula bahwa rata-rata waktu komputasi tersingkat (6.22 detik) pada pengenalan citra *palm vein* hasil dekomposisi level 3. Kombinasi nilai  $m=3$  untuk level dekomposisi Transformasi Wavelet 2D dan  $N=11$  untuk jumlah piksel ketetanggaan LLBP yang



menghasilkan rata-rata akurasi tertinggi (94.00%) akan digunakan pada uji coba selanjutnya.

#### 4.3.3 Hasil Uji Coba Jenis *Filter Wavelet*

Pada uji coba ini akan digunakan kombinasi nilai  $m=3$  level untuk dekomposisi Transformasi Wavelet 2D dan  $N=11$  untuk jumlah piksel ketetanggaan LLBP. Nilai parameter tersebut menghasilkan rata-rata akurasi tertinggi pada uji coba sebelumnya dengan menggunakan *filter Wavelet Haar*. Pada uji coba ini, rata-rata akurasi hasil dari uji coba sebelumnya yang menggunakan *filter Wavelet Haar* akan dibandingkan dengan 3 jenis *filter Wavelet* lainnya yaitu Daubechies 2, Symlets 2 dan Coiflets 1. Tujuan dari uji coba ini adalah menemukan *filter Wavelet* yang optimal dalam sistem pengenalan *palm vein*. Koefisien *low-pass filter* dan *high-pass filter* untuk keempat jenis *filter Wavelet* yang digunakan dalam uji coba ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 4.4 Contoh visualisasi dari fitur tekstur citra *palm vein* (a) hasil dekomposisi 3 level dengan *filter Wavelet Haar* (b), Daubechies 2 (c), Symlets 2 (d), dan Coiflets 1 (e).

Gambar 4.4 menunjukkan contoh visualisasi dari fitur tekstur citra *palm vein* hasil dekomposisi 3 level yang diekstraksi menggunakan metode LLBP dengan nilai  $N=11$ . Gambar 4.4(b) merupakan visualisasi fitur tekstur yang berukuran 32 x 32 piksel dari citra *palm vein* dekomposisi 3 level menggunakan *filter Wavelet Haar*. Gambar 4.4(c) merupakan visualisasi fitur tekstur yang berukuran 34 x 34 piksel dari citra *palm vein* dekomposisi 3 level menggunakan *filter Wavelet Daubechies 2*. Gambar 4.4(d) merupakan visualisasi fitur tekstur yang berukuran 34 x 34 piksel dari citra *palm vein* dekomposisi 3 level menggunakan *filter Wavelet Symlets 2*. Dan Gambar 4.4(e) merupakan visualisasi



fitur tekstur yang berukuran 36 x 36 piksel dari citra *palm vein* dekomposisi 3 level menggunakan *filter* Wavelet Coiflets 1.

Setelah didapatkan fitur tekstur dari citra *palm vein*, dilakukan evaluasi dengan cara mencocokkan 100 citra uji dengan 500 citra *database*. Akurasi pengenalan CRR diperoleh dengan menghitung perbandingan jumlah dari pengenalan citra data uji yang benar dengan jumlah keseluruhan data uji menggunakan persamaan (2.16). Hasil akurasi tersebut divalidasi menggunakan *6-fold cross validation*, sehingga untuk setiap jenis *filter* Wavelet, diperoleh rata-rata akurasi (*mean accuracy*). Selain akurasi, pada uji coba ini juga dilakukan evaluasi dan analisis terhadap waktu komputasi untuk setiap jenis *filter* Wavelet. Waktu komputasi yang diperoleh pada uji coba ini merupakan total waktu komputasi untuk pengenalan keseluruhan citra (100 citra uji).

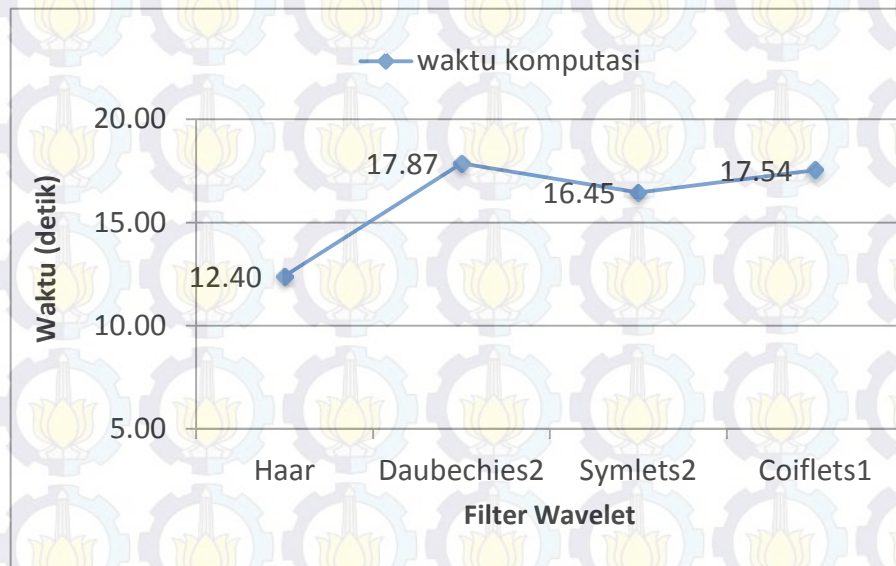
Tabel 4.5 Hasil Uji Coba Jenis *Filter* Wavelet.

<i>K-Fold</i>	Akurasi Pengenalan (%)			
	Haar	Daubechies2	Symlets2	Coiflets1
1	95.0	91.0	91.0	93.0
2	94.0	91.0	91.0	92.0
3	93.0	92.0	92.0	91.0
4	95.0	92.0	92.0	94.0
5	94.0	95.0	95.0	95.0
6	93.0	94.0	94.0	93.0
Rata-rata Akurasi	94.0	92.5	92.5	93.0

Tabel 4.5 menunjukkan hasil uji coba pengenalan citra *palm vein* untuk setiap jenis *filter* Wavelet. Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai rata-rata akurasi pengenalan citra *palm vein* hasil dekomposisi 3 level menggunakan *filter* Wavelet Haar (Gambar 4.4(b)) mencapai 94.0%, *filter* Wavelet Daubechies2 (Gambar 4.4(c)) dan *filter* Wavelet Symlets2 (Gambar 4.4(d)) keduanya sama-sama mencapai 92.5%, dan *filter* Wavelet Coiflets2 (Gambar 4.4(e)) mencapai 93.0%. Dengan demikian, rata-rata akurasi pengenalan tertinggi yaitu 94.0% diperoleh pada pengenalan citra *palm vein* hasil dekomposisi 3 level menggunakan *filter* Wavelet Haar. Adapun untuk waktu komputasi seperti yang ditunjukkan pada



Gambar 4.5, *filter* Wavelet Haar memiliki waktu komputasi tersingkat yaitu sebesar 12.40 detik dibandingkan dengan *filter* Wavelet Daubechies2 (17.87 detik), *filter* Wavelet Symlets2 (16.45 detik) dan *filter* Wavelet Coiflets1 (17.54 detik). Oleh karena itu, jenis *filter* Wavelet yang akan digunakan pada uji coba selanjutnya adalah *filter* Wavelet Haar.



Gambar 4.5 Waktu komputasi untuk *filter* Wavelet Haar, Daubechies2, Symlets2 dan Coiflets1.

#### 4.3.4 Hasil Uji Coba Parameter $k$ pada Fuzzy $k$ -NN

Pada uji coba ini akan digunakan parameter optimal yaitu  $m=3$  dan  $N=11$  serta *filter* Wavelet Haar yang menghasilkan rata-rata akurasi terbaik pada uji coba sebelumnya. Tujuan dari uji coba ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter  $k$  pada metode Fuzzy  $k$ -NN terhadap akurasi pengenalan *palm vein*. Pada uji sebelumnya telah digunakan  $k=2$  untuk metode Fuzzy  $k$ -NN. Pada uji coba ini setiap fitur citra uji *palm vein* akan dicocokkan dengan fitur pada *database* menggunakan Fuzzy  $k$ -NN dengan nilai  $k$  berbeda-beda, yaitu  $k = 3, 4, 5$  dan  $6$ . Hasil akurasi dari uji coba ini akan dibandingkan dengan hasil uji coba sebelumnya. Pada uji coba ini, akurasi pengenalan CRR diperoleh dengan menghitung perbandingan jumlah dari pengenalan citra data uji yang benar dengan jumlah keseluruhan data uji menggunakan persamaan (2.16). Hasil akurasi



tersebut divalidasi menggunakan *6-fold cross validation*, sehingga untuk setiap nilai  $k$ , diperoleh rata-rata akurasi (*mean accuracy*). Hasil dari uji coba ini ditunjukkan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji Coba Parameter  $k$  pada Metode Fuzzy  $k$ -NN.

$K\text{-Fold}$	Akurasi Pengenalan (%)				
	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$	$k=6$
1	95.0	95.0	95.0	94.0	92.0
2	94.0	93.0	93.0	93.0	92.0
3	93.0	93.0	92.0	90.0	90.0
4	95.0	95.0	95.0	93.0	93.0
5	94.0	94.0	95.0	95.0	95.0
6	93.0	93.0	92.0	92.0	90.0
Rata-rata Akurasi	94.0	93.83	93.67	92.83	92.0

Tabel 4.6 menunjukkan hasil uji coba pengenalan citra *palm vein* untuk setiap nilai  $k$  pada metode Fuzzy  $k$ -NN. Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai rata-rata akurasi tertinggi, yaitu 94.0% diperoleh pada pengenalan citra *palm vein* menggunakan Fuzzy  $k$ -NN dengan  $k=2$ . Dengan demikian, nilai  $k=2$  akan digunakan pada uji coba selanjutnya.

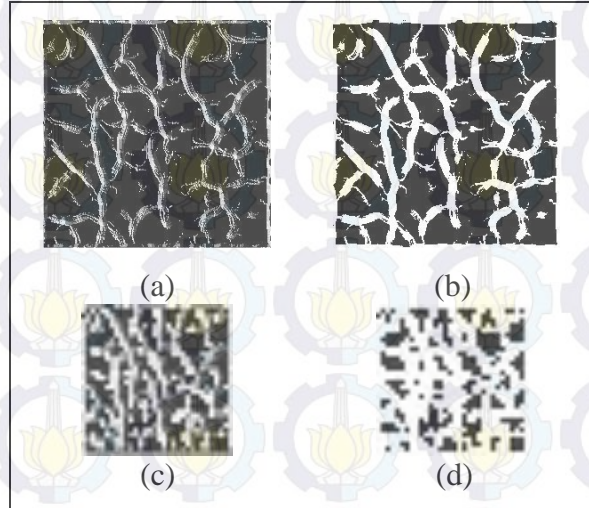
#### 4.3.5 Hasil Uji Coba LBP dan LLBP

Uji coba ini dilakukan untuk membandingkan akurasi pengenalan *palm vein* antara metode yang diusulkan yaitu *Local Line Binary Pattern* (LLBP) dengan metode sebelumnya yaitu *Local Binary Pattern* (LBP). Selain itu dilakukan pula perbandingan antara performa penggabungan metode Transformasi Wavelet 2D dan LBP dengan penggabungan metode Transformasi Wavelet 2D dan LLBP, untuk mengevaluasi performa metode yang diusulkan.

Contoh visualisasi fitur tekstur hasil ekstraksi dengan menggunakan metode LBP ditunjukkan pada Gambar 4.6(a), fitur tekstur hasil ekstraksi dengan menggunakan metode LLBP ditunjukkan pada Gambar 4.6(b), fitur tekstur hasil ekstraksi dengan menggunakan Wavelet Haar 3 level dekomposisi dan metode LBP ditunjukkan pada Gambar 4.6(c), serta fitur tekstur hasil ekstraksi dengan



menggunakan Wavelet Haar 3 level dekomposisi dan metode LLBP ditunjukkan pada Gambar 4.6(d).



Gambar 4.6 Contoh visualisasi fitur tekstur hasil ekstraksi menggunakan LBP (a), LLBP (b), Wavelet Haar 3 level dekomposisi + LBP (c), dan Wavelet Haar 3 level dekomposisi + LLBP (d).

Dengan menggunakan parameter optimal yaitu  $m=3$  untuk level dekomposisi Wavelet,  $N=11$  untuk jumlah piksel ketetanggaan, dan *filter* Wavelet Haar, setiap fitur citra uji *palm vein* yang diekstraksi menggunakan LLBP dan LBP akan dicocokkan dengan fitur pada *database* menggunakan Fuzzy  $k$ -NN dengan nilai  $k=2$ . Akurasi pengenalan CRR diperoleh dengan menghitung perbandingan jumlah dari pengenalan citra data uji yang benar dengan jumlah keseluruhan data uji menggunakan persamaan (2.16). Hasil akurasi tersebut divalidasi menggunakan *6-fold cross validation*, sehingga untuk metode LLBP dan LBP, masing-masing diperoleh rata-rata akurasi (*mean accuracy*).

Tabel 4.7 menunjukkan hasil uji coba pengenalan citra *palm vein* menggunakan metode LBP, Wavelet dan LBP, LLBP dan Wavelet LLBP. Dari tabel tersebut terlihat bahwa rata-rata akurasi pengenalan *palm vein* yang diperoleh dengan menggunakan metode ekstraksi fitur LBP mencapai 80.17%, dengan metode Wavelet dan LBP mencapai 89.33%, dengan metode LLBP mencapai 87.33% dan dengan Wavelet dan LLBP mencapai 94.00%. Dengan demikian, nilai rata-rata akurasi tertinggi, yaitu 94.0% diperoleh pada pengenalan



citra *palm vein* dengan fitur tekstur hasil ekstraksi menggunakan metode usulan yaitu Wavelet dan LLBP.

Tabel 4.7 Hasil Uji Coba Metode LLBP dan LBP.

<i>K-Fold</i>	Akurasi Pengenalan (%)			
	LBP	Wavelet + LBP	LLBP	Wavelet + LLBP
1	83.00	87.00	87.00	95.00
2	84.00	89.00	85.00	94.00
3	83.00	87.00	87.00	93.00
4	77.00	93.00	86.00	95.00
5	77.00	91.00	89.00	94.00
6	77.00	89.00	90.00	93.00
Rata-rata Akurasi	80.17	89.33	87.33	94.00

## 4.4 Pembahasan Hasil Pengujian

### 4.4.1 Level Dekomposisi

Bagian ini membahas hasil pengujian dari metode Transformasi Wavelet 2D dengan nilai parameter  $m$  yang berbeda untuk level dekomposisi. Untuk proses uji coba level 1, 2 dan 3, hasil berupa rata-rata akurasi dan waktu komputasi dapat dilihat pada Tabel 4.1, rata-rata akurasi tertinggi mencapai 91.8% pada dekomposisi level 3 dan terendah mencapai 82.7% pada dekomposisi level 1. Adapun untuk waktu komputasi tercepat mencapai 8.31 detik untuk dekomposisi level 3 dan waktu komputasi terlama mencapai 65.49 detik untuk dekomposisi level 1.

Dari seluruh uji coba level dekomposisi, level 3 memiliki rata-rata akurasi tertinggi dibandingkan dengan level 1 dan level 2. Hal ini karena pada setiap level dekomposisi Transformasi Wavelet, dilakukan penghilangan piksel pada frekuensi tinggi yang mengandung *noise* yang dapat mempengaruhi rata-rata akurasi. Selain itu, dari uji coba ini juga diperoleh bahwa dekomposisi level 3 memiliki waktu komputasi tercepat dibandingkan dengan level 1 dan level 2. Hal ini karena pada dekomposisi level 3, dihasilkan fitur yang berukuran lebih kecil (32 x 32) dibandingkan dengan dekomposisi level 1 (128 x 128) dan level 2 (64 x



64). Berdasarkan rata-rata akurasi dan waktu komputasi yang diperoleh pada penelitian ini, level 3 dianggap level yang paling optimal untuk dekomposisi citra *palm vein* sebelum dilakukan tahap ekstraksi fitur.

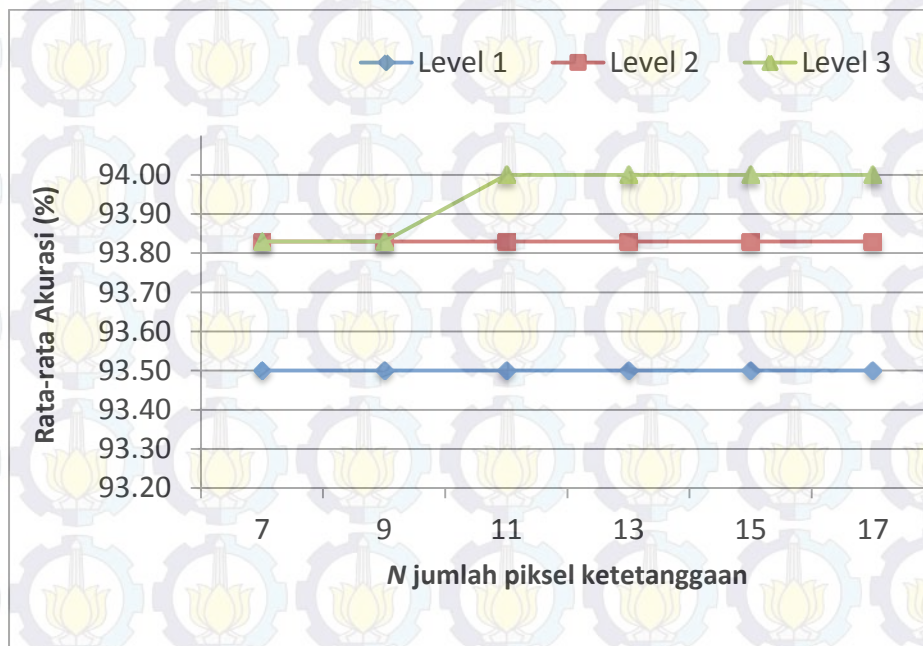
#### 4.4.2 Jumlah Piksel Ketetangaan

Bagian ini membahas hasil pengujian dari metode Transformasi Wavelet 2D dan metode *Local Line Binary Pattern* (LLBP) dengan nilai parameter  $m$  yang berbeda untuk level dekomposisi dan nilai parameter  $N$  yang berbeda untuk jumlah piksel ketetangaan. Untuk masing-masing proses uji coba level 1, 2 dan 3, digunakan 6 nilai  $N$  yang berbeda yaitu  $N = 7, 9, 11, 13, 15$  dan  $17$ . Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3, rata-rata akurasi tertinggi mencapai 94.0% pada dekomposisi level 3 dengan  $N=11, 13, 15$  dan  $17$ , dan rata-rata akurasi terendah mencapai 93.50% pada dekomposisi level 1 dengan  $N=7, 9, 11, 13, 15$  dan  $17$ .

Selain itu, Tabel 4.3 juga menunjukkan bahwa parameter  $N$  yang merupakan jumlah piksel ketetangaan tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap rata-rata akurasi pengenalan *palm vein* pada penelitian ini. Untuk setiap nilai  $N$  pada masing-masing level dekomposisi, perbedaan rata-rata akurasi yang dihasilkan kurang signifikan, yaitu berkisar antara 0-0.17%. Hal ini karena fitur tekstur yang dihasilkan cukup mirip untuk setiap  $N$  jumlah piksel ketetangaan, visualisasi fitur tekstur tersebut dapat dilihat pada pada Tabel 4.2. Rata-rata akurasi yang cenderung sama untuk setiap nilai  $N$  pada dekomposisi level 1, 2 dan 3 ditunjukkan pada Gambar 4.7.

Dari Gambar 4.7, terlihat adanya perbedaan rata-rata akurasi yang kurang signifikan dari 93.50% pada level 1 menjadi 94.0% pada level 3. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa parameter  $m$  yang merupakan level dekomposisi Transformasi Wavelet 2D, tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap rata-rata akurasi pengenalan *palm vein* pada penelitian ini yaitu hanya sebesar 0.5%. Hal ini karena fitur tekstur yang dihasilkan untuk setiap level dekomposisi cukup mirip, visualisasi fitur tekstur tersebut dapat dilihat pada pada Tabel 4.2.

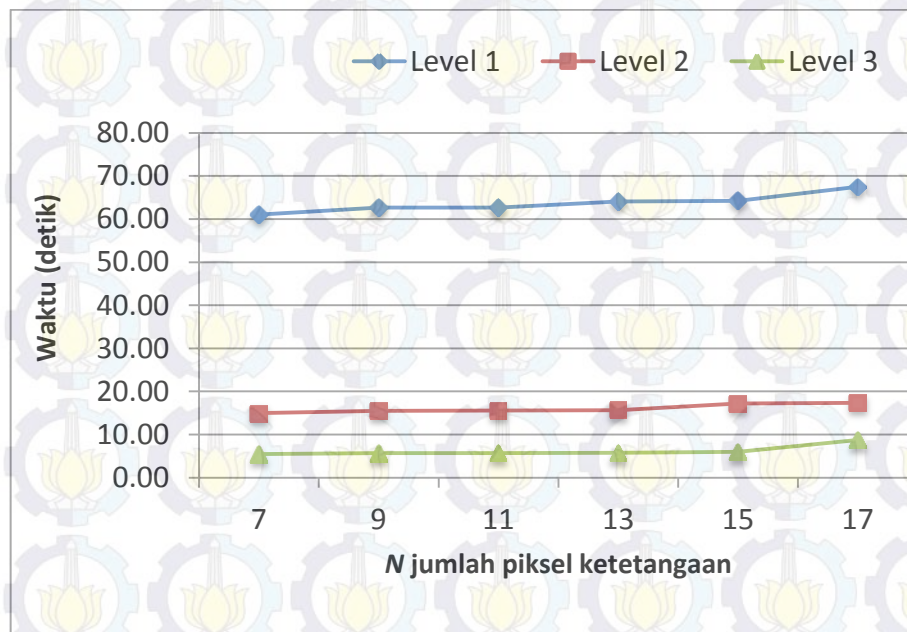




Gambar 4.7 Hasil Uji Coba untuk Setiap  $m$  Level Dekomposisi dan  $N$  Jumlah Piksel Ketetangaan.

Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa waktu komputasi tercepat mencapai 5.44 detik untuk dekomposisi level 3 dengan  $N=7$  sedangkan waktu komputasi terlama mencapai 67.47 detik untuk dekomposisi level 1 dengan  $N=17$ . Untuk setiap level dekomposisi, diperoleh rata-rata waktu komputasi dengan perbedaan yang signifikan, yaitu 63.70 detik pada dekomposisi level 1, 16.04 detik pada dekomposisi level 2 dan 6.22 detik pada dekomposisi level 3. Pengenalan *palm vein* pada dekomposisi level 3 memiliki waktu komputasi 10 kali lebih cepat jika dibandingkan dengan waktu komputasi pada pengenalan *palm vein* dekomposisi level 1. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa parameter  $m$  memiliki pengaruh terhadap waktu komputasi. Hal ini karena nilai dari parameter  $m$  menunjukkan jumlah level pada proses dekomposisi citra. Semakin besar nilai  $m$  maka semakin kecil ukuran fitur citra yang dihasilkan sehingga dapat mempercepat waktu komputasi. Sedangkan untuk setiap nilai  $N$  pada masing-masing level dekomposisi, perbedaan waktu komputasinya kurang signifikan, hanya berkisar antara 1-3 detik, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.





Gambar 4.8 Waktu Komputasi untuk setiap  $m$  Level Dekomposisi dan  $N$  Jumlah Piksel Ketetangaan.

Dari uji coba ini, diperoleh rata-rata akurasi tertinggi, 94.0% untuk dekomposisi level 3 dengan nilai  $N= 11, 13, 15$  dan  $17$ , sehingga pada penelitian ini, nilai  $m=3$  dianggap sebagai nilai yang paling optimal untuk dekomposisi citra *palm vein* sebelum dilakukan tahap ekstraksi fitur. Adapun untuk nilai parameter  $N$ , walaupun rata-rata akurasi 94.0% dicapai pada 4 nilai  $N$  yang berbeda, namun jika dilihat dari waktu komputasinya, nilai  $N=11$  dianggap paling optimal karena memiliki waktu komputasi tersingkat dibanding dengan ketiga nilai  $N$  lainnya yaitu 5.74 detik untuk  $N= 13$ , 5.96 detik untuk  $N=15$  dan 8.77 detik untuk  $N=17$ . Dengan demikian pada uji coba ini, diperoleh nilai optimal  $m=3$  untuk level dekomposisi dan  $N=11$  untuk jumlah piksel ketetangaan. Kedua nilai parameter optimal tersebut akan digunakan pada uji coba selanjutnya.

#### 4.4.3 Jenis *Filter Wavelet*

Bagian ini membahas hasil pengujian dari beberapa jenis *filter Wavelet* yaitu Haar, Daubechies 2, Symlets 2 dan Coiflets 1. Untuk masing-masing proses uji coba dengan keempat jenis *filter Wavelet* tersebut, digunakan parameter optimal dari uji coba sebelumnya yaitu  $m=3$  untuk level dekomposisi dan  $N=11$



untuk jumlah piksel ketetanggaan. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5, rata-rata akurasi tertinggi yang diperoleh dari uji coba ini mencapai 94.0% untuk *filter* Wavelet Haar dan rata-rata akurasi terendah mencapai 92.5% untuk *filter* Wavelet Daubechies 2 dan Symlets 2. Hal ini karena *filter* Wavelet Haar memiliki pengaruh yang lebih sedikit terhadap citra hasil dekomposisinya jika dibandingkan dengan ketiga *filter* Wavelet lainnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4(b), visualisasi fitur tekstur dari citra *palm vein* hasil dekomposisi menggunakan *filter* Wavelet Haar menyerupai citra input sebelum dekomposisi.

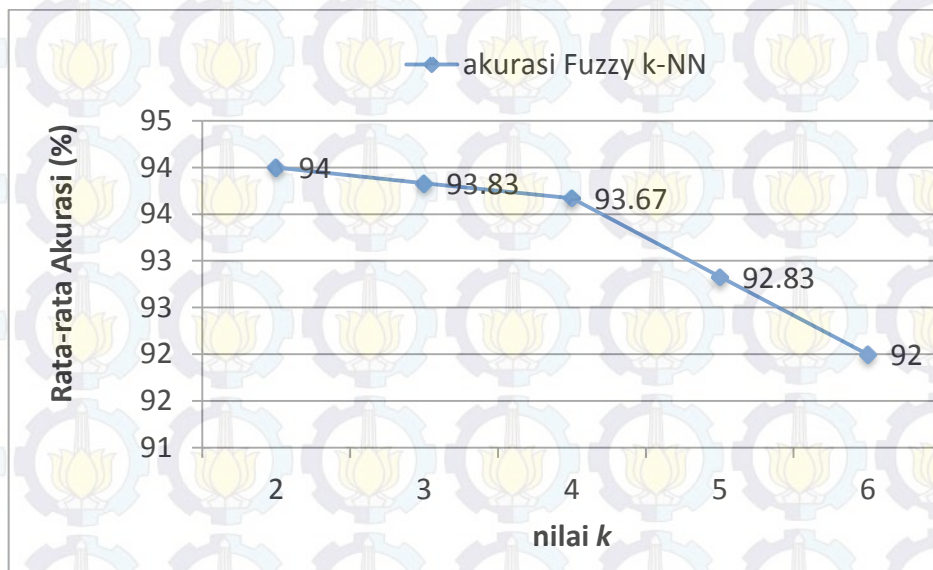
Selain itu, koefisien *filter* Wavelet Haar hanya terdiri dari 2 *low pass filter* dan 2 *high pass filter* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 sehingga *filter* Wavelet Haar memiliki waktu komputasi paling rendah yaitu 12.40 detik dibandingkan dengan *filter* Wavelet lainnya, yaitu 17.78 detik untuk Daubechies 2, 16.45 detik untuk Symlets 2 dan 17.54 detik untuk Coiflets 1. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5. Oleh karena itu, untuk uji coba selanjutnya pada penelitian ini digunakan *filter* Wavelet Haar untuk mendekomposisi citra *palm vein* sebelum tahap ekstraksi fitur.

#### 4.4.4 Parameter $k$ pada Fuzzy $k$ -NN

Bagian ini membahas hasil pengujian parameter  $k$  untuk metode Fuzzy  $k$ -NN pada rata-rata akurasi pengenalan citra *palm vein*. Parameter  $k$  merupakan parameter yang menunjukkan jumlah ketetanggaan terdekat yang dipertimbangkan saat proses pencocokan citra uji dan citra *database*. Untuk masing-masing proses uji coba dengan nilai  $k=1, 2$  dan  $3$ , digunakan parameter optimal dari uji coba sebelumnya yaitu  $m=3, N=11$  dan *filter* Wavelet Haar.

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.9, nilai rata-rata akurasi tertinggi mencapai 94.0% pada  $k=2$ , dan rata-rata akurasi terendah mencapai 92.0% dengan  $k=6$ . Hal ini tidak berarti bahwa nilai  $k=2$  lebih baik dibandingkan dengan  $k=3, 4, 5$  atau  $6$ . Hasil uji coba ini hanya menunjukkan bahwa nilai  $k$  yang sesuai untuk data pada penelitian ini adalah  $k=2$ . Oleh karena itu, untuk uji coba selanjutnya pada penelitian ini akan digunakan nilai  $k=2$  untuk metode Fuzzy  $k$ -NN.





Gambar 4.9 Rata-rata akurasi pengenalan untuk setiap nilai  $k$  pada metode Fuzzy  $k$ -NN.

#### 4.4.5 Kesalahan Pengenalan *Palm Vein*

Dalam uji coba yang dilakukan, terdapat kesalahan dalam pengenalan *palm vein* yang disebabkan oleh kesalahan pada tahap deteksi ROI dan adanya *pseudo* fitur yang dihasilkan pada tahap ekstraksi fitur. Kesalahan deteksi ROI disebabkan oleh variasi translasi dan rotasi pada *dataset* citra telapak tangan. Adapun *pseudo* fitur atau fitur palsu merupakan tepi citra ROI yang dianggap sebagai fitur *vein* setelah hasil ekstraksi fitur.

##### 1) Kesalahan pada tahap deteksi ROI

Posisi dan postur telapak tangan saat akuisisi citra *dataset* yang tidak memiliki batasan sehingga bentuk telapak tangan pada citra *palm vein* yang dihasilkan memiliki variasi translasi dan rotasi. Metode deteksi ROI pada penelitian ini belum mampu mengatasi banyak variasi rotasi dan translasi dalam citra *dataset*.

Pada penelitian ini, terdapat 16 citra telapak tangan yang harus mengalami *crop* manual karena hal tersebut. Tabel 4.8 menunjukkan contoh citra telapak tangan dengan *crop* ROI otomatis (sampel nomor 019\_01) oleh sistem pengenalan *palm vein* yang dibangun, dan beberapa contoh citra telapak