

**Perancangan *Prototype* dan Implementasi *Digital Twin* Berbasis
Smart Manufacturing pada *Teaching Factory* untuk Monitoring
Produksi di Era Industri 4.0**



Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Oleh :

AULIA APRILIANI

NIM : 1502622001

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
TAHUN 2026**

**Perancangan *Prototype* dan Implementasi *Digital Twin* Berbasis
Smart Manufacturing pada *Teaching Factory* untuk Monitoring
Produksi di Era Industri 4.0**



Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Oleh :

AULIA APRILIANI

NIM : 1502622001

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
TAHUN 2026**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
BENTUK : SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Aulia Apriliani
NIM : 1502622001
Judul : Perancangan *Prototype* dan Implementasi *Digital Twin*
Berbasis *Smart Manufacturing* pada *Teaching Factory*
untuk Monitoring Produksi di Era Industri 4.0.

Ini telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat untuk diajukan dalam ujian tugas akhir.

Jakarta, 2 Juli 2026

Pembimbing I



Dra. Ratu Amilia Avianti, M.Pd.
NIDN. 0016066509

Pembimbing II



Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D.
NIDN. 0016107105

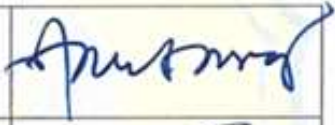
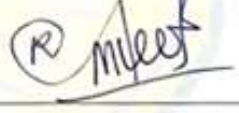
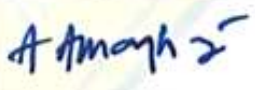
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

BENTUK : SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Aulia Apriliani
NIM : 1502622001
Program Studi/Fakultas : Pendidikan Teknik Mesin
Judul : Perancangan *Prototype* dan Implementasi *Digital Twin* Berbasis *Smart Manufacturing* pada *Teaching Factory* untuk Monitoring Produksi di Era Industri 4.0.

Ini telah dipertahankan dihadapan dewan penguji dan dinyatakan Lulus/ Tidak Lulus)*
Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji pada Tanggal 10 Agustus 2026.

Tim Penguji,

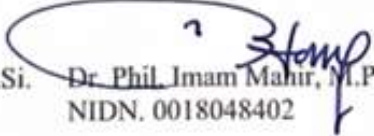
Ketua Penguji	Drs. Tri Bambang AK, M.Pd.	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 1)	Reza Febriano Armas, S.Pd., M.T.	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 2)	Drs. Syaripuddin, M.Pd.	
Anggota Penguji (Pembimbing 1)	Dra. Ratu Amilia Avianti, M.Pd.	
Anggota Penguji (Pembimbing 2)	Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D.	

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik


Prof. Dr. Neneng Siti Silfi Ambarwati, S.Si., Apt., M.Si.
NIDN. 0029027204

Koordinator Program Studi
Pendidikan Teknik Mesin.


Dr. Phil Imam Mahir, M.Pd.
NIDN. 0018048402

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Nama Mahasiswa : Aulia Apriliani
NIM : 1502622001
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul TA : Perancangan *Prototype* dan Implementasi *Digital Twin*
Berbasis *Smart Manufacturing* pada *Teaching Factory* untuk
Monitoring Produksi di Era Industri 4.0

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya tulis ilmiah ini.

Jakarta, 2 Juli 2026


METERAI
TEMPEL
E1E0DAOX096880989
Aulia Apriliani
1502622001

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: 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 : Aulia Apriliani
NIM : 1502622001
Fakultas/Prodi : Teknik / Pendidikan Teknik Mesin
Alamat email : auliapr11704@gmail.com

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

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

yang berjudul :

"Perancangan *Prototype* dan Implementasi *Digital Twin* Berbasis *Smart Manufacturing* pada *Teaching Factory* untuk Monitoring Produksi di Era Industri 4.0."

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan 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, 18 Agustus 2024

Penulis

(Aulia Apriliani)
nama dan tanda tangan

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, karya sederhana ini saya persembahkan kepada orang-orang yang selalu menjadi bagian penting dalam perjalanan saya menyelesaikan pendidikan.

Untuk Ayah dan Ibu tercinta, terima kasih atas doa yang tidak pernah putus, kasih sayang yang tidak pernah berkurang, serta segala pengorbanan yang mungkin tidak akan pernah mampu saya balas sepenuhnya. Terima kasih telah menjadi tempat saya pulang ketika lelah, menjadi penguat ketika ragu, dan menjadi alasan bagi saya untuk terus berusaha menyelesaikan apa yang telah saya mulai. Pencapaian ini bukan hanya milik saya, tetapi juga milik kalian. Untuk keluarga tercinta, terima kasih atas setiap dukungan, perhatian, semangat, dan doa yang diberikan selama perjalanan pendidikan ini. Kehadiran kalian membuat setiap proses yang sulit terasa lebih ringan dan setiap pencapaian terasa lebih berarti.

Untuk seseorang yang selalu menemani, terima kasih telah hadir dan bertahan di setiap prosesnya. Terima kasih atas waktu, perhatian, dukungan, kesabaran, serta semangat yang diberikan ketika saya berada di titik lelah dan mulai meragukan diri sendiri. Terima kasih telah menjadi tempat bercerita, tempat berkeluh kesah, sekaligus salah satu alasan untuk terus melangkah. Semoga segala hal baik yang telah diberikan dalam perjalanan ini selalu kembali dalam bentuk kebaikan yang lebih besar.

Untuk diri saya sendiri, terima kasih karena telah bertahan sejauh ini. Terima kasih karena tetap melangkah meskipun ada hari-hari ketika semuanya terasa berat. Terima kasih karena tidak menyerah ketika prosesnya tidak selalu berjalan sesuai harapan. Skripsi ini menjadi bukti bahwa setiap langkah kecil, setiap revisi, setiap kegagalan, dan setiap air mata pada akhirnya membawa saya sampai pada titik ini. Karya ini mungkin sederhana, tetapi di dalamnya terdapat begitu banyak doa, perjuangan, dukungan, dan kasih sayang dari orang-orang yang berarti.

Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan saya.

“Tidak ada proses yang sia-sia ketika dijalani dengan doa, usaha, dan ketekunan.”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan *Prototype* dan Implementasi *Digital Twin* Berbasis *Smart Manufacturing* pada *Teaching Factory* untuk Monitoring Produksi di Era Industri 4.0” dengan baik.

Penyusunan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.

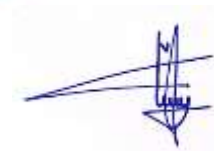
Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, arahan, serta semangat, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Phil. Imam Mahir, S.Pd., M.Pd., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan dan arahan selama penulis menempuh pendidikan.
2. Dra. Ratu Amilia Avianti, M.Pd., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, serta ilmu yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, dukungan, serta masukan yang sangat membantu dalam proses penulisan skripsi ini.
4. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta yang telah membantu dan memberikan fasilitas selama penulis menempuh pendidikan.
5. Bapak Achmad Pauzi, S.T., M.T., selaku Kepala Program Teknik Pemesinan SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta yang telah memberikan izin, dukungan, serta kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian.

6. Bapak Yoko Permadi, S.T., Bapak Darwin Noerfebrianto, S.T., Bapak Oldy Viansyah, S.Pd., dan Bapak Sukri, S.T., M.T. yang telah membimbing jalannya penelitian ini serta memberikan bantuan selama proses penelitian berlangsung.
7. Keluarga dan teman-teman yang selalu memberikan doa, dukungan moral, semangat, serta menjadi tempat berbagi cerita selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena tetap percaya penulis bisa lulus, meskipun kalimat “sebentar lagi selesai” sudah diucapkan sejak beberapa bulan yang lalu.
8. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Diyana Septiyana dan Syifa Amalia, sahabat yang telah menemani perjalanan penulis sejak bangku SMP hingga akhirnya berhasil bertahan bersama sampai di penghujung masa perkuliahan. Terima kasih karena tidak bosan menjadi tempat berbagi cerita, saling menguatkan, saling mengingatkan, dan membuktikan bahwa persahabatan yang dimulai sejak remaja ternyata bisa bertahan sampai sama-sama menyelesaikan skripsi. Semoga setelah ini yang kita perjuangkan bukan lagi deadline tugas, tetapi impian masing-masing.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi kontribusi positif dalam pengembangan teknologi *Digital Twindan Smart Manufacturing* di bidang pendidikan maupun industri.

Jakarta, Mei 2026



Aulia Apriliani

Perancangan *Prototype* dan Implementasi *Digital Twin* Berbasis Smart Manufacturing pada *Teaching Factory* untuk Monitoring Produksi di Era Industri 4.0

Aulia Apriliani

Dosen Pembimbing I : Dra. Ratu Amilia Avianti, M.Pd.

Dosen Pembimbing II : Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D.

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh proses monitoring produksi mesin CNC *Turning* pada lingkungan *Teaching Factory* SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta yang masih dilakukan secara manual, sehingga kondisi mesin dan data produksi belum dapat dipantau secara terintegrasi dan real time. Penelitian ini bertujuan menghasilkan *Prototype Digital Twin* berbasis *Smart Manufacturing* sebagai sistem monitoring produksi produk *Bushing* serta mengetahui tingkat kelayakan dan keefektifan penggunaannya. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan 4D yang meliputi *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*, namun penelitian dibatasi sampai tahap *Develop*. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, angket, dan dokumentasi, kemudian dianalisis menggunakan statistik deskriptif. *Prototype* dikembangkan menggunakan ESP32 sebagai *mikrokontroler*, komunikasi MQTT melalui jaringan Wi-Fi, dan *dashboard ThingsBoard* untuk menampilkan kondisi mesin serta parameter produksi secara *real time*, meliputi *Runtime*, *Ready Time*, *Alarm Time*, *Cycle time*, *Availability*, *Performance*, *Quality*, dan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Hasil validasi menunjukkan *Prototype* memperoleh kategori sangat layak pada aspek sistem dengan persentase 92,86%, layak pada aspek manufaktur sebesar 80,00%, dan layak pada aspek media sebesar 77,50%. Hasil uji pengguna menunjukkan kategori sangat layak dari pendidik dan layak dari peserta didik dengan persentase 76,95%. Berdasarkan hasil penelitian, *Prototype Digital Twin* berbasis *Smart Manufacturing* dinyatakan layak dan efektif digunakan untuk mendukung monitoring produksi pada lingkungan *Teaching Factory*.

Kata kunci: *Digital Twin*, *Internet of Things* (IoT), Monitoring Produksi, *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), *Smart Manufacturing*.

Design Prototype and Implementation of a Digital Twin Based on Smart Manufacturing in a Teaching Factory for Production Monitoring in the Industry 4.0 Era

Aulia Apriliani

Supervisor I: Dra. Ratu Amilia Avianti, M.Pd.

Supervisor II: Aam Amaningsih Jumhur, Ph.D.

ABSTRACT

This study was motivated by the production monitoring process of the CNC Turning machine at the Teaching Factory of SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta, which was still conducted manually, resulting in machine conditions and production data that could not be monitored in an integrated and real-time manner. This study aimed to produce a Smart Manufacturing-based Digital Twin Prototype as a production monitoring system for Bushing products and to determine its feasibility and effectiveness of use. The study employed the Research and Development (R&D) method using the 4D development model, consisting of Define, Design, Develop, and Disseminate; however, the study was limited to the Develop stage. Data were collected through observation, interviews, questionnaires, and documentation and analyzed using descriptive statistics. The Prototype was developed using an ESP32 microcontroller, MQTT communication through a Wi-Fi network, and a ThingsBoard dashboard to display machine conditions and production parameters in real time, including Runtime, Ready Time, Alarm Time, Cycle time, Availability, Performance, Quality, and Overall Equipment Effectiveness (OEE). The validation results showed that the Prototype was categorized as highly feasible for the system aspect with a score of 92.86%, feasible for the manufacturing aspect with 80.00%, and feasible for the media aspect with 77.50%. User trials showed that the system was categorized as highly feasible by educators and feasible by students, with a score of 76.95%. Based on the findings, the Smart Manufacturing-based Digital Twin Prototype was considered feasible and effective for supporting production monitoring in the Teaching Factory environment.

Keywords: Digital Twin, Internet of Things (IoT), Overall Equipment Effectiveness (OEE), Production Monitoring, Smart Manufacturing.

DAFTAR ISI

COVER.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	6
1.6 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Konsep Pengembangan Produk.....	10
2.2 Konsep Produk Yang Dikembangkan.....	22
2.3 Kerangka Teoritik	24
2.4 Rancangan Produk	36
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.2 Metode Pengembangan Produk.....	39
3.3 Tujuan Pengembangan	40
3.4 Prosedur Pengembangan	41
3.5 Desain Produk	46
3.6 Subjek Uji Produk.....	59
3.7 Teknik Pengumpulan Data	60
3.8 Instrumen Penelitian	62

3.9 Teknik Analisis Data.....	78
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	81
4.1 Hasil Pengembangan Produk	81
4.2 Kelayakan Produk	101
4.3 Efektivitas Produk Melalui Uji Coba Pengguna	108
4.4 Pembahasan.....	115
BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	119
5.1 Kesimpulan	119
5.2 Implikasi.....	120
5.3 Saran.....	121
DAFTAR PUSTAKA.....	123
LAMPIRAN.....	126
DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENELITI	203



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Relevan.....	31
Tabel 3. 1 Spesifikasi ESP32	47
Tabel 3. 2 Spesifikasi ThingsBoard	48
Tabel 3. 3 Spesifikasi Push Button	49
Tabel 3. 4 Spesifikasi Arduino IDE	50
Tabel 3. 5 Spesifikasi Relay	51
Tabel 3. 6 Spesifikasi Lampu Indikator	52
Tabel 3. 7 Spesifikasi Kabel USB Type-C.....	53
Tabel 3. 8 Spesifikasi Kabel dan Aksesoris	54
Tabel 3. 9 Spesifikasi Project Box ABS	55
Tabel 3. 10 Kisi-Kisi Wawancara	68
Tabel 3. 11 Kisi-Kisi Angket Analisis Kebutuhan	69
Tabel 3. 12 Kisi-Kisi Validasi Instrumen	71
Tabel 3. 13 Kisi-Kisi Validasi Ahli Sistem.....	72
Tabel 3. 14 Kisi-Kisi Validasi Ahli Manufaktur.....	74
Tabel 3. 15 Kisi-Kisi Validasi Ahli Media (<i>Dashboard</i>).....	75
Tabel 3. 16 Kisi-Kisi Angket Respon Pendidik	76
Tabel 3. 17 Kisi-Kisi Angket Respon Peserta Didik.....	77
Tabel 3. 18 Kriteria Skor.....	79
Tabel 3. 19 Kriteria Interpretasi Sugiyono.....	80
Tabel 4. 1 Hasil Angket Analisis Kebutuhan (Define)	83
Tabel 4. 2 Fungsi Widget <i>Dashboard</i> Monitoring.....	98
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Fungsional Sistem.....	100
Tabel 4. 4 Hasil Validasi Instrumen Penelitian.....	101
Tabel 4. 5 Hasil Validasi Ahli Sistem.....	103
Tabel 4. 6 Hasil Validasi Ahli Manufaktur.....	105
Tabel 4. 7 Hasil Validasi Ahli Media (<i>Dashboard</i>).....	107
Tabel 4. 8 Hasil Respon Pendidik.....	109
Tabel 4. 9 Hasil Uji Coba Peserta Didik.....	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Model Pengembangan Sugiyono.....	12
Gambar 2. 2 Model Pengembangan Borg & Gall	15
Gambar 2. 3 Model Pengembangan ADDIE.....	19
Gambar 2. 4 Model Pengembangan 4D	21
Gambar 2. 5 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3. 1 ESP32	46
Gambar 3. 2 <i>Software Thingsboard</i>	47
Gambar 3. 3 Tombol <i>Quality</i>	48
Gambar 3. 4 Software Arduino	50
Gambar 3. 5 <i>Relay</i>	51
Gambar 3. 6 Lampu Indikator	52
Gambar 3. 7 Kabel USB Type-C	53
Gambar 3. 8 Kabel	54
Gambar 3. 9 <i>Project box</i> ABS	55
Gambar 3. 10 AVO Meter.....	56
Gambar 4. 1 Topologi Sistem <i>Digital Twin</i> Berbasis Smart Manufacturing.....	85
Gambar 4. 2 Diagram Hardware Sistem Monitoring Produksi.....	86
Gambar 4. 3 <i>Dashboard</i> Monitoring Produksi Berbasis ThingsBoard.....	87
Gambar 4. 4 implementasi relay	90
Gambar 4. 5 implementasi perangkat IoT berbasis ESP32.....	90
Gambar 4. 6 Program Koneksi Wi-Fi dan MQTT	93
Gambar 4. 7 Program Pembacaan Status Mesin	94
Gambar 4. 8 Program Perhitungan <i>OEE</i>	95
Gambar 4. 9 Program Pengiriman Data MQTT.....	96
Gambar 4. 10 <i>Dashboard</i> Monitoring Produksi Berbasis ThingsBoard.....	97
Gambar 4. 11 Diagram Hasil Validasi Ahli Instrumen.....	102
Gambar 4. 12 Diagram Hasil Validasi Ahli Sistem	103
Gambar 4. 13 Diagram Hasil Validasi Ahli Manufaktur	105
Gambar 4. 14 Hasil Validasi Ahli Media (<i>Dashboard</i>)	107
Gambar 4. 15 Hasil Uji Coba Peserta Didik	114

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Permohonan Izin Penelitian	126
Lampiran 2 Surat Balasan SMK Dinamika Pembangunan 1 Jakarta.....	127
Lampiran 3 Wawancara dengan guru Teknik Pemesinan.....	128
Lampiran 4 Kondisi Awal Mesin.....	128
Lampiran 5 Hasil Wawancara.....	129
Lampiran 6 Angket Analisis Kebutuhan.....	131
Lampiran 7 Surat Permohonan Validasi Instrumen	137
Lampiran 8 Surat Permohonan Validasi Ahli Sistem	138
Lampiran 9 Surat Permohonan Validasi Ahli Manufaktur	139
Lampiran 10 Surat Permohonan Validasi Ahli Media (Dashbord).....	140
Lampiran 11 Hasil Validasi Instrumen oleh.	141
Lampiran 12 Hasil Validasi Ahli Sistem oleh	144
Lampiran 13 Hasil Validasi Ahli Manufaktur	147
Lampiran 14 Hasil Validasi Ahli Media (<i>Dashboard</i>)	150
Lampiran 15 Respon Pendidik.....	153
Lampiran 16 Respon Peserta Didik.....	159
Lampiran 17 Produk yang di hasilkan Mesin CNC <i>Turning</i>	164
Lampiran 18 Hasil Coding Arduino.....	165
Lampiran 19 Dokumentasi Pembuatan Alat	199
Lampiran 20 Uji Coba ke Peserta didik.....	200
Lampiran 21 Dokumentasi Serah Terima Alat <i>Digital Twin</i>	201

