

## **Pengembangan alat peraga dan modul *Internet of Things* dengan pendekatan *define-measure-analyze-design-verify* untuk mendukung aktivitas pembelajaran**

Gregorios Ferrari Pramudika\*, Brilianta Budi Nugraha

Departemen Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia;  
email: gregoriosferrari2000@gmail.com, brilianta.nugraha@uajy.ac.id

\* *Corresponding author*

### **Abstrak**

Era Industri 4.0 menuntut mahasiswa memiliki kompetensi yang relevan dengan teknologi digitalisasi, termasuk *Internet of Things* (IoT), sebagai pilar utama dalam mendukung otomatisasi industri. Untuk membekali mahasiswa menghadapi tantangan ini, program pendidikan teknik industri menawarkan mata kuliah Otomasi Industri yang salah satu materinya adalah IoT. Namun, keterbatasan alat peraga dan modul yang sesuai menghambat optimalisasi pembelajaran IoT. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat peraga dan modul praktikum IoT menggunakan pendekatan DMADV (*define, measure, analyze, design, verify*). DMADV berfokus pada kebutuhan pelanggan yang didapatkan melalui wawancara dan survei Kano, kemudian digunakan sebagai dasar untuk merancang desain dengan peta morfologi. Metode tersebut dinilai efektif untuk mengembangkan modul dan alat peraga yang memenuhi kebutuhan penggunaannya. Modul dan alat peraga yang dihasilkan adalah Smart Warehouse, sebuah miniatur gudang yang dapat melakukan aktivitas warehousing sederhana secara otomatis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kompetensi mahasiswa dalam teknologi IoT, mempersiapkan mereka menghadapi tantangan Industri 4.0, sekaligus memberikan landasan metodologis untuk pengembangan alat peraga pendidikan yang lebih terstruktur dan terukur.

**Kata Kunci:** *internet of things*, alat peraga pembelajaran, otomasi industri, PLC, SCADA, DMADV

### **Abstract**

**[Development of *Internet of Things* training kits and modules to support learning activities using *define-measure-analyze-design-verify* approach]** The Industry 4.0 era demands students to possess competencies relevant to digitalization technologies, including the *Internet of Things* (IoT), as a key pillar supporting industrial automation. To equip students for these challenges, industrial engineering education programs offer courses in Industrial Automation, including IoT as a core subject. However, the lack of suitable training kits and modules has hindered the optimization of IoT learning. This study aims to develop IoT training kits and practical modules using the DMADV (*define, measure, analyze, design, verify*) approach. DMADV focuses on customer needs identified through interviews and Kano surveys, which serve as the foundation for design using a morphological chart. The method is considered effective for developing modules and training kits that meet user needs. The resulting training kit and module, called the Smart Warehouse, is a miniature warehouse capable of performing basic warehousing activities automatically. This research is expected to enhance students' competencies in IoT technology, prepare them to face the challenges of Industry 4.0, and provide a methodological framework for developing more structured and measurable educational training kits.

**Keywords:** *internet of things*, teaching aids, industrial automation, PLC, SCADA, DMADV

Received: 21-10-2024; Revised: 08-01-2025; Accepted: 09-02-2025

DOI: <https://doi.org/10.24002/jtimr.v3i1.10067>

Saran format untuk sitasi artikel ini:

Pramudika, G. P., & Nugraha, B. B. (2025). Pengembangan alat peraga dan modul Internet of Things dengan pendekatan define-measure-analyze-design-verify untuk mendukung aktivitas pembelajaran. *Jurnal Teknik Industri dan Manajemen Rekayasa*, 3(1),1-16.

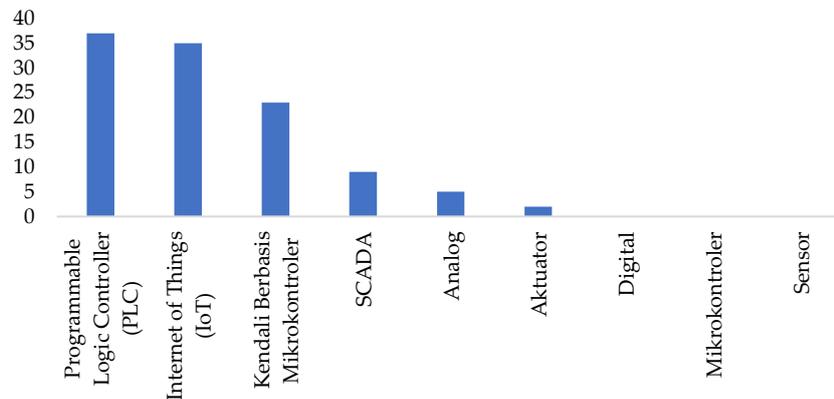
## 1. Pendahuluan

Perkembangan atau revolusi industri yang memasuki era Industri 4.0 berusaha menghubungkan seluruh rantai nilai suatu organisasi sehingga dapat membentuk sistem fisik siber. Terdapat sembilan pilar utama yang mendukung era Industri 4.0 yaitu *big data*, robot otonom, simulasi, integrasi sistem, *Internet of Things* (IoT), keamanan siber, komputasi awan, *additive manufacturing*, dan *augmented reality* (Rüßmann dkk., 2015). IoT merupakan salah satu pilar Industri 4.0 yang sedang berkembang dengan pesat pada saat ini. IoT merupakan suatu jaringan yang terdiri dari benda (*things*) yang dilengkapi dengan sensor dan terhubung dengan internet (Minerva dkk., 2015). Penerapan IoT pada dunia industri tersebut mengubah industri konvensional menjadi industri pintar atau dapat disebut sebagai *smart factory* sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi, pendapatan perusahaan, serta menurunkan biaya produksi dengan mengendalikan peralatan produksi secara otomatis (Cordeiro dkk., 2018; Narkglom dkk., 2019).

Dalam era Industri 4.0 seseorang harus memiliki kemampuan relevan yang terkait dengan pilar Industri 4.0. Beberapa kompetensi yang paling berkembang dan dibutuhkan dalam waktu dekat, antara lain keterampilan pengumpulan dan pengelolaan data, penggunaan teknologi dalam bidang sistem fisik siber, pemrograman terhadap sistem terintegrasi, dan kemampuan berkaitan dengan keamanan siber (Saniuk dkk., 2021). Salah satu cara untuk mengembangkan kemampuan tersebut adalah melalui pendidikan formal. Pendidikan tinggi merupakan salah satu bentuk pendidikan formal yang memainkan peran penting dalam mempersiapkan generasi muda untuk menghadapi tantangan dunia industri yang terus berkembang. Program Studi Teknik Industri (PSTI) merupakan salah satu program studi yang bertujuan memberikan bekal kompetensi kepada seseorang dalam bidang keilmuan teknik industri agar mampu bersaing dalam dunia industri. PSTI memiliki *student learning outcome* (SLO) yang salah satunya adalah memiliki kemampuan untuk menerapkan metode, keterampilan, serta alat teknis modern yang diperlukan pada praktik rekayasa (Program Studi Teknik Industri UAJY, 2021). Salah satu mata kuliah yang dimiliki oleh PSTI adalah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri yang bertujuan untuk memberikan kompetensi dalam bidang sistem mekatronika yang diterapkan dalam industri. Untuk mendukung aktivitas pembelajaran mata kuliah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri, PSTI pada sebuah institusi pendidikan tinggi memiliki Laboratorium Otomasi (Laboratorium Otomasi, 2021).

Rencana Pembelajaran Semester (RPS) Otomasi Industri T.A. 2020/2021 dan Praktikum Otomasi Industri T.A. 2021/2022 menjelaskan bahwa salah satu materi yang diajarkan adalah IoT. Saat ini, sistem pembelajaran pada materi IoT dinilai belum optimal sehingga dapat menimbulkan kurangnya pemahaman mahasiswa terhadap IoT. Kurangnya pemahaman pada materi IoT ditunjukkan dalam Evaluasi Praktikum Otomasi Industri Semester Ganjil T.A. 2021/2022 (Gambar 1) yang menyatakan bahwa IoT merupakan modul tersulit kedua

setelah PLC. PLC sebagai modul tersulit telah memiliki alat peraga *mini factory* sementara IoT belum memiliki alat peraga sebagai media pembelajaran. Penggunaan alat peraga dalam pendidikan memiliki tujuan untuk menunjang proses pembelajaran sehingga seseorang dapat dengan cepat mempelajari suatu topik tertentu dan dapat bersaing pada lingkungan industri khususnya Industri 4.0 (Chinnasamy dkk., 2018; Puspitasari dkk., 2020).



**Gambar 1.** Hasil survei modul pembelajaran yang dianggap sulit oleh mahasiswa.

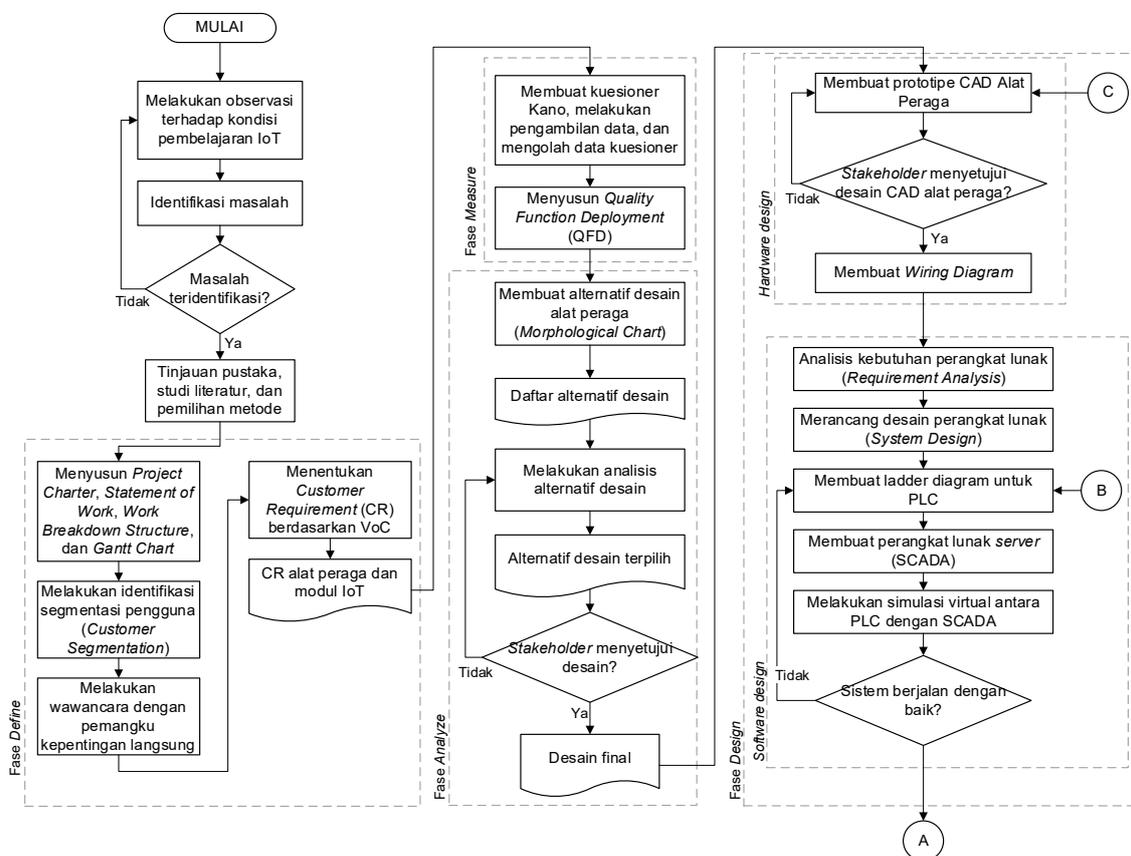
Hingga saat ini, terdapat beberapa penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan alat peraga pendidikan yang berkaitan dengan otomasi industri. Arowolo dkk. (2020) melakukan pengembangan alat peraga pemrograman PLC yang terdiri dari perangkat masukan berupa *push button* dan *switch* serta perangkat keluaran berupa *buzzer*, lampu, dan *blower*. Puspitasari dkk. (2020) mengembangkan alat peraga PLC dalam bentuk simulator *lift* dengan metode *Four-D Models* yang terdiri dari *define*, *design*, *develop*, dan *disseminate*. Selanjutnya, terdapat penelitian yang bertujuan mengembangkan alat peraga *human machine interface* dengan metode ADDIE yang terdiri dari *analysis*, *design*, *development*, *implementation*, dan *evaluation* (Maryadi dkk., 2021). Terdapat juga penelitian untuk mengembangkan alat peraga dalam bentuk miniatur sistem pada industri berupa alat peraga kendali gerak berbasis PLC (Chinnasamy dkk., 2018). Namun, penelitian tersebut tidak menjelaskan metode pengembangan alat peraga secara eksplisit dalam publikasi.

Berdasarkan beberapa penelitian tentang pengembangan alat peraga yang telah dilakukan, sebagian penelitian belum mengikuti metodologi tertentu dalam mengembangkan alat peraga. Pengembangan yang tidak mengikuti metodologi tertentu memiliki kemungkinan produk yang dikembangkan kurang berorientasi pada kebutuhan pengguna, kurang inovatif, serta dapat menghabiskan biaya yang lebih tinggi. Salah satu metodologi yang dapat digunakan untuk mengembangkan produk baru adalah DMADV yang terdiri dari *define*, *measure*, *analyze*, *design*, dan *verify*. Metode DMADV merupakan salah satu metode dari pendekatan *Design for Six Sigma* (DFSS) yang telah banyak digunakan untuk mengembangkan produk baru dan menghasilkan produk yang memuaskan. DFSS diartikan sebagai aktivitas untuk merancang produk, proses, atau layanan baru yang belum ada sebelumnya dan dapat memuaskan seluruh pemangku kepentingan (Islam, 2006; McCarty dkk., 2005). DFSS, termasuk di dalamnya DMADV, merupakan pendekatan alternatif untuk mengembangkan produk atau proses baru karena dapat menggabungkan beberapa metodologi yang sesuai (Frizziero dkk., 2021; Liverani dkk., 2019).

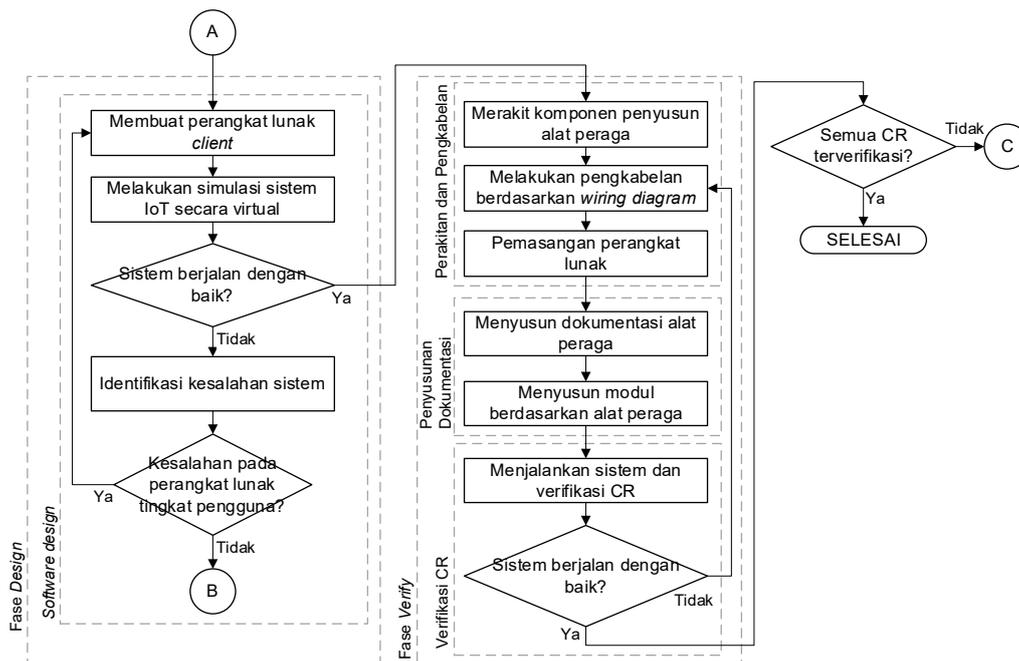
Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat peraga dan modul IoT yang dirancang secara khusus untuk menggambarkan penerapan IoT dalam dunia industri, sehingga mampu memberikan pemahaman yang mendalam kepada pengguna. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metodologi DMADV, yang merupakan bagian dari DFSS. Metodologi ini dipilih karena terbukti mampu menghasilkan produk yang berorientasi pada kebutuhan pengguna, inovatif, serta efisien dalam hal waktu dan biaya pengembangan. Dengan menggunakan DMADV, pengembangan alat peraga diharapkan tidak hanya memenuhi standar teknis tetapi juga relevan dengan kebutuhan industri dan pembelajaran. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas DMADV dalam konteks pengembangan alat peraga pembelajaran, memberikan kontribusi baru dalam ranah akademik terkait metodologi pengembangan alat peraga. Hal ini diharapkan dapat membuka peluang bagi pengembangan alat peraga lainnya yang lebih terstruktur dan terukur, serta melengkapi metode-metode pengembangan yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya. Melalui pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya berfokus pada hasil akhir berupa alat peraga, tetapi juga memberikan landasan metodologis yang dapat digunakan sebagai panduan dalam pengembangan alat peraga pendidikan di masa depan.

## 2. Metode

Pengembangan alat peraga dan modul pembelajaran pada mata kuliah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri dilakukan mengikuti metodologi DMADV. Tahapan penelitian secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian (lanjutan).

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Define

Tahap *define* merupakan tahapan awal penelitian untuk menemukan gambaran pada objek penelitian dan mempelajari metode yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan. Tahapan ini diawali dengan melakukan observasi pada proses pembelajaran materi IoT pada mata kuliah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri. Tahapan selanjutnya adalah sebagai berikut:

##### 1) Penyusunan dokumen proyek

Pendekatan manajemen proyek digunakan agar pengembangan alat peraga dan modul pembelajaran ini berjalan efisien dan tepat waktu. Pada tahap ini terdapat penyusunan dokumen *project charter* yang berisi rangkuman informasi pernyataan masalah, tujuan, lingkup penelitian, waktu pelaksanaan, tahapan DMADV, dan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 1. Selain itu juga disusun *statement of work*, *work breakdown structure*, dan *ganttt chart* pelaksanaan proyek.

##### 2) Identifikasi segmentasi pengguna

Pengguna alat peraga dan modul IoT yang akan dirancang mencakup kepala laboratorium, laboran, dosen pengampu, asisten praktikum, dan praktikan. Pengelompokan pengguna ke dalam kategori pemangku kepentingan langsung (*direct stakeholders*) dan tidak langsung (*indirect stakeholders*) didasarkan pada peran dan tingkat keterlibatan mereka. Kepala laboratorium, laboran, dan dosen pengampu dikategorikan sebagai pemangku kepentingan langsung karena terlibat aktif dalam proses perencanaan, desain, dan evaluasi alat peraga serta modul yang dikembangkan. Sementara itu, asisten praktikum dan praktikan dikategorikan sebagai pemangku kepentingan tidak langsung karena peran mereka lebih berfokus pada penggunaan hasil rancangan.

##### 3) Pengumpulan *voice of customer* dan penentuan *customer requirements*

Pengumpulan *voice of customer* dilakukan dengan melakukan wawancara terhadap pemangku kepentingan langsung. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan, terdapat kebutuhan untuk mengembangkan alat peraga yang dapat diintegrasikan dengan alat peraga lain. Alat peraga yang saat ini dimiliki yaitu *mini factory* berbasis PLC dinilai masih belum lengkap karena hanya sebatas memproduksi lilin, belum terdapat proses penyimpanan untuk produk yang dihasilkan. Maka setelah adanya diskusi diputuskan bahwa alat peraga dan modul IoT yang akan dikembangkan akan berbentuk miniatur tempat penyimpanan lilin dengan penerapan IoT berupa pemantauan stok barang, adanya pengolahan data sederhana (contoh: peramalan), dan sebagainya. Alat peraga berbasis IoT yang sedang dikembangkan akan memiliki nama *Smart Warehouse*.

**Tabel 1.** *Project charter.*

PROJECT CHARTER			
<b>Project title:</b>	Pengembangan alat peraga dan modul <i>Internet of Things</i> dengan pendekatan DMADV	<b>Date:</b>	28 Februari 2022
		<b>Project number:</b>	1
		<b>Project category:</b>	<i>Product design &amp; development</i>
		<b>Life cycle stage:</b>	
<b>Business Case:</b>		<b>Project Scope:</b>	
Era Industri 4.0 menuntut seseorang untuk memiliki kemampuan yang relevan dengan pilar Industri 4.0. Digitalisasi, yang di dalamnya termasuk IoT dan <i>cloud computing</i> merupakan tantangan terpenting dalam pengembangan sumber daya manusia di masa depan. Program Studi Teknik Industri (PSTI) merupakan salah satu wadah untuk memberikan kompetensi kepada seseorang dalam bidang keilmuan teknik industri. PSTI memiliki mata kuliah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri yang bertujuan untuk memberikan kompetensi dalam bidang sistem mekatronika yang dapat diterapkan dalam dunia industri. Berdasarkan kondisi sistem pembelajaran mata kuliah dan infrastruktur, pembelajaran mata kuliah tersebut khususnya pada materi IoT dinilai belum optimal. Hal tersebut disebabkan karena Laboratorium Otomasi sebagai sarana pendukung pembelajaran belum memiliki alat peraga serta modul praktikum yang sesuai untuk mendukung pembelajaran IoT.		Desain fitur utama alat peraga, penyusunan modul pembelajaran, penyusunan panduan penggunaan, penyusunan dokumentasi alat peraga.	
<b>Goal:</b>		<b>Roles:</b>	
a. Mengembangkan alat peraga materi IoT yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran pada mata kuliah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri yang sesuai dengan kebutuhan <i>stakeholder</i> dan dapat memenuhi konsep utama IoT. b. Mengembangkan modul praktikum IoT yang memiliki panduan praktikum yang mengacu pada RPS menggunakan alat peraga yang dikembangkan.		<i>Stakeholder</i>	<i>Direct stakeholder:</i> Kepala Lab. Otomasi Industri dan Dosen Pengampu 1, Dosen Pengampu 2, Laboran Lab. Otomasi Industri
			<i>Indirect stakeholder:</i> Mahasiswa (asisten dan praktikan)
		<i>Project Leader</i>	Gregorios Ferrari Pramudika
<b>Project Benefit:</b>		<b>Meilensteine:</b>	
Proses pembelajaran mata kuliah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri dapat lebih optimal dengan menggunakan alat peraga sebagai media pembelajaran sehingga dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap materi IoT yang diajarkan.	<i>DEFINE</i>	Minggu 1, Februari 2022 – Minggu 3, Februari 2022	
	<i>MEASURE</i>	Minggu 4, Februari 2022 – Minggu 1, April 2022	
	<i>ANALYZE</i>	Minggu 2, April 2022 – Minggu 3, April 2022	
	<i>DESIGN</i>	Minggu 4, April 2022 – Minggu 2, Mei 2022	
	<i>VERIFY</i>	Minggu 3, Mei 2022 – Minggu 4, Juni 2022	
<b>Potential Risks:</b>		<i>Project Leader,</i>	
Batasan biaya dari Laboratorium Otomasi untuk merancang dan mengembangkan alat peraga dan ketersediaan komponen yang dibutuhkan.		 (Gregorios Ferrari Pramudika)	

Hasil wawancara kemudian diterjemahkan menjadi *customer requirement* (CR) yang dapat dilihat pada Tabel 2. CR yang telah ditentukan juga mendukung Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK), khususnya pada modul IoT. Terdapat tiga capaian pembelajaran pada modul IoT, yaitu (1) Mampu menjelaskan cara kerja sistem *Internet of Things*, (2) Mampu membuat program pengiriman data berbasis IoT sederhana (dalam *Local Area Network*), dan (3) Mampu membuat program transfer data dari sensor ke aktuator melalui sistem IoT sederhana (dalam *Local Area Network*).

**Tabel 2.** *Customer requirement* (CR).

CR	Dimensi Kualitas	Customer Requirement	Stakeholder	Keyword	CPMK IoT
CR1	Performance	Alat peraga memiliki kemampuan komunikasi data dengan menggunakan internet	Dosen Pengampu 1 Dosen Pengampu 2	Komunikasi dengan internet	1, 2
CR2	Performance	Alat peraga memiliki kemampuan komunikasi data dengan menggunakan LAN (jaringan lokal)	Dosen Pengampu 1 Dosen Pengampu 2	Komunikasi dengan LAN	1, 2
CR3	Performance	Alat peraga memiliki kemampuan menarik informasi data dari lapangan secara <i>real time</i>	Dosen Pengampu 1	Informasi <i>real time</i>	1, 2
CR4	Performance	Alat peraga memiliki kemampuan mengendalikan aktuator dari jarak jauh ( <i>open loop control system</i> )	Dosen Pengampu 1	Mengendalikan aktuator	1, 2
CR5	Performance	Alat peraga memiliki kemampuan mengendalikan aktuator secara otomatis memanfaatkan data dari sensor	Dosen Pengampu 1	Aktuator otomatis	1, 2
CR6	Performance	Alat peraga memiliki panduan penggunaan yang lengkap	Dosen Pengampu 1 Dosen Pengampu 2 Laboran Mahasiswa	Panduan penggunaan	1
CR7	Performance	Praktikan dapat berinteraksi secara langsung dengan alat peraga	Dosen Pengampu 1 Dosen Pengampu 2	Interaksi praktikan	1
CR8	Features	Alat peraga memiliki kemampuan menyimpan data yang dikumpulkan ke dalam basis data	Dosen Pengampu 2	Basis data	1, 3
CR9	Features	Alat peraga memiliki kemampuan pengolahan data untuk tujuan tertentu	Dosen Pengampu 1	Pengolahan data	1, 3
CR10	Features	Alat peraga mudah digunakan ( <i>user friendly</i> )	Mahasiswa	<i>User friendly</i>	1
CR11	Features, Durability, Reliability	Alat peraga dirancang dengan menggunakan <i>controller</i> standar industri	Dosen Pengampu 2	<i>Controller</i> standar industri	-
CR12	Aesthetics	Alat peraga memiliki desain yang menarik	Mahasiswa	Desain menarik	-
CR13	Maintainability	Alat peraga memiliki diagram pengkabelan yang lengkap dan mudah dipahami	Laboran	<i>Wiring diagram</i>	-
CR14	Maintainability	Alat peraga mudah untuk dilakukan perawatan dan perbaikan	Laboran	Perawatan mudah	-
CR15	Performance	Alat peraga memenuhi standar keamanan yang ada di Laboratorium Otomasi	Dosen Pengampu 1 Dosen Pengampu 2 Laboran Mahasiswa	Standar keamanan	-

### 3.2. Measure

#### 1) Survei Kano

Tahapan selanjutnya adalah fase *measure* yang bertujuan untuk mengetahui fitur alat peraga yang menjadi kebutuhan utama. Tahapan *measure* dilakukan dengan menggunakan survei Kano. Hasil dari survei Kano akan digunakan sebagai dasar penyusunan *Quality Function Deployment* (QFD) pada tahap selanjutnya untuk menemukan elemen *Critical to Quality* (CTQ) (Johnson dkk., 2006). Pertanyaan pada survei Kano dirancang berdasarkan informasi yang didapatkan dari pemangku kepentingan langsung pada tahap *define*. Survei Kano ditujukan kepada pemangku kepentingan tidak langsung, yaitu asisten praktikum dan mahasiswa. Pemangku kepentingan tidak langsung dipilih sebagai responden karena alat peraga dan modul praktikum yang dirancang akan digunakan secara langsung oleh asisten praktikum dan mahasiswa.

Asisten praktikum yang dapat mengisi survei adalah asisten praktikum yang telah mendampingi materi IoT dengan jumlah tiga belas orang. Selain itu, terdapat responden yang berasal dari praktikan yang telah menempuh mata kuliah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri, telah mempelajari materi IoT, dan memilih materi IoT sebagai materi yang dianggap sulit berdasarkan kuesioner Evaluasi Praktikum Otomasi Industri Semester Ganjil T.A. 2021/2022 dengan jumlah tiga puluh lima orang.

Pada survei Kano, setiap CR akan memiliki dua pertanyaan, yaitu bagaimana perasaan Anda jika Anda memiliki fitur ini dan bagaimana perasaan Anda jika Anda tidak memiliki fitur ini. Setiap pertanyaan terdiri dari lima skala jawaban, dari (1) sangat suka hingga (5) sangat tidak suka. Jumlah responden yang mengisi survei Kano adalah 85,42% dari keseluruhan responden. Hasil survei Kano kemudian diolah dengan mengkategorikan setiap jawaban dengan menggunakan matriks evaluasi seperti pada Tabel 3. Contoh klasifikasi jawaban adalah sebagai berikut, sebagai contoh responden pertama pertanyaan positif dengan Netral (N) dan pertanyaan negatif dengan Tidak Suka (TS), maka jawaban tersebut diklasifikasikan sebagai  $I_M$ .

**Tabel 3.** Matriks evaluasi Kano (Shahin dkk., 2017).

<i>Customer needs</i>		<b>Bentuk disfungsional</b>				
		Sangat suka (SS)	Suka (S)	Netral (N)	Tidak suka (TS)	Sangat tidak suka (STS)
<b>Bentuk fungsional</b>	Sangat suka (SS)	Q	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	O
	Suka (S)	RA <sub>3</sub>	Q	IA	IO	MA
	Netral (N)	RA <sub>2</sub>	IRA	I	IM	MB
	Tidak suka (TS)	RA <sub>1</sub>	IRO	IRM	Q	MC
	Sangat tidak suka (STS)	RO	RMA	RMB	RMC	Q

2) Setelah jawaban dari setiap responden diklasifikasikan, langkah selanjutnya adalah menghitung persentase atribut Kano untuk setiap CR. Perhitungan dilakukan dengan membagi jumlah setiap atribut pada setiap CR dengan jumlah total responden. Atribut Kano untuk setiap CR ditentukan berdasarkan atribut yang memiliki persentase paling tinggi. Tetapi jika terdapat dua atau lebih atribut dengan nilai yang sama, maka berlaku urutan kepentingan sebagai berikut:  $M_A > M_B > M_C > O > A_3 > A_2 > A_1$  (Shahin dkk., 2013). Selanjutnya dilakukan perhitungan *satisfaction index* (SI) dan *dissatisfaction index* (DI) untuk setiap CR. SI dan DI merupakan koefisien kepuasan pelanggan (*CS coefficient*) yang menggambarkan apakah kepuasan dapat ditingkatkan dengan memenuhi kebutuhan

produk atau apakah memenuhi kebutuhan produk hanya untuk mencegah ketidakpuasan pelanggan (Berger dkk., 1993; Matzler dkk., 1996).

QFD merupakan salah satu metode komprehensif yang dapat digunakan untuk mencocokkan CR dengan *function requirement* (FR) (Cross, 2021). Model Kano dan QFD dapat diintegrasikan dengan memasukkan CR pada survei Kano ke dalam QFD. Pembobotan CR pada QFD diintegrasikan dengan model Kano dengan menambahkan *adjustment factor* yang merupakan nilai maksimal antara SI dan DI (Tontini, 2007). Terdapat juga nilai *relative weight* yang merupakan persentase tingkat kepentingan setiap CR.

Selanjutnya dilakukan penentuan FR untuk memenuhi setiap CR, yaitu target dan tingkat kesulitan (*difficulty*) untuk memenuhi. Tingkat kesulitan merupakan nilai dari satu hingga sepuluh. Semakin besar nilai tingkat kesulitan maka FR sulit untuk dipenuhi. Tingkat kesulitan dinilai berdasarkan kriteria kompleksitas teknis, ketersediaan sumber daya, waktu pengembangan, biaya, dan keahlian yang dibutuhkan. Penilaian tingkat kesulitan diberikan oleh peneliti.

Row Number	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Customer Requirements	Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
				Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
				Requirement Weight	254.4	254.4	136.8	136.8	147	125.1	123.5	173.9	236.5	291	125.1	56.13	56.32	56.32	56.32	147	192.4	125.1
				Relative Weight	9.44	9.44	5.08	5.08	5.46	4.64	4.58	6.46	8.78	10.80	4.64	2.08	2.09	2.09	2.09	5.46	7.14	4.64
				Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	1	1	1	1	4	5	8	10	8	8	5	1	3	3	3	4	5	3
				Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	x	x	▼	▲	▲	x	x	▲	▲	▲	x	x	▼	▼	▼	▲	x	▼
				Target or Limit Value	Ya	Ya	≥500Hz	> 3 tipe peringatan	Lengkap	Komunikasi 2 ar	Ya	Seluruh data tert	≥ 1 OS	≥ 1 algoritma per	Gratis	Plug and play	≤ 1500 mm	≤ 500 mm	≤ 2000 mm	Lengkap	Ya	> 10% (m
				Functional Requirements	(FR1) Kemampuan akses internet pada mikrokontroler	(FR2) Kemampuan akses LAN pada mikrokontroler	(FR3) Response frequency	(FR4) Terdapat tanda peringatan	(FR5) Dokumentasi alat peraga	(FR6) User interface interaktif	(FR7) Panduan praktikum	(FR8) Kemampuan perekaman data	(FR9) Perangkat lunak tingkat pengguna	(FR10) Perangkat lunak server	(FR11) Tampilan user interface	(FR12) Kemampuan ekspansi mikrokontroler	(FR13) Dimensi panjang	(FR14) Dimensi lebar	(FR15) Dimensi tinggi	(FR16) Dokumen diagram pengkabelan	(FR17) Checklist perawatan	(FR18) Resistivitas material alat peraga
1	9	6.76	(CR1) Komunikasi dengan internet		9	9						3	3	3								
2	9	5.88	(CR2) Komunikasi dengan LAN		9	9						3	3	3								
3	9	6.77	(CR3) Informasi real time		3	3	9					3	3	3								
4	9	6.77	(CR4) Mengendalikan aktuator		9	9		9					9	9								
5	9	6.24	(CR5) Aktuator otomatis				9	9						9								
6	9	6.95	(CR6) Panduan penggunaan						9		9									9		
7	9	6.77	(CR7) Interaksi praktikan						3	9	9		9		9					3		9
8	9	6.59	(CR8) Basis data		9	9	3	3				9		9								
9	9	6.26	(CR9) Pengolahan data									9	9	9								
10	9	7.13	(CR10) User friendly							9					9							
11	9	6.24	(CR11) Controller standar industri													9						
12	9	6.26	(CR12) Desain menarik													9	9	9				
13	9	7.13	(CR13) Wiring diagram						9											9	9	
14	9	7.13	(CR14) Perawatan mudah																		9	
15	9	7.13	(CR15) Standar keamanan																		9	9

Gambar 3. Relasi CR dengan FR.

Relasi antara CR dengan FR dilambangkan dengan menggunakan angka satu (lemah), tiga (sedang), dan sembilan (kuat). Gambar 3 merupakan relasi antara CR dengan FR yang disajikan dalam bagan QFD. Di dalamnya juga terdapat hasil perhitungan *relative weight* dan *difficulty*. *Requirement weight* didapatkan dengan menjumlahkan hasil perkalian dari setiap nilai relasi FR dengan *relative weight* setiap CR. Sementara itu, *relative weight* setiap FR didapatkan dengan membagi *requirement weight* dengan total *requirement weight*.

### 3.3. Analyze

Tahapan *analyze* diawali dengan membangkitkan alternatif solusi untuk desain alat peraga menggunakan peta morfologi. Terdapat beberapa FR yang berkaitan dengan perangkat keras alat peraga yang digunakan pada pembuatan peta morfologi. FR yang digunakan adalah FR1, FR2, FR3, FR4, FR10, FR12, dan FR18. Terdapat tujuh fungsi yang ditentukan untuk memenuhi beberapa FR. Tabel 4 menunjukkan peta morfologi yang berisi alternatif solusi awal.

**Tabel 4.** Peta morfologi awal.

Functions	Solutions			n
	1	2	3	
Material penyusun alat peraga	Kayu	Papan MDF	<i>Plywood</i>	3
Controller	Arduino Mega 2560	Raspberry Pi 3	PLC Modicon M221	3
Deteksi benda	<i>Ultrasonic proximity sensor</i>	<i>Capacitive proximity sensor</i>	<i>Optical proximity sensor</i>	3
Aktuator peringatan	3 <i>Stack light</i>	LED		2
Penyimpanan data	Cloud	On-premises		2
Perangkat lunak tingkat pengguna	<i>Mobile hybrid apps</i>	<i>Mobile native apps</i>	Web apps	3
Pengolahan data	Visualisasi sederhana	Forecasting		2

Terdapat 648 alternatif solusi awal yang dapat terbentuk. Untuk menyederhanakan pemilihan alternatif solusi, peta morfologi akan disederhanakan dengan cara mereduksi jumlah solusi yang kurang efektif. Pada fungsi material penyusun alat peraga, alternatif solusi kayu dieliminasi karena harganya yang paling mahal. Meskipun kayu memiliki daya tahan yang paling lama, tetapi penggunaan *plywood* dan MDF dinilai sudah mencukupi karena alat peraga akan diletakkan pada laboratorium yang kering dan tidak lembap. Material *plywood* dan MDF juga akan dilapisi dengan HPL sehingga selain menambah estetika juga dapat menambah kekuatan material tersebut. Pada fungsi *controller*, reduksi dilakukan dengan mengeliminasi Arduino karena tidak memiliki konektivitas internet atau LAN secara langsung. Pada fungsi deteksi benda, sensor yang dieliminasi adalah *ultrasonic proximity sensor* karena sensor tersebut membutuhkan *port* data lebih dari satu yang akan berdampak pada bertambahnya jumlah *port* yang harus disediakan *controller*. Pada fungsi penyimpanan data, solusi *cloud storage* dieliminasi karena harus membutuhkan biaya sewa setiap periode tertentu, kapasitas terbatas, serta personalisasi yang minim oleh pengguna. Fungsi terakhir yang direduksi adalah perangkat lunak tingkat pengguna. Solusi yang dieliminasi pada fungsi ini adalah *mobile native apps* dan *web apps* karena solusi *mobile hybrid apps* dinilai sudah dapat mewakili dua jenis solusi yang lain. Berdasarkan hasil reduksi, maka peta morfologi menghasilkan tiga puluh dua alternatif solusi. Selanjutnya, dilakukan penilaian untuk setiap alternatif solusi. Penilaian dilakukan dengan membentuk skala penilaian. Skala penilaian yang digunakan adalah skala empat titik dengan nol untuk nilai paling buruk sampai dengan tiga untuk nilai paling bagus. Skala penilaian yang digunakan disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Skala penilaian alternatif solusi.

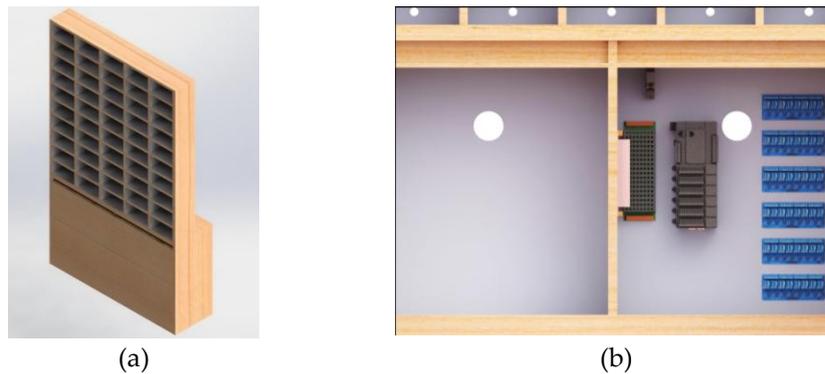
FR	Skala Penilaian			
	0	1	2	3
Kemampuan akses internet pada mikrokontroler	Tidak	-	-	Ya
Kemampuan akses LAN pada mikrokontroler	Tidak	-	-	Ya
<i>Response frequency</i>	0-166Hz	167-332Hz	333-500Hz	≥500Hz
Terdapat tanda peringatan	1 tipe	2 tipe	3 tipe	> 3 tipe
Perangkat lunak <i>server</i>	Tidak ada pengolahan	1 jenis	2 jenis	≥ 3 jenis
Kemampuan ekspansi mikrokontroler	Tidak	-	-	Ya
Resistivitas material alat peraga	0-1000 Ωm	1000-1000000 Ωm	1000000-1000000000 Ωm	>1000000000 Ωm

Nilai dari setiap alternatif solusi merupakan total dari *relative weight* FR dikalikan dengan nilai solusi berdasarkan skala penilaian. Berdasarkan hasil penilaian, terdapat dua solusi yang memiliki nilai paling tinggi, yaitu solusi a) *Plywood – Raspberry Pi 3 – Optical proximity sensor – 3 stack light – on-premises – mobile hybrid apps – forecasting* dan b) *Plywood – PLC Modicon M221 – Optical proximity sensor – 3 stack light – on-premises – mobile hybrid apps – forecasting*. Perbedaan pada kedua solusi terletak pada jenis *controller* yang digunakan. Berdasarkan kebutuhan pengguna yaitu penggunaan *controller* dengan standar industri (CR11), maka dipilih alternatif (b) dengan *controller* PLC Modicon M221 sebagai alternatif solusi yang dipilih. PLC memiliki ketahanan yang lebih baik dibandingkan dengan Raspberry Pi 3, terutama pada lingkungan industri yang panas dan berdebu.

### 3.4. Design

#### 1) Desain perangkat keras

Desain perangkat keras terdiri dari perancangan bentuk fisik dari alat peraga dan perancangan diagram pengkabelan. Perancangan bentuk alat peraga dilakukan menggunakan *computer aided design* (CAD) yaitu Solidworks. Berdasarkan CR, alat peraga yang dirancang diharapkan dapat diintegrasikan dengan alat peraga *mini factory*, yaitu untuk menyimpan produk yang dihasilkan. Berdasarkan diskusi dengan pemangku kepentingan, alat peraga yang dirancang berbentuk seperti rak untuk menyimpan produk berupa lilin. Setiap rak terdapat sensor untuk mendeteksi keberadaan lilin. Terdapat lima puluh rak yang disusun dengan konfigurasi lima kolom dan sepuluh baris. Dimensi setiap rak adalah 100 x 200 mm. Pada bagian bawah rak terdapat kompartemen yang memiliki penutup untuk menempatkan komponen pengendali. Hasil rancangan alat peraga dapat dilihat pada Gambar 4a. Perancangan perangkat keras dilanjutkan dengan membuat diagram pengkabelan. Diagram pengkabelan dibuat dengan menggunakan Microsoft Visio. Diagram pengkabelan bertujuan untuk mempermudah dalam merancang, instalasi, perbaikan, dan merawat sistem elektrik pada alat peraga. Berdasarkan tahapan sebelumnya, komponen yang digunakan adalah PLC Modicon M221 TM221CE16R sebagai *controller* dan sensor *proximity* E18-D80NK. Sensor tersebut bekerja pada tegangan 5 VDC, sedangkan PLC bekerja pada tegangan 24 VDC. Maka, digunakan *relay* untuk mengatasi hal tersebut. Hasil deteksi sensor dengan tegangan 5 VDC akan digunakan untuk mengontrol *relay* dan *relay* akan meneruskan sinyal tersebut kepada PLC dengan tegangan 24 VDC. Selain itu, terdapat juga modul ekspansi *input* digital TM3DI8 untuk menambah *port input* pada PLC. Seluruh komponen akan diletakkan pada kompartemen di bagian bawah rak. Gambar 4b merupakan rancangan tata letak komponen yang digunakan.



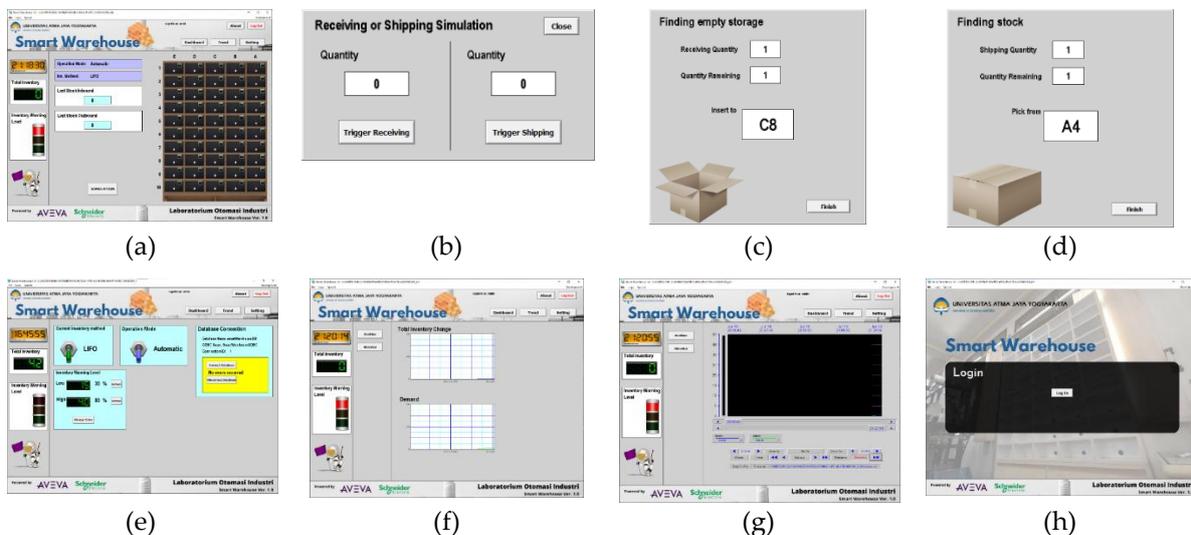
**Gambar 4.** Rancangan tata letak komponen kelistrikan.

## 2) Desain perangkat lunak

Tahapan desain perangkat lunak diawali dengan analisis kebutuhan perangkat lunak yang didapatkan pada tahap *define*. Terdapat beberapa FR yang berkaitan dengan perangkat lunak, yaitu FR6) *user interface* interaktif, FR8) kemampuan perekaman data, FR9) perangkat lunak tingkat pengguna, FR10) perangkat lunak *server*, dan FR11) tampilan *user interface*. Pada tahap ini, terdapat beberapa langkah yang dilakukan, yaitu merancang *ladder diagram* untuk memprogram PLC, merancang perangkat lunak pada *server* yang terdiri dari basis data dan SCADA, dan merancang perangkat lunak *client*.

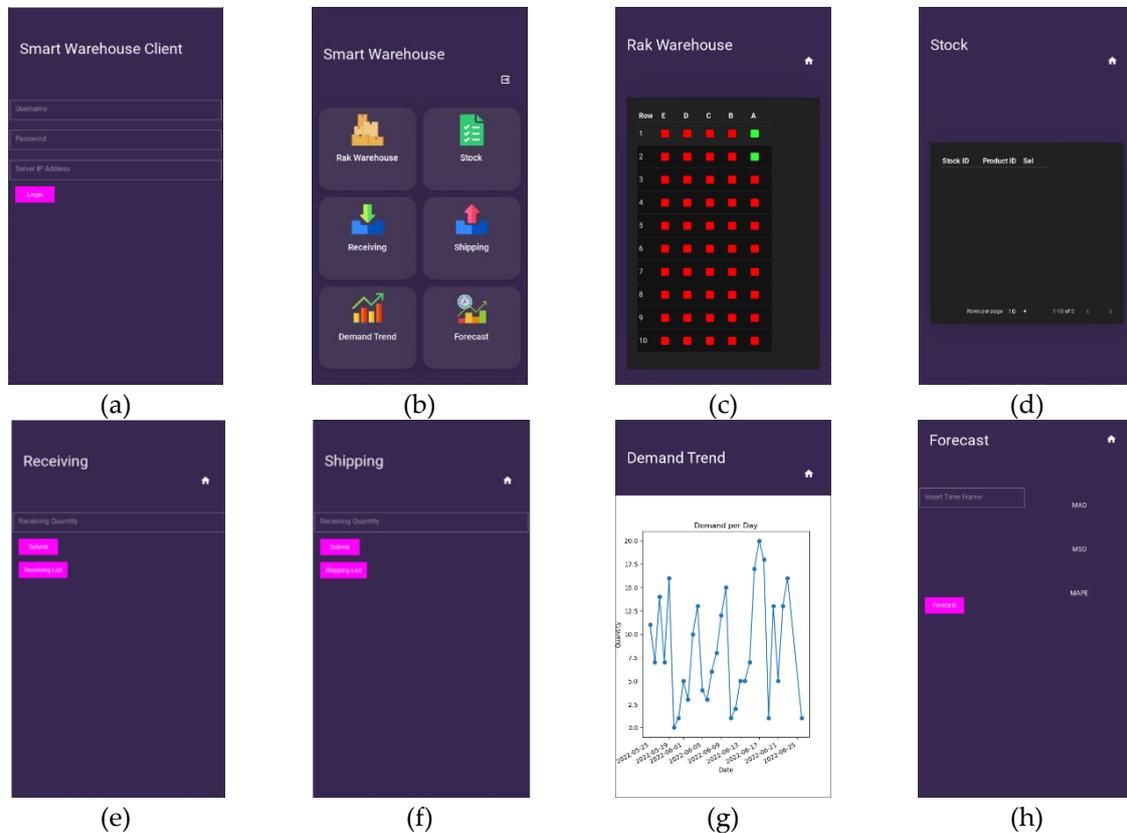
## 3.5. Verify

Berdasarkan metode DMADV yang telah dilakukan, alat peraga dan modul IoT yang dirancang berhasil dikembangkan. Tampilan HMI SCADA pada perangkat *server* terdiri dari beberapa halaman, mulai dari *dashboard* (Gambar 5a), halaman simulasi pengiriman dan penerimaan (Gambar 5b), halaman pencarian lokasi sel penyimpanan (Gambar 5c), halaman pencarian barang yang dikeluarkan (Gambar 5d), halaman pengaturan (Gambar 5e), halaman untuk menampilkan grafik jumlah barang yang masuk dan keluar (Gambar 5f), dan halaman *login* (Gambar 5h).



**Gambar 5.** Tampilan perangkat *server* HMI SCADA.

Perangkat *client* terdiri dari beberapa halaman, yaitu halaman *login* (Gambar 6a), halaman menu (Gambar 6b), halaman rak *warehouse* (6c), halaman *stock* (Gambar 6d), halaman *receiving* (Gambar 6e), halaman *shipping* (Gambar 6f), halaman grafik permintaan (Gambar 6g), dan halaman peramalan (Gambar 6h).



Gambar 6. Tampilan perangkat *client*.

Setelah alat peraga selesai dirancang, dilanjutkan dengan penyusunan dokumentasi berupa *manual book* dan modul praktikum IoT. *Manual book* bertujuan untuk mendokumentasikan seluruh bagian dari alat peraga *smart warehouse*. Beberapa bagian yang terdapat dalam *manual book* adalah komponen penyusun, diagram pengkabelan, konfigurasi jaringan, basis data, program PLC, aplikasi SCADA, aplikasi *client*, dan langkah perawatan. Pada modul praktikum IoT, terdapat beberapa bagian yang dibuat, yaitu tujuan praktikum, alat dan bahan, pengantar teori IoT, penjelasan langkah praktikum, penjelasan susunan laporan, dan lembar pengamatan. Pada penyusunan materi modul, praktikan diarahkan untuk melakukan praktikum mulai dari pengkabelan jaringan hingga mengoperasikan alat peraga.

Untuk memastikan bahwa alat peraga dan modul IoT yang dirancang memenuhi seluruh kebutuhan pemangku kepentingan, maka selanjutnya dilakukan verifikasi terhadap CR yang telah dikumpulkan pada tahap *define*. Dari hasil verifikasi CR yang dilakukan, seluruh CR alat peraga dan modul IoT dapat dipenuhi. Terdapat catatan pada CR1, yaitu alat peraga dapat terhubung dengan internet menggunakan aplikasi *remote* pihak ketiga karena penyimpanan data yang dipilih pada tahap *analyze* adalah *on-premises* sehingga harus membutuhkan IP publik untuk mengakses dari luar jaringan.

Alat peraga dan modul IoT yang dirancang juga memenuhi kriteria capaian yang telah ditetapkan untuk mata kuliah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri pada dokumen Rencana Pembelajaran Semester (RPS). Terdapat tiga kriteria capaian yang diharapkan setelah menempuh modul IoT. Tabel 6 menunjukkan evaluasi kriteria capaian modul IoT dan hasil perancangan alat peraga dan modul IoT.

**Tabel 6.** Evaluasi hasil pengembangan alat peraga dan modul IoT.

Capaian Pembelajaran Modul IoT	Hasil Perancangan Alat Peraga dan Modul IoT
Mampu menjelaskan cara kerja sistem <i>Internet of Things</i> .	a. Modul IoT mencakup pembahasan mengenai teori IoT, meliputi definisi, konsep dasar, kerangka kerja, arsitektur, serta berbagai protokol yang digunakan dalam implementasi IoT. b. Modul IoT disusun untuk membimbing mahasiswa dalam mengenali arsitektur IoT dan protokol komunikasi yang diterapkan pada alat peraga <i>Smart Warehouse</i> .
Mampu membuat program pengiriman data berbasis IoT sederhana (dalam <i>Local Area Network</i> ).	Aplikasi <i>client</i> pada alat peraga <i>Smart Warehouse</i> dilengkapi dengan <i>source code</i> yang dapat diakses oleh mahasiswa, memungkinkan mereka untuk mempelajari atau memodifikasi program dengan mudah.
Mampu membuat program transfer data dari sensor ke aktuator melalui sistem IoT sederhana (dalam <i>Local Area Network</i> ).	a. Alat peraga IoT dilengkapi dengan satu jenis sensor dan satu jenis aktuator yang dioperasikan menggunakan pengendali berbasis PLC. b. Modul IoT dirancang untuk membimbing mahasiswa dalam mengembangkan alat peraga, baik dengan menambahkan jenis sensor, aktuator, maupun mengembangkan perangkat lunaknya.

Modul dan alat peraga IoT yang berhasil dikembangkan dan memenuhi seluruh kebutuhan pemangku kepentingan membuktikan bahwa metode DMADV efektif digunakan dalam pengembangan alat peraga pendidikan. Penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam pengembangan alat peraga dengan menawarkan alternatif metodologi DMADV, yang lebih fokus pada pemahaman kebutuhan pengguna. Selain itu, penelitian ini juga melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan metode *Four-D Models* (Puspitasari dkk., 2020) atau ADDIE (Maryadi dkk., 2021; Depari dkk., 2024), dengan memberikan pendekatan yang lebih terstruktur dan berbasis pada analisis yang mendalam terhadap kebutuhan pengguna, serta memastikan efisiensi waktu dan biaya dalam pengembangan alat peraga.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan telah berhasil mengembangkan alat peraga dan modul IoT sebagai media pembelajaran pada mata kuliah Otomasi Industri dan Praktikum Otomasi Industri. Alat peraga dan modul IoT yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan dari beberapa pemangku kepentingan, yaitu kepala laboratorium, laboran, dosen pengampu, dan mahasiswa yang ditunjukkan dengan terpenuhinya seluruh CR. Alat peraga ini dirancang untuk mendukung capaian pembelajaran modul IoT yang bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai penerapan teknologi IoT dalam dunia industri, serta memperkaya pengalaman belajar mahasiswa dalam bidang IoT. Selain itu, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan metodologi DMADV dapat menjadi pendekatan yang efektif untuk merancang alat peraga yang tidak hanya memenuhi aspek teknis, tetapi juga mempertimbangkan kebutuhan pendidikan dan industri. Penelitian ini juga membuka peluang untuk pengembangan alat peraga yang lebih terstruktur dan terukur, serta melengkapi metodologi pengembangan yang telah ada, seperti *Four-D Models* dan ADDIE.

Tetapi, masih terdapat beberapa peluang yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan selanjutnya, yaitu menggunakan metode penyimpanan data atau protokol komunikasi lain sehingga dapat diakses melalui internet dengan lebih mudah. Penggunaan metode penyimpanan berbasis *cloud* atau protokol komunikasi yang dapat diakses melalui internet akan mendukung mahasiswa untuk memahami konsep IoT secara lebih mendalam. Hal ini dapat mendukung capaian pembelajaran pertama untuk menjelaskan cara kerja sistem IoT dan mengembangkan capaian pembelajaran kedua dan ketiga agar tidak terbatas pada sistem IoT menggunakan jaringan lokal. Alat peraga juga dapat ditambahkan jenis aktuator lain sehingga dapat semakin melengkapi modul IoT. Menambahkan jenis aktuator lain akan memperluas kemampuan alat peraga dan memberikan mahasiswa kesempatan untuk mempelajari berbagai jenis aktuator yang dapat diintegrasikan ke dalam sistem IoT. Hal ini dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang cara mengendalikan aktuator melalui data sensor dan mendukung capaian pembelajaran ketiga terkait dengan transfer data dari sensor ke aktuator dan pengendalian melalui sistem IoT.

### Daftar Pustaka

- Arowolo, M. O., Adekunle, A. A., & Opeyemi, M. O. (2020). Design and implementation of a PLC trainer workstation. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(4), 755–761. <https://doi.org/10.25046/AJ050489>
- Berger, C., Blauth, R., Boger, D., Bolster, C., Burchill, G., DuMouchel, W., Pouliot, F., Richter, R., Rubinoff, A., Shen, D., Timko, M., & Walden, D. (1993). Kano's methods for understanding customer defined quality. *Center for Quality Management Journal*, 2(4), 3–36.
- Chinnasamy, J., Babu, K. S. R., Chenniappan, M., & Rathinasamy, P. (2018). A workbench for motion control experiments using programmable automation controllers in industrial automation laboratory at Kongu Engineering College. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(3), 566–576. <https://doi.org/10.1002/cae.21908>
- Cordeiro, A., Pires, V. F., & Foito, D. (2018). Combining local and remote laboratories for the interactive learning of industrial automation. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(3), 675–687. <https://doi.org/10.1002/cae.21922>
- Cross, N. (2021). *Engineering design methods: Strategies for product design* (5 ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Depari, S. S. B., Hamdani, D., & Medriati, R. (2024). Pengembangan alat peraga viskositas menggunakan sensor mini reed switch magnetic berbasis Arduino Uno. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 15(1), 18-30. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v15i1.17461>.
- Frizziero, L., Liverani, A., Donnici, G., Papaleo, P., & Leon-Cardenas, C. (2021). Smart cane developed with DFSS, QFD and SDE for the visually impaired. *Inventions*, 6(3), 58–75. <https://doi.org/10.3390/inventions6030058>
- Islam, K. A. (2006). *Developing and measuring training the Six Sigma Way: A business approach to training and development*. Pfeiffer.
- Johnson, J. A., Gitlow, H., Widener, S., & Popovich, E. (2006). Designing new housing at the University of Miami: A "Six Sigma"© DMADV/DFSS Case Study. *Quality Engineering*, 18(3), 299–323. <https://doi.org/10.1080/08982110600719399>
- Laboratorium Otomasi. (2021). Laboratorium Otomasi – Fakultas Teknologi Industri – UAJY. <https://fti.uajy.ac.id/labotomasi/>

- Liverani, A., Caligiana, G., Frizziero, L., Francia, D., Donnici, G., & Dhaimini, K. (2019). Design for Six Sigma (DFSS) for additive manufacturing applied to an innovative multifunctional fan. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 13(1), 309–330. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00548-9>
- Maryadi, T. H. T., Pramono, H. S., Hatmojo, Y. I., Prianto, E., & Sunomo, S. (2021). Development of human machine interface (HMI) training kit as a learning media for Industrial Automation Engineering Practical Courses. *Journal of Physics: Conference Series*, 1737, 012047. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1737/1/012047>
- Matzler, K., Hinterhuber, H. H., Bailom, F., & Sauerwein, E. (1996). How to delight your customers. *Journal of Product & Brand Management*, 5(2), 6–18. <https://doi.org/10.1108/10610429610119469>
- McCarty, T., Daniels, L., Bremer, M., & Gupta, P. (2005). *The Six Sigma Black Belt Handbook (1st ed.)*. McGraw-Hill.
- Minerva, R., Biru, A., & Rotondi, D. (2015). *IEEE IoT towards definition Internet of Things*. <https://iot.ieee.org/definition.html>
- Narkglom, A., Boonyapalanant, E., & Koseeyaporn, P. (2019). Design of training media for Internet of Things Training based on Project-based Learning: A case study of smart factory industry. *2019 International Conference on Power, Energy, and Innovation (ICPEI)*, Pattaya, Thailand (pp. 118–121). IEEE.
- Program Studi Teknik Industri UAJY. (2021). *Program Learning Outcome (PLO) and Student Learning Outcome (SLO)*. <https://fti.uajy.ac.id/industri/aboutus/program-learning-outcome-plo-and-student-learning-outcome-slo>
- Puspitasari, F., Permata, E., & Hamid, M. A. (2020). Pengembangan media pembelajaran simulator lift 4 lantai berbasis PLC pada mata kuliah Otomasi Industri. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 13(2), 98-106. <https://doi.org/10.24114/jtp.v13i2.19345>
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Engel, P., Harnisch, M., & Justus, J. (2015, April 9). *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries)
- Saniuk, S., Caganova, D., & Saniuk, A. (2021). Knowledge and skills of industrial employees and managerial staff for the Industry 4.0 implementation. *Mobile Networks and Applications*, 28, 220-230. <https://doi.org/10.1007/s11036-021-01788-4>
- Shahin, A., Mohammadi, S., Harsij, H., & Qazi, M. R. R. (2017). Revising satisfaction and dissatisfaction indexes of the Kano model by reclassifying indifference requirements: A case study of the presidential elections. *The TQM Journal*, 29(1), 37–54. <https://doi.org/10.1108/TQM-05-2015-0059>
- Shahin, A., Pourhamidi, M., Antony, J., & Park, S. H. (2013). Typology of Kano models: A critical review of literature and proposition of a revised model. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 30(3), 341–358. <https://doi.org/10.1108/02656711311299863>
- Tontini, G. (2007). Integrating the Kano model and QFD for designing new products. *Total Quality Management & Business Excellence*, 18(6), 599–612. <https://doi.org/10.1080/14783360701349351>