

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Sebelumnya

Penelitian ini menggunakan referensi-referensi yang berkaitan dari penelitian sebelumnya mengenai *Technology Readiness Index* untuk mencari informasi data rinci dengan tujuan agar penulis dapat mengetahui evaluasi kesiapan transisi pengujian marsal manual ke Berbasis IoT.

Penelitian utama berjudul “Formulasi dan Validasi kesediaan Penggunaan IoT dalam Pengesanaan Kebakaraan Rumah Kediaman” [8] Pada penelitian tersebut penulisan dilakukan dengan terlebih dahulu membangun dan memvalidasi instrumen untuk mengukur kesediaan pengguna dalam mengadopsi teknologi IoT, dengan menggabungkan dua pendekatan teoritis yaitu *Technology Readiness Index* (TRI) dan *Technology Acceptance Model* (TAM) sebagai dasar pengembangan konstruk. Peneliti memanfaatkan metode validasi melalui *Content Validity Ratio* (CVR) dan *Content Validity Index* (CVI) untuk menyaring 45 item awal menjadi 38 item terpilih yang mewakili dimensi TRI (*optimism, innovativeness, discomfort, insecurity*) serta dimensi TAM (*perceived usefulness, perceived ease of use, dan behavioral intention*). Dalam penelitian ini juga peneliti memberikan kesimpulan bahwa keberhasilan adopsi IoT dalam konteks sistem pengesanan kebakaran sangat dipengaruhi oleh persepsi pengguna terhadap manfaat dan kemudahan penggunaan teknologi tersebut, serta faktor psikologis seperti rasa percaya dan kenyamanan. Kejelasan, relevansi, serta konsistensi instrumen yang dikembangkan menjadi nilai lebih dari penelitian ini dan memberikan kontribusi penting dalam mengukur kesiapan teknologi pada sektor keselamatan.

Penelitian kedua berjudul “*The Readiness Analysis of Smart School Implementation using technology readiness index to support smart city implementation*”[9]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kesiapan penerapan konsep Smart School di SMP Negeri 17 Pekanbaru dalam mendukung

implementasi Smart City. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Technology Readiness Index* (TRI) yang mencakup empat variabel utama, yaitu *optimism*, *innovativeness*, *discomfort*, dan *insecurity*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa secara umum, tingkat kesiapan pengguna berada pada kategori sedang (*medium technology readiness*). Penelitian ini juga menyoroti bahwa variabel *optimism* dan *innovativeness* memberikan kontribusi tertinggi terhadap kesiapan teknologi, sementara variabel *discomfort* dan *insecurity* masih menjadi hambatan. Peneliti memberikan rekomendasi agar proses adopsi teknologi seperti Smart School dapat lebih optimal dengan meningkatkan rasa aman dan kenyamanan pengguna terhadap teknologi yang digunakan di lingkungan sekolah.

Penelitian ketiga berjudul "*Assessing Dimensions Influencing IoT Implementation Readiness in Industries: A Fuzzy DEMATEL and Fuzzy AHP Analysis*"[10]. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan dimensi-dimensi utama yang memengaruhi kesiapan implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) di sektor industri. Peneliti menggunakan dua metode analisis multi-kriteria, yaitu *Fuzzy DEMATEL* untuk memetakan hubungan sebab-akibat antar dimensi dan *Fuzzy AHP* untuk menentukan tingkat kepentingan relatif setiap dimensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor organisasi, infrastruktur keras, dan infrastruktur lunak merupakan dimensi paling signifikan dalam kesiapan implementasi IoT. Selain itu, faktor keamanan dan privasi serta analitik data diidentifikasi sebagai penyebab utama yang memengaruhi dimensi lainnya. Penelitian ini juga merekomendasikan agar pengambil kebijakan dan pengembang sistem fokus pada penguatan aspek organisasi dan pembangunan infrastruktur yang andal, demi memastikan keberhasilan integrasi teknologi. Dengan pendekatan metodologis yang sistematis dan model kesiapan yang komprehensif, penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan dalam penyusunan strategi transformasidigital, termasuk pada sektor pendidikan dan institusi publik.

Penelitian keempat berjudul “*Assessment of ICT policies for digital transformation in Colombia: technology readiness for IoT adoption in SMEs in the trading sector*”[11] dilakukan dengan tujuan untuk menilai efektivitas kebijakan TIK pemerintah Kolombia dalam mendorong kesiapan teknologi (technology readiness) untuk adopsi *Internet of Things* (IoT) pada sektor usaha kecil dan menengah (UKM), khususnya di bidang perdagangan. Penelitian ini menggunakan pendekatan longitudinal dengan menganalisis data dari modul TIK dalam Survei Perdagangan Tahunan periode 2017–2018 yang dilakukan oleh Biro Statistik Nasional Kolombia (DANE). Dalam analisisnya, peneliti menerapkan metode *chi-square test* dan *multiple correspondence analysis* untuk menguji hubungan antara adopsi TIK (*e-banking, e-government, dan e-commerce*) dengan implementasi kebijakan TIK. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesiapan teknologi merupakan faktor krusial dalam keberhasilan adopsi IoT, dan bahwa adopsi IoT tidak hanya bergantung pada kebijakan pemerintah, melainkan juga pada pengalaman organisasi dalam menggunakan teknologi digital sebelumnya, kesiapan infrastruktur, serta tingkat keterampilan digital yang dimiliki. Selain itu, penelitian ini menyimpulkan bahwa adopsi e-commerce berbasis IoT masih rendah pada UKM di sektor perdagangan, serta merekomendasikan penguatan kebijakan publik yang secara eksplisit mendukung integrasi IoT sebagai teknologi pelengkap dalam transformasi digital.

Penelitian kelima berjudul “*Technology Readiness Index of Paddy Farmers in MADA, KADA and IADA BLS, Malaysia*” [12]. Penelitian ini mengkaji secara komprehensif tingkat kesiapan teknologi petani padi di tiga daerah granary di Malaysia, yaitu MADA, KADA, dan IADA BLS, dengan memanfaatkan pendekatan *Technology Readiness Index* (TRI) yang dirancang untuk mengukur persepsi pengguna terhadap teknologi baru. Dalam studi ini, keempat dimensi TRI optimisme, inovasi, ketidaknyamanan, dan ketidakamanan dijadikan kerangka analisis untuk mengeksplorasi kecenderungan psikologis petani dalam mengadopsi teknologi pertanian modern. Melalui survei yang melibatkan 315

responden di MADA, 295 di KADA, dan 178 di IADA BLS, penelitian ini berhasil mengidentifikasi bahwa mayoritas petani menunjukkan tingkat kesiapan moderat, yang mencerminkan potensi dan tantangan dalam transisi menuju praktik pertanian yang lebih digital. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor optimisme dan inovasi berkontribusi signifikan terhadap kesiapan adopsi, sementara ketidakamanan dan ketidaknyamanan menjadi penghalang utama yang perlu diatasi. Dengan demikian, instrumen TRI yang diterapkan dalam penelitian ini dapat diadaptasi untuk menilai kesiapan teknologi di berbagai sektor, serta memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan strategi implementasi teknologi yang lebih inklusif dan efektif, yang pada gilirannya dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi di berbagai bidang industri. Pendekatan ini juga membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut mengenai interaksi antara faktor psikologis dan kesiapan teknologi, yang dapat memperkaya pemahaman kita tentang adopsi teknologi dalam konteks yang lebih luas.

Tabel 2. 1 Studi Sebelumnya

No	Penulis	Judul	Tujuan	Teknik analisa	Hasil Penelitian
1	Rabeah Md Zin et al (2023)[8]	Formulasi dan Validasi Instrumen Kesiapan Penggunaan IoT dalam Pengesanan Kebakaran Rumah Kediaman	Mengembangkan dan memvalidasi instrumen untuk mengukur kesiapan integrasi IoT dalam sistem pengesanan kebakaran	TRI dan TAM	Dalam penelitian ini juga peneliti memberikan kesimpulan bahwa keberhasilan adopsi IoT dalam konteks sistem pengesanan kebakaran sangat dipengaruhi oleh persepsi pengguna terhadap manfaat dan kemudahan penggunaan teknologi tersebut, serta faktor psikologis seperti rasa percaya dan kenyamanan.
2	Anam et al (2022)[9]	<i>The Readiness Analysis of Smart School Implementation using</i>	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kesiapan penerapan konsep Smart	TRI	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa secara umum, tingkat kesiapan pengguna berada

		<i>technology readiness index to support smart city implementation</i>	School di SMP Negeri 17 Pekanbaru dalam mendukung implementasi Smart City		pada kategori sedang (medium technology readiness)
3	Zahedian Nezhad et al (2023)[10]	Assessing Dimensions Influencing IoT Implementation Readiness in Industries: A Fuzzy DEMATEL and Fuzzy AHP Analysis	Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan dimensi-dimensi utama yang memengaruhi kesiapan implementasi teknologi Internet of Things (IoT) di sektor industri	Fuzzy DEMATEL dan Fuzzy AHP	Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor organisasi, infrastruktur keras, dan infrastruktur lunak merupakan dimensi paling signifikan dalam kesiapan implementasi IoT. Selain itu, faktor keamanan dan privasi serta analitik data diidentifikasi sebagai penyebab utama yang memengaruhi dimensi lainnya.
4	D. T. Parra-Sánchez, L. H. Talero-Sarmiento,	<i>Assessment of ICT policies for digital transformation in Colombia: technology</i>	untuk menilai efektivitas kebijakan TIK pemerintah Kolombia dalam mendorong kesiapan teknologi (technology	TRI	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesiapan teknologi merupakan faktor krusial dalam keberhasilan adopsi IoT, dan bahwa

	and C. D. Guerrero (2021)[11]	<i>readiness for IoT adoption in SMEs in the trading sector.</i>	readiness) untuk adopsi Internet of Things (IoT) pada sektor usaha kecil dan menengah (UKM), khususnya di bidang perdagangan		adopsi IoT tidak hanya bergantung pada kebijakan pemerintah, melainkan juga pada pengalaman organisasi dalam menggunakan teknologi digital sebelumnya, kesiapan infrastruktur, serta tingkat keterampilan digital yang dimiliki
5	Nor Masitoh et al (2023)[12]	Technology Readiness Index of Paddy Farmers in MADA, KADA and IADA BLS, Malaysia	Menentukan tingkat kesiapan teknologi petani padi di tiga daerah granary di Malaysia	TRI	Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor optimisme dan inovasi berkontribusi signifikan terhadap kesiapan adopsi, sementara ketidakamanan dan ketidaknyamanan menjadi penghalang utama yang perlu diatasi

2.2. Dasar Teori

2.2.1 *Internet of Things (IoT)*

Seiring dengan perkembangan zaman dan arus globalisasi yang semakin maju, terjadi perubahan signifikan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi informasi. Era globalisasi memberikan dampak pesat terhadap tatanan dunia, termasuk di Indonesia, yang menuntut adanya inovasi teknologi yang lebih cepat, akurat, efisien, dan efektif. Salah satu inovasi besar yang muncul dari kebutuhan tersebut adalah *Internet of Things (IoT)*. Secara umum, IoT adalah konsep di mana berbagai objek fisik dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan konektivitas jaringan, sehingga memungkinkan objek-objek tersebut untuk saling terhubung dan bertukar data secara otomatis melalui internet tanpa intervensi manusia secara langsung[13]. IoT tidak hanya menciptakan interkoneksi antar perangkat, tetapi juga membuka jalan bagi terbentuknya ekosistem cerdas yang mampu mengamati, menganalisis, dan merespons lingkungan sekitarnya secara dinamis.

Secara arsitektural, IoT terdiri dari tiga lapisan utama: *perception layer* (sensor dan perangkat fisik), *network layer* (jaringan komunikasi), dan *application layer* (pengolahan dan penggunaan data) [14]. Dengan lapisan-lapisan ini, IoT dapat mengintegrasikan dunia fisik dan digital, memungkinkan berbagai sistem seperti rumah pintar, kota cerdas, transportasi otonom, dan sistem kesehatan digital untuk berfungsi lebih adaptif dan prediktif. Di balik mekanisme teknisnya, IoT membawa transformasi fundamental dalam cara manusia berinteraksi dengan dunia; dari interaksi berbasis perangkat lunak menjadi interaksi berbasis data real-time dari lingkungan nyata.

Lebih dari sekadar teknologi, IoT adalah fondasi utama dalam era revolusi industri 4.0 dan menjadi tulang punggung dalam transformasi digital yang mencakup berbagai sektor: industri, pertanian, logistik, energi, hingga pemerintahan[15]. Penerapan IoT mampu meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya, serta menciptakan nilai tambah berupa layanan berbasis data dan pengalaman pengguna yang personal. Namun demikian, kompleksitas IoT juga menimbulkan tantangan serius, seperti keamanan data, interoperabilitas sistem, dan manajemen volume data

besar (*big data*) yang dihasilkan oleh perangkat IoT setiap detik. Oleh karena itu, pendekatan multidisipliner sangat diperlukan untuk mengoptimalkan manfaat IoT secara berkelanjutan dan bertanggung jawab.

2.2.2 Pengujian Marshall Aspal

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi jalan menuntut adanya sistem evaluasi mutu material yang tidak hanya akurat tetapi juga konsisten dan dapat diandalkan dalam berbagai kondisi lapangan. Salah satu metode pengujian yang telah menjadi standar internasional dalam menilai kinerja campuran aspal adalah pengujian Marshall. Pengujian ini dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall pada tahun 1939 dan kemudian diadopsi oleh *United States Corps of Engineers* sebagai metode baku dalam desain campuran aspal panas (*Hot Mix Asphalt*) untuk infrastruktur strategis, seperti landasan pacu militer dan jalan raya berintensitas tinggi [16]

Secara umum, pengujian Marshall merupakan suatu pendekatan laboratorium untuk menentukan stabilitas dan *flow* (deformasi plastis) dari suatu campuran aspal, serta menghitung parameter fisik lainnya seperti kepadatan, rongga udara (*air voids*), *void in mineral aggregate* (VMA), dan *void filled with asphalt* (VFA). Tujuan utamanya adalah untuk memperoleh komposisi campuran optimum antara agregat dan aspal yang mampu menahan beban lalu lintas, mempertahankan fleksibilitas, serta menjamin durabilitas konstruksi jalan terhadap perubahan cuaca dan deformasi akibat beban berulang [17].

Secara teknis, pengujian Marshall dilakukan dengan mencetak spesimen campuran aspal berbentuk silinder menggunakan alat pemadat standar. Setelah spesimen dikondisikan pada suhu tertentu (biasanya 60°C), maka spesimen akan dikenai beban melalui mesin Marshall dengan kecepatan penetrasi 50,8 mm/menit hingga mencapai titik maksimum deformasi plastis. Beban maksimum yang tercatat dikenal sebagai nilai stabilitas Marshall,

sedangkan besarnya deformasi yang terjadi hingga titik tersebut disebut nilai *flow* [18].

Nilai stabilitas mencerminkan kekuatan struktural dari campuran aspal, sedangkan nilai *flow* menunjukkan elastisitas atau fleksibilitas campuran dalam merespons beban. Campuran yang ideal harus memiliki keseimbangan antara keduanya: stabilitas tinggi namun tetap fleksibel agar tidak mudah retak atau mengalami kelelahan dini (*Fatigue Cracking*). Oleh karena itu, pengujian Marshall juga berperan sebagai dasar dalam evaluasi perkerasan jangka panjang dari perkerasan aspal [19].

Dalam konteks desain campuran, data dari pengujian Marshall akan digunakan untuk membentuk kurva korelasi antara kadar aspal dengan parameter-parameter kinerja, dari mana akan ditentukan kadar aspal optimum. Desain ini penting untuk menghindari dua risiko utama: kelebihan aspal yang dapat menyebabkan *bleeding* dan deformasi permanen, serta kekurangan aspal yang dapat menyebabkan keretakan dan kegagalan struktural [20].

Dengan memahami setiap tahapan teknis dalam pengujian Marshall, dapat diidentifikasi titik-titik kritis yang memerlukan akurasi tinggi serta rentan terhadap kesalahan manusia. Berikut ini adalah tahapan prosedural pengujian Marshall yang umumnya diterapkan di laboratorium pengujian bahan jalan:

1. Persiapan Material

Material berupa agregat kasar, agregat halus, dan aspal keras ditimbang sesuai proporsi campuran. Agregat dikeringkan dan disaring untuk memperoleh gradasi sesuai spesifikasi teknis.

2. Pencampuran Campuran Aspal Panas

Material berupa agregat kasar, agregat halus, dan aspal keras ditimbang sesuai proporsi campuran. Agregat dikeringkan dan disaring untuk memperoleh gradasi sesuai spesifikasi teknis.

3. Pembuatan Spesimen Uji

Campuran panas dituangkan ke dalam cetakan silinder Marshall dan dipadatkan dengan 75 tumbukan per sisi menggunakan alat pemadat standar.

4. Pendinginan dan Pelepasan Cetakan

Spesimen didinginkan pada suhu ruang, kemudian dilepas dari cetakan logam untuk pengujian lebih lanjut.

5. Perendaman Spesimen

Spesimen direndam dalam air bersuhu 60°C selama 30–40 menit untuk menyimulasikan kondisi lapangan sebelum pengujian.

6. Pengujian Stabilitas dan Flow

Spesimen diuji dengan mesin Marshall; beban diberikan secara vertikal dengan kecepatan 50,8 mm/menit hingga terjadi deformasi maksimum. Beban maksimum dicatat sebagai nilai stabilitas, sedangkan deformasi hingga titik tersebut disebut nilai *flow*.

7. Pencatatan dan Analisis Data

Data pengujian dikompilasi untuk menghitung parameter-parameter tambahan seperti VMA, VFA, dan *air voids*. Hasil ini digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum yang memenuhi kriteria desain teknis.

Meski metode ini telah digunakan secara luas, berbagai literatur menyatakan bahwa pengujian Marshall memiliki keterbatasan dalam memprediksi perilaku campuran terhadap beban dinamis jangka panjang, seperti *rutting* atau kelelahan akibat variasi suhu ekstrem. Oleh karena itu, saat ini mulai dikembangkan metode tambahan seperti *Wheel Tracking Test* atau *Dynamic Modulus Test* untuk melengkapi hasil dari pengujian Marshall dalam rangka menuju pendekatan desain berbasis performa [21].

2.2.3 Pengujian kesiapan

Pengujian kesiapan (*readiness assessment*) merupakan suatu proses sistematis yang dirancang untuk mengevaluasi sejauh mana suatu organisasi atau sistem siap untuk mengadopsi dan mengimplementasikan suatu teknologi baru. Konsep ini bertujuan untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan internal yang dapat memengaruhi keberhasilan proses transformasi digital, termasuk kesiapan dari aspek teknologi, sumber daya manusia, budaya organisasi, hingga infrastruktur pendukung [22].

Dalam konteks adopsi teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT), pengujian kesiapan menjadi alat penting untuk menilai tingkat kematangan organisasi dalam menerima perubahan yang bersifat disruptif [23]. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk meminimalisir risiko kegagalan implementasi, mengoptimalkan alokasi sumber daya, dan meningkatkan efisiensi serta keberlanjutan sistem yang akan diterapkan [24].

Pengujian kesiapan sangat diperlukan karena adopsi teknologi tidak hanya menuntut ketersediaan perangkat keras dan lunak, tetapi juga kesiapan psikologis dan struktural organisasi untuk berubah. Ketidaksiapan dalam aspek-aspek ini seringkali menjadi penyebab utama dari resistensi pengguna, *underutilization* sistem, hingga pemborosan investasi teknologi [25]. Untuk itu, pendekatan ini menawarkan perspektif menyeluruh dalam menilai kesiapan transformasi digital secara kuantitatif maupun kualitatif.

Pengujian kesiapan berperan sebagai langkah awal yang krusial dalam strategi implementasi teknologi. Tidak hanya menjadi indikator awal keberhasilan adopsi, tetapi juga memberikan landasan data untuk pengambilan keputusan strategis, penyesuaian kebijakan internal, dan perencanaan penguatan kapasitas organisasi dalam menghadapi era transformasi digital [23]

2.2.4 Technology Readiness Index (TRI)

Dalam mengkaji implementasi teknologi, berbagai pendekatan metodologis telah dikembangkan untuk mengevaluasi aspek kesiapan baik dari sudut pandang organisasi, teknologi, maupun individu. Beberapa kerangka kerja populer yang sering digunakan antara lain *Technology Acceptance Model* (TAM), *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT), *Organizational Readiness for Change* (ORC), *Innovation Diffusion Theory* (IDT), hingga model berbasis *Technology Organization Environment* (TOE) *Framework*. Masing-masing pendekatan tersebut menawarkan perspektif yang berbeda, tergantung pada konteks penerapan dan fokus evaluasi. Misalnya, TAM dan UTAUT lebih menekankan pada aspek niat perilaku pengguna akhir, TOE lebih menyoroti kesiapan organisasi dalam dimensi eksternal dan internal, sementara ORC fokus pada dinamika perubahan institusional. Di samping itu, pendekatan kualitatif seperti studi kasus atau analisis SWOT juga kerap digunakan untuk menilai kesiapan implementasi teknologi dalam lingkungan organisasi yang kompleks. Namun, sebagian besar model tersebut belum secara spesifik menggambarkan kondisi psikologis dan persepsi individu terhadap teknologi baru, padahal faktor-faktor ini memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan penerapannya.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini memilih *Technology Readiness Index* (TRI) sebagai kerangka konseptual untuk memahami kesiapan implementasi sistem pengujian aspal berbasis *Internet of Things* (IoT). TRI merupakan kerangka yang tidak hanya menekankan aspek teknis maupun struktural, tetapi juga mengungkap dimensi psikologis dan persepsi individu terhadap teknologi yang akan diadopsi[16]. Dalam konteks laboratorium pengujian, di mana penerapan IoT berpotensi mengubah pola kerja manual menjadi lebih digital, memahami persepsi, sikap, dan pengalaman para pelaku menjadi penting agar proses adopsi teknologi berjalan lancar dan minim resistansi[17]. TRI membantu memetakan faktor-

faktor yang dapat mendorong maupun menghambat kesiapan psikologis individu, seperti sikap optimis terhadap teknologi, kecenderungan untuk berinovasi, perasaan tidak nyaman, hingga ketidakpercayaan terhadap sistem digital[18]. Pemahaman ini memungkinkan evaluasi yang lebih realistis dan menyeluruh, serta menjadi dasar bagi perencanaan strategi adopsi yang lebih tepat sasaran dan responsif terhadap kondisi di lapangan.

TRI pertama kali diperkenalkan oleh Parasuraman [19] sebagai kerangka konseptual untuk memahami kesiapan psikologis individu maupun organisasi dalam mengadopsi teknologi. Secara konsep, TRI melihat kesiapan tidak hanya sebagai kemampuan teknis semata, tetapi sebagai konstruksi psikososial yang kompleks, yang dipengaruhi oleh sikap, keyakinan, dan pengalaman seseorang atau kelompok terhadap teknologi. Pendekatan ini menyoroti bahwa dalam proses perubahan ke arah digital, faktor kognitif dan afektif pengguna tidak kalah penting dibanding kesiapan teknis.

TRI terdiri dari empat dimensi utama, yang bersama-sama membentuk gambaran kesiapan individu maupun organisasi terhadap teknologi baru. Keempat dimensi ini adalah sebagai berikut:

- 1 *Optimism*

Dimensi ini mencerminkan sikap positif terhadap teknologi, termasuk kepercayaan bahwa teknologi dapat meningkatkan efisiensi, fleksibilitas, dan kualitas kehidupan. Individu dengan tingkat optimisme tinggi biasanya lebih antusias dalam mencoba sistem baru, serta melihat teknologi sebagai alat yang menyederhanakan pekerjaan dan memberikan kemudahan [20]. Hal ini digamarkan sebagai perasaan positif tentang teknologi

- 2 *Innovativeness*

Merujuk pada kecenderungan individu untuk menjadi pengguna awal dalam mengadopsi teknologi. Orang-orang dengan tingkat inovatif tinggi cenderung memiliki rasa ingin tahu besar terhadap

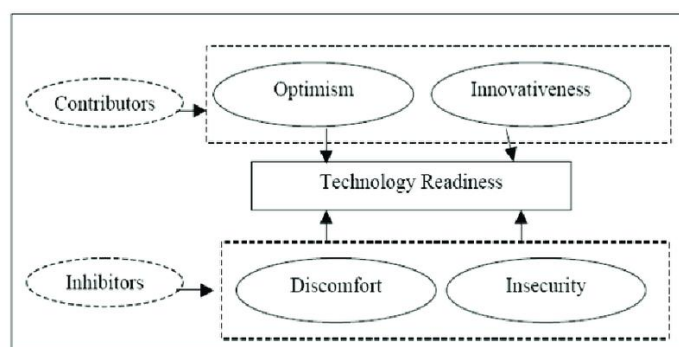
teknologi baru, serta bersedia mengambil risiko untuk mencoba dan menguji teknologi yang belum banyak digunakan[21]. Indikator ini juga menggambarkan perasaan positif tentang teknologi.

3 *Discomfort*

Dimensi ini menunjukkan perasaan tidak nyaman, kewalahan, atau kebingungan dalam menghadapi teknologi. Individu yang memiliki tingkat discomfort tinggi biasanya merasa teknologi terlalu rumit atau sulit dipahami, yang dapat menghambat proses adopsi dan menimbulkan resistansi dalam penggunaan [22]. Indikator ini menggambarkan perasaan negative tentang teknologi.

4 *Insecurity*

Merupakan dimensi yang menggambarkan rasa ketidakpercayaan terhadap teknologi, baik dari segi keandalan sistem maupun keamanan data pribadi. Individu dengan tingkat insecurity tinggi cenderung ragu menggunakan teknologi karena khawatir akan risiko seperti pelanggaran privasi, kesalahan sistem, atau kerusakan data[23]. Indikator ini menggambarkan perasaan negative tentang teknologi.



Gambar 2.1 Variabel TRI

Sumber : [Variabel TRI](#)

Kempat Keempat dimensi ini bekerja secara simultan membentuk profil kesiapan psikologis yang khas bagi setiap individu atau organisasi. TRI dapat digunakan untuk mengeksplorasi bagaimana kombinasi faktor pendorong (*optimism* dan *innovativeness*) dan penghambat (*discomfort* dan *insecurity*) membentuk pola sikap terhadap teknologi baru. Dalam praktik, kerangka ini telah banyak dimanfaatkan baik di sektor publik maupun swasta untuk membantu perencanaan strategi adopsi teknologi yang lebih manusiawi, adaptif, dan realistis, dengan memperhatikan kondisi psikososial penggunanya. Dengan demikian, TRI tidak hanya menjadi alat untuk mengevaluasi kesiapan, tetapi juga sebagai panduan dalam merancang intervensi yang tepat untuk mendukung keberhasilan transformasi digital.

2.2.4 Technology Readiness Level (TRL)

Keberhasilan implementasi teknologi dalam organisasi tidak hanya bergantung pada kesiapan psikologis individu, sebagaimana diukur melalui *Technology Readiness Index* (TRI), tetapi juga pada kesiapan teknis teknologi itu sendiri. Dalam hal ini, kerangka *Technology Readiness Level* (TRL) yang dikembangkan oleh NASA (2012)[24] memberikan dasar ilmiah untuk mengukur tingkat kematangan teknologi secara sistematis dan objektif. TRL mempermudah peneliti dan pengambil keputusan dalam memahami sejauh mana suatu teknologi telah melalui tahapan validasi, pengujian, dan demonstrasi hingga siap untuk digunakan secara operasional.

TRL terdiri dari sembilan tingkatan bertahap, mulai dari observasi prinsip dasar teknologi hingga terbukti berfungsi penuh dalam kondisi operasional sebenarnya. Setiap level menggambarkan kemajuan spesifikasi yang dicapai dalam pengembangan teknologi, sebagai berikut: [25]

1. TRL 1 - Observasi Prinsip Dasar

Tahap awal di mana prinsip-prinsip ilmiah dasar telah diamati dan dilaporkan. Penelitian masih bersifat teoritis, belum ada aplikasi

nyata atau konsep teknologi spesifik. Contohnya adalah penemuan reaksi kimia atau fenomena fisika yang potensial digunakan di masa depan.

2. TRL 2 - Formulasi Konsep Teknologi

Konsep teknologi mulai dirumuskan berdasarkan prinsip dasar yang telah ditemukan. Aplikasi potensial dari pengetahuan dasar mulai dieksplorasi, namun belum ada bukti eksperimen yang mendukung kelayakan teknis.

3. TRL 3 – Bukti Eksperimen Awal

Studi analisis dan eksperimental laboratorium awal dilakukan untuk memvalidasi bahwa konsep teknologi mungkin dapat diterapkan. Biasanya mencakup simulasi atau uji laboratorium awal dalam skala kecil.

4. TRL 4 – Validasi Komponen di Laboratorium

Komponen utama teknologi mulai dikembangkan dan diuji secara individual dalam lingkungan laboratorium yang terkendali. Tujuannya adalah membuktikan bahwa elemen-elemen teknologi dapat bekerja sesuai fungsinya dalam kondisi eksperimental.

5. TRL 5 – Validasi Sistem dalam Lingkungan Relevan

Integrasi beberapa komponen dilakukan dalam konfigurasi sistem yang lebih realistis dan diuji di lingkungan yang mensimulasikan kondisi operasional sesungguhnya (misalnya ruang uji bersuhu, tekanan, atau kelembapan tertentu).

6. TRL 6 – Demonstrasi Prototipe dalam Lingkungan Relevan

Prototipe sistem yang hampir lengkap diuji secara langsung dalam kondisi yang menyerupai lingkungan nyata. Uji coba dilakukan secara menyeluruh untuk melihat integrasi fungsi dan ketahanan sistem.

7. TRL 7 – Demonstrasi Prototipe dalam Lingkungan Nyata

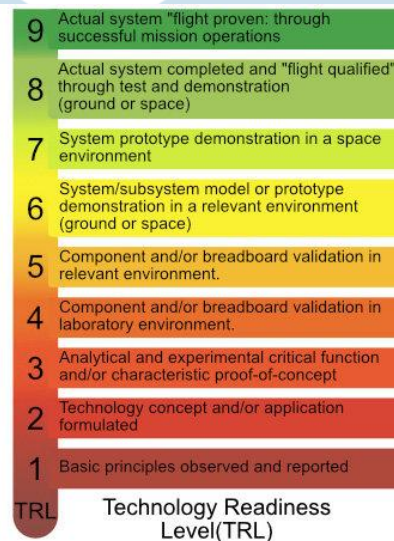
Prototipe akhir diuji di lingkungan operasional yang sebenarnya (misalnya laboratorium, lapangan, atau fasilitas industri). Prototipe telah mencerminkan konfigurasi akhir teknologi dan siap untuk evaluasi akhir.

8. TRL 8 – Sistem Siap Digunakan secara Formal

Teknologi telah lolos dari seluruh tahapan pengujian dan evaluasi. Sistem dinyatakan siap untuk diimplementasikan secara formal oleh organisasi, meskipun adopsi massal belum dilakukan.

9. TRL 9 – Sistem Terbukti Berfungsi Penuh di Lapangan

Teknologi sudah terbukti dapat berfungsi secara optimal dalam operasi nyata. Telah digunakan secara luas dan diakui keandalannya oleh pengguna akhir. Ini adalah tingkat kesiapan tertinggi.



Gambar 2. 1 TRL

Sumber : [TRL NASA 2012](#)

Kerangka TRL memiliki peran penting dalam memastikan keberhasilan proyek-proyek transformasi digital seperti penerapan *Internet of Things* (IoT). Dengan menilai TRL, dapat memastikan bahwa teknologi yang diadopsi sudah

mencapai tingkat kesiapan teknis yang memadai sehingga resiko kegagalan implementasi dapat diminimalkan. Penilaian TRL juga melengkapi hasil evaluasi TRI sehingga diperoleh gambaran readiness yang menyeluruh: psikologis, teknis, dan organisasional.

Penerapan TRL dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pada level mana teknologi IoT yang akan digunakan di Laboratorium XYZ berada, sehingga dapat dirumuskan strategi implementasi yang tepat, termasuk kebutuhan pengujian lanjutan, perbaikan desain, pelatihan pengguna, hingga penguatan infrastruktur pendukung.

