

**INTEGRASI KENDALI LENGAN ROBOT UR5e
DENGAN *HEAD MOUNTED DISPLAY VIRTUAL
REALITY (HMD VR)* BERBASIS *DIGITAL TWIN*
MENGUNAKAN *TOUCHDESIGNER***

Karya Tulis Ilmiah Tugas Akhir
Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Diploma IV

Oleh
MUHAMMAD TAUFIQURRAHMAN
218441041



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
JURUSAN OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**INTEGRASI KENDALI LENGAN ROBOT UR5e DENGAN
HEAD MOUNTED DISPLAY VIRTUAL REALITY (HMD VR)
BERBASIS DIGITAL TWIN MENGGUNAKAN
TOUCHDESIGNER**

Oleh:

MUHAMMAD TAUFIQURRAHMAN

218441041

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 6 Januari 2024

Disetujui,

Pembimbing I,



Sarosa Castrena Abadi, S.Pd., M.T.
NIP 198702252020121001

Pembimbing II,



Fitria Suryatini, S.Pd., M.T.
NIP 198804242018032001

Disahkan,

Penguji I,



Nur Jamiludin Ramadhan,
S.Tr., M.T.

NIP. 199402272020121005

Penguji II,



M. Harry Khomas Saputra,
S.T., M.Ti.

NIP. 198803242022031002

Penguji III,



Cepi Ramdani, S.Kom.,
M.Eng

NIP. 198904182024061004

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Muhammad Taufiqurrahman
NIM	:	218441041
Jurusan	:	Teknologi Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi	:	Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi	:	Diploma 4
Jenis Karya	:	Tugas Akhir
Judul Karya	:	INTEGRASI KENDALI LENGAN ROBOT UR5e DENGAN HEAD MOUNTED DISPLAY VIRTUAL REALITY (HMD VR) BERBASIS DIGITAL TWIN MENGUNAKAN TOUCHDESIGNER

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 06 – 01– 2025
Yang Menyatakan,



Muhammad Taufiqurrahman
NIM 218441041

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Muhammad Taufiqurrahman
NIM	:	218441041
Jurusan	:	Teknologi Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi	:	Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi	:	Diploma 4
Jenis Karya	:	Tugas Akhir
Judul Karya	:	INTEGRASI KENDALI LENGAN ROBOT UR5e DENGAN HEAD MOUNTED DISPLAY VIRTUAL REALITY (HMD VR) BERBASIS DIGITAL TWIN MENGUNAKAN IDE TOUCHDESIGNER

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 06 – 01– 2025
Yang Menyatakan,



Muhammad Taufiqurrahman
NIM 218441041

MOTO PRIBADI

Mengusahakan yang terbaik, Mendoakan yang terbaik, Menerima apapun yang
Terbaik menurut-Nya.

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, kakak
Kakak Saya, teman dan rekan kerja saya dan semua pihak yang telah membantu
saya menyelesaikan tugas akhir ini. Jazakallahu Khairan

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepada-Nya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepada-Nya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagi-Nya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hamba-Nya dan Rasul-Nya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Kendali Digital Twin Lengan Robot Ur5e Dengan Head Mounted Display Virtual Reality (HMD VR) Berbasis Ide Touchdesigner.”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.AB
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Ibu Nuryanti, ST., MSc.
4. Para Pembimbing tugas akhir Bapak Sarosa Castrena Abadi, S.Pd., M.T., dan Ibu Fitria Suryatini, S.Pd., M.T.
5. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak Nur Jamiludin Ramadhan, S.Tr., M.T, Bapak M. Harry Khomas Saputra, S.T., M.Ti, dan Bapak Cepi Ramdani, S.Kom., M.Eng
6. Panitia tugas akhir Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika 2023/2024

7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Ibu Siti Sumirah dan (Alm) Bapak Ahmad Yanuana Samantho yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
 8. Untuk kakak Kakak Penulis yang telah memberikan dukungan moril dan kepercayaan bagi penulis untuk tetap melangkah menuju kelulusan
 9. Untuk Sahabat dan Keluarga besar Origin Research, Mantap Unity, dan
 10. Untuk Pendamping hidup Penulis di masa depan kelak, yang teristimewa di hati
- Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 6 Januari 2025

Penulis

ABSTRAK

Perkembangan teknologi khususnya dibidang perangkat Virtual Reality terkini mengalami percepatan yang memungkinkan perangkat VR semakin mudah diakses oleh banyak kalangan. Dengan adanya kebutuhan pengendalian robot secara jarak jauh untuk operasi maintenance ke area yang berbahaya bagi manusia, perangkat VR dapat dikembangkan menjadi solusi imersif untuk tugas tersebut. Penelitian ini mengembangkan sistem minimum integrasi perangkat *HMD VR* sebagai *HMI* imersif untuk mengendalikan manipulator Arm Robot UR5e secara 6-DOF dalam kondisi Real-time Continuous, dengan bantuan rekonstruksi spasial ruang kerja yang diraih dengan Real-time 3D Scanning menggunakan Kamera RGB-D. Sistem yang dibuat kemudian diuji tingkat akurasi dan latensi pergerakannya serta diujikan dengan product testing metode *System Usability Scale* (SUS) dengan operator dari partisipan awam. Hasil pengujian menampilkan akurasi dan latensi yang baik dan survey SUS menampilkan skor 73,25 yang menunjukkan bahwa sistem yang dibuat sudah cukup andal.

Kata kunci: *Digital Twin, Virtual Reality, Arm Robot, Touchdesigner, Kinect*

ABSTRACT

The development of technology, especially in the field of the latest Virtual Reality devices, has accelerated, allowing VR devices to be more easily accessible to many people. With the need for remote robot control for maintenance operations in areas that are dangerous to humans, VR devices can be developed into immersive solutions for these tasks. This study develops a minimum system for integrating HMD VR devices as an immersive HMI to control the UR5e Arm Robot manipulator in 6-DOF in Real-time Continuous conditions, with the help of spatial reconstruction of the workspace achieved with Real-time 3D Scanning using an RGB-D Camera. The system created was then tested for accuracy and latency of movement and tested with product testing using the System Usability Scale (SUS) method with operators from lay participants. The test results showed good accuracy and latency and the SUS survey displayed a score of 73,25 indicating that the system created was reliable.

Keywords: Digital Twin, Virtual Reality, Arm Robot, Touchdesigner, Kinect

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iv
MOTO PRIBADI	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	3
I.3. Batasan Masalah.....	3
I.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
I.5. Metode Penelitian.....	5
I.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	1
II.1. Tinjauan Teori.....	1
II.1.1. Robot Lengan	1
II.1.2. Inverse kinematic	1
II.1.3. Pengolahan Citra Digital	2
II.1.4. TouchDesigner	2
II.1.5. RTDE	3
II.1.6. NewTek NDI.....	4
II.1.7. OSC	4
II.1.8. OpenVR	5

II.1.9.	Digital Twin	5
II.1.10.	Head Mounted Display Virtual Reality	6
II.1.11.	Realtime 3D - Scan	6
II.1.12.	Gaussian Filter Smoothing	7
II.2.	Tinjauan Alat.....	8
II.2.1.	<i>Microsoft Kinect V2</i>	8
II.2.2.	<i>Webcam NYK Nemesis A96</i>	8
II.2.3.	HTC VIVE PRO 2	9
II.2.4.	Valve Index VR Hand - Controller	9
II.2.5.	Universal Robot UR5e	10
II.3.	Studi Penelitian Terdahulu	11
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	1
III.1.	Model Metodologi Penelitian.....	1
III.2.	Gambaran Umum Sistem	3
III.3.	Pengumpulan Data Requirement.....	4
III.4.	Diagram Alir Sistem	8
III.5.	Metode Verifikasi Rumusan Masalah Penelitian.....	9
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	1
IV.1.	Rancang bangun area kerja dan kondisi percobaan	1
IV.2.	Inverse Kinematic Robot UR5e	3
IV.3.	Diagram Integrasi Komunikasi Data.....	9
IV.4.	Program dan Atarmuka Kendali Pengguna.....	11
IV.5.	Pengujian Kuantitatif Produktifitas dan Usability	18
IV.6.	Pengujian Akurasi Pergerakan	21
IV.7.	Pengujian Latensi Respon Kendali	23
BAB V	PENUTUP.....	1
V.1.	Kesimpulan	1
V.2.	Saran.....	1
DAFTAR PUSTAKA	1	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Model “V” dari metode VDI 2206[7]	5
Gambar 2.1 Robot Lengan Industrial ABB	II.1
Gambar 2.2 ilustrasi penjelasan Inverse Kinematic[12]	II.2
Gambar 2.3 Tampilan antarmuka pemrogram software Touchdesigner	II.3
Gambar 2.4 Diagram antarmuka RTDE	II.3
Gambar 2.5 Tampilan Komunikasi Data OSC	II.4
Gambar 2.6 OpenVR dan OpenXR	II.5
Gambar 2.7 Diagram Konsep Konsep Digital Twin [21]	II.5
Gambar 2.8 Setup dan diagram kerja HMD VR	II.6
Gambar 2.9 Hasil Point Cloud Realtime 3D Scan	II.7
Gambar 2.2.1 Kinect V2 Sensor	II.8
Gambar 2.2.2 Webcam NYK A96	II.8
Gambar 2.2.3 HTC Vive Pro 2 nd Gen dan Basestation	II.9
Gambar 2.2.4 Hand Controller Valve Index	II.9
Gambar 2.2.5 Universal Robot UR5e	II.10
Gambar 3.1 Model “V” dari metode VDI 2206[9]	III.1
Gambar 3.2 Diagram Umum sistem yang akan dibuat	III.2
Gambar 3.3 Diagram Alir sederhana kerja sistem	III.8
Gambar 3.4 Nilai System Usability Score	III.9
Gambar 4.1 Rancang Bangun Ruang Kerja	IV.1
Gambar 4.1.1 Gambar Teknis Rancang Bangun Ruang Kerja	IV.2
Gambar 4.2 Ilustrasi Frame D-H UR5e	IV.3
Gambar 4.3 Ilustrasi vector T0-6	IV.4
Gambar 4.4 Ilustrasi vector T0-5 mencari theta-1	IV.4
Gambar 4.5 Ilustrasi cakupan kerja (reach) dari UR5e	IV.5
Gambar 4.6 Ilustrasi vector P0-6	IV.5
Gambar 4.7 Ilustrasi Axis dan Planar XYZ	IV.6
Gambar 4.8 Ilustrasi vector P1-3	IV.7
Gambar 4.9 Diagram Komunikasi Data Sistem VR HMD Digital Twin	IV.9
Gambar 4.10 Script python RTDE Recieve	IV.11
Gambar 4.11 4.11 Script Python RTDE Control dan Socket	IV.12
Gambar 4.12 Nodes Touchdesigner pengolahan input angle join Robot	IV.13
Gambar 4.13 Node program akuisisi data translasi&rotasi Hand-controller	IV.14
Gambar 4.13.1 Grafik efek gaussian smoothing	IV.15
Gambar 4.14 3D rendering Model Digital Twin Robot	IV.15
Gambar 4.15 Fungsi tombol pada Hand-controller	IV.16
Gambar 4.16 Tampilan pada VR HMD	IV.17
Gambar 4.17 Detail antarmuka 3D dalam VR HMD	IV.17
Gambar 4.18 Grafik Nilai Responden Quesioner SUS Q-1 dan Q-2	IV.18
Gambar 4.19 Grafik Nilai Responden Quesioner SUS Q-3 dan Q-4	IV.19
Gambar 4.20 Grafik Nilai Responden Quesioner SUS Q-5 dan Q-6	IV.18
Gambar 4.21 Grafik Nilai Responden Quesioner SUS Q-7 dan Q-8	IV.20
Gambar 4.22 Grafik Nilai Responden Quesioner SUS Q-9 dan Q-10	IV.20
Gambar 4.23 Grafik Nilai SUS	IV.21
Gambar 4.24 Metode Pengujian Error Translasi	IV.22
Gambar 4.25 Grafik Delta Error Translasi	IV.22
Gambar 4.26 Metode Uji coba latensi gerak	IV.23
Gambar 4.27 Grafik Nilai Delay pergerakan aktiasi robot	IV.23

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komparasi Teknologi NDI dan transmisi video lain	II.4
Tabel 2.2 Studi penelitian terdahulu	II.13
Tabel 3.1 Tabel Spesifikasi Sistem Minimum	III.5
Tabel 4.1 Parameter D-H	IV.13
Tabel 4.2 Perubahan Mean Absolute Error terhadap Magnitude Gaussian	IV.14
Tabel 4.3 Tabel Nilai Uji dan Delta Error Translasi	IV.22
Tabel 4.4 Data Nilai Delay berdasar analisis Frame Video	IV.23

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia saat ini dalam proses adopsi revolusi industri 4.0. Saat ini revolusi industri 4.0 adalah era industrialisasi yang menjadi tujuan bagi pembangunan industri manufaktur dunia. Revolusi industri 4.0 memanfaatkan *Internet of Things* (IoT), Teknologi fisik dan digital guna kebutuhan analisis, robotic, artificial intelligence, advance material, dan augmented reality dalam menjalankan operasi bisnisnya [1].

Otomasi pekerjaan menggunakan robot merupakan salah satu elemen vital dalam revolusi industri 4.0 di bidang manufaktur. Robot menggantikan tugas-tugas manusia yang berkaitan dengan aktivitas berulang (repetitif) yang membutuhkan ketekunan dan konsentrasi tinggi, terutama untuk melakukan pekerjaan fisik yang berat, pemindahan barang, memposisikan objek, dan proses lainnya. Ketika seseorang diminta untuk melakukan tugas yang repetitif, pekerjaannya terasa membosankan dan melelahkan, sehingga terkadang terjadi kelalaian, yang seringkali berujung pada kecelakaan[2].

Perkembangan teknologi *Head Mounted Display*, *Virtual Reality*, dan *Digital-Twin* menjadi beberapa bidang yang mengalami perkembangan pesat dalam industri 4.0. Digital Twin merupakan metode representasi suatu sistem atau alat nyata pada lingkup virtual atau digital yang dikembangkan dari terminology CPS. Monostori pada 2015 mengungkapkan bahwa *Cyber-Physical Systems* (CPS) merupakan sistem kolaborasi entitas komputasi yang berhubungan intensif dengan dunia fisik di sekitarnya dan prosesnya yang sedang berjalan, menyediakan dan menggunakan secara bersamaan, akses dan proses data layanan yang tersedia melalui jaringan internet. Dengan kata lain, CPS secara umum dapat dicirikan sebagai “sistem fisik dan rekayasa yang operasinya dipantau, dikendalikan, dikoordinasikan, dan diintegrasikan oleh inti komputasi dan komunikasi [3].

Penggunaan metode Digital Twin mereplikasi kondisi nyata robot di plant sehingga integrasi VR HMD dan lengan robot diharapkan dapat mengoptimalisasi lini produksi pada industri manufaktur dengan pertimbangan ekonomis yang lebih baik bagi perusahaan.

Pada penelitian yang dipublikasikan sebagai artikel dalam Conference of Computer-Human Interaction Play (CHI-PLAY) ke 17, Sargeant et.al [4], berhasil memanfaatkan Kamera RGB-D Kinect V2 , HTC Vive dan aplikasi touchdesigner untuk merekonstruksi secara 3D lingkungan set yang kemudian digunakan sebagai bidang untuk membuat media pembelajaran immersive dengan projection mapping, namun output hasil bacaan dari RGB-D hanya digunakan sebagai penentu grafis dan visual, bukan untuk mengendalikan suatu sistem robotika. Penelitian dalam Jurnal prosiding International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) pada 2019 yang dilakukan oleh Stotko et al [5], menghasilkan sistem teleoperasi robot mobile dan lengan dengan pemanfaatan teknologi SLAMCast dengan input camera RGB-D yang dapat merekonstruksi secara 3D lingkungan jelajah dari Robot, namun robot lengan UR5e hanya digunakan sebagai pengarah dari camera RGB-D dan bukan sebagai actuator untuk mengambil benda. Pada penelitian dalam Jurnal Computers and Electronics in Agriculture 2020 Yi Chen et al [6], berhasil membuat sistem yang dapat merekonstruksi kondisi lingkungan agrikultur yang abstrak dengan kamera RGB-D untuk penggunaan Teleoperasi Robot lapangan agrikultur, namun robot harus melakukan scanning lingkungan terlebih dahulu sebelum menjalankan operasi utamanya. Penelitian Tugas Akhir Prodi Teknologi Rekayasa Otomasi Politeknik Manufaktur yang dilakukan oleh T. Rusdiana [7] berhasil mengintegrasikan kamera *webcam* untuk pengendalian lengan robot dalam menentukan posisi dan orientasi dari objek yang akan diambil oleh lengan robot menggunakan pengolahan citra, namun system yang dihasilkan hanya dapat mengidentifikasi objek dengan geometri persegi berwarna putih. Selanjutnya penelitian yang dilakukan M. C. Castells et al pada 2020 [8] berhasil membuat program kendali dari robot lengan UR5e dengan input *camera* pandangan atas namun hanya berupa simulasi *virtual* 3D dalam aplikasi RoboDK. keempat penelitian tersebut berhasil membuat otomasi pergerakan manipulator dengan

masuk atau input citra digital dari sebuah kamera namun belum mencapai tahap aplikasi untuk proses sortir benda.

Oleh karena itu Penulis melihat peluang pengembangan dari penelitian tentang aplikasi integrasi pengolahan citra digital dan lengan robot. Maka melalui proposal ini penulis mengajukan sebuah penelitian yang berjudul “**KENDALI DIGITAL TWIN LENGAN ROBOT UR5E DENGAN HEAD MOUNTED DISPLAY VIRTUAL REALITY (HMD VR) BERBASIS IDE TOUCHDESIGNER**”. Penulis berharap hasil penelitian ini dapat membantu operator mengendalikan lengan robot guna melakukan operasi berbahaya secara kendali jarak jauh dengan HMI intuitif dan immersive yang memberikan fleksibilitas bagi operator.

I.2. Rumusan Masalah

Sistem yang dibuat harus dapat menjadi jembatan komunikasi yang mereplikasi input gerakan tangan pengguna HMD VR & Controller secara *Realtime* sebagai Output Gerakan *end-effector* dari Robot Lengan 6Axis 6-DOF dan Kembali memberikan Siaran visual Spasial yang ditampilkan pada HMD VR. Sehingga didapati rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana metode integrasi antara Software antarmuka Virtual Reality pada komputer Client dengan controller dari lengan robot?
- 2) Bagaimana Produktifitas dan usabilitas penggunaan sistem kendali Digital Twin menggunakan HMD VR?
- 3) Seberapa besar latensi dan tingkat akurasi posisi dalam sistem pengendalian Remote Digital Twin antara Input gerak pengguna VR dan pergerakan aktual end-effector Robot?

I.3. Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang didapatkan, agar dapat dibahas lebih spesifik maka dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut.

- 1) Lengan robot yang digunakan adalah *UR5e* dari *Universal Robot* berserta kontroler Polyscope Pendant nya.

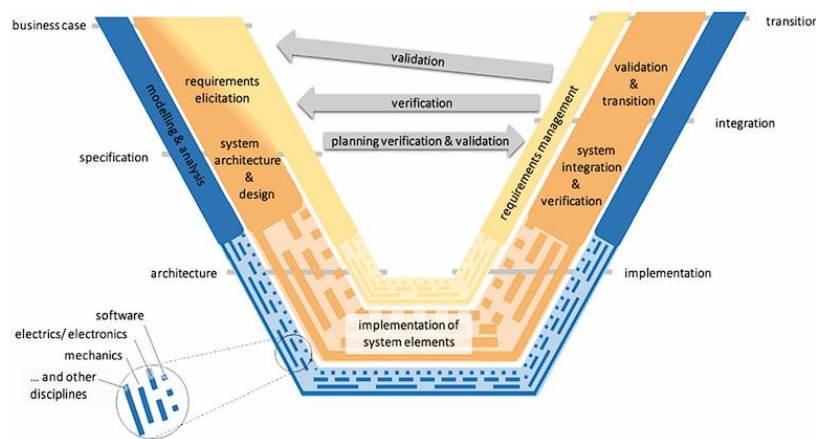
- 2) Lingkungan pengembangan program yang digunakan adalah *Touchdesigner* sebagai User-Interface Virtual Reality dan pengendali pergerakan end-effector pada tahap penyesuaian posisi datum 0.
- 3) Pencekam yang digunakan yaitu *OnRobot RG2 Gripper*.
- 4) Benda kerja yang digunakan berupa Botol Oli, dan Set BOX Kabel Jack Audio TRS ¼ inch dan XLR
- 5) Perangkat input citra yang digunakan adalah 1 Unit Kamera RGB-D Microsoft Kinect V2 dengan koneksi USB B-A 3.0 dan 1 Unit webcam NYK dengan resolusi 720p / 30 fps pada konfigurasi posisi tetap di samping ruang kerja Robot.
- 6) Hasil bacaan Kamera RGB-D direkonstruksi menjadi 3D point cloud pada antarmuka immersive Virtual Reality
- 7) Komunikasi dengan robot melalui *Socket via TCP/IP* dan RTDE melalui Port LAN RJ45
- 8) Koneksi jaringan antara Robot, Komputer Host, dan Komputer Client dilakukan secara INTRANET Lokal terbatas via LAN Kabel CAT6
- 9) Hardware sistem jaringan yang digunakan adalah SwitchHub Gigabit TP-Link TL-SG108
- 10) Hardware HMD VR yang digunakan adalah HTC Vive Pro 2 dengan Sepasang Hand-Controller Valve Index, dan Tracker lighthouse SteamVR BaseStation 2.0 sebanyak 2 unit.
- 11) Penelitian ini melakukan simulasi pada kondisi robot dan ruang kerja statis yang telah ditentukan.
- 12) Penelitian ini tidak membahas penggunaan UR5e dengan Modul ROV MIR.

I.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat system minimum dari penggunaan integrasi teknologi HMD VR sebagai *Human – Machine Interface* (HMI) yang lebih imersif dan membantu menavigasi operator terhadap lingkungan dari plant disekitar robot dengan rekonstruksi spasial dan mengendalikan *end-effector* robot sesuai *inverse kinematic* posisi controller tangan operator secara *real-time*.

I.5. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode perancangan sistem mekatronika berdasar standar VDI 2206. VDI 2206 adalah panduan metodologi dalam perancangan desain sistem mekatronika [9][10]



Gambar 1.1 Model “V” dari metode VDI 2206[9]

I.6. Sistematika Penulisan

Sistematika laporan Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama

BAB III PERANCANGAN SISTEM, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL IMPLEMENTASI DAN ANALISIS, berisi hasil pengujian pada beberapa domain dan pengujian sistem kaitan dengan tuntutan yang harus dipenuhi.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan yang diperoleh dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian lebih lanjut.