

## Kerangka Uji Penerimaan Berbasis Risiko untuk Menjamin Kualitas Pengadaan Radar Cuaca melalui Technical Representative, Factory Acceptance Test (FAT), dan Site Acceptance Test (SAT)

Maulana Putra<sup>\*1</sup>, Hanif Andi Nugraha<sup>2</sup>, Sugiarto<sup>3</sup>, Fajar Giri Suseno<sup>4</sup>, Wandes Gumamven<sup>5</sup>

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika

E-mail: [maulana.putra@bmkg.go.id](mailto:maulana.putra@bmkg.go.id)

### Article History:

Received: 31 Maret 2026

Revised: 20 Juni 2026

Accepted: 08 Juli 2026

### Keywords:

Technical Representative, FAT, SAT, Radar Cuaca

**Abstract:** Radar cuaca berperan sebagai komponen utama dalam penyelenggaraan layanan observasi dan peringatan dini di bidang meteorologi, sehingga keandalannya tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga oleh kualitas tata kelola pengadaan dan mekanisme penerimaan sistem sebelum dioperasikan. Meskipun acceptance testing telah digunakan sebagai mekanisme penerimaan sistem, pendekatan tersebut sering diperlakukan sebagai tahapan administratif di akhir proyek dan belum sepenuhnya diposisikan sebagai instrumen manajemen risiko. Penelitian ini memformulasikan perspektif verifikasi–validasi, manajemen risiko, dan pengelolaan mutu proyek menjadi suatu kerangka uji penerimaan berjenjang yang sistematis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur pengujian berlapis mencegah akumulasi risiko teknis hingga fase operasional, serta mengurangi potensi rework dan eskalasi biaya.

## PENDAHULUAN

Sistem radar cuaca merupakan infrastruktur kritis yang menopang sistem observasi dan peringatan dini meteorologi, sehingga tingkat keandalannya memiliki implikasi langsung terhadap keselamatan publik, penerbangan, serta layanan informasi cuaca secara nasional [1], [2]. Keandalan tersebut tidak semata ditentukan oleh kecanggihan teknologi atau spesifikasi teknis perangkat, tetapi juga oleh kualitas proses perencanaan, pengadaan, pengujian, dan penerimaan sistem sebelum dioperasikan. Dalam perspektif rekayasa sistem modern, penerimaan sistem dipahami sebagai bagian dari proses penjaminan mutu yang berlangsung sepanjang siklus hidup proyek, bukan sekadar tahapan administratif di akhir pekerjaan. Pendekatan ini menekankan bahwa pengendalian mutu dan mitigasi risiko harus dilakukan secara bertahap sejak fase desain dan produksi hingga sistem siap digunakan dalam lingkungan operasional nyata.

Secara fundamental, instrumentasi radar cuaca modern terdiri atas rangkaian subsistem yang saling terhubung, mulai dari perangkat keras frekuensi radio (transmitter dan receiver), sistem penggerak antena, hingga unit pengolah data berbasis perangkat lunak [3], [4], sehingga risiko teknis dapat muncul sejak tahap desain, manufaktur, hingga instalasi dan operasional. Cacat yang tidak terdeteksi pada fase awal berpotensi menimbulkan masalah lanjutan yang berdampak pada eskalasi biaya, keterlambatan proyek, dan gangguan layanan observasi. Studi

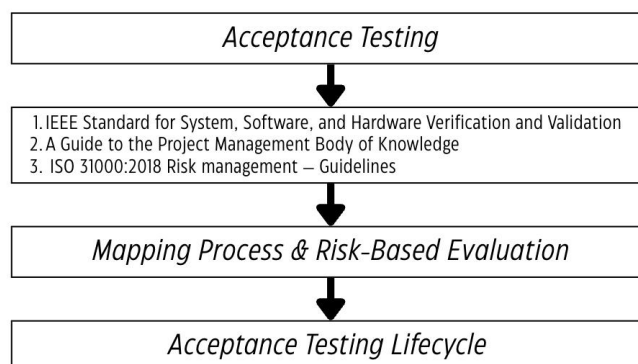
tentang acceptance testing menunjukkan bahwa deteksi cacat di fasilitas pabrik jauh lebih efisien dibandingkan setelah instalasi, sehingga diperlukan pendekatan yang sistematis dan berbasis risiko untuk memastikan pengendalian mutu sejak awal proses pengadaan radar cuaca [5].

Penelitian sebelumnya telah membahas acceptance testing sebagai mekanisme verifikasi dan validasi sistem dalam berbagai konteks, seperti perangkat lunak, sistem industri, dan manajemen proyek. Literatur menekankan bahwa acceptance testing memastikan pemenuhan kebutuhan dan spesifikasi kontraktual [6]. Meskipun konsep verifikasi, validasi, dan manajemen risiko telah banyak diterapkan dalam rekayasa sistem, belum terdapat formulasi konseptual yang secara eksplisit menggambarkan kerangka risk-based acceptance testing lifecycle untuk pengadaan radar cuaca.

Penelitian ini mengusulkan kebaruan dengan merumuskan kerangka risk-based acceptance testing lifecycle untuk pengadaan radar cuaca. Kebaruan terletak pada integrasi kerangka standar internasional, sehingga acceptance testing diposisikan sebagai instrumen manajemen risiko strategis. Secara khusus, penelitian ini mengidentifikasi mekanisme pengendalian risiko pada setiap tahapan acceptance testing serta menyusun model konseptual quality gate berjenjang yang dapat meningkatkan keandalan sistem dan efektivitas tata kelola pengadaan radar cuaca. Tahapan acceptance testing diharapkan membentuk risk reduction cascade yang menurunkan kemungkinan kegagalan sistem di fase operasional serta mengurangi potensi rework dan eskalasi biaya proyek.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan risk-based acceptance testing framework untuk merumuskan acceptance test dalam pengadaan sistem radar cuaca. Metode penelitian bersifat konseptual-aplikatif dengan mengintegrasikan kerangka verifikasi dan validasi dari IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation [7], manajemen risiko berdasarkan ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines [8], serta Quality and Acceptance Framework sesuai A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK) [9]. Ketiga kerangka tersebut digunakan untuk memetakan fungsi verifikasi, mitigasi risiko, dan penerimaan mutu pada setiap tahap pengujian, sehingga membentuk struktur pengendalian kualitas yang sistematis sepanjang proses pengadaan radar cuaca. Analisis dilakukan secara kualitatif dengan pendekatan mapping process dan risk-based evaluation, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Metode Perumusan Kerangka Uji Penerimaan Berbasis Risiko Pengadaan Sistem Radar Cuaca

Hasil analisis kemudian disintesis menjadi kerangka *acceptance testing lifecycle* sebagai mekanisme pengendalian mutu dan manajemen risiko yang terintegrasi. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi sistem radar cuaca tidak hanya dari aspek kesesuaian teknis, tetapi juga dari perspektif kesiapan operasional dan keberlanjutan kinerja sistem.

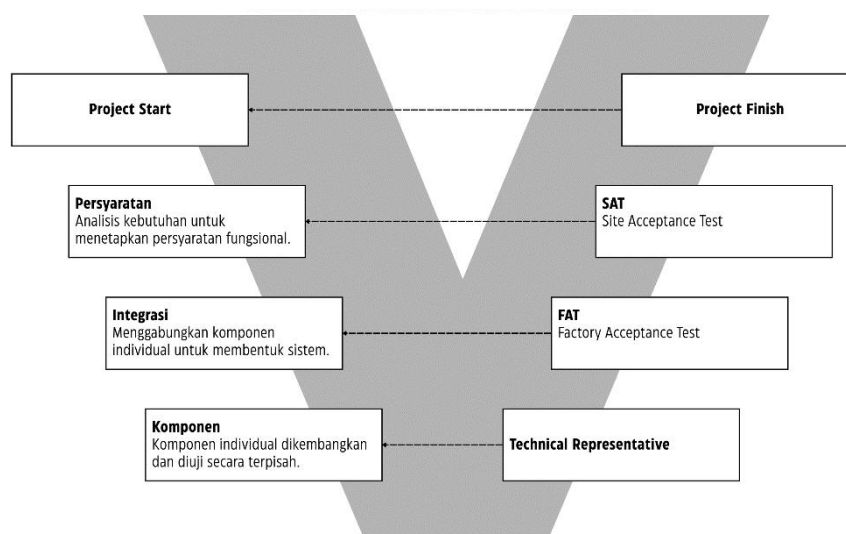
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Acceptance testing merupakan instrumen penting dalam manajemen risiko proyek sistem teknologi kompleks. Acceptance testing memberikan jaminan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan dan spesifikasi yang ditetapkan, sehingga berperan sebagai mekanisme validasi kualitas dan kesesuaian sistem [10], [11]. Cacat yang terdeteksi pada tahap pabrik memiliki konsekuensi biaya yang jauh lebih rendah dibandingkan jika ditemukan setelah instalasi di lapangan, dengan rasio eskalasi biaya yang dapat meningkat [5]. Kondisi ini sangat relevan pada sistem radar cuaca yang beroperasi sebagai infrastruktur kritis nasional, di mana kegagalan sistem dapat berdampak langsung terhadap kontinuitas observasi dan layanan peringatan dini.

Dokumen IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation [7] menjelaskan bahwa pengembangan sistem dipahami sebagai proses yang membedakan secara konseptual antara verifikasi dan validasi. Verifikasi berorientasi pada pemastian bahwa sistem dibangun sesuai dengan spesifikasi desain dan persyaratan teknis, sedangkan validasi memastikan bahwa sistem yang dibangun benar-benar memenuhi kebutuhan penggunaan operasional. Pendekatan ini menekankan pentingnya pengujian yang terstruktur dan bertahap, selaras dengan fase perancangan, pengembangan, dan implementasi sistem. Sementara itu, merujuk pada dokumen ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines [8], pengendalian sistem merupakan proses manajemen risiko yang sistematis, mencakup penetapan ruang lingkup dan kriteria risiko, identifikasi risiko, evaluasi dan perlakuan risiko, hingga penerimaan risiko residu. Kerangka ini menegaskan bahwa risiko harus diidentifikasi dan direduksi secara progresif sepanjang siklus proyek agar tidak terakumulasi pada tahap akhir. Sejalan dengan hal tersebut, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) [9], menempatkan pengelolaan mutu sebagai proses yang melibatkan klarifikasi kebutuhan, pendefinisian ruang lingkup, pengendalian kualitas, serta validasi ruang lingkup, sehingga penerimaan sistem dilakukan secara bertahap dan terukur. Berdasarkan sintesis ketiga kerangka tersebut, serta didasarkan pada regulasi penerapan best practice Technical Representative untuk melaksanakan pengawasan perkembangan kontrak [12], maka tahapan uji penerimaan dalam pengadaan radar cuaca dapat dirumuskan menjadi tiga bagian utama, yaitu Technical Representative, Factory Acceptance Test (FAT), dan Site Acceptance Test (SAT).

Technical Representative dipahami sebagai mekanisme pengawasan perkembangan proses manufaktur serta evaluasi terhadap kesesuaian materiil dan desain sebelum pengujian formal dilaksanakan [12]. FAT merupakan pengujian terstruktur yang dilakukan di fasilitas pabrik untuk memverifikasi bahwa sistem telah memenuhi persyaratan teknis, parameter kinerja, serta fungsi yang disepakati sebelum dikirim ke lokasi instalasi [13], [14], [15]. Sementara itu, SAT adalah pengujian yang dilaksanakan setelah sistem terpasang di lokasi operasional untuk memvalidasi kinerja sistem dalam kondisi lingkungan nyata serta memastikan integrasi dengan infrastruktur pendukung berjalan sesuai kebutuhan operasional [13], [14].

Dalam kerangka IEEE Verification and Validation (V-Model) [7], lihat **Gambar 2**, tahapan Technical Representative, FAT, dan SAT merepresentasikan implementasi proses verifikasi dan validasi sepanjang tahapan pengadaan sistem radar cuaca. Verifikasi berfokus pada pemastian bahwa sistem memenuhi spesifikasi desain dan persyaratan teknis, sedangkan validasi memastikan sistem mampu memenuhi kebutuhan penggunaan operasional yang sesungguhnya. Dengan perspektif ini, Technical Representative berfungsi sebagai mekanisme verifikasi awal melalui evaluasi desain dan proses manufaktur untuk memastikan kesesuaian sejak fase perancangan dan fabrikasi awal. FAT sebagai verifikasi formal terhadap fungsi sistem dan kesesuaian spesifikasi dalam lingkungan pengujian yang terkendali di fasilitas pabrik sebelum pengiriman. Selanjutnya, SAT merepresentasikan tahap validasi operasional, di mana sistem diuji pada lokasi instalasi untuk memastikan kesiapan operasional, keandalan, serta kesesuaian dengan kebutuhan operasional yang nyata.



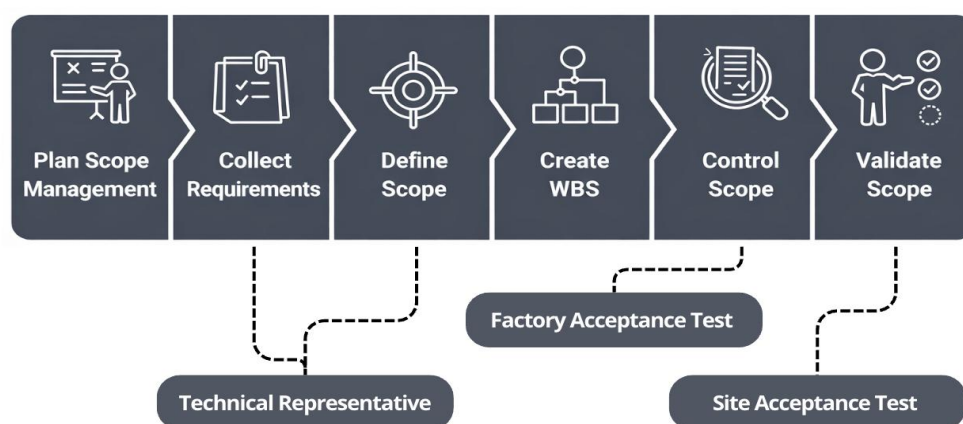
**Gambar 2.** Kerangka IEEE Verification and Validation (V-Model) untuk Technical Representative, FAT, dan SAT

Berdasarkan perspektif dokumen *ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines* [8], struktur *Technical Representative*, *FAT*, dan *SAT* dapat dipahami sebagai implementasi proses manajemen risiko yang sistematis. Tahap *Technical Representative* selaras dengan proses *establishing scope, context, and risk criteria* serta *risk identification* dalam *risk management process*, yang bertujuan mendeteksi potensi ketidaksesuaian desain, kualitas produksi, dan risiko teknis sejak dini sebelum memasuki fase pengujian formal. Tahap *FAT* berkaitan dengan *risk evaluation* dan implementasi *risk treatment*, di mana pengujian teknis digunakan untuk memvalidasi efektivitas pengendalian risiko sebelum sistem dikirim. Sementara itu, *SAT* merepresentasikan tahap penilaian akhir atas *acceptability of remaining (residual) risk*, yaitu

validasi bahwa risiko yang tersisa berada dalam batas yang dapat diterima dalam kondisi operasional nyata. **Gambar 3** mengilustrasikan hubungan antara kerangka manajemen risiko dengan *acceptance testing*.

**Gambar 3.** Kerangka *Acceptance Testing* Berbasis Manajemen Risiko ISO 31000:2018

*PMBOK Quality and Acceptance Framework* [9] memberikan perspektif bahwa tahapan *Technical Representative*, *FAT*, dan *SAT* merupakan integrasi antara pengelolaan mutu dan penerimaan sistem secara bertahap, diilustrasikan pada **Gambar 4**. *Technical Representative* berkaitan dengan proses *Collect Requirements* dan *Define Scope*, yang memastikan kejelasan kebutuhan teknis dan kesesuaian desain dengan ruang lingkup kontraktual selama proses produksi. *FAT* selaras dengan proses *Control Quality*, yaitu pembuktian objektif bahwa sistem memenuhi spesifikasi teknis dan kriteria penerimaan sebelum pengiriman. Selanjutnya, *SAT* berkaitan dengan *Validate Scope*, di mana pengguna akhir melakukan validasi bahwa sistem memenuhi kebutuhan operasional. Pendekatan ini menegaskan bahwa penerimaan sistem yang andal tidak hanya bergantung pada pengujian akhir, tetapi pada kesinambungan kontrol mutu sejak tahap awal.



**Gambar 4.** Tahapan *Acceptance Testing* dalam Kerangka *Project Scope Management*

Secara teknis, tanpa tahapan pengujian secara berjenjang yang mencakup *Technical Representative*, *FAT*, dan *SAT* memungkinkan terjadinya eskalasi risiko dari fase manufaktur hingga fase operasional. Pada sistem radar cuaca, risiko tersebut dapat berupa penyimpangan penyelarasan frekuensi radio, pergeseran kalibrasi pada subsistem pemancar dan penerima, ketidaksesuaian integrasi sistem antara modul, pemroses sinyal, dan perangkat lunak, serta kerusakan akibat shipping shock yang tidak terdeteksi sebelum sistem dioperasikan. Apabila pengendalian hanya bertumpu pada satu tahap pengujian, ketidaksesuaian berpotensi teridentifikasi dalam kondisi yang sudah kompleks dan mahal untuk diperbaiki, sehingga memicu rework, eskalasi biaya, keterlambatan proyek, dan gangguan layanan observasi meteorologi [16].

Kontribusi penelitian ini terletak pada formulasi kerangka risk-based acceptance testing lifecycle yang menempatkan *Technical Representative*, *FAT*, dan *SAT* sebagai quality gates berjenjang. Secara praktis, pendekatan ini memperkuat tata kelola pengadaan melalui pengendalian mutu berbasis risiko, menurunkan lifecycle cost akibat pengurangan rework dan kegagalan sistem, serta meningkatkan system availability dengan memastikan bahwa radar siap beroperasi secara andal sejak tahap commissioning. Tabel 1 menjelaskan pengendalian risiko pada setiap tahapan acceptance testing.

**Tabel 1.** Matriks Pengendalian Risiko Berjenjang pada Tahapan *Acceptance Testing* Pengadaan Radar Cuaca

| <b>Tahapan</b>                  | <b>Mekanisme Pengendalian Risiko</b>                                              | <b>Risiko yang Dikendalikan</b>                                                                                          | <b>Dampak Jika Tidak Ada Tahap Ini</b>                                                                                                         | <b>Implikasi terhadap Kinerja</b>                                                         |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Technical Representative</i> | Evaluasi desain, inspeksi manufaktur, pemeriksaan kesesuaian spesifikasi          | Penyimpangan penyalarsan frekuensi radio, kesalahan pemilihan komponen, cacat produksi                                   | Deteksi risiko yang terlambat (pada fase FAT/SAT), biaya pengerjaan ulang ( <i>rework</i> ) yang tinggi, dan keterlambatan penyelesaian proyek | Mencegah eskalasi risiko, meningkatkan efisiensi biaya, dan memperkuat pengawasan kontrak |
| <i>FAT</i>                      | Uji fungsi, integrasi subsistem, performa & stabilitas sistem di fasilitas pabrik | Kegagalan fungsi sistem, ketidaksesuaian performa, ketidakpatuhan ( <i>non-compliance</i> ) terhadap klausul kontraktual | Ketidaksiapan sistem untuk tahap pengiriman, potensi klaim kontraktual, serta eskalasi biaya koreksi di lapangan                               | Menjamin keutuhan spesifikasi dan memitigasi risiko pengiriman sistem yang tidak layak    |
| <i>SAT</i>                      | Uji kinerja di lokasi instalasi, evaluasi reliabilitas & stabilitas operasional   | Kendala integrasi di lapangan, instabilitas sistem pada lingkungan operasional, dan risiko residu operasional            | <i>Downtime</i> operasional, gangguan layanan meteorologi, penurunan keandalan sistem                                                          | Menjamin kesiapan operasional serta mengoptimalkan keandalan sistem                       |

## KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa acceptance testing dalam pengadaan radar cuaca tidak dapat diposisikan sebagai prosedur administratif di akhir proyek, melainkan sebagai instrumen manajemen risiko sepanjang siklus pengadaan. Dengan mengintegrasikan perspektif verifikasi–validasi, manajemen risiko, dan pengelolaan mutu proyek, penelitian ini merumuskan kerangka *risk-based acceptance testing lifecycle* yang menempatkan tahapan pengujian sebagai *quality gate* berjenjang untuk mencegah akumulasi risiko teknis hingga fase operasional. Pendekatan ini membentuk mekanisme penurunan risiko secara bertahap, meningkatkan keandalan sistem, mengurangi potensi *rework* dan eskalasi biaya, serta memperkuat tata kelola kontrak. Penelitian lanjutan perlu menguji kerangka ini melalui studi empiris pada proyek pengadaan radar cuaca, termasuk analisis kuantitatif terhadap penurunan risiko dan *lifecycle cost*, serta pengembangan indikator kinerja berbasis risiko.



## DAFTAR REFERENSI

- [1] World Meteorological Organization, Guide to Operational Weather Radar Best Practices Volume I: Weather Radar Network Programme Design. Switzerland, 2023, pp. 1–48.
- [2] A. Prakasa and F. D. Utami, “Sistem Informasi Radar Cuaca Terintegrasi BMKG,” *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, vol. 1, no. 02, pp. 78–87, Jul. 2019, doi: 10.20895/jtece.v1i02.89.
- [3] M. Yeary, B. L. Cheong, J. M. Kurdzo, T.-Y. Yu, and R. Palmer, “Waveform Design for Emerging Radar Technologies *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*,” *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, pp. 10–15, Oct. 2014.
- [4] M. Putra, M. S. Rosid, and D. Handoko, “A Review of Rainfall Estimation in Indonesia: Data Sources, Techniques, and Methods,” *Signals*, vol. 5, no. 3, pp. 542–561, Aug. 2024, doi: 10.3390/signals5030030.
- [5] J. Kruger, M. Elliott, and W. Hopper, “Factory Acceptance Testing: From Three Different Perspectives,” in *IEEE Conference Record of Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024, pp. 58–66. doi: 10.1109/PPIC57149.2024.10902352.
- [6] A. Kossiakoff, S. J. Seymour, D. A. Flanigan, and S. M. Biemer, “Front Matter,” in *Systems Engineering Principles and Practice*, Wiley, 2020. doi: 10.1002/9781119516699.fmatter.
- [7] IEEE Standard for System, Software, and Hardware Verification and Validation. New York: IEEE, 2017.
- [8] BS ISO 31000:2018 Risk management - Guidelines, Second edition. Geneva: BSI, 2018.
- [9] A Guide to The Project Management Body of Knowledge, Sixth Edition. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2017.
- [10] T. Fischer and D. Dghyam, “Formal Model Validation through Acceptance Tests,” in *International Conference on Reliability, Safety, and Security of Railway Systems*, Springer, Apr. 2019, pp. 159–169.
- [11] J.-A. Shim, H.-J. Kwon, H. Jung, and M.-S. Hwang, “Design of Acceptance Test Process with the Application of Agile Development Methodology,” *International Journal of Control and Automation*, vol. 9, no. 2, pp. 343–352, Feb. 2016, doi: 10.14257/ijca.2016.9.2.32.
- [12] Peraturan Kepala Staf Angkatan Udara Nomor 14 Tahun 2019 Tentang Pengadaan Barang/Jasa. Indonesia, 2019, pp. 1–317.
- [13] G. I. M. Worm, J. P. Kelderman, T. Lapikas, A. W. C. Van Der Helm, K. M. Van Schagen, and L. C. Rietveld, “The Use of Process Simulation Models in Virtual Commissioning of Process Automation Software in Drinking Water Treatment Plants,” *Water Supply*, vol. 13, no. 5, pp. 1331–1339, Sep. 2013.
- [14] I. Lucas, “Testing Times in Computer Validation,” *International Contributor*, vol. 9, no. 2, pp. 153–161, Feb. 2003.
- [15] A. Rospawan, J. W. Simatupang, and I. Purnama, “IOT Application For Conveyor Motor Load Current And Temperature Monitoring Device for Factory Acceptance Test in Industrial Application,” *Jurnal ELTIKOM*, vol. 6, no. 2, pp. 152–162, Nov. 2022, doi:

10.31961/eltikom.v6i2.553.

[16] J. M. Juran and A. B. Godfrey, Juran's Quality Handbook, Fifth Edition. McGraw-Hill, 1999.