

**RANCANG BANGUN SISTEM PENILAIAN  
KUALITAS CUCI TANGAN BERBASIS VIDEO  
SECARA WAKTU-NYATA DENGAN  
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)**

**SKRIPSI**

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Sains**



**DAFFA AJI PANGESTU  
1306619063**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
2023**

## ABSTRAK

**DAFFA AJI PANGESTU.** Rancang Bangun Sistem Penilaian Kualitas Cuci Tangan Berbasis Video Secara Waktu-Nyata dengan *Convolutional Neural Network* (CNN). Dibawah bimbingan BAMBANG HERU ISWANTO dan ESA PRAKASA.

Proses mencuci tangan sangat efektif dalam pencegahan penyebaran penyakit. Namun, evaluasi kualitas cuci tangan yang akurat dan objektif masih menjadi tantangan hingga kini. Oleh karena itu diusulkan perancangan perangkat dan implementasi sebuah sistem penilaian kualitas cuci tangan berbasis video secara waktu-nyata untuk memberikan solusi otomatis dalam mengevaluasi kualitas cuci tangan. Metode penelitian melibatkan pengumpulan dataset video yang mencakup variasi gerakan cuci tangan menggunakan perangkat kamera yang terintegrasi pada sistem Raspberry-Pi. Dataset berupa citra dengan filter warna *skin mask* digunakan untuk melatih dan menguji model *Convolutional Neural Network* (CNN). Model CNN mengekstraksi fitur penting dan mengklasifikasikan citra sesuai dengan 6 katagori gerakan pencucian tangan menurut *World Health Organization* (WHO). Hasil eksperimen model CNN menunjukkan nilai akurasi rata-rata diatas 96% yang dilatih dengan arsitektur MobileNet, MobileNetV2, DenseNet121, NASNetMobile, ResNet50, dan VGG19. Selain itu, sistem ini juga mampu berjalan secara waktu-nyata dengan nilai *frame per second* maksimum sebesar 45 fps. Sistem juga akan memberikan umpan balik berupa informasi persentase kualitas pencucian tangan yang dinilai berdasarkan durasi dan kelengkapan gerakan pencucian tangan. Penurunan nilai akurasi terjadi saat pengujian sistem akibat variasi data baru dan kondisi lingkungan yang tidak terkendali.

**Kata kunci:** Cuci Tangan, Video, Waktu-Nyata, Raspberry-Pi, *Convolutional Neural Network*, *Skin Mask*.

## ABSTRACT

**DAFFA AJI PANGESTU.** Design and Build a Video-Based Handwashing Quality Assessment System in Real-Time with a Convolutional Neural Network (CNN). Under supervised by BAMBANG HERU ISWANTO and ESA PRAKASA.

The handwashing process is very effective in preventing the spread of disease. However, accurate and objective evaluation of handwashing quality remains a challenge. Therefore it is proposed to design a device and implement a video-based handwashing quality assessment system in real-time to provide an automatic solution for evaluating the quality of handwashing. The research method involves collecting a video dataset that includes variations of handwashing movements using a camera integrated into the Raspberry-Pi system. The dataset in the form of images with skin mask color segmentation is used to train and test the (CNN) Convolutional Neural Network model. The CNN model will extract essential features and classify images according to six categories of handwashing movements, according to the World Health Organization (WHO). The experimental results of the CNN model show an average accuracy value of above 96% which is trained with the MobileNet, MobileNetV2, DenseNet121, NASNetMobile, ResNet50, and VGG19 architectures. In addition, this system is also capable of running in real-time with maximum frame-per-second value of 45 fps. The system will also provide feedback in the form of information on the proportion of handwashing quality assessed based on the duration and completeness of the handwashing movements. A decrease in the value of accuracy occurs when testing the system due to variations in new data and uncontrolled environmental conditions.








**Keywords:** *Handwashing, Video, Real-Time, Raspberry-Pi, Convolutional Neural Network, Skin Mask.*



## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### RANCANG BANGUN SISTEM PENILAIAN KUALITAS CUCI TANGAN BERBASIS VIDEO SECARA WAKTU-NYATA DENGAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

Nama : Daffa Aji Pangestu  
No Registrasi : 1306619063

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
<b>Penanggung Jawab</b>			
Dekan	: Prof.Dr.Muktiningsih N., M.Si NIP. 196405111989032001		24-08-2023
<b>Wakil Penanggung Jawab</b>			
Wakil Dekan I	: Dr. Esmar Budi, M.T. NIP. 197207281999031002		24-08-2023
Ketua	: Dr. Teguh Budi Prayitno, M.Si NIP. 198205262008121001		09-08-2023
Sekretaris	: Haris Suhendar, M.Sc NIP. 199404282022031006		08-08-2023
<b>Anggota</b>			
Pembimbing I	: Dr. rer. nat. Bambang Heru Iswanto, M.Si NIP. 196804011994031002		15/8 2023
Pembimbing II	: Dr. Esa Prakasa, M.T NIP. 197603222005021003		10-08-2023
Penguji	: Riser Fahdiran, M.Si NIP. 198307172009121008		08-08-2023

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 26 Juli 2023

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul “Rancang Bangun Sistem Penilaian Kualitas Cuci Tangan Berbasis Video Secara Waktu-Nyata dengan *Convolutional Neural Network* (CNN)” yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta adalah karya ilmiah saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian – bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sanding dan sanksi – sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang – undangan yang berlaku.

Jakarta, 26 Juli 2023



Daffa Aji Pangestu



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA  
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220  
Telepon/Faksimili: 021-4894221  
Laman: [lib.unj.ac.id](http://lib.unj.ac.id)

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Daffa Aji Pangestu  
NIM : 1306615063  
Fakultas/Prodi : MIPA / Fisika  
Alamat email : daffaaji@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi     Tesis     Disertasi     Lain-lain (.....)

yang berjudul :

RANCANG BANGUN SISTEM PENILAIAN KUALITAS  
CUCI TANGAN BERBASIS VIDEO SECARA WAKTU - NYATA  
DENGAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta

Penulis

( Daffa Aji Pangestu )  
nama dan tanda tangan



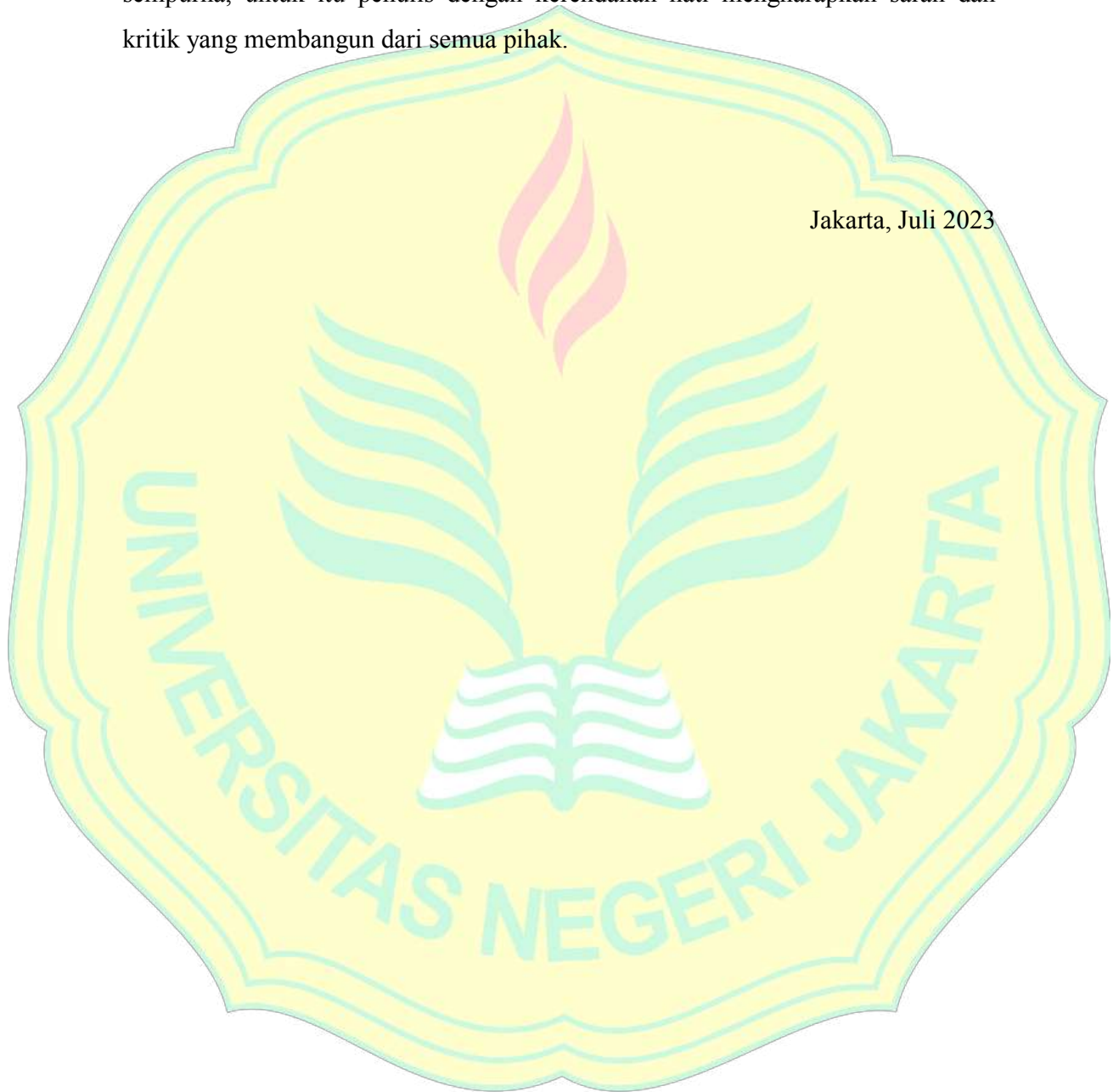
## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian Sains dengan judul **Rancang Bangun Sistem Penilaian Kualitas Cuci Tangan Berbasis Video Secara Waktu-Nyata dengan Convolutional Neural Network (CNN)** dapat penulis selesaikan. Melalui kata-kata ini, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan secara langsung ataupun tidak langsung selama proses penulisan skripsi ini. Secara khusus penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada yang terhormat :

1. Dr. rer. nat. Bambang Heru Iswanto, M.Si, selaku Koordinator Program Studi Magister Pendidikan Fisika, selaku dosen pembimbing skripsi, sekaligus dosen pembimbing akademik penulis.
2. Dr. Esa Prakasa, M.T, selaku Kepala Pusat Riset Sains Data dan Informasi, BRIN, sekaligus dosen pembimbing skripsi penulis.
3. Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si, selaku Koordinator Program Studi Fisika
4. Seluruh dosen pengampu Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta
5. Rekan-rekan sejawat, mahasiswa Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta, Angkatan 2019
6. Seluruh Sivitas Akademika Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan pengetahuan dan jasanya kepada penulis selama mengikuti perkuliahan.
7. Seluruh staff Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN), KST Samaun Samadikun, Bandung, yang terlibat dalam pembuatan dan peminjaman alat selama penelitian.
8. Kedua orang tua penulis yang telah mendidik, mendukung, mendoakan, dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Semoga segala kebaikan dan pertolongan dari pihak-pihak yang terkait dalam penyusunan skripsi ini mendapat balasan yang lebih besar dan keberkahan dari Allah Swt. Akhir kata penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis dengan kerendahan hati mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Jakarta, Juli 2023

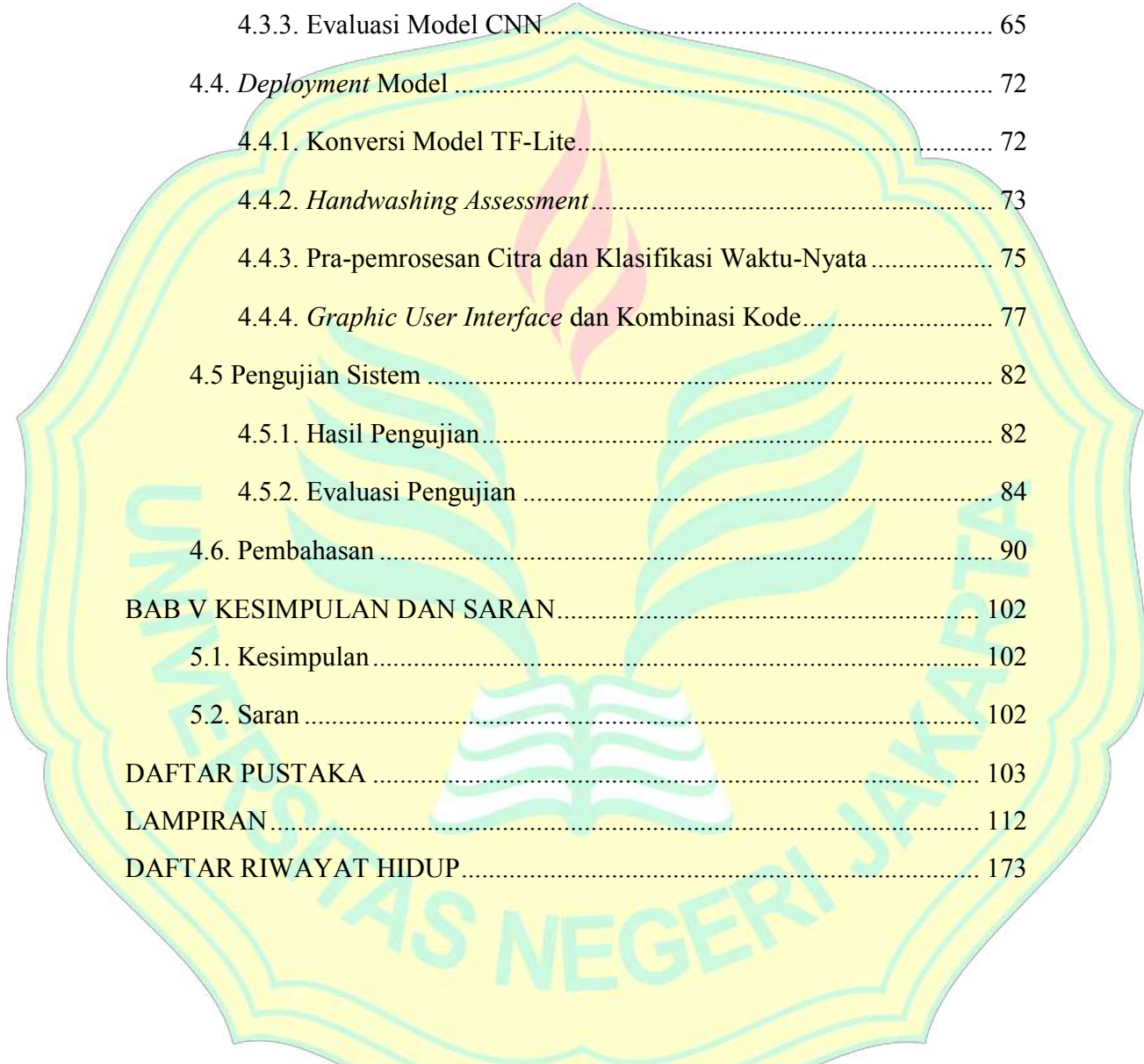




## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	I
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	II
KATA PENGANTAR .....	III
ABSTRAK .....	V
ABSTRACT .....	VI
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR TABEL.....	X
DAFTAR GAMBAR .....	XI
LAMPIRAN.....	XIV
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	6
2.1. Parameter Pencucian Tangan.....	6
2.1.1. Pengertian Gerakan Cuci Tangan.....	6
2.1.2. Manfaat Cuci Tangan .....	7
2.1.3. Tahapan Cuci Tangan.....	7
2.2. <i>Convolutional Neural Network</i> .....	10
2.2.1. Pengertian <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) .....	10
2.2.2. Jenis Arsitektur <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) .....	13
2.2.3. <i>Hyperparameter Convolutional Neural Network</i> (CNN).....	17
2.2.4. Metode Evaluasi <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN) .....	21
2.3. Analisis Citra .....	22
2.3.1. Karakteristik Citra .....	22

2.3.2. <i>Image Processing</i> .....	23
2.3.3. Metode <i>Skin Mask</i> .....	25
2.4. Analisis Video .....	27
2.5. <i>Single Board Computer</i> .....	29
2.5.1. Pengertian <i>Single Board Computer</i> dan <i>Edge Computer</i> .....	29
2.5.2. Penggunaan <i>Single Board Computer</i> .....	30
2.5.3. Jenis <i>Single Board Computer</i> .....	30
2.3.4. Tipe Model TFLite .....	31
2.6. Penelitian yang Relevan .....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>36</b>
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	36
3.2. Metode Penelitian .....	36
3.2.1. Alat dan Dataset .....	37
3.2.2. Prosedur Penelitian .....	39
3.3. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data .....	45
3.3.1. Teknik Pengumpulan Data .....	45
3.3.2. Teknik Analisis Data .....	47
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>48</b>
4.1. Rancang Bangun Sistem .....	48
4.1.1. Desain 3D Kerangka Sistem .....	48
4.1.2. Pencetakan Kerangka Sistem .....	51
4.1.3. Perakitan Perangkat dan Sistem .....	52
4.2. Akuisisi Data .....	54
4.2.1. Pra-pemrosesan Data .....	55
4.2.2. Seleksi Data .....	56



4.3. <i>Deep learning</i> Model CNN .....	57
4.3.1. Augmentasi Data .....	59
4.3.2. Pelatihan Model CNN .....	59
4.3.3. Evaluasi Model CNN .....	65
4.4. <i>Deployment</i> Model .....	72
4.4.1. Konversi Model TF-Lite .....	72
4.4.2. <i>Handwashing Assessment</i> .....	73
4.4.3. Pra-pemrosesan Citra dan Klasifikasi Waktu-Nyata .....	75
4.4.4. <i>Graphic User Interface</i> dan Kombinasi Kode .....	77
4.5 Pengujian Sistem .....	82
4.5.1. Hasil Pengujian .....	82
4.5.2. Evaluasi Pengujian .....	84
4.6. Pembahasan .....	90
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>102</b>
5.1. Kesimpulan .....	102
5.2. Saran .....	102
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>103</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>112</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>173</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kualitas Penilaian Cuci Tangan.....	9
Tabel 2.2	Contoh <i>Confusion Matrix</i> (Greco dkk., 2022).....	21
Tabel 2.3	Contoh Filter dalam Pemrosesan Citra (Rafael, 2017).....	24
Tabel 2.4	Contoh Matriks Transformasi (Rafael, 2017).....	24
Tabel 2.5	Spesifikasi SBC Raspberry-Pi.....	30
Tabel 3.1	Linimasa Penelitian.....	36
Tabel 3.2	Spesifikasi PC.....	37
Tabel 3.3	Spesifikasi Raspberry-Pi.....	37
Tabel 3.4	<i>Confusion Matrix</i> untuk 7 Katagori Pencucian Tangan.....	47
Tabel 4.1	Kerangka Filamen dan <i>Hardware</i> yang digunakan.....	53
Tabel 4.2	Jumlah Dataset.....	56
Tabel 4.3	<i>File Path</i> Dataset.....	58
Tabel 4.4	Jumlah Dataset dengan K-Fold = 3.....	58
Tabel 4.5	Parameter Arsitektur.....	60
Tabel 4.6	<i>Hyperparamter</i> Pelatihan Model.....	60
Tabel 4.7	Nilai Akurasi dan Durasi Hasil Pelatihan Model.....	64
Tabel 4.8	<i>Evaluation Metrics</i> model MobileNet.....	65
Tabel 4.9	<i>Evaluation Metrics</i> model MobileNetV2.....	66
Tabel 4.10	<i>Evaluation Metrics</i> model DenseNet121.....	67
Tabel 4.11	<i>Evaluation Metrics</i> model NASNetMobile.....	68
Tabel 4.12	<i>Evaluation Metrics</i> model ResNet50.....	69
Tabel 4.13	<i>Evaluation Metrics</i> model VGG19.....	70
Tabel 4.14	Nilai Hasil Evaluasi Model.....	71
Tabel 4.15	Perbandingan Ukuran Model dan Waktu Inferensi Model.....	73
Tabel 4.16	Skema Penilaian Kualitas Cuci Tangan.....	74
Tabel 4.17	Data Hasil Pengujian Sistem.....	83
Tabel 4.18	<i>Evaluation Metrics</i> Responden ke-1.....	84
Tabel 4.19	<i>Evaluation Metrics</i> Responden ke-2.....	85
Tabel 4.20	<i>Evaluation Metrics</i> Responden ke-3.....	86
Tabel 4.21	<i>Evaluation Metrics</i> Responden ke-4.....	87
Tabel 4.22	<i>Evaluation Metrics</i> Responden ke-5.....	88
Tabel 4.23	<i>Evaluation Metrics</i> Pengujian Sistem.....	89
Tabel 4.24	Nilai Evaluasi Model.....	92
Tabel 4.25	Nilai Parameter, Durasi, dan Akurasi Arsitektur.....	96
Tabel 4.26	Jumlah Parameter dan Inferensi Model.....	97
Tabel 4.27	Nilai Evaluasi Pengujian Sistem.....	98
Tabel 4.28	Komparasi Hasil Riset Sebelumnya.....	100

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Cuci Tangan Sebagai Pencegahan Penularan Penyakit (Curtis & Cairncross, 2003).....	6
Gambar 2.2	Langkah – Langkah Pencucian Tangan (WHO, 2009) .....	8
Gambar 2.3	Arsitektur <i>Deep learning</i> Menggunakan <i>Convolutional Neural Network</i> (Yasaka dkk., 2018) .....	10
Gambar 2.4	Perhitungan Konvolusi Citra (Pang & Wu, 2019) .....	11
Gambar 2.5	<i>Input</i> pada ANN (Nwankpa dkk., 2018) .....	12
Gambar 2.6	Arsitektur MobileNet (Sinha & El-Sharkawy, 2019).....	13
Gambar 2.7	Arsitektur MobileNetv2 (Shahi dkk., 2022).....	14
Gambar 2.8	Arsitektur DenseNet121 (G. Huang dkk., 2017).....	15
Gambar 2.9	Skema Pembentukan Arsitektur NASNetMobile (Karagiannakos, 2022).....	16
Gambar 2.10	Arsitektur VGG19 (Bansal dkk., 2021) .....	16
Gambar 2.11	Arsitektur ResNet50 (Li & Lima, 2021) .....	17
Gambar 2.12	Contoh Kernel $3 \times 3$ (Agyemang, 2021) .....	18
Gambar 2.13	Analisis Segmentasi HSV (Rahim dkk., 2020) .....	26
Gambar 2.14	Proses <i>Skin Mask</i> (Rahim dkk., 2020).....	26
Gambar 2.15	Percobaan <i>Skin Mask</i> .....	27
Gambar 2.16	Perbandingan Resolusi Video .....	28
Gambar 2.17	Aspek Rasio Video.....	28
Gambar 2.18	Perbedaan Ruang Warna (Boulkenafet dkk., 2016).....	29
Gambar 2.19	Alur Konversi TFLite (Google, 2022) .....	31
Gambar 3.1	Spesifikasi Dataset yang digunakan.....	38
Gambar 3.2	Alur Metode Penelitian .....	39
Gambar 3.3	Ilustrasi Rancangan Alat (Prakasa dkk., 2021) .....	42
Gambar 3.4	Rancangan dan Posisi Komponen yang digunakan (a), Desain 3D dengan <i>Software</i> Blender (b).....	43
Gambar 3.5	Prototipe Sebelumnya (a), Hasil Pengembangan Prototipe (b).....	44
Gambar 3.6	Alur Seleksi <i>Frame</i> Citra .....	46
Gambar 3.7	Kategori Gerakan Pencucian Tangan.....	46
Gambar 4.1	Desain 3D Perangkat (a), Bagian Perangkat untuk Mengatur Tinggi, Lebar dan Panjang (b) .....	48
Gambar 4.2	Desain 3D Bentuk dan Ukuran Setiap Bagian Perangkat .....	50
Gambar 4.3	Tampilan <i>Software</i> Ultimaker Cura .....	51
Gambar 4.4	Proses Pencetakan Bagian Perangkat dengan <i>3D print</i> .....	51
Gambar 4.5	Hasil Pencetakan dengan <i>3D print</i> .....	52
Gambar 4.6	Perakitan Hasil Cetak 3D (a), Hasil Perakitan Perangkat(b) .....	53



Gambar 4.7	Proses Akusisi Data.....	54
Gambar 4.8	Alur Prapemrosesan Data.....	55
Gambar 4.9	Karakteristik Dataset.....	55
Gambar 4.10	Alur Seleksi Data.....	56
Gambar 4.11	Hasil Pengelompokkan <i>Frame</i> Data.....	57
Gambar 4.12	Ilustrasi Metode <i>Cross Validation</i> .....	58
Gambar 4.13	Modifikasi <i>Input</i> dan <i>Output</i> Layers.....	59
Gambar 4.14	Grafik Akurasi Model Fold =1.....	61
Gambar 4.15	Grafik Akurasi Model Fold =2.....	62
Gambar 4.16	Grafik Akurasi Model Fold =3.....	63
Gambar 4.17	<i>Confusion Matrix</i> model MobileNet.....	65
Gambar 4.18	<i>Confusion Matrix</i> model MobileNetV2.....	66
Gambar 4.19	<i>Confusion Matrix</i> model DenseNet121.....	67
Gambar 4.20	<i>Confusion Matrix</i> model NASNetMobile.....	68
Gambar 4.21	<i>Confusion Matrix</i> model ResNet50.....	69
Gambar 4.22	<i>Confusion Matrix</i> model VGG19.....	70
Gambar 4.23	Kode Konversi Model TF-Lite.....	72
Gambar 4.24	Alur Pra-pemrosesan Citra Waktu-Nyata.....	76
Gambar 4.25	Kode Pra-perosesan Citra.....	76
Gambar 4.26	Alur Proses Model TF-Lite Waktu-Nyata.....	76
Gambar 4.27	Kode Klasifikasi Citra.....	77
Gambar 4.28	Kode inisiasi GUI.....	78
Gambar 4.29	Kode Menampilkan dan Mengupdate Jendela GUI.....	78
Gambar 4.30	Tampilan GUI.....	79
Gambar 4.31	Alur Kode Asses_Tkinter_indo.py.....	80
Gambar 4.32	<i>Output</i> Kode Asses_Tkinter_indo.py.....	81
Gambar 4.33	Tampilan Sistem pada Layar LCD.....	81
Gambar 4.34	Dokumentasi Pengujian Sistem (a), Tampilan Sistem Setelah Pencucian Tangan Selesai (b).....	82
Gambar 4.35	<i>Confusion Matrix</i> Responden ke-1.....	84
Gambar 4.36	<i>Confusion Matrix</i> Responden ke-2.....	85
Gambar 4.37	<i>Confusion Matrix</i> Responden ke-3.....	86
Gambar 4.38	<i>Confusion Matrix</i> Responden ke-4.....	87
Gambar 4.39	<i>Confusion Matrix</i> Responden ke-5.....	88
Gambar 4.40	Pencucian Tangan pada Sistem.....	90
Gambar 4.41	<i>Skin Mask</i> dengan Intensitas Cahaya Rendah(a), dengan Latar yang Tidak Kontras(b), Hasil <i>masking</i> yang ideal(c).....	91
Gambar 4.42	Grafik <i>Training</i> MobileNetV2 (a), MobileNet (b), ResNet50 (c), dan VGG19 (d).....	93
Gambar 4.43	Bentuk Tangan Label “Step-1”(a)(b), “Step-2”(c), “Step-3”(d). ...	94



Gambar 4.44 *Confusion Matrix* MobileNet (a) dan VGG19 (b)..... 95  
Gambar 4.45 Perbandingan Arsitektur MobileNet (a) dengan MobileNetV2 (b).95  
Gambar 4.46 *Confusion Matrix* Sampel Pengujian Pertama ..... 99



## LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Desain 3D Perangkat.....	113
Lampiran 2. Dokumentasi Pencetakan Alat.....	119
Lampiran 3. Proses Perakitan Alat.....	122
Lampiran 4. Dokumentasi Proses Akuisi Data.....	127
Lampiran 5. Hasil Seleksi Dataset.....	129
Lampiran 6. Grafik <i>Training Loss</i> .....	143
Lampiran 7. Matrix Evaluasi Model ( <i>fold 1&amp;3</i> ).....	146
Lampiran 8. Tampilan Hasil Pengujian Sistem.....	148
Lampiran 9. Hasil Prediksi (Benar) Pengujian Sistem.....	150
Lampiran 10. Hasil Prediksi (Salah) Pengujian Sistem.....	168

