Perancangan Aplikasi Monitoring Maintenance Alat Berat Pada Pt. Xyz Dengan Metode Waterfall

1st Sabiq An Aziz
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
Sabiqanaziz@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Budi Praptono
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
Budipraptono@telkomuniversity.ac.id

3rd Fandi Achmad
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
fandiac.achmad@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — PT. XYZ merupakan perusahaan pertambangan yang menggunakan alat berat sebagai penunjang utama kegiatan operasional. Dalam pelaksanaannya, proses pelaporan kerusakan, pencatatan perbaikan, dan monitoring maintenance alat berat masih dilakukan secara manual sehingga menimbulkan permasalahan seperti keterlambatan informasi, ketidaksesuaian data, serta sulitnya pemantauan kondisi alat secara real-time. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang aplikasi monitoring maintenance alat berat yang terintegrasi dan sesuai dengan kebutuhan perusahaan.**

Metode pengembangan sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Waterfall, yang terdiri dari tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan validasi. Perancangan sistem dilakukan dengan menggunakan Unified Modeling Language (UML) serta perancangan antarmuka pengguna. Validasi hasil rancangan dilakukan melalui black box testing untuk menguji fungsionalitas sistem dan User Acceptance Testing (UAT) untuk menilai tingkat penerimaan pengguna.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan pengguna dalam proses pelaporan kerusakan, pencatatan perbaikan, serta monitoring status alat berat. Berdasarkan hasil pengujian dan validasi, sistem dinyatakan berjalan sesuai dengan spesifikasi, mudah digunakan, dan layak untuk diimplementasikan di PT. XYZ sebagai solusi peningkatan efektivitas dan efisiensi proses maintenance alat berat.

Kata kunci: Maintenance, Pertambangan, Alat berat, Monitoring, Aplikasi, Waterfall

I. PENDAHULUAN

Sektor pertambangan merupakan salah satu pilar utama perekonomian Indonesia dengan kontribusi signifikan terhadap pertumbuhan nasional. Kekayaan sumber daya alam seperti batu bara, minyak dan gas bumi, nikel, emas, serta mineral lainnya menjadikan sektor ini penyumbang penting Produk Domestik Bruto (PDB). Berdasarkan data Kementerian ESDM, subsektor pertambangan dan penggalian berkontribusi sekitar Rp2.198 triliun atau sekitar 1,5% terhadap total PDB nasional, didorong oleh tingginya kebutuhan energi domestik maupun global, baik dari bahan bakar fosil maupun komoditas strategis seperti nikel dan kobalt yang mendukung pengembangan energi bersih. Sejalan dengan itu, data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) menunjukkan bahwa subsektor pertambangan memberikan peran besar terhadap perekonomian daerah melalui aktivitas pertambangan minyak, gas dan panas bumi, pertambangan bijih logam, batubara dan lignit, serta komoditas tambang lain, sehingga menegaskan bahwa sektor ini masih menjadi penggerak utama kegiatan ekonomi nasional dan regional.

Dalam konteks tersebut, sektor kontraktor pertambangan batubara masih memiliki prospek yang sangat menjanjikan, khususnya di Kalimantan Timur yang memiliki sumber daya melimpah, infrastruktur memadai, dan akses strategis ke jalur ekspor. PT XYZ berdiri dan beroperasi sebagai kontraktor pertambangan batubara yang berfokus pada kegiatan produksi dan ekskavasi. Perusahaan mengelola dua lokasi tambang, yaitu site Jonggon dan site Loa Kulu di Kabupaten Kutai Kartanegara yang mulai dioperasikan pada tahun 2022. Namun, pada tahun 2023 kegiatan operasional sempat terhenti akibat kendala pada pemilik IUP, dan baru dilanjutkan kembali pada tahun 2024 melalui pengelolaan site Wahayu di wilayah Kutai Timur. Site-site tersebut menghasilkan batu bara dengan nilai GAR rendah hingga menengah yang umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi.

Kinerja alat berat berperan sangat vital dalam menjaga kelancaran operasional tambang, sehingga diperlukan sistem pengawasan dan perawatan yang terorganisir dengan baik, terlebih dengan jumlah unit yang cukup banyak di lapangan. Koordinasi dan komunikasi yang efektif antar divisi juga menjadi faktor kunci agar proses perawatan dan perbaikan dapat dilakukan tepat waktu dan efisien. Berdasarkan hasil wawancara penulis dengan pihak terkait di PT XYZ, diketahui bahwa sistem pengawasan perbaikan alat berat yang saat ini diterapkan masih belum optimal. Admin operasional masih melakukan rekap data penggunaan dan kondisi alat berat per site secara manual setiap minggu, sehingga menyulitkan pemantauan kinerja alat secara menyeluruh dan real-time, dibawah merupakan rekapan data operasional alat berat PT XYZ

TABEL 1
Data Operasional Alat Berat 2022 Site Jonggon

SITE JONGGON							
UNIT DAN HOUR METER/MINGGU							
TANGGAL	KOBELCO (EXCA)	SANY (EXCA)	KOMATSU (DOSER)	UNIT YANG DIPERBAIKI	STATUS	START	END
13/8/2022	50	49	10	-	-	-	-
20/8/2022	46	46	15	-	-	-	-
27/8/2022	48	49	12	-	-	-	-
3/9/2022	41	49	20	KOBELCO (EXCA)	ON GOING	3/9/2022	-
10/9/2022	52	45	15	-	-	-	-
17/9/2022	50	52	12	KOMATSU (DOSER)	DONE	17/9/2022	18/9/2022
24/9/2022	49	54	13	-	-	-	-
1/10/2022	41	54	18	KOBELCO (EXCA)	ON GOING	1/10/2022	-
8/10/2022	49	49	20	SANY (EXCA)	DONE	8/10/2022	8/10/2022
15/10/2022	49	49	10	KOMATSU (DOSER)	ON GOING	15/10/2022	-
22/10/2022	49	49	20	-	-	-	-
29/10/2022	49	49	20	-	-	-	-

TABEL 2
Data Operasional Alat Berat 2022 Site Loa Kulu

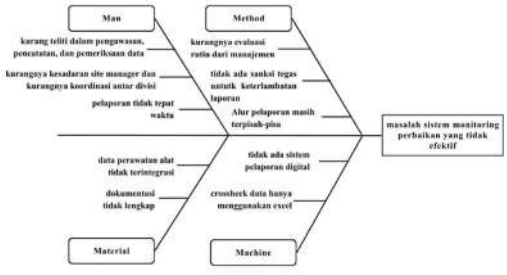
SITE LOA KULU						
UNIT DAN HOUR METER/MINGGU						
TANGGAL	HITACHI (EXCA)	SANY (EXCA)	UNIT YANG DIPERBAIKI	STATUS	START	END
13/8/2022	41	40	HITACHI (EXCA)	DONE	14/8/2022	15/8/2022
20/8/2022	45	47	-	-	-	-
27/8/2022	49	49	-	-	-	-
3/9/2022	49	49	-	-	-	-
10/9/2022	49	45	-	-	-	-
17/9/2022	46	52	SANY (EXCA)	ON GOING	17/9/2022	-
24/9/2022	46	54	-	-	-	-
1/10/2022	48	54	-	-	-	-
8/10/2022	33	49	HITACHI (EXCA)	DONE	8/10/2022	10/10/2022
15/10/2022	42	49	-	-	-	-
22/10/2022	45	49	-	-	-	-
29/10/2022	40	49	-	-	-	-

Pada tabel I dan II, terlihat adanya kesalahan pencatatan status selesai perbaikan di kedua site pada periode Oktober–September 2022, di mana sebagian pekerjaan yang sudah diselesaikan mekanik tidak terdokumentasi sebagai selesai di laporan admin karena site manager tidak mengirimkan laporan penutupan perbaikan. Tabel I-4 untuk site Wahau tahun 2024 menunjukkan pola masalah serupa, yaitu kesalahan pencatatan hour meter dan dokumentasi data operasional yang kurang baik akibat pendataan admin yang keliru.

TABEL 3
Data Operasional Alat Berat 2023 Site wahau

SITE WAHAU							
UNIT DAN HOUR METER/MINGGU							
TANGGAL	KOBELCO (EXCA)	SANY (EXCA)	KOMATSU (DOSER)	UNIT YANG DIPERBAIKI	STATUS	START	END
4/5/2024	41	48	10	KOBELCO (EXCA)	ON GOING	4/5/2024	-
11/5/2024	50	45	15	-	-	-	-
18/5/2024	32	45	12	KOBELCO (EXCA)	ON GOING	18/5/2024	-
25/5/2024	49	44	20	-	-	-	-
1/6/2024	49	51	15	SANY (EXCA	DONE	1/6/2024	1/6/2024
8/6/2024	50	42	12	KOMATSU (DOSER)	ON GOING	8/6/2024	-
15/6/2024	47	42	13	-	-	-	-
22/6/2024	49	43	18	-	-	-	-
29/6/2024	49	44	20	-	-	-	-
6/7/2024	52	44	10	SANY (EXCA	DONE	6/7/2024	6/7/2024
13/7/2024	47	45	20	-	-	-	-
20/7/2024	48	49	20	-	-	-	-
27/7/2024	49	50	14	-	-	-	-

Selain itu, ditemukan pula adanya ketidaktepatan dalam proses pencatatan kebutuhan sparepart untuk keperluan perbaikan serta pengajuan dana pembelian. Kesalahan tersebut terjadi karena adanya kekeliruan dari pihak helper dalam menuliskan jenis yang seharusnya dibeli. Adapun diagram fishbone yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut menggambarkan faktor-faktor penyebab utama dari permasalahan sistem pengawasan perbaikan alat berat di PT XYZ.



GAMBAR 1
Diagram Fishbone

Berdasarkan Gambar 1, PT XYZ mengalami beberapa permasalahan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Penjelasan masing-masing faktor disajikan sebagai berikut.

1. *Material*
   Permasalahan material disebabkan oleh data perawatan alat berat yang belum terintegrasi antara lapangan dan administrasi, sehingga terjadi ketidaksesuaian informasi. Dokumentasi riwayat perbaikan yang tidak lengkap menyulitkan penelusuran histori dan analisis performa alat berat, serta berdampak pada akurasi dan kualitas pengambilan keputusan.
2. *Method*
   Metode monitoring masih dilakukan secara manual dan belum menggunakan sistem pelaporan digital terpusat. Pelaporan antar divisi tidak sinkron, crosscheck data masih berbasis Excel, dan rekap dilakukan secara berkala sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan dan kesalahan data. Kurangnya evaluasi rutin dan sanksi juga melemahkan efektivitas metode monitoring.
3. *Man*
   Aspek manusia dipengaruhi oleh rendahnya ketelitian, kedisiplinan, dan kesadaran dalam pelaporan. Admin kurang optimal dalam pengawasan dan verifikasi data, sementara site manager sering terlambat menyampaikan laporan. Koordinasi dan komunikasi antar divisi juga belum berjalan efektif.
4. *Machine*
   Permasalahan machine terjadi karena belum tersedianya sistem digital terintegrasi untuk monitoring perbaikan alat berat. Ketergantungan pada pencatatan manual dan Excel menyebabkan proses monitoring tidak real-time serta meningkatkan risiko kesalahan dan kehilangan data.

Dari analisis permasalahan yang sudah di jelaskan, solusi strategis pelu dirumuskan untuk membantu PT XYZ mengatasi permasalahan yang ada, berikut Tabel I-5 merupakan alternatif solusi yang telah di identifikasi dari permasalahan yang ada

TABEL 4
Alternatif Solusi

Permasalahan	komponen	Alternatif solusi
Data perawatan alat berat tidak terintegrasi	Material	Menerapkan sistem informasi berbasis dashboard/aplikasi, untuk pelaporan, pencatatan, dan monitoring perbaikan alat berat
Dokumentasi data tidak lengkap		
Tidak adanya sanksi tegas untuk keterlambatan laporan	Method	Melakukan sosialisasi dan penegakan aturan secara konsisten
Alur pelaporan masih terpisah-pisa		Menerapkan sistem informasi berbasis dashboard/aplikasi, untuk pelaporan, pencatatan, dan

		monitoring perbaikan alat berat
Kurangnya evaluasi rutin dari manajemen		Membentuk tim audit internal untuk menilai efektivitas sistem dan membuat kebijakan sanksi tegas dan terukur untuk keterlambatan pelaporan
Pelaporan tidak tepat waktu	Man	Membentuk tim audit internal untuk menilai efektivitas sistem dan membuat kebijakan sanksi tegas dan terukur untuk keterlambatan pelaporan
Kurang teliti dalam pencatatan, pengawasan, dan pemeriksaan data		Menerapkan sistem informasi berbasis dashboard/aplikasi, untuk pelaporan, pencatatan, dan monitoring perbaikan alat berat
kurangnya kesadaran site manager dan kurangnya koordinasi antar divisi		Mengadakkan briefing rutin untuk meningkatkan kesadaran tanggung jawab
crossheck data hanya menggunakan excel	Machine	Menerapkan sistem informasi berbasis dashboard/aplikasi, untuk pelaporan, pencatatan, dan monitoring perbaikan alat berat
tidak ada sistem pelaporan digital		Menerapkan sistem informasi berbasis dashboard/aplikasi, untuk pelaporan, pencatatan, dan monitoring perbaikan alat berat

II. KAJIAN TEORI

a. *Software Development Life Cycle (SDLC)*

Software Development Life Cycle (SDLC) merupakan kerangka kerja yang digunakan dalam pengembangan perangkat lunak untuk menghasilkan sistem yang berkualitas, andal, efisien, serta diselesaikan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan. SDLC berfungsi sebagai model proses yang mengatur tahapan pengembangan perangkat lunak secara sistematis.

b. Waterfall

Model Waterfall merupakan pendekatan SDLC yang bersifat berurutan dan linear, di mana setiap tahapan harus diselesaikan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Setiap fase saling bergantung dan tidak dapat diulang setelah dinyatakan selesai, sehingga ruang perubahan dalam proses pengembangan menjadi terbatas.

c. Agile

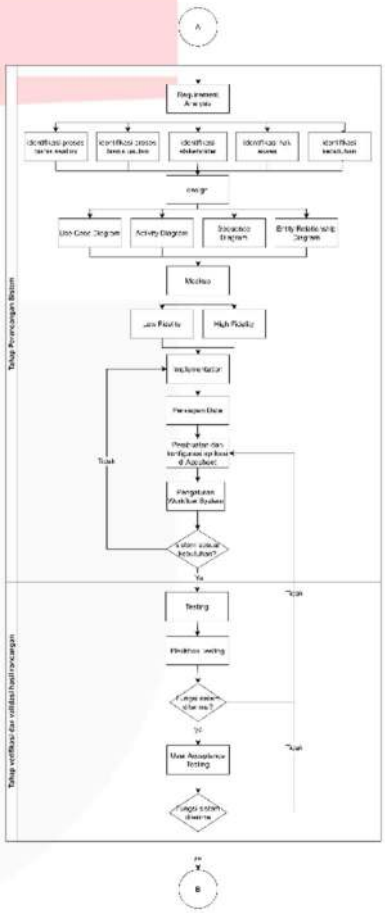
Metode Agile didasarkan pada prinsip *adaptive software development* yang memungkinkan penyesuaian terhadap perubahan kebutuhan selama proses pengembangan. Berbeda dengan model prediktif seperti Waterfall yang menuntut perencanaan dan analisis kebutuhan secara detail sejak awal, Agile memberikan fleksibilitas lebih sehingga perubahan dapat dilakukan tanpa mengganggu keseluruhan alur pengembangan.

d. V-model

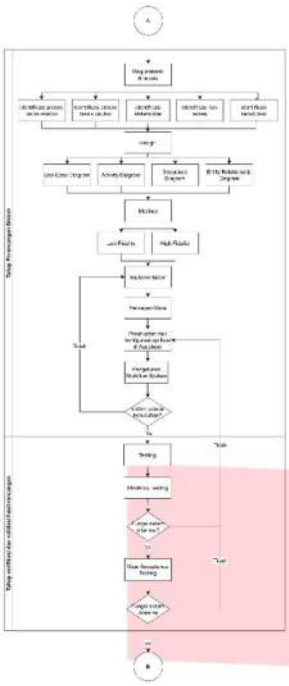
Metode V-Model menggambarkan proses pengembangan perangkat lunak yang terstruktur, di mana setiap tahapan perancangan pada sisi kiri memiliki tahapan pengujian yang bersesuaian pada sisi kanan. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna melalui proses verifikasi dan validasi yang berkesinambungan.

III. METODE

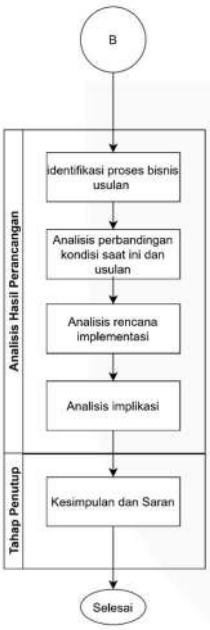
Penelitian ini menggunakan Sistematikan pemecahan masalah ini sudah disesuaikan dengan metode waterfall.



GAMBAR 2
Sistematika Penyelesaian Masalah



GAMBAR 2
Sistematika Penyelesaian Masalah (lanjutan)



GAMBAR 2
Sistematika Penyelesaian Masalah (lanjutan)

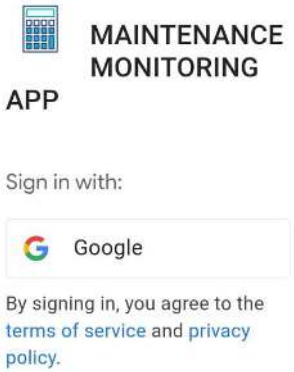
1. Requirement Analysis
Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem informasi pelaporan dan monitoring maintenance alat berat berdasarkan hasil pengumpulan data serta analisis proses bisnis yang berjalan.

2. System Design
Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem melalui pemodelan proses, struktur data, dan antarmuka pengguna sebagai acuan pengembangan aplikasi.

3. Implementation
Tahap implementasi merupakan proses pembangunan aplikasi sesuai dengan rancangan dan spesifikasi kebutuhan yang telah ditetapkan.

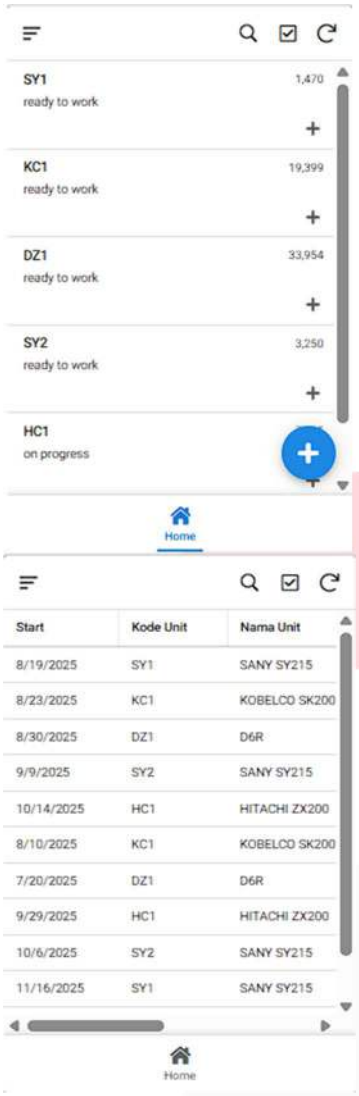
4. Testing
Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan sistem berfungsi sesuai kebutuhan melalui *black-box testing* dan *User Acceptance Testing (UAT)*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



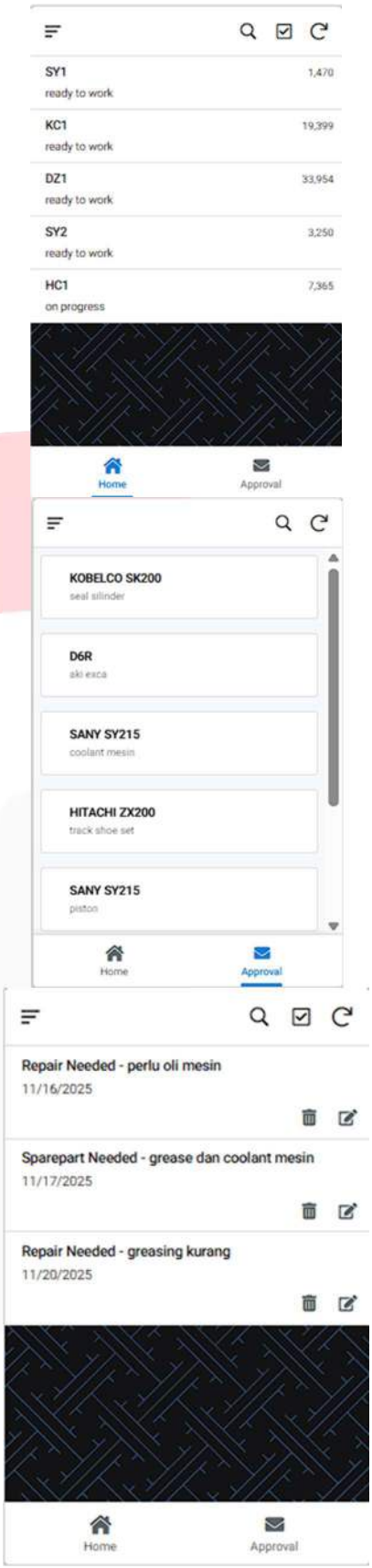
GAMBAR 3
High Fidelity Halaman Login

Gambar 3 menunjukkan halaman login aplikasi yang menggunakan email terdaftar sebagai komponen autentikasi. Setelah pengguna berhasil masuk menggunakan email yang telah terdaftar pada sistem AppSheet, sistem akan mengarahkan pengguna ke halaman utama (home). Halaman login dirancang dengan antarmuka sederhana untuk memudahkan proses akses, serta memastikan pengguna diarahkan ke halaman sesuai dengan hak akses dan kebutuhan masing-masing.



GAMBAR 4
High Fidelity halaman akses admin

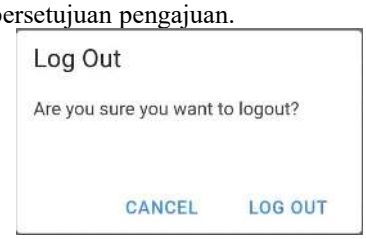
Gambar-gambar di atas menampilkan rancangan *high-fidelity* antarmuka untuk pengguna dengan peran sebagai admin. Pada rancangan tersebut, admin memiliki hak akses penuh terhadap fitur utama sistem, meliputi halaman *Home* untuk melihat ringkasan informasi alat berat, menu penambahan unit alat berat, serta halaman *Maintenance History* untuk memantau riwayat perawatan setiap unit.



GAMBAR 5
Tampilan Helper

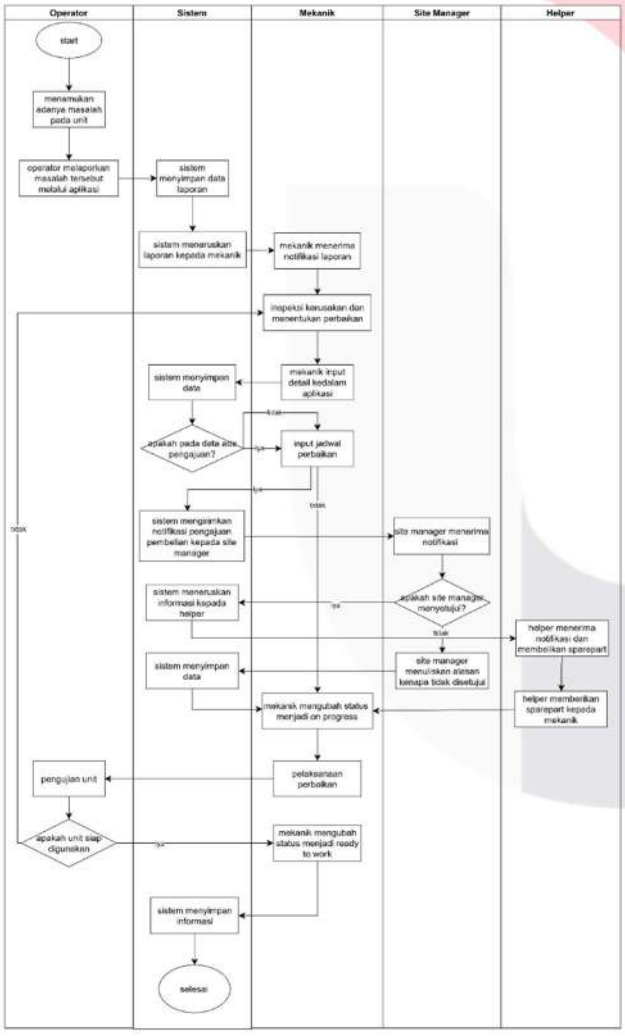
Gambar 5 menampilkan rancangan high-fidelity antarmuka untuk pengguna dengan peran helper. Pada halaman ini, helper memiliki akses ke menu Home, Approval, dan Notification. Menu Home digunakan untuk melihat informasi

dasar unit alat berat, menu Approval menampilkan daftar pengajuan sparepart dan kebutuhan dana dari mekanik untuk mendukung koordinasi dengan site manager, sedangkan menu Notification digunakan untuk memantau notifikasi terkait status persetujuan pengajuan.



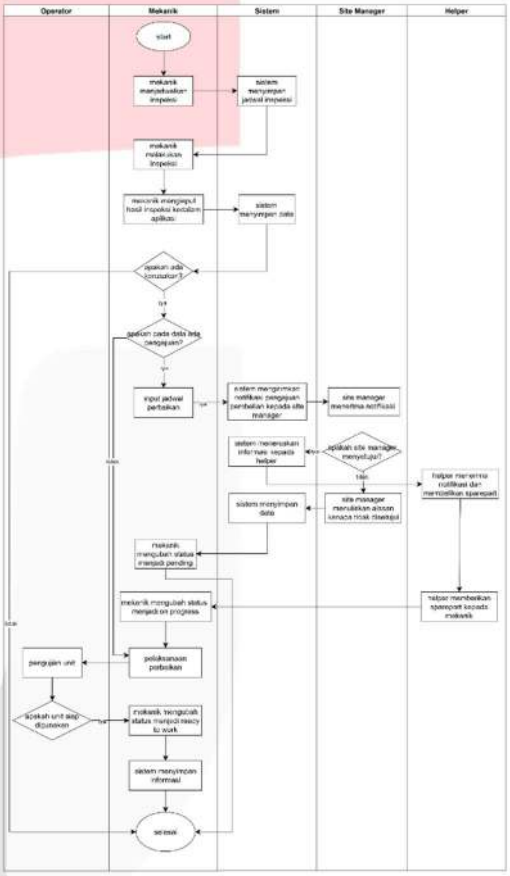
GAMBAR 6
Halamn Logout

Menampilkan halaman logout yang digunakan pengguna untuk keluar dari aplikasi. Halaman ini menyediakan konfirmasi untuk memastikan pengguna benar-benar mengakhiri sesi, dan setelah proses logout selesai, sistem akan mengarahkan pengguna kembali ke halaman login sebagai penutup sesi yang aman.



GAMBAR 7
Proses Bisnis Pelaporan Usulan

Proses dimulai ketika operator mendeteksi gangguan pada unit dan melaporkannya melalui aplikasi, kemudian sistem mencatat laporan dan meneruskannya kepada mekanik. Mekanik melakukan inspeksi untuk menentukan tingkat kerusakan dan tindakan perbaikan, lalu menginput hasil inspeksi serta jadwal perbaikan ke dalam sistem. Apabila perbaikan memerlukan sparepart tambahan, sistem mengirimkan permintaan persetujuan kepada site manager untuk ditinjau dan diputuskan. Jika pengajuan disetujui, sistem meneruskan informasi kepada helper untuk melakukan pembelian sparepart, dan setelah sparepart tersedia, mekanik memulai perbaikan dengan status *On Progress*. Sebaliknya, jika pengajuan ditolak, sistem mencatat alasan penolakan dan status pekerjaan dapat diubah menjadi *Pending*. Setelah proses perbaikan dan pengujian selesai, mekanik memperbarui status unit menjadi *Ready to Work* apabila unit telah berfungsi dengan baik, atau mengulangi proses perbaikan hingga memenuhi standar operasional.



GAMBAR 8
Proses Bisnis Inspeksi Usulan

Proses bisnis dimulai dengan penjadwalan inspeksi oleh mekanik melalui sistem. Pada waktu yang telah ditentukan, mekanik melakukan inspeksi dan memasukkan hasil pemeriksaan ke dalam aplikasi, kemudian sistem menyimpan data tersebut. Jika ditemukan kerusakan yang tidak memerlukan sparepart, mekanik menjadwalkan perbaikan, mengubah status pekerjaan menjadi on progress, dan melaksanakan perbaikan hingga selesai. Apabila kerusakan memerlukan pengadaan sparepart, mekanik mengajukan permintaan pembelian melalui sistem yang selanjutnya dikirimkan kepada site manager untuk persetujuan. Jika pengajuan ditolak, site manager memberikan alasan penolakan yang tersimpan dalam sistem, dan status

pekerjaan diubah menjadi pending. Sebaliknya, jika disetujui, sistem meneruskan notifikasi kepada helper untuk melakukan pembelian sparepart. Setelah sparepart tersedia, mekanik memperbarui status menjadi on progress dan melakukan perbaikan. Setelah perbaikan selesai, unit diuji oleh operator. Apabila unit dinyatakan layak beroperasi, mekanik mengubah status menjadi ready to work dan sistem menyimpan seluruh riwayat kegiatan. Jika unit belum memenuhi standar operasional, proses perbaikan dan pengujian diulang hingga unit siap digunakan. Apabila sejak inspeksi awal tidak ditemukan kerusakan, proses langsung dinyatakan selesai.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kondisi eksisting, dapat disimpulkan bahwa sistem pencatatan dan pelaporan perbaikan alat berat yang sebelumnya diterapkan di PT XYZ masih bersifat manual dan belum terintegrasi antar pihak yang terlibat. Kondisi tersebut menimbulkan berbagai kendala, seperti kesalahan pencatatan *hour meter* dan *spare part*, data perbaikan yang tidak terdokumentasi secara lengkap, serta keterlambatan informasi akibat alur pelaporan yang masih bergantung pada komunikasi manual. Selain itu, kurangnya mekanisme monitoring dan pengingat menyebabkan terjadinya miskomunikasi antara operator, mekanik, *site manager*, dan admin, sehingga berdampak pada rendahnya efektivitas proses maintenance alat berat.

Berdasarkan permasalahan tersebut, perancangan sistem informasi *maintenance monitoring* berbasis aplikasi yang diusulkan terbukti mampu meningkatkan akurasi, kelengkapan, dan keamanan dokumentasi data perbaikan alat berat di PT XYZ. Sistem ini memungkinkan seluruh data maintenance, mulai dari laporan kerusakan, pencatatan *hour meter*, penggunaan *spare part*, hingga status penyelesaian perbaikan, tersimpan secara otomatis dan terpusat di dalam basis data. Dengan adanya validasi input serta penyimpanan data secara *real-time*, kesalahan pencatatan yang sebelumnya sering terjadi dapat dieliminasi, serta risiko kehilangan data dapat diminimalkan secara signifikan.

Selain peningkatan pada aspek pencatatan dan dokumentasi data, sistem yang dirancang juga mampu memperbaiki alur komunikasi dan koordinasi antar pihak yang terlibat dalam proses maintenance alat berat di PT XYZ. Melalui fitur notifikasi dan alur informasi yang terintegrasi, setiap perubahan status perbaikan dapat diketahui secara cepat dan tepat oleh pihak terkait, seperti mekanik, admin, dan *site manager*, sehingga ketergantungan pada komunikasi manual dapat dikurangi dan potensi miskomunikasi dapat diminimalkan. Hal ini didukung oleh hasil pengujian *User Acceptance Test* (UAT) yang menunjukkan bahwa seluruh aspek memperoleh nilai persentase di atas 75% dengan tingkat kesesuaian sebesar 99,34%, yang menandakan bahwa sistem telah sesuai dengan kebutuhan pengguna dan mampu meningkatkan efektivitas proses operasional, meskipun pengujian dilakukan dalam jangka waktu terbatas selama dua minggu

REFERENSI

[1] I. S. Akbar, "Pengembangan Entity Relationship Diagram sebagai metode pemodelan basis data konseptual untuk data semantik sistem," *Jurnal Ilmiah Computing Insight*, vol. 3, no. 2, pp. 3–36, 2021. [Online]. Available: https://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/CI/article/download/122/657

[2] Badan Pusat Statistik, "Produk domestik bruto atas dasar harga berlaku menurut lapangan usaha (miliar rupiah), 2024," 2024. [Online]. Available: https://www.bps.go.id/en/statistics-table/3/UzFSTVVXUlliME5XYzBZNUwwNVFRa3h6Y1d3M1p6MDkjMw==/produk-domestik-bruto-atas-dasar-harga-berlaku-menurut-lapangan-usaha--215.html

[3] T. M. Connolly and C. E. Begg, *Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation and Management*, 6th ed. Pearson, 2015.

[4] Y. Fintri Indriyani, D. A. Muthia, A. Surniandari, and Sriyadi, *Analisa Perancangan Sistem Informasi*. Graha Ilmu, 2019.

[5] L. Hermansyah, "User acceptance testing to assess user receptiveness toward system testing and performance," *Sistemasi: Jurnal Sistem Informasi*, vol. 14, no. 1, pp. 1–1, 2025.

[6] Hitachi Construction Machinery, "Medium excavators – ZX22LC GI," n.d. [Online]. Available: https://www.hitachicm.com/eu/en/machinery/excavators/medium-excavators/product.zx22lc-gi/

[7] PT United Tractors Tbk., "Komatsu D68ESS-12EO," United Tractors Products, n.d. [Online]. Available: https://products.unitedtractors.com/id/product/komatsu/d68ess-12eo

[8] A. A. Permana, B. Fadillah, and R. Taufiq, "Penggunaan Metode V-Model Untuk merancang Sistem Informasi E-Logbook Berbasis Website," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 12, no. 1, pp. 297–304, 2023.

[9] *Systems and Software Engineering — Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models*, ISO/IEC Standard 251:223, 2023. [Online]. Available: https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec:251:ed-2:v1:en

[10] Institute of Industrial and Systems Engineers, "What is industrial engineering?" n.d. [Online]. Available: https://www.iise.org/Details.aspx?id=282

[11] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 132.K/GL.1/MEM.G/2024 tentang neraca sumber daya dan cadangan mineral dan batubara nasional pada tahun 223," 2024. [Online]. Available: https://jdih.esdm.go.id/common/dokumen-external/Kepmen%2ESDM%2No%2132K_GL1_MEM_G_2024.pdf

[12] Kobelco Construction Machinery Southeast Asia, "SK2 / SK21LC hydraulic excavator – Technical data sheet," n.d. [Online]. Available: https://www.kobelcocm-

global.com/products/asia/SK2-1_SK21LC-1_INDONESIA.html
[13] T. B. Kurniawan and Syarifuddin, "Perancangan sistem aplikasi pemesanan makanan dan minuman pada Cafetaria No Caffe di Tanjung Balai Karimun menggunakan bahasa pemrograman PHP dan MySQL," *Jurnal Tikar*, vol. 1, no. 2, pp. 2–23, 2020. doi: 10.51742/TEKNIK_INFORMATIKA.V1I2.153
[14] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Kontribusi minerba pada PDB 223 capai Rp2.198 triliun," Nov. 25, 2024. [Online]. Available: https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kontribusi-minerba-pada-pdb-223-capai-rp2198-triliun
[15] R. Maulana and Sutarman, "Analisis dan pemodelan proses bisnis menggunakan BPMN dalam peningkatan efektivitas layanan administrasi," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 7, no. 1, pp. 12–22, 2023.
[16] M. D. Mulyawan, I. N. S. Kumara, I. B. A. Swamardika, and K. O. Saputra, "Kualitas sistem informasi berdasarkan ISO/IEC 251: Literature review," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 15–28, 2021.
[17] K. Narwastu and I. Zarma Putra, "Pengaruh kualitas pasokan batubara terhadap heat rate di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Kasam PLN Batam," *Jurnal Rekayasa Energi*, vol. 3, no. 2, pp. 57–64, 2024. doi: 10.31884/jre.v3i2.63
[18] S. Pargaonkar, "A comprehensive research analysis of software development life cycle (SDLC) Agile & Waterfall model advantages, disadvantages, and application suitability in software quality engineering," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 13, no. 8, pp. 14–147, Aug. 2023. doi: 10.29322/IJSRP.13.8.223.p1415
[19] D. Petrik, A. Untermann, and H. Baars, "Functional requirements for enterprise data catalogs: A systematic literature review," in *Lecture Notes in Business Information Processing*, Springer, 2024.
[20] M. Richard, "The Gantt chart in modern project management: An empirical analysis from developing countries," Technical Report, 2024.
[21] Y. Salih and R. Saefullah, "Black box testing on website-based guestbook registration applications," *International Journal of Mathematics, Statistics, and Computing*, vol. 2, no. 2, pp. 44–49, 2024. doi: 10.46336/ijmsc.v2i2.96
[22] SANY Global, "SY215C hydraulic excavator – Technical data sheet," n.d. [Online]. Available: https://www.sanyglobal.com/d/file/product/excavator-medium/217-4-13/56aef9e9e5f97683b2b1836e2dd3f1.pdf
[23] J. T. Santoso and Migunani, *Desain & Analisis Sistem Berorientasi Objek dengan UML*. Yayasan Prima Agus Teknik, 2021.
[24] Suharna, *Pengembangan Aplikasi Berbasis AppSheet sebagai Solusi Sistem Informasi Tanpa Coding*. Media Informatika Press, 2021.
[25] A. A. A. Ushud, "Implementasi AppSheet dan Google Sheets dalam pengembangan aplikasi mobile untuk kebutuhan operasional bisnis," *Jurnal Informatika dan Komputasi Indonesia*, vol. 6, no. 1, pp. 1–9, 2025. doi: 10.24127/jiki.v6i1.917
[26] K. Yudhy, *Belajar Google Sheets untuk Pemula*. Elex Media Komputindo, 2023.