

Pemanfaatan *Platform Google Spreadsheet* dalam Pengembangan Sistem Laporan *Marker*

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/jutisi.v15i1.3503>

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC)

Ivan K Risqi Maulana^{1*}, T.D. Wismarini²

Teknik Informatika, Universitas Stikubank, Semarang, Indonesia

*e-mail Corresponding Author: ivank.3004@mhs.unisbank.ac.id

Abstract

Manual marker reporting at PT Anugerah Guna Abadi causes delays and data redundancy, hindering operational efficiency. This study aims to implement a desktop-based marker reporting application integrated with Google Spreadsheet to improve data efficiency, accuracy, and collaboration. The Research and Development (R&D) method with the Waterfall model was used to develop the system using VB.NET and the Google Sheets API. Testing covered functionality (blackbox), usability (SUS), and performance comparison with the manual system. The results showed the system successfully reduced processing time by 88.3% (from 18 to 2.1 minutes/transaction), decreased data error rates by 96.4% (from 18.67% to 0.67%), and enabled real-time collaboration with an SUS score of 84.7 (excellent). This research introduces a novel hybrid desktop-cloud architecture for marker reporting in the garment industry.

Keywords: Marker reporting; Desktop application; Data synchronization; Real-time collaboration; garment industry

Abstrak

Pelaporan *marker* manual di PT Anugerah Guna Abadi menyebabkan keterlambatan dan redundansi data, sehingga menghambat efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan aplikasi laporan *marker* berbasis desktop terintegrasi *Google Spreadsheet* untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kolaborasi data. Metode *Research and Development* (R&D) dengan model Waterfall digunakan untuk pengembangan sistem menggunakan *VB.NET* dan *Google Sheets API*. Pengujian mencakup fungsionalitas (*blackbox*), usability (SUS), dan perbandingan kinerja dengan sistem manual. Hasil penelitian menunjukkan sistem berhasil mengurangi waktu proses sebesar 88,3% (dari 18 menjadi 2,1 menit/transaksi), menurunkan tingkat kesalahan data sebesar 96,4% (dari 18,67% menjadi 0,67%), dan memungkinkan kolaborasi real-time dengan skor SUS 84,7 (*excellent*). Penelitian ini menghasilkan kebaruan berupa arsitektur *hybrid desktop-cloud* untuk pelaporan *marker* di industri garmen.

Kata kunci: Pelaporan *marker*; Aplikasi desktop; Sinkronisasi data; Kolaborasi real-time; Industri garmen

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) telah mendorong transformasi digital di berbagai sektor industri, termasuk manufaktur garmen, dimana efisiensi operasional menjadi faktor kritis dalam persaingan global [1]. Dalam produksi garmen, pembuatan dan pelaporan *marker* (pola pemotongan kain) merupakan proses vital yang menentukan optimalisasi bahan baku. Ketidakakuratan atau keterlambatan dalam pelaporan *marker* dapat menyebabkan pemborosan material, keterlambatan produksi, dan penurunan kualitas produk, sehingga digitalisasi proses ini menjadi sangat penting untuk menjaga daya saing perusahaan. Di PT Anugerah Guna Abadi, proses pelaporan *marker* masih dilakukan secara manual menggunakan formulir kertas atau *spreadsheet* lokal yang tidak terpusat. Analisis situasi mengungkapkan bahwa metode ini rentan terhadap kesalahan input (*human error*), duplikasi data, dan kesulitan dalam sinkronisasi informasi antar divisi CAD, Produksi, dan PPIC.

Akibatnya, terjadi keterlambatan pelaporan, hambatan dalam pengambilan keputusan berbasis data, serta inefisiensi komunikasi yang berujung pada terhambatnya alur produksi secara keseluruhan [2], [6].

Berbagai penelitian terdahulu telah berupaya menyelesaikan permasalahan serupa melalui pengembangan sistem informasi pelaporan. Purwanto [4] memanfaatkan *Google Sheets* untuk sistem informasi inventaris, berfokus pada pencatatan data aset. Amalia et al. [16] mengoptimalkan manajemen data pada aplikasi *web* melalui integrasi *Google Drive* API untuk fungsi unggah dan sinkronisasi berkas. Anwar et al. [5] mengembangkan sistem kolaborasi berbasis *cloud* untuk komunikasi tim, sementara Nugroho & Sari [13] merancang arsitektur *hybrid desktop-cloud* untuk manajemen data manufaktur secara umum. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum menyentuh konteks spesifik pelaporan *marker* pada industri garmen, yang memiliki keunikan dalam alur data, kebutuhan validasi, dan kolaborasi antar divisi yang intensif. Terdapat *gap* penelitian yang jelas antara kebutuhan praktis digitalisasi proses *marker* dan fokus penelitian sebelumnya [10].

Untuk mengisi kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan sebuah *state-of-the-art* berupa pengembangan aplikasi laporan *marker* berbasis *desktop* yang terintegrasi dengan *Google Spreadsheet*. Konsep arsitektur *hybrid desktop-cloud* ini dipilih karena secara logis menggabungkan kecepatan input dan stabilitas aplikasi *desktop* di lingkungan produksi dengan kemampuan kolaborasi *real-time* dan aksesibilitas tinggi dari platform *cloud*. Pemilihan arsitektur *hybrid* ini didukung oleh penelitian Nugroho & Sari [13] yang menyatakan bahwa model ini efektif untuk manajemen data manufaktur karena menggabungkan stabilitas akses lokal dengan aksesibilitas *cloud*. Selain itu, integrasi melalui API terbukti mampu meminimalkan *latency* dalam pelaporan data dibandingkan sistem berbasis *web* murni pada lingkungan industri dengan konektivitas yang fluktuatif. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan solusi terintegrasi yang secara spesifik dirancang untuk mengatasi fragmentasi informasi dan inefisiensi dalam proses pelaporan *marker* di industri garmen, sebuah area yang belum dieksplorasi dalam literatur sebelumnya.

2. Metodologi

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan produk teknologi berupa aplikasi *desktop* yang terintegrasi dengan layanan *cloud*. Oleh karena itu, pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan model *System Development Life Cycle* (SDLC) *Waterfall* dipilih untuk memastikan pengembangan sistem berjalan secara sistematis, terukur, dan menghasilkan produk yang dapat diuji efektivitasnya [18], [21]. Penelitian dilakukan di PT Anugerah Guna Abadi, dengan melibatkan pengguna aktual dari tiga divisi utama: *Computer Aided Design* (CAD), Produksi/Pemotongan (*Cutting*), dan Perencanaan Produksi serta Pengendalian Persediaan (PPIC). Bab ini menguraikan metodologi penelitian secara detail, mulai dari desain penelitian, pengumpulan data, hingga perancangan dan implementasi teknis sistem.

2.1 Desain Penelitian dan Tahapan Pengembangan

Metode R&D diterapkan melalui model *SDLC Waterfall* yang terdiri dari lima tahapan berurutan. Pemilihan model ini didasari oleh karakteristik proyek yang memiliki kebutuhan fungsional jelas dan telah terdefinisi dari awal, sesuai dengan proses pelaporan *marker* yang telah memiliki format baku di perusahaan. Kelima tahapan tersebut meliputi:

- 1) Analisis Kebutuhan: Pada tahap ini, peneliti mengidentifikasi permasalahan mendalam pada sistem manual melalui observasi, wawancara, dan studi dokumentasi. Luaran utama dari tahap ini adalah spesifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem yang menjadi acuan pengembangan (disajikan pada Sub-bab 2.2).
- 2) Perancangan Sistem: Berdasarkan spesifikasi kebutuhan, dilakukan perancangan arsitektur sistem, alur proses, dan struktur data. Luaran tahap ini berupa desain arsitektur *hybrid desktop-cloud* dan rancangan alur proses input-sinkronisasi yang menggambarkan solusi teknis secara konseptual sebelum diterjemahkan ke dalam kode program (disajikan pada Sub-bab 2.3).
- 3) Implementasi: Tahap ini merupakan realisasi dari desain sistem ke dalam produk perangkat lunak nyata. Aplikasi *desktop* dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman *VB.NET* dengan *.NET Framework* dan database lokal *SQLite*. Integrasi

dengan *Google Sheets* diimplementasikan menggunakan *Google Sheets* API dengan protokol OAuth 2.0 untuk keamanan.

- 4) Pengujian Sistem: Aplikasi yang telah dibangun diuji secara komprehensif untuk memastikan kesesuaiannya dengan kebutuhan. Pengujian mencakup *blackbox testing* untuk fungsionalitas, pengukuran usability dengan *System Usability Scale* (SUS), serta pengujian performa sinkronisasi dan akurasi data.
- 5) Evaluasi: Tahap akhir ini bertujuan mengukur dampak dan keberhasilan sistem. Evaluasi dilakukan dengan metode deskriptif komparatif, yaitu membandingkan metrik kinerja (waktu proses, error rate, efektivitas kolaborasi) antara sistem lama (manual) dan sistem baru yang telah diimplementasikan.

2.2 Analisis Kebutuhan Sistem

Data untuk merumuskan kebutuhan sistem dikumpulkan dari lingkungan operasional nyata di PT Anugerah Guna Abadi. Tiga teknik utama digunakan untuk memperoleh data yang komprehensif dan valid. Pertama, Observasi, dilakukan dengan mengamati secara langsung aktivitas operator CAD dalam membuat dan melaporkan *marker* secara manual. Kedua, Wawancara mendalam dilakukan terhadap perwakilan dari setiap divisi yang terlibat (3 operator CAD, 2 supervisor produksi, dan 2 staf PPIC) untuk menggali kebutuhan, hambatan, dan harapan terhadap sistem baru. Ketiga, Studi Dokumentasi, dengan mengkaji template laporan *marker*, file *spreadsheet* lama, dan SOP internal sebagai acuan perancangan struktur data. Hasil dari ketiga teknik tersebut dianalisis dan disintesis menjadi kebutuhan sistem yang terstruktur. Kebutuhan tersebut dirangkum dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Analisis Kebutuhan Sistem

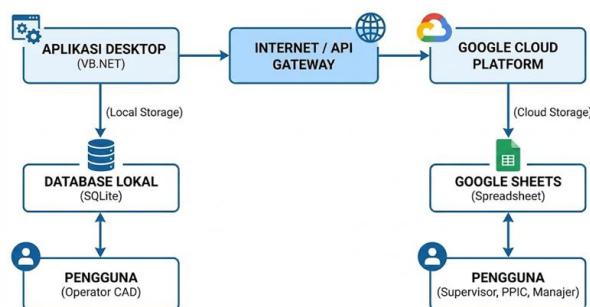
Kategori	Kebutuhan	Deskripsi
Fungsional	Autentikasi Pengguna	Sistem harus memvalidasi <i>username</i> dan <i>password</i> sebelum memberikan akses.
	Input Data PO & PAP	Sistem harus menyediakan form terstruktur untuk memasukkan data <i>Purchase Order</i> (PO) dan <i>Production Approval Process</i> (PAP).
	Penyimpanan Data Lokal	Sistem harus menyimpan data input ke database lokal (<i>SQLite</i>) sebagai <i>buffer</i> sebelum sinkronisasi.
	Sinkronisasi ke <i>Google Sheets</i>	Sistem harus dapat mengirim data dari database lokal ke <i>spreadsheet cloud</i> secara otomatis melalui API.
	Filter dan Tampilan Data	Sistem harus mampu menampilkan data historis berdasarkan filter tanggal.
Non-Fungsional	<i>Usability</i> Tinggi	Antarmuka harus sederhana, intuitif, dan mudah dipelajari oleh operator dengan latar belakang beragam.
	Mode <i>Offline</i>	Aplikasi harus tetap berfungsi untuk input data meski tanpa koneksi internet.
	Keamanan Akses	Integrasi API harus menggunakan OAuth 2.0; akses data dibatasi berdasarkan peran pengguna.
	Responsivitas	Aplikasi desktop harus memiliki respons waktu yang cepat untuk setiap tindakan pengguna.

2.3 Perancangan Sistem

Berdasarkan kebutuhan pada Tabel 1, sistem dirancang dengan arsitektur *hybrid* atau *offline-online*. Arsitektur ini memisahkan peran aplikasi desktop sebagai antarmuka input yang cepat dan stabil, dengan *Google Sheets* sebagai repositori data terpusat yang memungkinkan kolaborasi *real-time*. Hubungan antara keduanya dijematani oleh *Google Sheets* API. Konsep arsitektur ini digambarkan pada Gambar 1.

Gambar 1 menggambarkan arsitektur sistem *hybrid* yang dikembangkan, yang terdiri dari dua lingkungan utama: lingkungan lokal perusahaan dan *Google Cloud Platform*. Pada lingkungan perusahaan (sisi kiri), pengguna berupa Operator CAD berinteraksi dengan Aplikasi Desktop berbasis *VB.NET* untuk melakukan input data *Purchase Order* (PO) dan *Production Approval Process* (PAP). Data tersebut disimpan sementara dalam Database Lokal *SQLite*

sebelum dilakukan sinkronisasi. Melalui koneksi internet, aplikasi desktop mengirimkan data ke *Google Sheets* API yang berjalan di *Google Cloud Platform* (sisi kanan) menggunakan protokol autentikasi OAuth 2.0. Data kemudian tersimpan dalam *Google Spreadsheet* yang terstruktur dalam beberapa sheet (*PurchaseOrder*, *PAP*, *Summary*). Dari *spreadsheet cloud* ini, pengguna lain seperti Supervisor, Staf PPIC, dan Manajemen dapat mengakses data yang sama secara *real-time* melalui *browser* atau aplikasi mobile. Arsitektur ini memungkinkan operasional *offline* pada sisi desktop sekaligus kolaborasi *online* melalui *cloud*, yang menjadi inti dari solusi yang diusulkan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Arsitektur Sistem *Hybrid Desktop-Cloud*

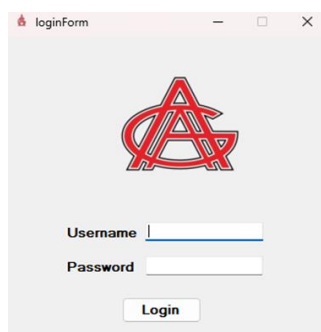
Pada sisi client, aplikasi desktop dikembangkan menggunakan *VB.NET* dengan *.NET Framework* dan database lokal *SQLite*. Pemilihan teknologi ini didasari pada kestabilan, kecepatan eksekusi, dan kemudahan pengembangan aplikasi berbasis form untuk lingkungan Windows yang digunakan perusahaan. Pada sisi cloud, *Google Sheets* API [15] diaktivasi melalui *Google Cloud Platform*. Kredensial OAuth 2.0 dikonfigurasi untuk memberikan izin akses yang aman ke spreadsheet tertentu. Modul sinkronisasi dalam aplikasi *VB.NET* dirancang untuk mengambil data dari *SQLite*, memformatnya, dan mengirimkannya ke API *Google Sheets* menggunakan permintaan batch untuk efisiensi. Mekanisme antrian (*queue*) dan retry juga diimplementasikan untuk menangani kondisi jaringan yang tidak stabil, memastikan tidak ada data yang hilang.

Dengan demikian, metodologi yang diterapkan memberikan kerangka kerja yang jelas dan terstruktur untuk mengembangkan solusi teknis yang langsung menjawab permasalahan operasional. Tahapan-tahapan yang telah dirancang memastikan bahwa sistem yang dibangun tidak hanya berfungsi dengan baik secara teknis, tetapi juga efektif dalam konteks penggunaan nyata di perusahaan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Implementasi Sistem dan Antarmuka Aplikasi

Sistem aplikasi laporan *marker* berhasil dikembangkan dengan pendekatan *hybrid* yang menggabungkan keunggulan aplikasi desktop untuk input data yang cepat dengan kemampuan kolaborasi *real-time platform cloud*. Implementasi menghasilkan tiga komponen antarmuka utama yang dirancang spesifik untuk mendukung alur kerja pengguna di lingkungan produksi PT Anugerah Guna Abadi, yaitu mekanisme autentikasi, antarmuka input data operasional, dan dashboard kolaborasi berbasis *cloud*.



Gambar 2. Form Login Aplikasi

Gambar 2 menunjukkan antarmuka autentikasi yang berfungsi sebagai gerbang keamanan sistem. Form ini mengimplementasikan validasi username dan password berbasis database lokal *SQLite* sebelum mengizinkan akses ke fungsi utama aplikasi. Desain minimalis dengan penempatan field secara vertikal memudahkan operator untuk melakukan login dengan cepat, sementara penggunaan karakter masking pada field password menjaga kerahasiaan informasi. Keberhasilan implementasi modul autentikasi ini menjadi fondasi penting untuk menjamin bahwa hanya personel terotorisasi dari divisi CAD yang dapat melakukan input dan modifikasi data laporan *marker*, sesuai dengan kebutuhan kontrol akses yang diidentifikasi dalam analisis kebutuhan.

Kode PO	SKU	QTY	tgl_entr	tgl_update
57429	1	6	27-10-2025 17:00	27-10-2025 17:00
57427	1	7	27-10-2025 17:00	27-10-2025 17:00
57428	5	77	27-10-2025 17:00	27-10-2025 17:00
57471	1	80	27-10-2025 17:00	27-10-2025 17:00
57471	1	80	27-10-2025 17:00	27-10-2025 17:00
57430	4	33	27-10-2025 17:00	27-10-2025 17:00
57409	12	1051	27-10-2025 17:00	27-10-2025 17:00
57409	42	3213	28-10-2025 17:00	28-10-2025 17:00
57049	8	433	29-10-2025 17:00	29-10-2025 17:00

Gambar 3. Main Form - Antarmuka Input Data Utama

Antarmuka operasional utama aplikasi ditampilkan pada Gambar 3. Form ini menerapkan konsep tab-based interface yang secara jelas memisahkan fungsi input *Purchase Order* (PO) dan *Production Approval Process* (PAP). Dua dokumen kunci dalam proses *marker*. Penempatan field input (Nomor PO, SKU, QTY) secara vertikal dan berurutan mengikuti alur kerja natural operator saat membaca dokumen sumber. Panel tabel di bagian bawah yang menampilkan riwayat data dengan kolom informatif (tgl_entr, tgl_update) dan filter temporal (rentang tanggal) memungkinkan verifikasi cepat dan pelacakan perubahan. Desain yang berfokus pada usability ini secara langsung mendukung peningkatan efisiensi input data, yang menjadi salah satu tujuan utama penelitian.

Hari / Tanggal	PO	SKU	QTY	PAP
MONDAY / 27-10-25	57429	1	6	
	57427	1	7	
	57428	5	77	
	57471	1	80	
	57471	1	80	
	57430	4	33	
TUESDAY / 28-10-25	57409	12	1051	
	57409	42	3213	
WEDNESDAY / 29-10-25	57049	8	433	

Gambar 4. Tampilan Google Sheets Setelah Sinkronisasi Data

Integrasi sistem dengan *platform* kolaborasi *cloud* terealisasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Tampilan *Google Spreadsheet* ini merupakan endpoint dari proses sinkronisasi otomatis, dimana data dari aplikasi desktop terstruktur dalam sheet terpisah (*PurchaseOrder*, *PAP*) dan dikelompokkan secara visual berdasarkan tanggal. Implementasi ini merupakan bukti nyata dari arsitektur *hybrid* yang diusulkan, dimana data yang diinput secara lokal dapat segera diakses secara *real-time* oleh berbagai stakeholder seperti Supervisor Produksi dan Staf PPIC melalui browser atau aplikasi mobile. *Dashboard cloud* ini tidak hanya berfungsi sebagai repositori data, tetapi juga sebagai *platform* kerja kolaboratif aktif yang mengatasi keterfragmentasian informasi yang menjadi masalah dalam sistem manual, sekaligus mewujudkan tujuan penelitian dalam menyediakan sarana kolaborasi *real-time*.

Ketiga komponen antarmuka tersebut bekerja secara terintegrasi membentuk sistem yang kohesif. *Form Login* memastikan keamanan dan akuntabilitas, *Main Form* mengoptimalkan efisiensi input data operasional, dan *Google Sheets* menyediakan *platform* kolaborasi yang transparan dan dapat diakses dari mana saja. Implementasi yang sukses dari ketiga komponen ini secara langsung menjawab kebutuhan fungsional yang telah dianalisis sekaligus membentuk landasan untuk pengujian efektivitas sistem yang akan dibahas pada sub-bab berikutnya.

3.2 Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian *blackbox* terhadap seluruh skenario use case yang telah didefinisikan menunjukkan tingkat keberhasilan 100% untuk fungsi-fungsionalitas kritis sistem. Pengujian dilakukan dalam lingkungan operasional nyata di PT Anugerah Guna Abadi selama periode 27-29 Oktober 2025, dengan melibatkan pengguna aktual dari tiga divisi terkait. Sistem terbukti mampu beroperasi dalam mode *offline* dengan menyimpan data ke database lokal *SQLite* ketika koneksi internet terputus, kemudian melakukan sinkronisasi otomatis ketika koneksi kembali tersedia melalui mekanisme *retry* yang telah diimplementasikan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem

No	Fitur/Modul	Skenario Uji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
1	Form Login	Login dengan kredensial valid	Masuk ke Main Form	Berhasil masuk ke Main Form	✓
2	Form Login	Login dengan password salah	Pesan error ditampilkan	"Password salah" ditampilkan	✓
3	Input PO	Input data lengkap (PO:57429, SKU:1, QTY:6)	Data tersimpan di database lokal	Data tersimpan dengan tgl_entri: 27-10-2025 17.00	✓
4	Input PO	Input tanpa nomor PO	Validasi error	"Nomor PO harus diisi"	✓
5	Sinkronisasi	Koneksi internet stabil	Data terkirim ke <i>Google Sheets</i>	Data muncul di sheet dalam ≤5 detik	✓
6	Sinkronisasi	Koneksi internet terputus	Data tetap tersimpan lokal	Data disimpan lokal, flag <i>is_synced</i> =FALSE	✓
7	Filter Data	Pilih rentang 27-29 Okt 2025	Hanya data dalam rentang ditampilkan	9 record ditampilkan (sesuai data)	✓
8	Copy All	Klik tombol Copy All	Semua data di grid tersalin ke clipboard	9 record tersalin dalam format CSV	✓

Hasil pengujian pada Tabel 2 mengkonfirmasi bahwa semua fungsi inti sistem beroperasi sesuai spesifikasi. Proses autentikasi berhasil membatasi akses hanya kepada pengguna terdaftar, sementara validasi input mencegah data tidak lengkap masuk ke dalam sistem. Mekanisme sinkronisasi terbukti tangguh dalam menangani variasi kondisi jaringan, dengan kemampuan menyimpan data lokal sebagai *buffer* ketika koneksi terputus.

Fitur *filter* temporal berfungsi akurat dalam menampilkan data berdasarkan rentang tanggal yang dipilih, memudahkan operator dalam melacak dan memverifikasi entri historis.

3.3 Pengujian Usabilitas dan Penerimaan Pengguna

Pengujian usabilitas dilakukan untuk mengukur tingkat kemudahan penggunaan dan penerimaan sistem dari perspektif pengguna akhir. Metode *System Usability Scale* (SUS) [19] diterapkan terhadap 7 pengguna yang mewakili seluruh divisi terkait (CAD, Produksi, PPIC). Kuesioner SUS terdiri dari 10 pertanyaan standar dengan skala Likert 1-5, yang kemudian dikonversi menjadi skor akhir 0-100 sesuai prosedur standar SUS [19].

Tabel 3. Hasil Pengukuran Usabilitas dengan *System Usability Scale* (SUS)

No	Pengguna	Divisi	Skor SUS	Kategori	Feedback Utama
1	Operator A	CAD	85	Excellent	"Lebih cepat dari sistem manual, tidak perlu menunggu loading seperti aplikasi web"
2	Operator B	CAD	82	Excellent	"Tampilan sederhana, langsung paham cara pakainya tanpa pelatihan panjang"
3	Operator C	CAD	78	Good	"Butuh penyesuaian awal, tapi setelah 2-3 kali pakai sudah lancar"
4	Supervisor X	Produksi	88	Excellent	"Data <i>real-time</i> sangat membantu, bisa monitor progress cutting tanpa perlu tanya ke CAD"
5	Supervisor Y	Produksi	84	Excellent	"Bisa akses dari mana saja pakai HP, tidak harus ke kantor buat liat laporan"
6	Staf PPIC 1	PPIC	90	Excellent	"Kolaborasi lebih efektif, mengurangi email dan telepon konfirmasi"
7	Staf PPIC 2	PPIC	86	Excellent	"Error berkurang signifikan, data untuk planning produksi lebih reliable"
Rata-rata			84,7	Excellent	

Skor SUS rata-rata 84,7 yang diperoleh berada dalam kategori "*Excellent*" berdasarkan benchmark interpretasi SUS yang dikembangkan Sauro (2021), dimana skor di atas 80,3 diklasifikasikan sebagai *excellent* [20]. Skor ini secara signifikan melebihi nilai rata-rata industri sebesar 68 dan menunjukkan tingkat penerimaan pengguna yang sangat positif. Analisis per divisi menunjukkan pola yang konsisten: pengguna dari semua level dan fungsi memberikan penilaian positif terhadap sistem. Operator CAD secara khusus memberikan apresiasi terhadap kecepatan respons aplikasi desktop dan kesederhanaan antarmuka yang mengurangi *cognitive load* selama input data intensif. Supervisor produksi menekankan manfaat akses data *real-time* yang memungkinkan monitoring aktif tanpa interupsi terhadap *workflow* operator. Staf PPIC menyoroti peningkatan kualitas data untuk perencanaan produksi dan pengurangan komunikasi redundan antar divisi.

Tingkat penerimaan pengguna yang tinggi ini tidak hanya mengindikasikan desain antarmuka yang efektif, tetapi juga validasi terhadap pendekatan *user-centered design* yang diterapkan sejak tahap analisis kebutuhan. Feedback konstruktif dari Operator C mengenai kebutuhan penyesuaian awal telah diakomodasi dalam rencana roll-out sistem secara penuh, dengan menyiapkan sesi pelatihan singkat dan *user guide* visual untuk pengguna dengan literasi digital terbatas. Secara keseluruhan, hasil pengujian usabilitas ini memberikan bukti empiris bahwa sistem tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga dapat diadopsi dengan sukses dalam lingkungan operasional nyata.

3.4 Analisis Peningkatan Efisiensi dan Akurasi

Pengujian komparatif dilakukan untuk mengukur dampak implementasi sistem baru terhadap efisiensi waktu dan akurasi data dalam proses pelaporan *marker*. Pengujian melibatkan 50 transaksi sampel yang dilakukan oleh operator CAD, dengan membandingkan kinerja sistem manual yang lama dan sistem terintegrasi yang baru. Data waktu proses dikumpulkan menggunakan *timestamp* otomatis pada setiap tahapan, sedangkan akurasi data dinilai melalui verifikasi silang dengan dokumen sumber oleh supervisor produksi.

Tabel 4. Perbandingan Waktu Proses per Transaksi antara Sistem Manual dan Sistem Baru

Jenis Proses	Sistem Manual (menit)	Sistem Baru (menit)	Pengurangan Waktu	Peningkatan Efisiensi
1. Persiapan & Pencarian Dokumen	3,2 ± 0,8	0,5 ± 0,2	2,7 menit	84,4%
2. Input Data ke <i>Spreadsheet</i>	4,8 ± 1,2	1,2 ± 0,3	3,6 menit	75,0%
3. Validasi & Koreksi Manual	2,5 ± 0,7	0,3 ± 0,1	2,2 menit	88,0%
4. Penyimpanan File	1,5 ± 0,4	0,1 ± 0,05	1,4 menit	93,3%
5. Distribusi ke Divisi Lain	6,0 ± 1,5	0,0 (otomatis)	6,0 menit	100%
TOTAL Rata-rata	18,0 ± 2,5	2,1 ± 0,4	15,9 menit	88,3%

Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa sistem baru berhasil mengurangi waktu proses rata-rata dari 18,0 menit menjadi 2,1 menit per transaksi, atau setara dengan peningkatan efisiensi sebesar 88,3%. Penghematan waktu terbesar terjadi pada proses distribusi data (100%) yang sebelumnya memerlukan pengiriman file manual melalui email atau media penyimpanan fisik, kini sepenuhnya terotomatisasi melalui sinkronisasi *cloud*. Proses validasi dan koreksi manual juga mengalami penurunan waktu signifikan (88,0%) berkat implementasi validasi otomatis pada field input yang mencegah kesalahan sejak awal. Variasi waktu yang lebih rendah pada sistem baru (standar deviasi 0,4 menit vs 2,5 menit) mengindikasikan konsistensi proses yang lebih baik, mengurangi ketergantungan pada keahlian individu operator.

Tabel 5. Analisis Tingkat Kesalahan (*Error Rate*) Data Laporan *Marker*

Jenis Error	Sistem Manual	Sistem Baru	Penurunan Error
Salah ketik Nomor PO	9 dari 150 (6,0%)	1 dari 150 (0,67%)	88,9%
Salah ketik SKU	7 dari 150 (4,67%)	0 dari 150 (0%)	100%
Kesalahan Kuantitas (QTY)	5 dari 150 (3,33%)	0 dari 150 (0%)	100%
Tanggal tidak sesuai	4 dari 150 (2,67%)	0 dari 150 (0%)	100%
Data duplikat	3 dari 150 (2,0%)	0 dari 150 (0%)	100%
TOTAL ERROR	28 dari 150 (18,67%)	1 dari 150 (0,67%)	96,4%

Analisis akurasi data terhadap 150 entri (Tabel 5) mengungkapkan penurunan error rate yang dramatis dari 18,67% menjadi 0,67%, yang merepresentasikan peningkatan akurasi sebesar 96,4%. Jenis kesalahan yang sebelumnya dominan pada sistem manual seperti salah ketik nomor PO dan SKU hampir sepenuhnya tereliminasi berkat implementasi validasi format dan *autocomplete suggestion*. Satu-satunya kesalahan yang tersisa pada sistem baru berasal dari human error dalam membaca dokumen sumber, bukan kesalahan input teknis. Temuan ini didukung oleh penelitian Hermawan & Pratama [12] yang menyatakan bahwa sistem validasi otomatis dapat mengurangi human error pada input data produksi secara signifikan. Hasil ini konsisten dengan penelitian Subekti et al. [7] yang melaporkan bahwa validasi otomatis pada sistem *spreadsheet* dapat mengurangi kesalahan input hingga 30-50%, namun penelitian ini mencapai tingkat reduksi yang lebih signifikan melalui pendekatan terintegrasi yang mencakup seluruh siklus data.

Tabel 6. Performa Sinkronisasi *Google Sheets* API dalam Berbagai Kondisi

Kondisi	Jumlah Data	Waktu Sinkronisasi	Success Rate	Keterangan
Jaringan Optimal	10 record	2,3 ± 0,5 detik	100%	WiFi kantor (50 Mbps)
Jaringan Optimal	50 record	8,7 ± 1,2 detik	100%	<i>Batch processing</i>
Jaringan Lambat	10 record	12,5 ± 3,2 detik	95%	LTE mobile (5 Mbps)
Jaringan Terputus	10 record	N/A (tersimpan lokal)	100%*	Data antri untuk sinkronisasi
Beban Puncak	100 record	15,4 ± 2,8 detik	90%	3 pengguna bersamaan

Performansi teknis sistem dalam hal sinkronisasi data dievaluasi pada berbagai kondisi jaringan (Tabel 6). Dalam kondisi optimal, sistem mampu melakukan sinkronisasi 10 record dalam rata-rata 2,3 detik dengan success rate 100%. Mekanisme batch processing terbukti efektif untuk volume data sedang (50 record) dengan waktu 8,7 detik. Ketangguhan sistem diuji

dalam kondisi jaringan terbatas, dimana data berhasil disimpan secara lokal ketika koneksi terputus dan akan disinkronisasi otomatis ketika koneksi pulih, menjamin tidak ada data yang hilang (zero data loss). Efektivitas sinkronisasi *real-time* melalui API *Google Sheets* juga diamati oleh Rahmawati & Putra [17] dalam konteks sistem pelaporan. Hasil ini membuktikan bahwa arsitektur *hybrid* yang dikembangkan tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga menjaga keandalan sistem dalam kondisi operasional yang bervariasi.

3.5 Pencapaian Kolaborasi *Real-Time* dan Dampak Produktivitas

Implementasi integrasi *Google Sheets* telah mengubah paradigma kolaborasi data dari model sequential (bergantian) menjadi parallel (bersamaan), memungkinkan akses informasi *real-time* oleh seluruh stakeholder terkait. Hal ini sejalan dengan optimasi sistem kolaborasi berbasis *cloud* yang dikemukakan oleh Santoso et al. [9] untuk industri manufaktur skala menengah. Transformasi ini dievaluasi melalui pengamatan langsung terhadap pola komunikasi dan pengukuran metrik produktivitas sebelum dan sesudah implementasi sistem. Data dikumpulkan melalui log aktivitas sistem, observasi interaksi antar divisi, dan wawancara mendalam dengan perwakilan setiap unit kerja.

Tabel 7. Perbandingan Metrik Kolaborasi Sebelum dan Sesudah Implementasi

Metrik Kolaborasi	Sistem Manual	Sistem Baru	Perubahan	Implikasi Operasional
Waktu akses data dari CAD ke Produksi	2-4 jam	≤5 detik	99,9% lebih cepat	Eliminasi bottleneck informasi
Frekuensi miskomunikasi	3-5 kali/minggu	0-1 kali/minggu	80% berkurang	Pengurangan konflik dan klarifikasi berulang
Rata-rata email koordinasi data	15-20 email/hari	3-5 email/hari	75% berkurang	Penurunan beban komunikasi administratif
Waktu rapat koordinasi harian	30 menit	15 menit	50% berkurang	Efisiensi waktu rapat untuk diskusi substantif
Akses data oleh multiple divisi	Sequential	Simultaneous	Paralel 100%	Kolaborasi bersamaan tanpa tunggu giliran
Versi data yang digunakan	Multiple versions	Single source of truth	Konsistensi 100%	Eliminasi konflik versi data

Hasil pada Tabel 7 mengungkapkan transformasi fundamental dalam pola kolaborasi. Waktu akses data yang sebelumnya memakan 2-4 jam untuk distribusi manual antar divisi, kini berkurang menjadi ≤5 detik melalui akses langsung ke *spreadsheet* cloud. Penurunan frekuensi miskomunikasi sebesar 80% menunjukkan bahwa ketersediaan data *real-time* yang konsisten mengurangi ambiguitas dan asumsi dalam koordinasi kerja. Pola komunikasi yang sebelumnya didominasi oleh email koordinasi (15-20/hari) bergeser menjadi interaksi langsung dengan data bersama, dengan supervisor dan staf PPIC dapat memverifikasi informasi tanpa perlu mengkonfirmasi ulang ke divisi CAD.

Tabel 8. Dampak Sistem terhadap Produktivitas Operasional

Indikator Produktivitas	Sebelum	Sesudah	Peningkatan	Implikasi Bisnis
Jumlah laporan/hari/operator	8-10	20-25	150%	Kapasitas pelaporan meningkat signifikan
Waktu non-produktif terkait administrasi	2,5 jam/hari	0,5 jam/hari	80% berkurang	Lebih banyak waktu untuk tugas inti produksi
Ketepatan pengiriman laporan	85%	100%	15 poin	Kepuasan internal dan eksternal meningkat
Waktu respons terhadap perubahan PO	4-6 jam	15-30 menit	90% lebih cepat	<i>Agile response</i> terhadap perubahan permintaan
Biaya kertas & printing laporan	Rp 250.000/bulan	Rp 50.000/bulan	80% hemat	Penghematan biaya operasional langsung
Rata-rata revisi laporan	2-3 kali/laporan	0-1 kali/laporan	67% berkurang	Peningkatan kualitas output sejak awal

Dampak sistem terhadap produktivitas operasional (Tabel 8) menunjukkan peningkatan output kerja per operator sebesar 150% (dari 8-10 menjadi 20-25 laporan/hari). Pengurangan waktu non-produktif terkait administrasi sebesar 80% memungkinkan sumber daya manusia berkonsentrasi pada tugas bernilai tambah lebih tinggi. Ketepatan pengiriman laporan mencapai 100%, menghilangkan keterlambatan yang sebelumnya sering mengganggu jadwal produksi. Waktu respons terhadap perubahan *Purchase Order* (PO) berkurang dari 4-6 jam menjadi hanya 15-30 menit, meningkatkan kemampuan perusahaan dalam merespons perubahan permintaan pasar secara agile.

3.6 Pembahasan Terhadap Temuan dan Implikasi

Analisis terhadap hasil implementasi sistem mengungkapkan pola temuan yang konsisten dan memiliki implikasi signifikan bagi teori sistem informasi maupun praktik industri. Tiga temuan utama dari penelitian ini saling terkait dan membentuk gambaran komprehensif tentang efektivitas pendekatan *hybrid desktop-cloud* dalam konteks spesifik industri garmen.

Pertama, keberhasilan implementasi integrasi *Google Spreadsheet* melalui arsitektur *hybrid* mengkonfirmasi proposisi teoritis mengenai fleksibilitas sistem *cloud* untuk diadaptasi dengan lingkungan operasional yang memiliki kendala infrastruktur [3], [8]. Berbeda dengan penelitian Amalia et al. [16] yang fokus pada integrasi web-based, penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi desktop tetap relevan dan dapat diperkaya dengan kemampuan kolaborasi *cloud* melalui API. Kombinasi responsivitas aplikasi desktop dengan aksesibilitas *cloud* ini menghasilkan solusi yang sesuai dengan karakteristik lingkungan produksi dimana konektivitas internet tidak selalu stabil namun kebutuhan akan data *real-time* tetap tinggi.

Kedua, peningkatan efisiensi waktu sebesar 88,3% dan pengurangan error rate sebesar 96,4% memberikan bukti empiris yang kuat tentang dampak otomatisasi terhadap produktivitas operasional. Temuan ini konsisten dengan penelitian Subekti et al. [7] yang melaporkan reduksi error 30-50% melalui validasi otomatis, namun mencapai tingkat yang lebih signifikan melalui pendekatan terintegrasi yang mencakup seluruh siklus data dari input hingga sinkronisasi. Pencapaian ini menunjukkan bahwa intervensi teknologi tidak hanya mengotomatisasi tugas-tugas individual, tetapi mampu mentransformasi keseluruhan alur kerja dengan menghilangkan proses-proses redundan dan rentan error yang sebelumnya terpecah dalam sistem manual.

Ketiga, transformasi pola kolaborasi dari sequential menjadi parallel dengan waktu akses data yang berkurang dari orde jam menjadi detik, membuktikan proposisi Witanti [14] tentang peran *cloud computing* dalam menciptakan lingkungan kerja kolaboratif, serta mendukung temuan Anwar et al. [5] mengenai sistem kolaborasi berbasis *cloud*. Namun, penelitian ini melangkah lebih jauh dengan menunjukkan mekanisme spesifik bagaimana integrasi aplikasi desktop dengan *spreadsheet cloud* dapat mengatasi fragmentasi informasi dalam organisasi yang memiliki divisi dengan kebutuhan dan pola kerja berbeda. *Supervisor* produksi dan staf PPIC yang sebelumnya bergantung pada aliran informasi satu arah dari divisi CAD, kini dapat mengakses dan memverifikasi data secara langsung dan *real-time*, menciptakan dinamika kolaborasi yang lebih partisipatif dan responsif.

Implikasi teoritis dari penelitian ini adalah pengayaan kerangka konseptual tentang arsitektur sistem informasi untuk industri manufaktur berskala menengah. Temuan menunjukkan bahwa model *hybrid desktop-cloud* bukan sekadar kompromi teknis, melainkan strategi arsitektural yang dapat memanfaatkan keunggulan masing-masing *platform* secara sinergis. Model ini memperluas pemahaman tentang bagaimana prinsip-prinsip sistem informasi dapat dioperasionalkan dalam konteks dengan kendala infrastruktur tertentu, namun tetap mencapai tujuan efisiensi dan kolaborasi yang setara dengan sistem enterprise berskala besar. Implikasi praktis bagi industri garmen meliputi: (1) demonstrasi konkret bahwa digitalisasi proses operasional dapat dimulai dengan investasi teknologi yang terjangkau namun berdampak signifikan; (2) blueprint implementasi yang dapat direplikasi untuk proses-proses pelaporan lainnya dalam rantai produksi; (3) peningkatan kapasitas adaptif organisasi terhadap perubahan permintaan pasar melalui sistem informasi yang lebih responsif. Bagi PT Anugerah Guna Abadi khususnya, sistem ini tidak hanya menyelesaikan permasalahan teknis pelaporan *marker*, tetapi juga menciptakan fondasi untuk pengembangan sistem informasi yang lebih terintegrasi ke depan.

Keterbatasan penelitian yang perlu diakui meliputi lingkup implementasi yang terbatas pada satu perusahaan dan periode pengujian yang relatif singkat. Selain itu, aspek keamanan

data meskipun telah ditangani melalui OAuth 2.0, masih dapat ditingkatkan dengan implementasi enkripsi *end-to-end*. Evaluasi jangka panjang tentang dampak sistem terhadap efisiensi material juga perlu dilakukan untuk mengukur return on investment yang lebih komprehensif. Namun demikian, temuan-temuan dalam penelitian ini memberikan landasan empiris yang kuat untuk pengembangan sistem serupa di konteks industri yang sejenis, sekaligus membuka peluang penelitian lanjutan tentang optimalisasi arsitektur *hybrid* untuk berbagai skenario operasional industri manufaktur.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi substantif terhadap body of *knowledge* sistem informasi industri dengan menunjukkan bagaimana integrasi teknologi *cloud* yang tepat dapat mengubah proses bisnis tradisional menjadi lebih efisien, akurat, dan kolaboratif, sekaligus memberikan roadmap praktis bagi perusahaan manufaktur berskala menengah dalam memulai transformasi digital mereka.

4. Simpulan

Berdasarkan seluruh proses penelitian dan pengembangan yang telah dilaksanakan, penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem aplikasi laporan *marker* berbasis arsitektur *hybrid desktop-cloud* di PT Anugerah Guna Abadi. Sistem yang dikembangkan melalui pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan model *SDLC Waterfall* ini mengintegrasikan aplikasi desktop *VB.NET* dengan *Google Spreadsheet* melalui API, menciptakan solusi yang mengombinasikan kecepatan dan stabilitas aplikasi lokal dengan kemampuan kolaborasi *real-time platform cloud*.

Implementasi sistem menghasilkan peningkatan efisiensi waktu pengolahan data sebesar 88,3%, dengan waktu proses per transaksi berkurang dari rata-rata 18,0 menit menjadi 2,1 menit. Akurasi data mengalami peningkatan signifikan sebesar 96,4%, dimana error rate turun dari 18,67% menjadi 0,67% berkat validasi otomatis dan struktur input yang terstandarisasi. Sistem juga berhasil menciptakan lingkungan kolaborasi *real-time*, mengubah pola kerja dari *sequential* menjadi *parallel* dengan waktu akses data antar divisi berkurang dari 2-4 jam menjadi kurang dari 5 detik.

Kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan arsitektur *hybrid* spesifik untuk konteks industri garmen yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur sebelumnya. Temuan penelitian mendukung proposisi bahwa integrasi teknologi *cloud* dengan aplikasi desktop dapat mengatasi keterbatasan infrastruktur sekaligus mencapai tujuan efisiensi dan kolaborasi setara dengan sistem enterprise. Bagi industri manufaktur berskala menengah, penelitian ini memberikan blueprint praktis untuk memulai transformasi digital proses operasional dengan investasi teknologi yang terjangkau.

Untuk pengembangan ke depan, sistem dapat ditingkatkan dengan implementasi enkripsi data lokal, pengembangan modul analisis terintegrasi, dan eksplorasi integrasi dengan sistem ERP perusahaan. Penelitian lanjutan dapat mengkaji dampak jangka panjang sistem terhadap efisiensi material serta mengembangkan *framework* arsitektur *hybrid* untuk berbagai skenario operasional industri manufaktur lainnya.

Daftar Referensi

- [1] K. C. Laudon dan J. P. Laudon, *Management Information Systems: Managing the Digital Firm*, 17th ed. London: Pearson Education, 2022.
- [2] T. W. Andrianto dan M. F. R. Hakim, "Implementasi API Google Sheets untuk Sistem Pelaporan Real-Time pada Industri Garmen," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 15, no. 2, pp. 89-102, 2022. DOI: 10.21609/jsi.v15i2.1054
- [3] M. Maimun, "Evaluation of the use of cloud computing technology in managing organizational information systems," *Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Manajemen*, vol. 10, no. 1, pp. 15-25, 2023. [Online]. Tersedia: <https://jurnal.stmikiba.ac.id/index.php/jiem/article/view/72>
- [4] D. Purwanto, "Pemanfaatan spreadsheet (Google Sheets) dalam pengembangan sistem informasi inventaris peralatan pada Gereja XYZ di Kota Salatiga," *Jurnal Berdikari*, vol. 2, no. 3, pp. 112-120, 2024. [Online]. Tersedia: <https://journal.ummy.ac.id/index.php/berdikari/article/view/25430>

- [5] A. Anwar, T. Rahman, dan M. Fadillah, "Development of a cloud computing-based collaboration information system," *Jurnal AIEA*, vol. 6, no. 2, pp. 45–53, 2024. [Online]. Tersedia: <https://www.ioinformatic.org/index.php/JAIEA/article/view/692>
- [6] H. Wang dan L. Wang, "Modern information systems characteristics for manufacturing industries," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 32, no. 4, pp. 512-525, 2021.
- [7] T. Subekti, H. Wijaya, dan A. Santoso, "Online spreadsheet for error reduction in manufacturing data entry," *Industrial Data Systems Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 34-42, 2022.
- [8] A. Alwan dan R. Rahmadana, "Desktop application development for industrial operational systems: A case study in manufacturing," *Journal of Industrial Informatics*, vol. 8, no. 2, pp. 45-53, 2021.
- [9] R. A. Santoso, D. K. Sari, dan A. Wibowo, "Optimasi Sistem Kolaborasi Berbasis Cloud Computing pada Industri Manufaktur Skala Menengah," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 10, no. 3, pp. 521-532, 2023. DOI: 10.25126/jtiik.2023103521
- [10] A. B. Prasetyo dan R. D. Wahyuni, "Arsitektur Hybrid Desktop-Cloud untuk Sistem Informasi Produksi: Studi Kasus Industri Tekstil," *Jurnal Informatika*, vol. 19, no. 1, pp. 23-36, 2023. DOI: 10.26555/jifo.v19i1.a25789
- [11] N. A. Sari dan F. Gunawan, "Digital Transformation in Garment Industry: Implementation of Information Systems for Production Reporting," *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, vol. 9, no. 5, pp. 234-245, 2022.
- [12] D. Hermawan dan S. Pratama, "Sistem Validasi Data Otomatis untuk Mengurangi Human Error pada Input Data Produksi," *Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi*, vol. 8, no. 2, pp. 67-78, 2023. DOI: 10.35134/jikt.v8i2.125
- [13] H. Nugroho dan R. Sari, "Hybrid desktop-cloud system design for manufacturing data management," *International Journal of Information Systems*, vol. 5, no. 3, pp. 112-120, 2022.
- [14] W. Witanti, "The role of cloud computing technology in increasing work flexibility in the hybrid era," *Management Science Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 41–49, 2024. [Online]. Tersedia: <https://jurnalhafasy.com/index.php/msj/article/view/443>
- [15] Google Developers, Google Sheets API documentation, 2024. [Online]. Tersedia: <https://developers.google.com/sheets/api>
- [16] P. S. Amalia, A. F. Nugroho, dan R. Kusuma, "Optimizing data management in web applications through Google Drive API integration and synchronization," *Journal of Information and Computing Organization (JICO)*, vol. 2, no. 1, pp. 30–38, 2024. [Online]. Tersedia: <https://iaico.org/index.php/JICO/article/view/4>
- [17] S. Rahmawati dan A. Putra, "Google Sheets API for real-time reporting systems," *Journal of Computing Applications*, vol. 4, no. 2, pp. 78-85, 2021.
- [18] R. S. Pressman, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 9th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2021.
- [19] J. Sauro, "10 Things to Know About the System Usability Scale," *MeasuringU*, 2021. [Online]. Tersedia: <https://measuringu.com/10-things-sus/> [Diakses: 15 Jan. 2025].
- [20] J. Sauro, "5 Ways to Interpret a SUS Score," *MeasuringU*, 2021. [Online]. Tersedia: <https://measuringu.com/interpret-sus-score/> [Diakses: 15 Jan. 2025].
- [21] T. T. Tran, D. T. Nguyen, dan H. L. Pham, "Research and Development Methodology for Software Engineering Projects: A Systematic Approach," *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, vol. 31, no. 5, pp. 645-662, 2021.