

PROPOSAL TESIS



MENDETEKSI INSULATOR BUSI MENGGUNAKAN APLIKASI COLOR GRAB DAN ANALISIS CHAT GPT KOMPETENSI KEAHLIAN TKR DAN TSM

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Pendidikan**

Oleh

Benyamin Batau'

24998310112007

**PROGRAM STUDI
PASCASARJANA
UNIVERSITAS NEGERI MAKASSAR
TAHUN 2025**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Proposal tesis dengan judul “ **Mendeteksi Insulator Busi Menggunakan Aplikasi Color Grab Dan Analisis Chat GPT Kompetensi Keahlian TKR dan TSM** ”

karya,

Nama : BENYAMIN BATAU

NIM : 240020301078

Program Studi : Pendidikan Teknologi Kejuruan

Telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Seminar Proposal Tesis.

Makassar, Agustus 2025

Menyetujui:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Prof.Dr. DARMAWANG, M.Kes
Ketua

Prof. Dr. Ir. H. MUH.YAHYA, M.Kes., M.Eng. IPU. ASEAN.Eng.
Sekretaris

Mengetahui:

Ketua Program Studi
Pendidikan Teknologi Kejuruan,

Direktur Program Pasca Sarjana
Universitas Negeri Makassar,

Dr. Ir. Anas Arfandi, M.Pd
NIP. 198009 20200501 1 002

Prof. Dr. Sapto Haryoko, M.Pd.
NIP. 19621227 198702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, karunia, dan bimbingan-Nya, sehingga proposal tesis dengan judul *“Mendeteksi Insulator Busi Menggunakan Aplikasi Color Grab dan Analisis ChatGPT Kompetensi Keahlian TKR dan TSM”* dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknologi Kejuruan, Program Pascasarjana Universitas Negeri Makassar.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tulus penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Karta Jayadi, M.Sn., selaku Rektor Universitas Negeri Makassar.
2. Prof. Dr. Sapto Haryoko, M.Pd, selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Negeri Makassar.
3. Dr. Ir. Anas Arfandi, M.Pd, selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknologi Kejuruan.
4. Prof. Dr. Darmawang, M.Kes, selaku Pembimbing I.
5. Prof. Dr. Ir. H. Muh. Yahya, M.Kes., M.Eng., IPU., ASEAN.Eng, selaku Pembimbing II.
6. Seluruh dosen dan staf administrasi Program Pascasarjana Universitas Negeri Makassar.
7. Kepala sekolah, guru, dan peserta didik SMKN 1 Sumarorong yang telah membantu dalam penyusunan proposal ini.
8. Keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan moril dan doa.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan karya ini. Semoga proposal ini bermanfaat bagi pengembangan pendidikan kejuruan, khususnya pada bidang teknik otomotif.

Makassar, Agustus 2025

Penulis

DARTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
KATA PENGANTAR	iii
DARTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	8
1.3 Rumusan Masalah.....	8
1.4 Tujuan Penelitian.....	9
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II.....	12
KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PIKIR DAN PENELITIAN RELEVAN	12
2.1 Kajian Pustaka	12
2.2 Kerangka Pikir.....	35
2.3 Penelitian Relevan	37
BAB III	42
METODE PENELITIAN	42
3.1. Jenis, Desain dan Lokasi Penelitian	42
3.2 Variabel dan Definisi Operasional	43
3.3 Subjek, Objek, dan Responden Penelitian	44
3.4 Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data.....	46
3.5 Teknik Analisis Data.....	48
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Diagram Kerangka Teoretis (Flow Chart)	41
---	-----------

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Desain Penelitian Nonequivalent Control Group Design	43
Tabel 3.2 Responden Penelitian.....	47
Tabel 3.3 Kisi-Kisi Diagnosa Kondisi Mesin Berdasarkan Pemeriksaan Busi	76
Tabel 3.4 Kriteria Indeks Kesukaran Soal	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pendidikan kejuruan merupakan pilar strategis dalam menyiapkan tenaga kerja yang kompeten dan siap pakai, terutama dalam menghadapi tuntutan Revolusi Industri 4.0 yang ditandai dengan perkembangan pesat teknologi informasi dan otomatisasi. Menurut Santika et al. (2023), Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) memiliki peran sentral dalam membekali peserta didik dengan pengetahuan, keterampilan, dan pengalaman langsung melalui praktik kerja lapangan (PKL), *teaching factory*, serta layanan bimbingan karier. Upaya tersebut dilakukan agar lulusan SMK memiliki kesiapan lebih baik dalam menghadapi dunia kerja. Sekolah tidak dapat sepenuhnya menjamin penempatan kerja bagi lulusan, karena penempatan tersebut juga ditentukan oleh kemampuan dan motivasi individu masing-masing.

Sutiyatno (2017) menekankan pentingnya orientasi pasar dalam pendidikan kejuruan agar tercapai kesesuaian antara kompetensi lulusan dan kebutuhan industri. Ia berpendapat bahwa pendidikan vokasi harus mampu merespons dinamika ketenagakerjaan dengan merancang kurikulum yang relevan serta melibatkan dunia usaha dan dunia industri (DUDI) secara aktif dalam proses pendidikan. Pendidikan kejuruan berorientasi kerja ini memungkinkan siswa tidak hanya memperoleh keterampilan praktis yang dibutuhkan pasar, tetapi juga memahami struktur industri dan peluang karier yang tersedia. Kolaborasi antara

lembaga pendidikan dan stakeholder industri menjadi kunci untuk mencetak lulusan yang berdaya saing tinggi dan siap menghadapi tantangan global.

Kompetensi Keahlian Teknik Otomotif merupakan fondasi penting dalam kurikulum pendidikan kejuruan di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), khususnya pada program keahlian Teknik Kendaraan Ringan dan Teknik Sepeda Motor. Materi ini mencakup pengenalan terhadap sistem-sistem utama kendaraan, seperti sistem tenaga (*engine system*), sistem rem, kemudi, suspensi, sistem transmisi, dan sistem kelistrikan kendaraan. Pembelajaran dimulai dengan pemahaman terhadap tata letak kendaraan dan fungsi dasar komponen utama, meliputi mesin, kopling, gearbox, hingga sistem pengereman dan pengendalian kendaraan. Struktur kendaraan modern umumnya mengadopsi sistem penggerak roda depan (FWD) dengan mesin di bagian depan, karena konfigurasi ini memberikan efisiensi ruang dan kestabilan berkendara (Denton, 2006, hlm. 18–34). Pendekatan pembelajaran yang efektif dalam bidang ini menekankan pada prinsip *experiential learning*. Prinsip ini diwujudkan melalui pembelajaran berbasis pengalaman langsung, seperti praktik kerja bengkel, yang melibatkan proses observasi, refleksi, dan penerapan dalam konteks nyata (Threeton & Walter, 2009, hlm. 8–12).

Metode pembelajaran otomotif menekankan pengembangan keterampilan psikomotorik melalui kegiatan praktik langsung yang dikombinasikan dengan penjelasan teori secara kontekstual. Penelitian oleh Ahmad dan Latib (2015) menunjukkan bahwa siswa lebih menyukai metode demonstrasi langsung dan penjelasan skematik sebelum melakukan tugas praktik, dibandingkan metode ceramah atau penggunaan modul semata. Guru di pendidikan vokasional umumnya

menggunakan kombinasi teknik seperti demonstrasi, pemecahan masalah, dan pengawasan kelompok untuk mendukung keterlibatan siswa dan pencapaian kompetensi kerja (Ahmad & Latib, 2015, hlm. 291–293). Kurikulum otomotif berbasis standar industri, seperti ASE/NATEF, menuntut siswa untuk menguasai area penting seperti sistem rem, kelistrikan, performa mesin, serta sistem kemudi dan suspensi agar siap bersaing dalam dunia kerja (University of Missouri, 2006, hlm. S4–S7).

Pendidikan vokasional, khususnya pada mata pelajaran Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif), pemahaman siswa terhadap diagnosis kondisi mesin menjadi salah satu aspek penting untuk menghasilkan lulusan yang kompeten. Salah satu metode yang umum digunakan dalam diagnosis mesin adalah analisis kondisi busi, khususnya warna *center insulator* busi, yang dapat mengindikasikan performa mesin, seperti pembakaran ideal, campuran bahan bakar yang tidak seimbang, atau masalah mekanis lainnya (Bosch Auto Parts, 2023). Proses identifikasi warna busi secara manual sering kali bersifat subjektif dan bergantung pada pengalaman teknisi, sehingga menyulitkan siswa dalam memahami dan menerapkan konsep ini secara akurat (Maly et al., 2013).

Perkembangan teknologi menghadirkan aplikasi berbasis Android, seperti Color Grab, yang menawarkan solusi deteksi warna secara real-time dengan memanfaatkan sensor kamera smartphone (Hermida et al., 2019). Aplikasi semacam ini memungkinkan analisis warna yang lebih objektif dan dapat diintegrasikan dalam pembelajaran untuk membantu siswa memahami hubungan antara warna busi dan kondisi mesin. Penelitian oleh Rani et al. (2019)

menunjukkan bahwa aplikasi deteksi warna kromatik dapat meningkatkan ketepatan analisis warna, sehingga menjadi alat yang berharga untuk pelatihan teknis. Penelitian lain tentang aplikasi identifikasi warna real-time untuk penyandang tunanetra menyoroti potensi aplikasi mobile dalam memberikan deteksi warna yang akurat, yang dapat diadaptasi untuk keperluan pendidikan (Jurnal What Color, 2016). Data yang dihasilkan oleh aplikasi Color Grab memerlukan analisis lanjutan yang dapat memberikan informasi mengenai kondisi mesin melalui ChatGPT.

Kemampuan ChatGPT-4 sebagai alat bantu berbasis kecerdasan buatan (AI) menunjukkan potensi signifikan dalam mendukung proses analisis teknis, termasuk dalam bidang teknik mesin otomotif. Dalam ringkasan karyanya, Mamoon (2024) mengeksplorasi kecerdasan GPT-4 dari berbagai dimensi, seperti pemrosesan humor, pengenalan identitas pengguna, implikasi ekonomi, hingga perannya dalam mendukung ketahanan kerja manusia. Salah satu temuan penting adalah bahwa GPT-4 mampu memberikan respons yang kontekstual, sistematis, dan argumentatif terhadap berbagai persoalan teknis berbasis teks. Kemampuan ini mencakup penjelasan mengenai prinsip kerja suatu sistem atau komponen, serta aplikasinya dalam menjabarkan fungsi dan permasalahan mesin motor. Meskipun GPT-4 tidak menggantikan uji empiris atau sensor teknis langsung, kekuatan analitisnya dalam memahami struktur dan fungsi melalui bahasa menjadikannya sarana potensial dalam pendidikan kejuruan dan pembelajaran berbasis digital. Pemanfaatan GPT-4 sebagai media pendukung dalam analisis mesin motor tidak hanya memungkinkan

pengayaan materi teknis berbasis AI, tetapi juga mendorong inovasi dalam pembelajaran interaktif dan asistif di lingkungan SMK Teknik Otomotif.

Kemajuan kecerdasan buatan (AI), khususnya melalui alat seperti ChatGPT, membuka peluang baru dalam pendidikan teknik dengan menyediakan kemampuan analisis dan informasi kontekstual yang mendukung proses pembelajaran (Bajrami et al., 2023). ChatGPT dapat membantu siswa dalam menafsirkan hasil deteksi warna dan menghubungkannya dengan teori diagnosis mesin, sehingga meningkatkan keterlibatan dan pemahaman mereka. Penelitian oleh Yang et al. (2023) menegaskan kemampuan ChatGPT untuk mendukung kegiatan pendidikan dengan memberikan penjelasan yang disesuaikan, yang sangat bermanfaat dalam konteks vokasional. Penelitian lain yang mengeksplorasi peran ChatGPT dalam studi vokasional di Universitas IPB juga mengonfirmasi potensinya dalam mendukung pembelajaran teknis melalui pengalaman belajar interaktif dan berbasis masalah (IPB University, 2024).

Penerapan teknologi dalam pendidikan vokasional, khususnya di sekolah menengah kejuruan (SMK), masih terbatas. Banyak siswa menghadapi kesulitan dalam memahami konsep teknis karena kurangnya alat bantu pembelajaran yang interaktif dan relevan. Penelitian oleh Rasjid et al. (2024) menyoroti bahwa materi pengajaran inovatif, seperti yang memanfaatkan AI, dapat secara signifikan meningkatkan keterlibatan siswa dalam mata pelajaran teknis. Tinjauan sistematis tentang aplikasi ChatGPT juga menekankan potensinya untuk mengatasi tantangan pembelajaran di lingkungan vokasional dengan mendorong pemikiran kritis dan keterampilan praktis (Systematic Review, 2024). Temuan ini menggarisbawahi

perlunya mengintegrasikan solusi berbasis teknologi untuk meningkatkan pendidikan vokasional.

Kemampuan ChatGPT, khususnya versi GPT-4 dengan fitur visual (GPT-4V), dalam melakukan analisis warna telah menjadi objek penelitian empiris yang menunjukkan potensi signifikan dalam konteks aplikasi teknis maupun estetika. Studi Mukherjee et al. (2024) menemukan bahwa GPT-4 mampu membangun asosiasi warna-konsep yang konsisten dengan persepsi manusia, bahkan tanpa pelatihan tambahan, sehingga menunjukkan kecerdasan konseptual yang kuat. Penelitian lain oleh Abe et al. (2024) dan Wang et al. (2024) mengungkap bahwa GPT-4V cukup andal dalam mengenali pola visual dan grafik, meskipun masih memiliki keterbatasan dalam akurasi detail tertentu. Temuan ini relevan dengan pengembangan pembelajaran atau analisis teknis dalam bidang otomotif, misalnya pada interpretasi warna insulator busi sebagai indikator kondisi mesin. Integrasi GPT-4 sebagai asisten berbasis teks-visual dapat membuka peluang baru dalam pendidikan teknik dan diagnosis kendaraan. Namun, penerapannya tetap memerlukan dukungan data empiris dan pengujian lapangan guna menjamin keandalan hasil analisis warna dalam konteks praktis.

Pemanfaatan teknologi deteksi warna dalam pembelajaran otomotif di SMK masih sangat terbatas. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan perangkat deteksi warna berbasis aplikasi Android maupun mikrokontroler terbukti mampu meningkatkan akurasi dan konsistensi identifikasi warna pada berbagai bidang pendidikan dan industri (Hermida et al., 2019; Rani et al., 2019; Trunojoyo, 2021). Teknologi seperti Color Grab yang memanfaatkan sensor kamera

smartphone dapat memberikan informasi warna secara real-time yang lebih presisi dan objektif, serta mudah digunakan dalam lingkungan kelas. Integrasi teknologi ini dalam konteks pembelajaran diagnosis insulator busi masih jarang ditemukan.

Kesenjangan yang signifikan masih terjadi antara kompetensi lulusan SMK dengan tuntutan dunia industri, terutama dalam hal kemampuan diagnosis gangguan kendaraan secara presisi dan berbasis data. Kesenjangan ini diperparah oleh minimnya pemanfaatan media pembelajaran berbasis teknologi serta belum adanya standar acuan diagnosis yang terintegrasi dalam kurikulum secara optimal (Kurniawan, 2019; UNS, 2023). Dunia industri kini menuntut tenaga kerja yang tidak hanya terampil secara teknis, tetapi juga mampu menggunakan teknologi untuk menganalisis data dan membuat keputusan berbasis informasi objektif.

Data observasi ini memperjelas urgensi pengembangan model pembelajaran inovatif berbasis teknologi yang dapat meningkatkan akurasi diagnosis dan kompetensi siswa dalam menganalisis kondisi busi. Penggunaan aplikasi Color Grab yang dikombinasikan dengan analisis berbasis Artificial Intelligence melalui ChatGPT merupakan alternatif potensial untuk mengatasi keterbatasan subjektivitas dan meningkatkan efektivitas pembelajaran diagnosis kondisi mesin di bidang teknik otomotif. Dengan menggabungkan deteksi warna yang presisi dan analisis kontekstual berbasis AI, pendekatan ini diharapkan dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik dan efektif bagi siswa dalam program Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, beberapa masalah yang diidentifikasi adalah sebagai berikut:

- a. Kesulitan siswa dalam memahami dan menganalisis warna center insulator busi secara akurat untuk mendiagnosis kondisi mesin.
- b. Keterbatasan alat bantu pembelajaran yang interaktif dan berbasis teknologi pada kompetensi keahlian teknik otomotif yang dapat digunakan oleh Guru dalam proses pembelajaran.
- c. Subjektivitas dalam analisis warna busi secara manual yang dapat memengaruhi hasil diagnosis.
- d. Kurangnya pemanfaatan teknologi AI seperti ChatGPT dalam mendukung pembelajaran pemeliharaan mesin Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif) .
- e. Rendahnya keterlibatan siswa dalam mempelajari konsep dasar pemeliharaan mesin Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif) karena keterbatasan media pembelajaran digunakan oleh Guru.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, maka masalah penelitian dirumuskan sebagai berikut:

- a. Bagaimana penerapan aplikasi Color Grab berbasis Android sebagai media pengumpulan data gangguan komponen pada pembelajaran pemeliharaan mesin Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif)?
- b. Bagaimana proses analisis berbasis ChatGPT dalam mendukung pengumpulan informasi tentang gangguan insulator busi pada pembelajaran

pemeliharaan mesin Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif)?

- c. Sejauh mana penerapan aplikasi Color Grab dan analisis ChatGPT dapat meningkatkan keterampilan siswa pada pembelajaran pemeliharaan mesin Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif)?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk menerapkan aplikasi Color Grab berbasis Android sebagai media pengumpulan data gangguan komponen pada pembelajaran pemeliharaan mesin Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif).
- b. Untuk menentukan Langkah-langkah proses analisis berbasis ChatGPT dalam mendukung pengumpulan informasi tentang gangguan insulator busi pada pembelajaran pemeliharaan mesin Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif).
- c. Untuk menguraikan proses penerapan aplikasi Color Grab dan analisis ChatGPT sebagai media pembelajaran dalam meningkatkan keterampilan siswa pada pembelajaran pemeliharaan mesin Kompetensi Keahlian TKR dan TSM (Teknik Otomotif).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan untuk memperoleh manfaat, baik manfaat teoritis maupun manfaat praktis

1.5.1. Manfaat Teoretis:

- a. Menyumbang wawasan baru tentang pemanfaatan teknologi berbasis Android dan AI dalam pendidikan vokasional, khususnya pada pembelajaran diagnosis kondisi mesin.
- b. Memberikan referensi bagi penelitian selanjutnya terkait integrasi aplikasi deteksi warna dan AI dalam pendidikan teknik.

1.5.2. Manfaat Praktis:

- a. Memberikan alat bantu pembelajaran yang interaktif bagi siswa SMK untuk memahami diagnosis kondisi mesin.
- b. Membantu guru dalam mengembangkan metode pengajaran yang inovatif dan berbasis teknologi.
- c. Meningkatkan keterampilan siswa dalam menggunakan teknologi modern untuk analisis teknis, sehingga mempersiapkan mereka untuk dunia kerja yang semakin digital.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PIKIR DAN PENELITIAN RELEVAN

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1. Pentingnya Kompetensi

Kompetensi merupakan integrasi pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang mencerminkan kualitas personal maupun profesional individu dalam melaksanakan tugas secara efektif dan efisien. Secara umum, kompetensi terbagi atas kompetensi inti (*core competency*) seperti berpikir kritis dan kerja sama, kompetensi teknis (*technical competency*) berupa keterampilan spesifik sesuai bidang kerja, serta kompetensi perilaku (*behavioral competency*) yang berkaitan dengan etika dan sikap profesional. Dalam pendidikan kejuruan, khususnya SMK, penguatan kompetensi menjadi aspek penting untuk menjawab kebutuhan industri yang terus berkembang. Upaya ini menuntut kolaborasi berkelanjutan antara sekolah dan dunia usaha/industri melalui penyelarasan kurikulum dan pertukaran pengetahuan agar lulusan memiliki kompetensi yang kontekstual, aplikatif, dan sesuai tuntutan kerja (Setiawaty & Fahmi, 2022).

Kompetensi tidak hanya mencakup kemampuan teknis, tetapi merupakan integrasi dari pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang saling melengkapi. Pengetahuan (*knowledge*) menjadi dasar dalam pengambilan keputusan sesuai standar kerja, keterampilan (*skills*) mencakup *hard skills* maupun *soft skills* yang aplikatif dalam dunia kerja, sedangkan sikap (*attitude*) mencerminkan nilai, etos, dan profesionalisme individu. Kompetensi lulusan SMK sangat dipengaruhi oleh ekspektasi dunia industri sebagai pengguna utama tenaga kerja vokasional.

Menurut Maresti, Sovia, dan Novitri (2023), terdapat hubungan signifikan antara persepsi industri terhadap lulusan dan kualitas kompetensi yang dimiliki, baik hard skills maupun soft skills. Hal ini menegaskan pentingnya sinergi sekolah–industri dalam merumuskan kurikulum berbasis kebutuhan nyata agar lulusan memiliki pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang relevan, serta mampu menjawab tantangan dunia kerja secara kontekstual dan aplikatif.

Kompetensi memiliki peran sentral dalam dunia kerja, pendidikan, dan pengembangan diri, karena tidak hanya menentukan kualitas kinerja seseorang, tetapi juga menjadi fondasi keberhasilan di era persaingan global. Dalam konteks kerja, kompetensi meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan daya saing tenaga kerja; dalam pendidikan, penguatan kompetensi membentuk individu yang tidak hanya cerdas secara kognitif, tetapi juga tangguh secara mental dan terampil secara praktis; sedangkan dalam pengembangan diri, kompetensi menjadi bekal penting bagi kepercayaan diri, pengambilan keputusan, dan kesiapan menghadapi perubahan. Pada pendidikan vokasional, khususnya SMK, kompetensi siswa diperkuat melalui pembelajaran kontekstual, kewirausahaan, serta praktik kerja industri yang memberikan pengalaman nyata. Menurut Lukkita Aga, Nilam, dan Rony (2024), strategi ini tidak hanya membentuk pemahaman terhadap peluang karier, tetapi juga meningkatkan kepercayaan diri dan kesiapan siswa dalam menghadapi dunia kerja secara langsung, sehingga lulusan SMK memiliki keunggulan baik secara teknis maupun perilaku.

Pengembangan kompetensi merupakan proses berkelanjutan untuk meningkatkan kemampuan individu dalam menghadapi tuntutan kerja dan

dinamika lingkungan profesional melalui strategi formal maupun informal. Pendekatan yang umum digunakan meliputi pelatihan dan pendidikan, pengalaman kerja langsung, evaluasi dan umpan balik, serta pembelajaran mandiri, yang semuanya bertujuan membentuk tenaga kerja adaptif, produktif, dan relevan dengan kebutuhan zaman. Pada era industri 4.0, pengembangan kompetensi tidak cukup hanya menekankan aspek teknis, tetapi juga harus mencakup literasi digital, pemikiran kritis, serta kemampuan kolaboratif lintas disiplin. Anggiana dan Gunawan (2023) menegaskan bahwa kesiapan dan kelincahan SDM dalam mengelola transformasi digital menjadi kunci terciptanya keunggulan kompetitif yang berkelanjutan, sehingga investasi dalam pengembangan kompetensi merupakan keharusan bagi individu maupun organisasi dalam menghadapi perubahan cepat dan disrupsi teknologi.

Model kompetensi merupakan kerangka sistematis untuk mengidentifikasi, mengembangkan, dan mengukur kemampuan individu sesuai kebutuhan organisasi, sehingga berfungsi sebagai pedoman dalam rekrutmen, pelatihan, pengembangan karier, dan evaluasi kinerja. Model ini dapat berbasis standar industri, seperti yang ditetapkan BNSP, berbasis jabatan/organisasi sesuai analisis kebutuhan kerja, maupun melalui pengukuran bertingkat dari pemula hingga ahli. Kompetensi sumber daya manusia menjadi faktor strategis dalam meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan daya saing organisasi. Rizaludin, Daud, dan Dwi Astuti (2025) menegaskan bahwa penguatan kompetensi melalui pelatihan, penguasaan keterampilan teknis, dan soft skills tidak hanya meningkatkan efektivitas kerja, tetapi juga membentuk tenaga kerja yang adaptif dan kompetitif di pasar global.

Oleh karena itu, penerapan model kompetensi yang tepat bukan hanya sekadar instrumen manajerial, melainkan strategi utama dalam menciptakan keunggulan kompetitif berkelanjutan pada sektor industri yang dinamis.

Investasi dalam penguatan kompetensi sumber daya manusia (SDM) merupakan langkah strategis untuk memenangkan persaingan sekaligus menjaga keberlangsungan organisasi. Pengembangan kompetensi menjadi instrumen penting bagi peningkatan daya saing, meskipun dihadapkan pada tantangan besar berupa percepatan perubahan teknologi, kesenjangan keterampilan (skill gap), dan keterbatasan akses terhadap pelatihan berkualitas. Dalam konteks sistem alih daya (outsourcing), kompetensi menjadi faktor krusial karena perusahaan lebih memilih tenaga kerja yang efisien, terampil, dan profesional. Safitri et al. (2024) menunjukkan bahwa kompetensi individu berpengaruh langsung terhadap keberlangsungan hubungan kerja outsourcing, di mana tenaga kerja yang adaptif dan berkemampuan tinggi lebih mampu bertahan dalam pasar kerja yang fleksibel dan kompetitif. Dengan demikian, penguatan kompetensi tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga menjadi strategi utama bagi tenaga kerja untuk menjaga stabilitas dan keberlanjutan karier, terutama dalam sistem ketenagakerjaan non-permanen.

Mengatasi tantangan kompetensi di era digital memerlukan kolaborasi antara pemerintah, lembaga pendidikan, dan industri dalam menyediakan pelatihan yang relevan dan berkelanjutan. Revolusi industri 4.0 dengan hadirnya otomatisasi, kecerdasan buatan, big data, dan cloud computing menuntut SDM yang tidak hanya unggul secara teknis, tetapi juga memiliki literasi digital, kemampuan berpikir

kritis, kolaborasi lintas bidang, serta integritas profesional. Kompetensi multidisipliner ini sangat penting pada sektor yang membutuhkan akuntabilitas tinggi, seperti audit syariah, di mana seorang auditor harus menguasai keahlian teknis sekaligus prinsip syariah dan standar akuntansi keuangan syariah. Muhammad (2024) menegaskan bahwa tanpa kompetensi tersebut, proses audit berisiko menurunkan kredibilitas profesional dan kepercayaan publik. Dengan demikian, penguatan kompetensi di era digital bukan sekadar penguasaan teknologi, tetapi juga upaya menjaga kualitas, kredibilitas, dan relevansi profesionalisme dalam menghadapi dinamika perubahan yang kompleks.

2.1.2. Pentingnya Kompetensi Lulusan SMK

Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) berperan strategis dalam menyiapkan tenaga kerja kompeten sesuai kebutuhan industri, sehingga lulusan dituntut tidak hanya menguasai keterampilan teknis, tetapi juga adaptif terhadap perkembangan teknologi dan inovatif menghadapi tantangan abad ke-21. Di era Pendidikan 4.0, tantangan SMK meliputi penyesuaian kurikulum, metode pembelajaran, dan manajemen sekolah berbasis digital, yang menuntut kepemimpinan visioner untuk mendorong reformasi pendidikan vokasi melalui integrasi teknologi, peningkatan kapasitas guru, serta penguatan kemitraan dengan dunia usaha dan industri (Harahap et al., 2025). Kompetensi lulusan SMK mencakup keterampilan teknis spesifik sesuai bidang keahlian—seperti teknik otomotif, mesin, tata boga, akuntansi, atau rekayasa perangkat lunak—serta keterampilan non-teknis (soft skills) berupa komunikasi, kerja sama tim, disiplin, etika kerja, kreativitas, dan kepemimpinan. Kompetensi tersebut disusun berdasarkan Standar Kompetensi

Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) dengan penyesuaian kebutuhan industri agar bersifat kontekstual dan aplikatif, sehingga lulusan siap memasuki dunia kerja modern dengan keunggulan teknis sekaligus perilaku profesional.

Kompetensi lulusan SMK ditentukan oleh sinergi antara sekolah dan dunia industri melalui kolaborasi strategis yang menjembatani kesenjangan antara kemampuan lulusan dan kebutuhan pasar kerja. Setiawaty dan Fahmi (2022) menegaskan bahwa program magang, *teaching factory*, kunjungan industri, dan kurikulum berbasis industri menjadi instrumen penting untuk transfer pengetahuan, keterampilan, dan informasi secara langsung dari industri ke sekolah. Dengan demikian, kompetensi lulusan SMK tidak hanya mencakup aspek teknis sesuai bidang keahlian, tetapi juga keterampilan non-teknis seperti komunikasi, kerja sama tim, disiplin, dan etika kerja, sebagaimana diamanatkan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI). Hal ini menunjukkan bahwa kualitas lulusan sangat dipengaruhi oleh sejauh mana sekolah mampu menjalin kemitraan produktif dengan dunia usaha dan dunia industri, sehingga lulusan memiliki kompetensi yang relevan, kontekstual, dan aplikatif sesuai tuntutan nyata lapangan kerja.

Penguatan kompetensi lulusan SMK memberikan manfaat signifikan bagi lulusan, industri, dan masyarakat, karena tidak hanya membuka peluang kerja dan pengembangan karier yang berkelanjutan, tetapi juga mendukung peningkatan produktivitas, efisiensi, serta kualitas produk dan layanan yang berdampak pada pertumbuhan ekonomi. Salah satu strategi efektif adalah penerapan *Teaching Factory*, yaitu model pembelajaran yang mengintegrasikan pendidikan dengan praktik kerja industri sehingga siswa memperoleh keterampilan teknis sekaligus

karakter kerja seperti kedisiplinan, tanggung jawab, dan kerja sama tim (Asy'ari, Fawaid, & Abdillah, 2025). Model ini terbukti mampu menjembatani kesenjangan antara sekolah dan dunia usaha/industri dengan menyediakan pengalaman belajar yang kontekstual dan aplikatif. Namun, pencapaian kompetensi ideal lulusan SMK masih dihadapkan pada sejumlah tantangan, antara lain kesenjangan kurikulum dengan kebutuhan nyata industri, keterbatasan fasilitas praktik, minimnya pelatihan *soft skills*, serta lemahnya kolaborasi dengan dunia usaha dan industri, sehingga lulusan sering kali menghadapi hambatan saat memasuki pasar kerja.

Pelaksanaan Kurikulum Merdeka di SMK menjadi strategi penting untuk mengatasi tantangan kompetensi lulusan melalui pendekatan fleksibel dan berbasis proyek yang memungkinkan adaptasi terhadap perkembangan industri (Prasetyani, Kurniawati, dan Purnamasari, 2024). Menghadapi Revolusi Industri 4.0, peningkatan kompetensi lulusan SMK memerlukan sinkronisasi kurikulum dengan dunia industri, investasi fasilitas modern, serta pengembangan *soft skills* seperti komunikasi dan adaptabilitas. Sugiarto et al. (2022) menegaskan bahwa lulusan SMK harus menguasai teknologi berbasis Internet of Things (IoT) dan otomasi melalui pembelajaran integratif yang menggabungkan teori dan praktik, sehingga menghasilkan lulusan dengan keahlian teknis kuat dan siap menghadapi tantangan era digital yang kompetitif.

Keberhasilan lulusan SMK dalam memasuki dunia kerja dan menciptakan lapangan kerja sendiri membuktikan pentingnya pengembangan kompetensi yang relevan dan kontekstual, seperti terlihat pada lulusan Teknik Otomotif yang bekerja di bengkel resmi atau membuka usaha mandiri melalui penerapan program *link and*

match antara SMK dan industri. Sugiarto et al. (2022) menekankan bahwa kompetensi lulusan SMK sebagai faktor kunci dalam menciptakan tenaga kerja terampil untuk menghadapi Revolusi Industri 4.0 tidak hanya mencakup penguasaan teknologi mutakhir, tetapi juga keterampilan abad ke-21 seperti literasi digital, kolaborasi, komunikasi, dan pemecahan masalah. Oleh karena itu, pemerintah dan sekolah perlu memperkuat kemitraan strategis dengan industri serta melakukan investasi pada peningkatan fasilitas praktik, pelatihan guru, dan integrasi *soft skills* ke dalam kurikulum untuk memastikan lulusan siap bersaing di dunia kerja modern yang kompleks dan dinamis.

2.1.3. Kompetensi Keahlian Teknik Otomotif

Kompetensi keahlian Teknik Otomotif bidang sepeda motor merupakan program unggulan SMK yang dirancang untuk menyiapkan tenaga kerja terampil di industri otomotif melalui pembekalan pengetahuan dan keterampilan dalam merawat, memperbaiki, serta mengelola sistem kendaraan bermotor, termasuk sistem mesin, pengapian, bahan bakar, induksi udara, dan komponen vital seperti busi. Sugiarto et al. (2022) menekankan bahwa penguasaan materi dasar otomotif seperti sistem pembakaran, transmisi, rem, kemudi, dan kelistrikan merupakan fondasi utama sebelum siswa memahami teknologi tingkat lanjut pada era Revolusi Industri 4.0, sehingga penguatan kompetensi dasar menjadi langkah strategis untuk mempersiapkan siswa menghadapi tantangan teknologi modern, termasuk otomasi, sistem berbasis komputer, dan Internet of Things (IoT), yang memungkinkan lulusan beradaptasi lebih cepat terhadap inovasi industri otomotif yang semakin kompleks dan digital.

(1) Engine

Mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) merupakan sistem yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran di dalam ruang bakar berdasarkan siklus termodinamika, seperti siklus Otto pada mesin bensin dan siklus Diesel pada mesin diesel yang terdiri dari empat tahap utama: hisap, kompresi, pembakaran-kerja, dan buang (Pulkrabek, 2004; Çengel & Boles, 2015). Komponen utama mesin meliputi blok silinder sebagai kerangka utama tempat pembakaran, piston yang mengubah tekanan hasil pembakaran menjadi gerakan linier, connecting rod dan crankshaft yang mengubah gerak linier menjadi rotasi, serta sistem katup, pelumasan, pendinginan, dan pengapian yang mendukung kinerja optimal mesin (Honda Engines, 2023; BMW Group, 2022). Teknologi modern seperti *Variable Valve Timing* (VVT-i) pada Toyota dan *Valvetronic* pada BMW telah meningkatkan efisiensi pembakaran dan kinerja mesin, sementara sistem pelumasan, pendinginan, dan pengapian memastikan mesin beroperasi dalam kondisi optimal dengan mengurangi gesekan, menjaga suhu kerja, dan menghasilkan percikan api yang memulai proses pembakaran (Toyota Global, 2023; Pulkrabek, 2004).

Kinerja mesin diukur melalui daya keluaran dan torsi yang dipengaruhi oleh rasio kompresi, desain ruang bakar, kecepatan putaran mesin, serta teknologi modern seperti turbocharger dan sistem injeksi langsung, dengan penggunaan material ringan dan pelapisan silinder berteknologi tinggi berkontribusi meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi

(Çengel & Boles, 2015; BMW Group, 2022; Toyota Global, 2023). Saragi dan Purba (2021) menekankan bahwa sinkronisasi antara katup dan mekanisme penggerakannya sangat menentukan efisiensi pembakaran, karena kesalahan pengaturan waktu dapat menyebabkan gangguan siklus kerja, penurunan tenaga, dan peningkatan konsumsi bahan bakar. Dalam pembelajaran teknik otomotif, siswa SMK harus menguasai prinsip kerja empat langkah mesin bensin serta kemampuan melakukan perawatan rutin seperti *tune-up*, pemeriksaan sistem pelumasan, penyetelan katup, pengukuran kompresi, dan diagnosis gejala kerusakan seperti *knocking*, *overheating*, atau konsumsi bahan bakar berlebih untuk menjaga performa optimal mesin dan mencegah kerusakan dini.

Saripuddin et al. (2023) menegaskan bahwa pemahaman karakteristik dan fungsi komponen seperti piston, crankshaft, camshaft, dan valve sangat berpengaruh dalam proses diagnosis dan perbaikan mesin, dimana penggunaan *camshaft racing* dapat meningkatkan performa namun memerlukan penyetelan valve yang presisi untuk mencegah *valve floating* atau kegagalan sistem katup. Penguasaan kompetensi sistem mesin tidak hanya ditentukan kemampuan teknis dan pengetahuan teoritis, tetapi juga sikap kerja yang teliti dan disiplin dalam menjalankan prosedur pemeriksaan untuk mencegah kesalahan serius, seperti dalam mendiagnosis gangguan *misfire*, kehilangan tenaga, atau suara mesin kasar yang memerlukan analisis menyeluruh hubungan antar komponen. Darwis dan Ramli (2024) menekankan bahwa kesalahan memilih jenis busi yang tidak sesuai dapat menimbulkan detonasi atau *knocking* yang merusak

piston dan katup, sehingga siswa perlu dibekali sikap hati-hati, taat prosedur keselamatan kerja, dan kesadaran evaluasi berbasis data performa mesin seperti torsi, efisiensi bahan bakar, dan suhu kerja sebagai modal penting dalam meniti karier di industri otomotif yang menuntut ketepatan, akurasi, dan tanggung jawab tinggi.

(2) Sistem Pengapian

Sistem pengapian merupakan komponen penting mesin bensin yang berfungsi menghasilkan percikan api pada waktu tepat untuk membakar campuran udara dan bahan bakar di ruang bakar, terbagi menjadi sistem pengapian konvensional, elektronik (CDI/TCI), dan tanpa distributor dengan prinsip kerja mengubah energi listrik bertegangan rendah menjadi tegangan tinggi yang menciptakan loncatan api pada celah busi. Percikan terjadi tepat sebelum piston mencapai Titik Mati Atas pada akhir langkah kompresi (10° - 30° sebelum TMA) selaras dengan siklus Otto, dimana sinkronisasi waktu pengapian sangat penting untuk efisiensi mesin dan disesuaikan dengan RPM, beban, serta kondisi lingkungan (Pulkrabek, 2004; Çengel & Boles, 2015). Sistem pengapian modern memanfaatkan prinsip elektromagnetisme melalui induksi mutual pada koil yang menghasilkan tegangan 20.000-30.000 volt, dikendalikan oleh Engine Control Unit (ECU) untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi, dengan komponen utama meliputi koil pengapian, busi, modul pengapian, kabel tegangan tinggi, serta sensor seperti pickup coil atau crankshaft position sensor yang berperan spesifik dalam

memastikan proses pembakaran optimal (Honda Engines, 2023; Toyota Global, 2023).

Sistem pengapian dapat dibagi berdasarkan sumber dan distribusi percikan api menjadi empat jenis: Magneto yang memanfaatkan magnet permanen tanpa memerlukan baterai dan umum pada mesin kecil, Distributor-based ignition yang menggunakan satu coil dan distributor untuk menyalurkan percikan ke setiap silinder pada mesin generasi lama, Electronic ignition atau Coil-on-Plug (COP) dimana setiap silinder memiliki coil sendiri yang dikontrol ECU seperti sistem *twin spark plug* Ford pada mesin 2.0L/2.3L SOHC, dan FADEC yang mengintegrasikan pengapian dan injeksi bahan bakar secara otomatis berdasarkan masukan sensor (Ford Corporate, 2022; Briggs & Stratton, 2023). Sistem pengapian yang telah berevolusi sejak Mercedes-Benz memelopori penggunaan magneto pada tahun 1886 terdiri dari komponen utama meliputi ignition coil yang mengubah tegangan 12 volt menjadi 20.000-30.000 volt melalui lilitan primer dan sekunder, spark plug dengan celah 0,6-0,8 mm, distributor atau camshaft position sensor, flywheel dengan magnet pada sistem magneto, ECU dan sensor untuk memantau parameter mesin, serta ignition switch dan stop switch yang mengontrol arus pengapian (BMW Group, 2022; Denso, 2023; Toyota Technical, 2023).

Purnawan dan Kurniawan (2023) menekankan bahwa keberhasilan pembakaran bergantung pada kekuatan dan ketepatan percikan api dari busi, yang dapat diindikasikan dari warna center insulator busi: coklat muda menunjukkan pembakaran ideal, sedangkan hitam atau putih menandakan

gangguan seperti campuran bahan bakar tidak seimbang atau waktu pengapian tidak tepat. Gangguan sistem pengapian dapat menyebabkan mesin sulit dihidupkan, mati mendadak, atau kehilangan tenaga akibat masalah seperti coil rusak, patahnya *flywheel key*, celah armature salah (0,006-0,014 inci), busi kotor (*fouling*), timing pengapian salah, atau kerusakan ECU dan *ignition module*, yang memerlukan perawatan preventif meliputi penggantian busi setiap 100 jam operasi dan penggunaan bahan bakar berkualitas (Briggs & Stratton, 2023; Idolz, 2023). Keterampilan menangani sistem pengapian menjadi aspek penting kompetensi teknik otomotif bagi siswa SMK yang dituntut mampu melakukan pemeriksaan, penggantian, penyetelan komponen, dan menyetel waktu pengapian (*ignition timing*) secara presisi menggunakan alat seperti timing light, multimeter, dan spark tester untuk mencegah gejala *misfire*, sulit start, atau tenaga mesin tidak optimal.

Widodo dan Surjadi (2015) menegaskan bahwa gangguan sistem pengapian konvensional sering disebabkan celah busi tidak tepat, resistansi kabel tinggi, atau kerusakan koil, sehingga siswa perlu menguasai teknik diagnostik sistematis seperti pengujian tegangan, pemeriksaan kontinuitas, dan interpretasi kondisi fisik busi untuk mengidentifikasi akar masalah dan melakukan perbaikan sesuai standar industri. Dalam praktik sistem pengapian, sikap hati-hati menjadi aspek esensial saat menangani komponen bertegangan tinggi seperti koil pengapian dan busi yang menyimpan arus ribuan volt, sehingga siswa harus dilatih mematikan sumber daya listrik, menggunakan alat bantu isolatif, dan mematuhi prosedur keselamatan kerja. Kustiawan dan

Sarjito (2016) menyoroti pentingnya ketelitian dalam mengevaluasi komponen sistem pengapian, terutama memilih jenis busi sesuai nilai panas, desain elektroda, dan material seperti iridium atau platinum yang memengaruhi kualitas percikan api dan efisiensi pembakaran, karena pemilihan tidak tepat berisiko menimbulkan overheat atau misfire, sehingga siswa harus menunjukkan sikap profesional, bertanggung jawab, dan teliti sebagai dasar membentuk lulusan SMK yang kompeten secara teknis sekaligus andal dan aman dalam praktik kerja otomotif.

(3) Sistem Bahan Bakar.

Sistem bahan bakar memiliki peran vital memastikan campuran bahan bakar dan udara yang tepat masuk ke ruang bakar untuk pembakaran efisien, meliputi sistem karburator, Electronic Fuel Injection (EFI), dan sistem diesel yang bertugas menyediakan campuran udara-bensin dengan rasio ideal sekitar 14,7:1 untuk pembakaran stoikiometrik selama siklus Otto (Briggs & Stratton, 2023; Wikipedia, 2025a). Sistem ini mengatomisasi bensin menjadi butiran halus dan mencampurnya dengan udara menggunakan prinsip hukum Bernoulli pada karburator dan sistem injeksi berbasis tekanan pada EFI, dimana Electronic Control Unit (ECU) mengatur aliran bahan bakar berdasarkan data sensor untuk beradaptasi terhadap beban mesin, RPM, dan kondisi lingkungan (Ford Performance Parts, 2023a; Wikipedia, 2025b). Teknologi sistem bahan bakar telah berevolusi dari karburator sederhana menuju Gasoline Direct Injection (GDI) yang meningkatkan efisiensi hingga 20% dan mengurangi emisi NO_x, dengan penerapan pada Honda seri GX, Toyota yang

mengombinasikan VVT-i dengan EFI, Ford dengan teknologi twin spark, dan Mercedes-Benz yang mempelopori injeksi mekanis sejak 1954 hingga mengembangkan GDI modern (LinkedIn, 2014; Honda Engines, 2023a; Mercedes-Benz, 2023).

Jenis sistem bahan bakar pada mesin bensin 4-tak terbagi menjadi tiga kategori utama: karburator yang bekerja memanfaatkan kevakuman untuk menyedot bensin dan mencampurnya dengan udara melalui venturi namun kurang efisien saat beban bervariasi, injeksi bahan bakar yang terdiri dari Manifold Injection (MPI) dan Direct Injection (GDI) dimana MPI menyuntikkan bensin ke intake manifold sedangkan GDI menyembrotkan langsung ke silinder dengan efisiensi termal hingga 35%, serta EFI digital yang dikendalikan ECU seperti Bosch L-Jetronic dengan injeksi intermiten berdasarkan data sensor (Honda Engines, 2023a; Wikipedia, 2025b; Ford Performance Parts, 2023a). Komponen utama sistem meliputi tangki bahan bakar untuk menyimpan bensin oktan minimal 87 dengan etanol maksimal 10%, pompa bahan bakar mekanis atau elektrik dengan tekanan 3-7 psi untuk karburator dan 30-60 psi untuk injeksi, filter bahan bakar, karburator atau injektor, throttle body, sensor seperti O₂ dan MAF yang mengirim data ke ECU, serta regulator tekanan untuk menjaga tekanan stabil, yang memerlukan perawatan khusus termasuk penggunaan fuel stabilizer untuk mencegah degradasi bahan bakar (Briggs & Stratton, 2023a; Honda Engines, 2023c; Ford Performance Parts, 2023b).

Masalah umum sistem bahan bakar meliputi bahan bakar basi akibat penyimpanan lebih dari 30 hari, filter tersumbat, tekanan pompa rendah, atau karburator kotor yang menimbulkan gejala mesin sulit dinyalakan, tenaga menurun, emisi tinggi, overheat, dan mesin mati mendadak, yang dapat diatasi melalui pengujian tekanan bahan bakar, pembersihan komponen, penggantian injektor, atau penyesuaian ECU dengan pencegahan menggunakan bahan bakar segar, mengganti filter setiap 50 jam, dan menyesuaikan jet karburator untuk operasi ketinggian tinggi (Honda Engines, 2023e; Briggs & Stratton, 2023b). Mukmin, Farid, dan Finahari (2012) menunjukkan bahwa efisiensi sistem bahan bakar bergantung pada kondisi mekanis dan kualitas bahan bakar termasuk nilai oktan, dimana penambahan octane booster dapat meningkatkan daya dan mengurangi konsumsi bahan bakar jika disesuaikan dengan desain ruang bakar dan pengaturan katup, sehingga penguasaan sistem bahan bakar di SMK perlu mencakup pengetahuan lintas disiplin seperti termodinamika, tekanan kerja, dan teknologi injeksi modern. Keterampilan teknis yang harus dikuasai siswa SMK meliputi membersihkan atau mengganti filter bahan bakar, perawatan dan pembersihan injektor, menyetel rasio campuran udara-bahan bakar, mendiagnosis gangguan seperti kebocoran jalur bahan bakar atau kerusakan injektor, yang dapat dilatihkan melalui simulasi praktik tune-up menggunakan alat ukur seperti fuel pressure gauge dan multimeter.

Maridjo, Yuliyani, dan Angga (2019) menunjukkan bahwa efisiensi sistem bahan bakar bergantung pada kesesuaian antara jenis bahan bakar dan kondisi teknis sistem, dimana Pertamina dengan nilai oktan tinggi

menghasilkan pembakaran lebih sempurna, performa responsif, dan konsumsi irit dibandingkan Premium dan Pertalite, namun hasil maksimal hanya dicapai jika sistem bahan bakar optimal termasuk kebersihan injektor dan presisi pengabutan. Sikap profesional dalam praktik sistem bahan bakar sangat penting untuk menjamin keselamatan kerja dan kualitas perawatan, terutama kepatuhan standar keselamatan saat menangani bahan bakar mudah terbakar dan sistem bertekanan tinggi melalui penggunaan APD, ventilasi baik, dan prosedur pemutusan arus listrik sebelum bekerja pada sistem injeksi untuk mencegah risiko kebakaran atau ledakan. Sulistyono, Sentanuhady, dan Susanto (2009) menekankan bahwa penggunaan campuran bahan bakar seperti etanol menuntut sistem dalam kondisi prima karena ketidaksesuaian dapat merusak sensor atau ketidakseimbangan campuran, sementara Sudono (2021) menekankan pentingnya presisi sistem injeksi untuk distribusi pembakaran stabil dan efisien, sehingga sikap hati-hati, teliti, dan berorientasi keakuratan teknis menjadi kunci keberhasilan praktik sistem bahan bakar berbasis teknologi modern.

2.1.4. Busi dan Kondisinya

Busi berfungsi sebagai komponen kunci dalam sistem pengapian mesin bensin empat langkah, bertanggung jawab untuk menghasilkan percikan api guna memicu pembakaran campuran udara-bahan bakar di ruang bakar. Efektivitas pembakarannya dipengaruhi oleh beberapa faktor kritis meliputi: (1) desain elektroda, (2) material penyusun (nikel, iridium, platinum), dan (3) kerenggangan celah elektroda - di mana penyimpangan dari spesifikasi pabrikan dapat

menyebabkan pembakaran tidak sempurna, penurunan efisiensi bahan bakar, reduksi daya mesin, dan peningkatan emisi (Machmud & Irawan, 2011). Warna center insulator berperan sebagai indikator diagnostik utama, dengan variasi warna menunjukkan kondisi operasional mesin: cokelat muda/abu-abu (normal), putih pucat (campuran terlalu miskin/overheating), atau hitam berjelaga (campuran terlalu kaya/filter udara kotor) (Briggs & Stratton, 2023; Honda Engines, 2023). Sistem pendukung seperti kabel busi dan koil pengapian berperan dalam menjaga stabilitas tegangan, sementara busi material premium (iridium/platinum) menawarkan performa lebih unggul pada kondisi ekstrim.

Dalam konteks pembelajaran SMK, penguasaan teknik inspeksi busi meliputi:

- (1) Identifikasi gejala kerusakan (karbonisasi, keausan elektroda)
- (2) Analisis warna insulator
- (3) Penyetelan celah elektroda presisi
- (4) Pemilihan jenis busi sesuai spesifikasi mesin

Penelitian menunjukkan bahwa kompatibilitas busi-bahan bakar merupakan faktor kritis, dimana ketidaksesuaian (misal busi standar dengan Pertalite) dapat memicu detonasi dini dan penurunan performa (Darwis & Ramli, 2024), sebaliknya kombinasi optimal mampu meningkatkan efisiensi hingga 12-15% (Sugiyanto, 2014). Kompetensi ini tidak hanya mencakup aspek teknis namun juga pemahaman holistik tentang interaksi sistem pengapian dengan parameter operasional mesin.

Pemilihan busi yang tepat memerlukan pertimbangan menyeluruh terhadap parameter teknis seperti nilai panas (heat range), desain elektroda, dan kompatibilitasnya dengan jenis bahan bakar serta spesifikasi mesin. Kompetensi ini menjadi fundamental bagi siswa SMK dalam melakukan diagnosis, perawatan, dan modifikasi sistem pengapian secara profesional. Analisis warna center insulator busi berperan sebagai indikator diagnostik primer, di mana menurut Harjanto et al. (2023) variasi warna mencerminkan kondisi pembakaran: coklat muda (ideal), putih (campuran miskin/overheating), atau hitam pekat (campuran kaya/pembakaran tidak sempurna).

Faktor sistem pengapian turut memengaruhi kondisi busi, sebagaimana dijelaskan Purnawan & Kurniawan (2023) bahwa performa koil, kabel tegangan tinggi, dan busi secara sinergis menentukan kualitas percikan api. Penelitian Wijanarko et al. (2023) memperkuat temuan ini dengan menunjukkan bahwa konduktivitas kabel tegangan tinggi yang buruk dapat menyebabkan percikan lemah dan perubahan warna insulator. Dalam konteks pembelajaran, Hartanto (2023) menekankan pentingnya pendekatan berbasis kebutuhan industri dengan melatih siswa menginterpretasi warna busi sebagai bagian dari prosedur *tune-up* sepeda motor 4-tak.

Pengintegrasian teknologi seperti Color Grab dan ChatGPT (Harjanto et al., 2023; Purnawan & Kurniawan, 2023) memperkaya metode diagnostik melalui analisis warna objektif berbasis RGB dan penjelasan kontekstual berbasis AI. Namun, efektivitasnya tetap bergantung pada pemahaman dasar siswa mengenai

prinsip kelistrikan dan sistem pembakaran, yang menjadi fondasi esensial dalam pendidikan otomotif yang berorientasi pada standar industri.

2.1.5. Aplikasi Color Grab

Integrasi analisis warna berbasis nilai RGB telah terbukti efektif dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan vokasional otomotif. Penelitian Suryatama Jaya Putra (2023) menunjukkan bahwa metode K-Nearest Neighbor (KNN) dapat digunakan untuk mengklasifikasikan warna insulator busi sebagai parameter kuantitatif dalam menilai kondisi pembakaran mesin, mirip dengan pendekatan yang berhasil diterapkan pada deteksi kematangan buah jeruk Medan. Dukungan teknologi semakin kuat dengan penelitian Juwairiah et al. (2024) yang memanfaatkan aplikasi Colorimeter berbasis Android untuk mengonversi nilai RGB menjadi identifikasi warna secara real-time, memungkinkan siswa SMK menganalisis insulator busi secara lebih objektif sekaligus melatih keterampilan diagnostik berbasis digital. Lebih lanjut, Toyib (2023) mengungkap potensi pengolahan citra digital dan robotik dalam sistem deteksi otomatis yang tidak hanya mampu menganalisis warna insulator secara real-time tetapi juga mengintegrasikan notifikasi berbasis SMS, memperkenalkan siswa pada konsep Internet of Things (IoT) dan otomatisasi industri. Temuan-temuan ini secara kolektif menegaskan bahwa penerapan teknologi analisis warna digital dalam pembelajaran SMK tidak hanya meningkatkan akurasi diagnosis kondisi mesin tetapi juga membekali siswa dengan kompetensi digital yang selaras dengan tuntutan industri otomotif modern.

Integrasi teknologi pengolahan citra digital dan kecerdasan buatan dalam pembelajaran otomotif SMK telah menunjukkan perkembangan signifikan, dengan berbagai penelitian mendukung efektivitas pendekatan berbasis warna untuk analisis diagnostik. Baharuddin et al. (2025) membuktikan bahwa algoritma Single Shot MultiBox Detector (SSD) dengan analisis spektrum RGB dan YCbCr mampu melakukan identifikasi objek secara akurat, termasuk dalam konteks deteksi kebakaran - prinsip yang dapat diadaptasi untuk menganalisis warna insulator busi secara presisi menggunakan aplikasi Color Grab. Penelitian Juandri dan Anwar (2024) memperkuat temuan ini dengan menunjukkan bahwa Deep Neural Network dapat menginterpretasikan warna insulator busi secara akurat untuk mengevaluasi kondisi pembakaran mesin, termasuk parameter seperti campuran bahan bakar dan efisiensi pembakaran. Dukungan lebih lanjut datang dari penelitian Suryatama Jaya Putra (2023) tentang klasifikasi warna berbasis KNN, Juwairiah et al. (2024) mengenai akurasi Colorimeter berbasis smartphone, serta Toyib (2023) yang mengkaji potensi sistem robotik berbasis citra digital. Kombinasi antara Color Grab untuk analisis warna presisi dan ChatGPT untuk interpretasi kontekstual menciptakan pendekatan pembelajaran hybrid yang tidak hanya meningkatkan kemampuan diagnostik siswa dalam menganalisis kondisi mesin, tetapi juga mengembangkan literasi digital dan pemahaman tentang teknologi terkini seperti computer vision dan deep learning. Implementasi ini secara komprehensif menjembatani kesenjangan antara pendidikan vokasional dengan kebutuhan industri otomotif modern, sekaligus membekali siswa dengan kompetensi teknis dan digital yang diperlukan di era Industri 4.0.

2.1.6. Aplikasi Chat GPT

Pemanfaatan ChatGPT sebagai representasi teknologi Large Language Model (LLM) menunjukkan kapabilitas luar biasa dalam memahami, mengolah, dan merespons berbagai kebutuhan pengguna dari tugas akademik hingga analisis teknis, dimana Sulianta (2024) menegaskan bahwa ChatGPT mampu mengintegrasikan berbagai sumber pengetahuan dan konteks input untuk menghasilkan keluaran relevan, akurat, dan sesuai kebutuhan, sehingga dalam pembelajaran otomotif SMK dapat dijadikan mitra digital yang menganalisis data deskriptif hasil observasi dan memberikan interpretasi teknis, solusi perbaikan, serta penjelasan konseptual mendalam untuk diagnosis kondisi mesin berdasarkan warna insulator busi. Pratiwi, Partono, dan Suherman (2024) membuktikan kemampuan ChatGPT menganalisis materi pembelajaran dengan tingkat akurasi tinggi dan relevansi kuat, dimana prinsip yang sama dapat diterapkan dalam pembelajaran teknik otomotif dengan memasukkan deskripsi warna yang terdeteksi (putih, coklat muda, atau hitam) untuk mendapat penalaran teknis sistematis, penjelasan penyebab kondisi seperti campuran bahan bakar terlalu miskin atau kaya, dan saran tindakan korektif yang sesuai. Utami et al. (2024) mengungkapkan bahwa ChatGPT membantu guru menyusun instrumen pembelajaran berbasis taksonomi Bloom dengan lebih cepat sesuai level kognitif yang diinginkan, sehingga dalam konteks pembelajaran otomotif dapat dimanfaatkan tidak hanya untuk diagnosis teknis kondisi busi berdasarkan warna insulator tetapi juga membantu guru menyusun instrumen asesmen terkait pemahaman sistem

pembakaran dan prinsip kerja mesin, berfungsi ganda sebagai asisten teknis diagnosis dan pendukung pedagogis dalam perancangan evaluasi pembelajaran.

Kemampuan ChatGPT versi 3.5 dan 4.0 dalam menjawab pertanyaan medis menunjukkan peningkatan signifikan dalam akurasi, kedalaman analisis, dan relevansi jawaban yang dapat diterapkan dalam pendidikan otomotif untuk menganalisis kondisi mesin berdasarkan input visual atau deskriptif seperti warna insulator busi, dengan kemampuan memproses informasi kompleks dan memberikan respons berbasis penalaran teknis untuk mendukung siswa memahami hubungan antara warna busi dan kondisi pembakaran mesin serta memberikan saran diagnostik yang sesuai (Atmojo et al., 2025). Annas et al. (2024) menjelaskan bahwa ChatGPT dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu intelektual yang mengolah input teks atau deskripsi teknis menjadi penjelasan diagnostik relevan dan mudah dipahami, sehingga dalam konteks SMK siswa dapat memasukkan hasil pengamatan warna busi (coklat muda, putih keabu-abuan, atau hitam legam) untuk memperoleh interpretasi kondisi pembakaran, kemungkinan gangguan mesin, dan saran tindakan perbaikan sebagai pendamping praktik analitis yang memperkaya pembelajaran berbasis teknologi. Penerapan ChatGPT sebagai fondasi analitis didukung penelitian tentang kemampuannya mengolah deskripsi warna menjadi penjelasan diagnostik informatif (Annas et al., 2024), akurasi dalam menguraikan materi teknis (Pratiwi, Partono, dan Suherman, 2024), peran dalam menyusun instrumen pembelajaran sistem pembakaran (Utami et al., 2024), fleksibilitas menganalisis input beragam (Sulianta, 2024), dan peningkatan akurasi versi terbaru (Atmojo et al., 2025), sehingga integrasi Color Grab untuk identifikasi warna

presisi dan ChatGPT untuk analisis kontekstual serta solusi perbaikan memungkinkan siswa memahami hubungan warna busi, kondisi pembakaran, dan performa mesin secara mendalam sebagai fondasi membekali kompetensi teknis dan literasi teknologi yang menjembatani kesenjangan pendidikan vokasional dengan kebutuhan industri otomotif modern.

2.2 Kerangka Pikir

Kompetensi merupakan integrasi pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang mendasari kemampuan individu dalam menjalankan tugas secara efektif, baik di lingkungan kerja maupun pembelajaran. Dalam konteks pendidikan vokasional, khususnya SMK, penguatan kompetensi menjadi kunci dalam menjembatani kesenjangan antara lulusan dan kebutuhan dunia industri yang terus berkembang, mencakup aspek teknis, perilaku kerja, berpikir kritis, dan literasi digital, yang dibentuk melalui pembelajaran kontekstual, praktik kerja industri, dan kolaborasi dengan dunia usaha. Model kompetensi di dunia kerja disusun berdasarkan kebutuhan spesifik jabatan dan bidang industri, sehingga pengembangannya menuntut sistem yang adaptif terhadap kemajuan teknologi dan perubahan pola kerja global, termasuk otomasi dan digitalisasi.

Kompetensi menjadi indikator utama dalam penentuan karier, peningkatan produktivitas, dan daya saing tenaga kerja, terutama di era Revolusi Industri 4.0. Oleh karena itu, penguatan kompetensi lulusan bukan hanya agenda institusi pendidikan, tetapi juga strategi nasional dalam mencetak SDM unggul yang relevan dengan tantangan global. SMK memiliki mandat strategis untuk menghasilkan lulusan dengan kompetensi teknis spesifik, kemampuan adaptasi teknologi, etos

kerja profesional, hard skills sesuai bidang keahlian, soft skills untuk kolaborasi interprofesional, serta mindset entrepreneurial yang mendukung inovasi. Namun, implementasi pendidikan vokasional masih menghadapi tantangan sistemik, seperti kesenjangan kurikulum dengan kebutuhan industri, keterbatasan infrastruktur praktik yang representatif terhadap kondisi industri, dan minimnya integrasi teknologi digital dalam proses pembelajaran.

Optimalisasi pendidikan vokasional yang relevan, berbagai strategi inovatif telah diterapkan, termasuk model Teaching Factory, Kurikulum Merdeka, program magang industri, sistem sertifikasi kompetensi, dan integrasi platform digital, khususnya pada bidang Teknik dan Bisnis Sepeda Motor (TBSM) yang menuntut pendekatan pembelajaran terintegrasi antara teori, praktik, dan sikap profesional. Salah satu fokus pembelajaran adalah analisis kondisi busi melalui interpretasi warna insulator sebagai metode diagnostik sistem pengapian, di mana warna insulator (coklat muda, putih, atau hitam) mencerminkan kondisi pembakaran. Namun, analisis visual konvensional di SMK sering bersifat subjektif dan kurang akurat, sehingga penerapan teknologi pengolahan citra digital melalui aplikasi Color Grab dengan ekstraksi nilai RGB meningkatkan objektivitas dan akurasi diagnosis, sekaligus memperkenalkan siswa pada konsep kecerdasan buatan dan pengolahan citra digital yang relevan dengan industri 4.0. Lebih lanjut, integrasi Large Language Model (LLM) seperti ChatGPT berfungsi sebagai sistem pendukung interpretasi data observasional, mengubah deskripsi kualitatif menjadi diagnosis teknis yang mencakup identifikasi penyebab kerusakan, dampak terhadap performa mesin, dan rekomendasi tindakan korektif, serta membantu pendidik

mengembangkan materi berbasis taksonomi Bloom, merancang instrumen evaluasi sesuai tingkat kognitif siswa, dan menyusun skenario problem-based learning (PBL) yang relevan dengan kebutuhan industri.

Sinergi antara aplikasi Color Grab untuk akuisisi data berbasis RGB dan ChatGPT untuk analisis kontekstual membentuk framework pembelajaran hybrid yang menggabungkan pendekatan empiris dengan analisis berbantuan kecerdasan buatan, meningkatkan kualitas diagnosis, pembelajaran, dan kesiapan siswa menghadapi tantangan industri modern. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kemampuan diagnostik siswa dalam menganalisis sistem pengapian tetapi juga mengembangkan literasi digital, keterampilan analitis, dan kolaborasi manusia-mesin—kompetensi kunci di era Industri 4.0. Dengan demikian, implementasi teknologi terintegrasi ini merepresentasikan transformasi paradigma pendidikan vokasional, menyelaraskan pembelajaran teknis tradisional dengan inovasi digital untuk menghasilkan lulusan SMK yang kompeten secara teknis sekaligus adaptif terhadap perkembangan industri masa depan.

2.3. Penelitian Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Amrullah, Dimas Lutfhi, et al. (2022) berjudul *"Implementasi Color Detection Menggunakan Algoritma Midpoint Berbasis Sistem Operasi Android"* menunjukkan bahwa teknologi deteksi warna pada perangkat Android memiliki akurasi tinggi dalam mengidentifikasi objek visual berdasarkan nilai RGB. Dalam penelitian tersebut, algoritma Midpoint digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan warna secara real-time, yang membuktikan bahwa aplikasi berbasis Android sangat potensial untuk mendukung

proses analisis visual di berbagai bidang. Temuan ini relevan dengan penelitian ini yang menggunakan aplikasi Color Grab untuk mendeteksi warna center insulator busi pada mesin bensin 4 tak, karena prinsip kerjanya sama-sama mengandalkan pemrosesan citra digital berbasis warna RGB. Sejalan dengan kajian pustaka sebelumnya, khususnya pada subbab 2.1.5 tentang penerapan aplikasi Color Grab, kemampuan sistem deteksi warna berbasis Android memberikan peluang besar dalam meningkatkan akurasi observasi siswa SMK terhadap kondisi pembakaran mesin. Dengan dukungan teknologi seperti ini, siswa tidak hanya belajar secara konvensional, tetapi juga melalui pendekatan digital yang kontekstual, selaras dengan kebutuhan industri otomotif modern dan tantangan pendidikan vokasional di era Revolusi Industri 4.0.

Penelitian oleh Robbani, Ihwanudien Hasan, et al. (2016) berjudul "*Aplikasi Mobile Scotect: Aplikasi Deteksi Warna Tanah dengan Teknologi Citra Digital pada Android*" menunjukkan bahwa teknologi citra digital berbasis smartphone Android efektif digunakan untuk mendeteksi variasi warna objek secara akurat dan efisien. Dalam penelitian tersebut, aplikasi Scotect mampu mengidentifikasi warna tanah berdasarkan nilai RGB yang ditangkap oleh kamera ponsel, dan menghasilkan informasi yang relevan secara visual untuk keperluan klasifikasi. Penelitian ini relevan dengan penggunaan aplikasi Color Grab dalam penelitian ini, yang memanfaatkan teknologi deteksi warna pada center insulator busi sebagai indikator kondisi pembakaran mesin. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa, integrasi teknologi deteksi warna berbasis Android membuka peluang pembelajaran berbasis data visual di SMK, khususnya dalam praktik diagnosis

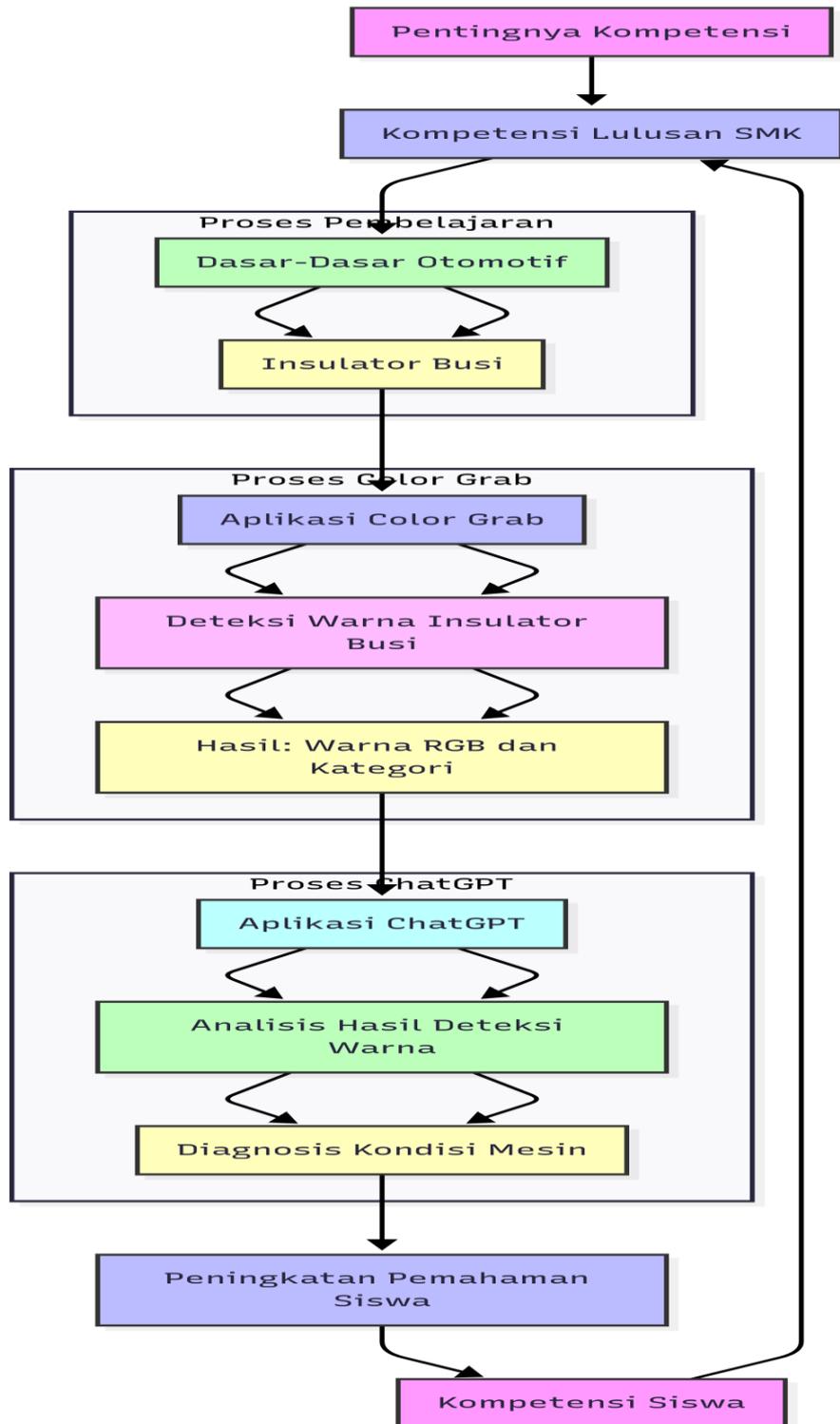
sistem pengapian. Dengan memanfaatkan prinsip yang serupa, aplikasi Color Grab memberikan kemudahan bagi siswa dalam mengamati perbedaan warna busi secara objektif dan presisi, sehingga mendukung peningkatan keterampilan diagnosis dan pemahaman teknis dalam pembelajaran Kompetensi Keahlian Otomotif secara digital dan modern.

Penelitian oleh Atmojo, Joko Tri, et al. (2025) berjudul "*Chat GPT 4.0 dan Chat GPT 3.5 dalam Menjawab Pertanyaan Medis*" menunjukkan bahwa kemampuan ChatGPT dalam menjawab pertanyaan berbasis deskripsi teknis mengalami peningkatan signifikan dari versi 3.5 ke 4.0, baik dari segi akurasi, kedalaman analisis, maupun relevansi konteks. Meskipun fokus penelitian tersebut berada dalam ranah medis, prinsip dan temuan yang dihasilkan sangat relevan dengan pemanfaatan ChatGPT dalam pendidikan teknik otomotif, khususnya dalam penelitian ini yang mengintegrasikan ChatGPT untuk menganalisis warna insulator busi dan memberikan interpretasi teknis berdasarkan hasil deteksi visual melalui aplikasi Color Grab. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa ChatGPT berfungsi sebagai asisten digital yang dapat membantu siswa dalam memahami kondisi pembakaran mesin, memberikan diagnosis awal, serta menyarankan tindakan perbaikan yang sesuai secara kontekstual. Penelitian Atmojo et al. memperkuat validitas penggunaan ChatGPT versi 4.0 dalam pembelajaran vokasional, karena kecerdasannya mampu diadaptasi lintas bidang, termasuk dalam praktik analisis sistem pengapian berbasis warna visual pada kendaraan bermotor.

Penelitian oleh Marsa, Sitti Harlina, dan Putri Rakhmadina Armus (2024) dalam artikel berjudul "*Penerapan Teknologi Artificial Intelligence (Chat-GPT)*"

dalam Menunjang Pemberian Materi Pembelajaran" menegaskan bahwa pemanfaatan teknologi ChatGPT mampu meningkatkan efektivitas penyampaian materi pembelajaran melalui pendekatan yang interaktif, cepat, dan kontekstual. ChatGPT diposisikan sebagai asisten virtual yang mendukung pemahaman siswa terhadap materi dengan memberikan penjelasan yang disesuaikan dengan kebutuhan dan tingkat pemahaman masing-masing individu. Penemuan ini sangat relevan dengan penelitian ini yang mengintegrasikan ChatGPT sebagai alat bantu analisis hasil observasi warna insulator busi.

Melalui integrasi dengan aplikasi Color Grab, ChatGPT memberikan interpretasi terhadap warna busi secara teknis dan mendalam, yang mendukung proses pembelajaran kompetensi keahlian teknik otomotif di SMK. Penelitian Marsa et al. memperkuat bahwa ChatGPT tidak hanya efektif dalam ranah teoretis, tetapi juga dalam konteks pembelajaran vokasional, dengan membantu siswa membangun pemahaman sistematis terhadap konsep dan praktik diagnosis mesin berbasis visual.



Gambar 2. 1 Diagram Kerangka Teoretis (Flow Chart)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis, Desain dan Lokasi Penelitian

3.1.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah eksperimen semu (*quasi experimental design*). Menurut Sugiyono (2015:114), eksperimen semu merupakan penelitian yang mendekati eksperimen sungguhan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji secara langsung pengaruh suatu variabel terhadap variabel lainnya. Desain ini melibatkan kelas eksperimen dan kelas kontrol, meskipun kelas kontrol tidak dapat sepenuhnya berfungsi untuk mengendalikan variabel-variabel luar yang dapat memengaruhi pelaksanaan eksperimen.

3.1.2 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *Nonequivalent Control Group Design*. *Nonequivalent Control Group Design* Adalah rancangan penelitian quasi experiment yang membandingkan kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Dalam desain ini peneliti menggunakan kelas yang sudah ada, bukan membuat kelompok atau kelas baru (Sugiyono, 2015:116). Kelas eksperimen menggunakan pembelajaran dengan bantuan aplikasi Color Grab berbantuan analisis ChatGPT, dan kelas kontrol menggunakan pembelajaran konvensional. Setelah perlakuan diberikan, kedua kelas diberi evaluasi untuk dibandingkan hasil belajarnya. Desain penelitian ini disajikan dalam Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1 Desain Penelitian Nonequivalent Control Group Design

Grup	Pretest	Tindakan	Posttest
Kelas Eksperimen	O1	X1	O2
Kelas Kontrol	O3	X2	O4

Keterangan:

X1 : Perlakuan pembelajaran dengan bantuan Aplikasi Color Grab berbantuan analisis ChatGPT

X2 : Perlakuan pembelajaran secara konvensional

O1 : Hasil pretest kelas eksperimen

O2 : Hasil posttest kelas eksperimen

O3 : Hasil pretest kelas kontrol

O4 : Hasil posttest kelas kontrol

3.1.3 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di SMKN 1 Sumarorong, yang beralamat di Desa Rantekamase, Kecamatan Sumarorong, Kabupaten Mamasa, Provinsi Sulawesi Barat. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung pada bulan Oktober sampai Desember, yaitu pada Semester 1 Tahun Ajaran 2025/2026.

3.2 Variabel dan Definisi Operasional

3.2.1 Variabel Penelitian

Menurut Sugiyono (2015:61), variabel adalah atribut atau karakteristik dari seseorang atau objek yang memiliki variasi antara satu individu atau objek dengan yang lain. Dengan demikian, variabel merupakan sesuatu yang ditetapkan peneliti untuk dipelajari guna memperoleh informasi dan menarik kesimpulan.

Dalam penelitian ini terdapat dua jenis variabel, yaitu:

- (1) Variabel independen (bebas):
 - a. Pembelajaran dengan bantuan Aplikasi Color Grab berbantuan analisis ChatGPT disimbol dengan X1
 - b. Pembelajaran konvensional disimbol dengan X2
- (2) Variabel dependen (terikat): Hasil belajar siswa pada mata Pelajaran Pemeliharaan Mesin disimbol dengan Y.

3.2.2 Definisi Operasional Variabel

- (1) Pembelajaran dengan menggunakan Aplikasi Color Grab berbantuan analisis ChatGPT adalah proses belajar berbasis teknologi yang menggunakan perangkat Android sebagai alat bantu untuk mendeteksi warna center insulator busi dan memperoleh analisis dari hasil deteksi tersebut.
- (2) Pembelajaran konvensional adalah pembelajaran dengan metode pembelajaran biasa (non inovatif) yang mengandalkan pengamatan langsung untuk memastikan kondisi busi dan menganalisisnya menggunakan buku paket dan buku manual servis.
- (3) Hasil belajar mata pelajaran pemeliharaan mesin adalah capaian belajar siswa setelah mengikuti proses pembelajaran pemeliharaan mesin dengan menggunakan dua metode pembelajaran di atas.

3.3 Subjek, Objek, dan Responden Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah siswa kelas XI jurusan teknik otomotif yang terdiri dari Kompetensi Keahlian Teknik Sepeda Motor (TSM) dan

Kompetensi Keahlian Teknik Kendaraan Ringan (TKR) di SMKN 1 Sumarorong pada tahun ajaran 2025/2026. Objek penelitian adalah model pembelajaran dengan menggunakan Aplikasi Color Grab berbantuan analisis ChatGPT, sedangkan responden penelitian adalah siswa yang terpilih sebagai perwakilan subjek penelitian.

Penentuan responden ini didasarkan pada pertimbangan bahwa mata pelajaran yang menjadi fokus penelitian, yaitu pemeliharaan mesin khususnya materi diagnosis kondisi mesin melalui analisis warna insulator busi dipelajari baik pada kompetensi keahlian teknik sepeda motor maupun teknik kendaraan ringan. Oleh karena itu, pemilihan kelas XI TSM dan TKR sebagai responden penelitian didasarkan pada kesesuaian karakteristik subjek dengan fokus penelitian serta upaya menjaga homogenitas kompetensi awal.

Responden dalam penelitian ini adalah seluruh subjek yang berjumlah 50 siswa dengan rincian sebagai berikut

Tabel 3.2 Responden penelitian

No.	Kelas	Jumlah Siswa	Kelompok
1	XI TKR	27	Eksperimen
2	XI TSM	23	Kontrol
Jumlah		50	

Sumber: Tata Usaha SMKN 1 Sumarorong, 2025.

3.4 Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

3.4.1 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data digunakan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan guna menjawab rumusan masalah. Adapun teknik yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

(1) Observasi

Menurut Sutrisno Hadi dalam Sugiyono (2015:203), observasi adalah suatu proses kompleks yang tersusun dari berbagai aktivitas biologis dan psikologis, terutama proses pengamatan dan ingatan. Dalam penelitian ini, observasi digunakan untuk mengetahui sejauh mana kesesuaian antara model pembelajaran yang dirancang dengan pelaksanaan di lapangan.

(2) Tes Hasil Belajar

Tes hasil belajar adalah alat ukur yang digunakan secara sistematis untuk mengetahui tingkat pencapaian hasil belajar siswa (Slameto, 2015:234).

Tes digunakan untuk mengukur hasil belajar, baik sebelum perlakuan (pretest) maupun setelah perlakuan (posttest) dengan menggunakan soal pilihan ganda. Sebelum digunakan, instrumen tes ini melalui tahapan:

- (1) Penyusunan kisi-kisi soal
- (2) Uji coba soal
- (3) Uji validitas
- (4) Uji reliabilitas
- (5) Uji tingkat kesukaran soal
- (6) Uji coba dilakukan pada siswa SMK di luar subjek penelitian dengan jumlah 30 responden.

3.4.2 Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen adalah alat yang digunakan untuk mengumpulkan data. Adapun instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

a. Lembar Observasi

Digunakan untuk mengamati pelaksanaan proses pembelajaran sesuai sintaks yang dirancang.

b. Tes

Tes digunakan untuk mengukur dan membandingkan hasil belajar siswa antara dua metode pembelajaran (Color Grab berbantuan analisis ChatGPT dan konvensional). Tes dilaksanakan sebelum dan sesudah proses pembelajaran.

Tabel 3. 3 Kisi-Kisi Diagnosa Kondisi Mesin Berdasarkan Pemeriksaan Busi

Standar Kompetensi	Kompetensi Dasar	Indikator Kompetensi	Pencapaian	Butir Soal
5. Menerapkan prosedur diagnosis dan pemeliharaan mesin	5.2 Mendiagnosis kondisi kerja mesin berdasarkan kondisi busi	5.2.1 Menjelaskan fungsi center insulator pada busi sebagai indikator pembakaran		1, 2, 3, 4
		5.2.2 Mengidentifikasi warna center insulator busi dan karakteristik visual lainnya		5, 6, 7, 8, 9
		5.2.3 Menganalisis kondisi warna busi untuk menentukan kondisi mesin (misalnya: campuran kaya, miskin, overheating, kebocoran oli, knocking)		10, 11, 12, 13, 14, 15
		5.2.4 Menyimpulkan diagnosis kondisi mesin berdasarkan hasil pemeriksaan busi		16, 17, 18, 19
		5.2.5 Memberikan rekomendasi perbaikan/perawatan		20, 21, 22, 23, 24

		berdasarkan hasil diagnosis kondisi mesin	
--	--	--	--

Pengujian instrumen dilakukan di SMKN 1 Mamasa dengan jumlah responden sebanyak 30 siswa kelas XI TSM. Setelah uji coba dilaksanakan, dilakukan analisis terhadap validitas dan reliabilitas instrumen menggunakan SPSS 16.0 for Windows.

3.5 Teknik Analisis Data

3.5.1 Uji Validitas

Instrumen dikatakan valid apabila alat ukur tersebut benar-benar mampu mengukur apa yang seharusnya diukur. Dengan kata lain, hasil penelitian dikatakan valid apabila terdapat kesesuaian antara data yang dikumpulkan dan kenyataan yang ada pada objek penelitian (Sugiyono, 2015:173).

Teknik yang digunakan untuk menguji validitas instrumen adalah corrected item-total correlation, yaitu dengan mengorelasikan skor tiap item dengan skor total. Kriteria pengambilan keputusan berdasarkan Duwi Priyatno (2010:24–33) Adalah jika $r \geq 0,3$ maka item soal dianggap valid dan sebaliknya jika $r < 0,3$ maka item soal dianggap tidak valid.

3.5.2 Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas bertujuan untuk mengukur sejauh mana instrumen pengukuran menghasilkan data yang konsisten jika digunakan berulang kali. Uji ini dilakukan dengan menggunakan data yang sama dengan uji validitas, namun hanya item soal yang valid yang dimasukkan ke dalam pengujian reliabilitas.

Menurut Duwi Priyatno (2010:30), uji reliabilitas dilakukan dengan metode Cronbach's Alpha. Adapun batas pengambilan keputusan berdasarkan Sekaran dalam Duwi Priyatno (2010:32) adalah:

Reliabilitas $\leq 0,6$: kurang baik

$0,7 \leq$ reliabilitas $< 0,8$: dapat diterima

Reliabilitas $\geq 0,8$: baik

3.5.3 Uji Tingkat Kesukaran Soal

Uji tingkat kesukaran dilakukan untuk mengetahui tingkat kesulitan dari masing-masing soal (Nana Sudjana, 2016:137). Indeks kesukaran dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$I=B/N$$

Keterangan:

I = Indeks kesukaran soal

B = Jumlah siswa yang menjawab benar pada suatu soal

N = Jumlah seluruh siswa yang menjawab soal tersebut

Tabel 3.4 Kriteria Indeks Kesukaran Soal

Indeks Kesukaran	Kategori
0,00 – 0,30	Sukar
0,31 – 0,70	Sedang
0,71 – 1,00	Mudah

3.5.4 Uji Asumsi

a. Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah data hasil penelitian terdistribusi secara normal atau tidak. Jika data berdistribusi normal, maka analisis

data dapat dilakukan menggunakan statistik parametrik. Sebaliknya, jika data tidak berdistribusi normal, maka digunakan statistik nonparametrik.

b. Uji Linieritas

Uji linieritas bertujuan untuk mengetahui apakah hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dalam penelitian bersifat linier atau tidak. Hubungan dikatakan linier apabila perubahan pada variabel bebas diikuti oleh perubahan yang searah atau berbanding terbalik secara proporsional pada variabel terikat. Pengujian linieritas dilakukan menggunakan uji ANOVA (Analysis of Variance) pada regresi, dengan melihat nilai signifikansi pada Linearity dan Deviation from Linearity. Data dikatakan memenuhi asumsi linieritas apabila nilai signifikansi pada baris Deviation from Linearity lebih besar dari 0,05 (Sig. > 0,05), yang berarti tidak terdapat penyimpangan yang signifikan dari hubungan linier.

c. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah varians dari dua kelompok data (kelas eksperimen dan kelas kontrol) memiliki kesamaan atau tidak. Data dikatakan homogen apabila nilai probabilitas (signifikansi) $\geq 0,05$.

3.5.5 Uji Hipotesis

Uji hipotesis digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil belajar siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Hipotesis yang diuji dalam penelitian ini adalah:

- (1) **H₀ (Hipotesis nol):** Tidak terdapat perbedaan hasil belajar yang signifikan antara siswa yang belajar menggunakan pembelajaran Aplikasi Color Grab berbantuan analisis ChatGPT dengan siswa yang belajar menggunakan

pembelajaran konvensional pada mata pelajaran pemeliharaan mesin kelas XI TKR dan TSM di SMKN 1 Sumarorong.

- (2) **H_a (Hipotesis alternatif):** Terdapat perbedaan hasil belajar yang signifikan antara siswa yang belajar menggunakan pembelajaran Aplikasi Color Grab berbantuan analisis ChatGPT dengan siswa yang belajar menggunakan pembelajaran konvensional pada mata pelajaran pemeliharaan mesin kelas XI TKR dan TSM di SMKN 1 Sumarorong.

Setelah uji hipotesis dilakukan menggunakan uji t (t-test), maka kesimpulan diambil berdasarkan kriteria berikut:

- (1) Jika signifikansi $< 0,05$, maka H₀ ditolak dan H_a diterima, artinya terdapat perbedaan hasil belajar yang signifikan antara kedua metode pembelajaran.
- (2) Jika signifikansi $> 0,05$, maka H₀ diterima dan H_a ditolak, artinya tidak terdapat perbedaan hasil belajar yang signifikan antara kedua metode pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., & Latib, N. A. (2015). Teaching in automotive practical task: Practices in vocational colleges. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 204, 290–299.
- Denton, T. (2006). *Automotive technician training – Level 1*. ATT Training Ltd.
- Farid, M., & Finahari, N. (2014). Pengaruh Kondisi Filter Udara Terhadap Kinerja Mesin Sepeda Motor. *Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 3(2), 55–61.
- Hartanto, A. (2023). Pelatihan Praktik Tune-Up Sepeda Motor untuk Siswa SMK Berbasis Dunia Kerja. *Jurnal Pendidikan Teknik Otomotif*, 6(1), 44–53.
- Huda, N., Mardiansyah, A., & Syaiful, R. (2022). Efek Turbo Cyclone terhadap Kinerja Mesin Sepeda Motor 4 Tak. *Jurnal Inovasi Mesin*, 10(1), 25–33.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. (2017). *Dasar-dasar teknik otomotif untuk SMK/MAK kelas X semester 1*. Jakarta: Pusat Kurikulum dan Perbukuan, Balitbang.
- Rabiman. (2019). *Pengetahuan dasar teknik otomotif*.
- Santika, A., Simanjuntak, E. R., Amalia, R., & Kurniasari, S. R. (2023). Peran pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan dalam memposisikan lulusannya mencari pekerjaan. *Paedagoria: Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan Kependidikan*, 14(1), 84–94.
- Sutiyatno, S. (2017). Pentingnya pendidikan kejuruan berorientasi pasar tenaga kerja. *Jurnal Penelitian dan Artikel Pendidikan*, 1(1), 1–6.
- Sudono, D. (2021). Simulasi Proses Injeksi Bahan Bakar Mesin Bensin 4 Tak. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(1), 19–28.
- Surono, S., Handoko, D., & Prasetyo, R. (2012). Efektivitas Turbulator pada Sistem Intake. *Jurnal Teknik Mesin Inovatif*, 6(2), 44–52.
- Threeton, M. D., & Walter, R. A. (2009). Automotive technology student learning styles and their implications for faculty. *Journal of Industrial Teacher Education*, 46(3), 7–21.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional.

- University of Missouri. (2006). Introduction to automotive technology – Student reference (Module 1). Columbia, MO: Instructional Materials Laboratory.
- Wijanarko, A., Wailanduw, J., & Wailanduw, D. (2023). Efisiensi Kabel Tegangan Tinggi dalam Sistem Pengapian. *Jurnal Sistem Otomotif*, 7(1), 23–32.
- Widodo, A., & Surjadi, M. (2015). Troubleshooting Sistem Pengapian Konvensional. *Jurnal Ilmu Teknik Otomotif*, 2(2), 41–50.
- Bosch Auto Parts. (2023). Spark plug condition identification. Bosch Aftermarket.
- Champion Powersports. (2023). Spark plug trouble tracer chart. Champion Powersports.
- Darwis, M., & Ramli, R. (2024). Analisis Pengaruh Kesesuaian Busi dengan Bahan Bakar Pertalite terhadap Kinerja Mesin 4 Tak. *KNOWLEDGE: Jurnal Inovasi Hasil Penelitian dan Pengembangan*, 4(4), 191–196.
- Harjanto, D., Lumintang, H., & Santoso, I. (2023). Studi Efisiensi Pembakaran pada Mesin Toyota Avanza Menggunakan Busi Racing. *Jurnal Mesin Otomotif*, 11(2), 123–132.
- Juandri, R., & Anwar, M. (2024). Deteksi Warna Busi Menggunakan Deep Neural Network dalam Aplikasi Otomotif. *Jurnal Rekayasa Sistem Cerdas*, 7(2), 78–87.
- Kustiawan, B., & Sarjito, B. (2016). Pengaruh Jenis Busi terhadap Sistem Pengapian dan Efisiensi Mesin. *Jurnal Mesin Otomotif*, 4(1), 38–46.
- Li, Y., et al. (2022). Spark plug defects detection based on improved Faster-RCNN algorithm. ResearchGate.
- Machmud, F., & Irawan, T. (2011). Analisis Celah Elektrode Busi terhadap Efisiensi Mesin Bensin. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(2), 30–38.
- Maly, R., et al. (2013). Optical and electrical diagnostics of a spark-plug discharge in air. ResearchGate.
- Purnawan, A., & Kurniawan, R. (2023). Indikator Visual Warna Busi dalam Diagnosa Mesin Bensin. *Jurnal Sistem Pengapian*, 4(1), 56–64.
- University of North Texas. (2023). Spark plug defects and tests. UNT Digital Library.
- Sugiyanto, B. (2014). Efisiensi Mesin dengan Busi dan Campuran Bahan Bakar Methanol. *Jurnal Teknologi Mesin*, 2(3), 112–121.

- Amrullah, D. L., Sari, R. N., & Akbar, M. A. (2022). Implementasi color detection menggunakan algoritma Midpoint berbasis sistem operasi Android. *Sebatik*, 26(1), 121–130.
- Hermida, I. D. P., et al. (2019). Use of smartphone based on Android as a color sensor. *ResearchGate*.
- Jurnal What Color. (2016). What color? A real-time color identification mobile application for visually impaired people. *ResearchGate*.
- Juwairiah, A., Ramadani, H., & Lukman, H. (2024). Aplikasi Colorimeter Berbasis Android untuk Identifikasi Warna Secara Real-Time. *Jurnal Teknologi Edukasi*, 9(1), 45–55.
- Rani, R. S. S., et al. (2019). Application access for chromatic colour detection. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(2).
- Reddy, P. S. R., et al. (2013). Android based color routing wizard. *International Journal of Computer Science and Technology (IJCSST)*, 3(2).
- Robbani, I. H., Susilo, A., & Wijaya, R. (2016). Aplikasi Mobile Scotect: Aplikasi deteksi warna tanah dengan teknologi citra digital pada Android. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3(1), 19–26.
- Abe, Y., Sano, Y., & Nishikawa, T. (2024). Aesthetic evaluation by GPT-4 vision models. *arXiv preprint arXiv:2403.03594*.
- Annas, A., Syahrul, I., & Nugroho, D. (2024). Penggunaan ChatGPT dalam Diagnosis Kondisi Mesin oleh Siswa SMK. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 14(1), 88–98.
- Anggiana, A., & Gunawan, H. (2023). Strategi Pengembangan Kompetensi SDM dalam Era Industri 4.0. *Jurnal Manajemen dan Teknologi*, 6(2), 101–112.
- Asy'ari, M., Fawaid, M., & Abdillah, M. (2025). Teaching Factory Sebagai Strategi Penguatan Kompetensi Siswa SMK. *Jurnal Inovasi Pendidikan*, 8(1), 34–42.
- Atmojo, S. A., Supriyadi, T., & Anindita, R. (2025). Evaluasi ChatGPT Versi 3.5 dan 4.0 dalam Konsultasi Medis Digital. *Jurnal Teknologi Informasi Kesehatan*, 13(1), 17–25.
- Atmojo, J. T., Wahyudi, R., & Maharani, A. (2025). Chat GPT 4.0 dan Chat GPT 3.5 dalam menjawab pertanyaan medis. *Jurnal Keperawatan*, 17(2), 343–350.
- Azwar, S. (2010). *Reliabilitas dan Validitas*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

- Baharuddin, Y., Yuyun, M., & Nasrullah, A. (2025). Pendeteksian Api Berbasis Citra Digital dan Spektrum Warna. *Jurnal Rekayasa Elektronika dan Informatika*, 9(1), 41–50.
- Bajrami, L., et al. (2023). ChatGPT integration in higher education: Impacts on teaching and learning. *Contemporary Educational Technology*.
- Duwi, P. (2010). *Pintar Olah Data Statistik dengan SPSS*. Yogyakarta: Mediakom.
- Fadillah, E. N., et al. (2023). Enhancing prior knowledge development in English language education through ChatGPT-assisted learning. *Journal of Language and Literature Teaching*.
- Harahap, R. D., Siregar, A. A., & Lubis, R. A. (2025). Peran Kepemimpinan Digital Kepala Sekolah dalam Era Pendidikan 4.0. *Jurnal Kepemimpinan Pendidikan*, 7(1), 19–30.
- Halaweh, M. (2023). ChatGPT in education: Strategies for responsible implementation. *Contemporary Educational Technology*.
- IPB University. (2024). Analyzing the potential of ChatGPT to support learning for the students of College of Vocational Studies of IPB University. *ResearchGate*.
- Kurniawan, D. P. (2019). Analisis Kebutuhan Dunia Industri terhadap Kompetensi Lulusan SMK Teknik Otomotif. Universitas Negeri Yogyakarta. <https://eprints.uny.ac.id/65935/1/55.%20Dicky%20Putra%20Kurniawan%2015504244007%20A.pdf>
- Lukkita Aga, L., Nilam, S., & Rony, T. (2024). Pengaruh Pembelajaran Kewirausahaan terhadap Kompetensi Siswa SMK. *Jurnal Vokasi dan Karier*, 5(1), 60–71.
- Mamoon, D. (2024). Summary of Dawood Mamoon's work on Chat GPT-4 by Chat GPT-4.
- Maresti, A., Sovia, M., & Novitri, R. (2023). Ekspektasi Industri terhadap Kompetensi Lulusan SMK. *Jurnal Pendidikan Kejuruan*, 5(2), 73–82.
- Maridjo, D., Yuliyani, E., & Angga, Y. (2019). Pengaruh Premium, Peralite, dan Pertamina terhadap Performa Motor 4 Tak. *Jurnal Otomotif Indonesia*, 6(3), 102–110.
- Marsa, M., Harlina, S., & Armus, P. R. (2024). Penerapan teknologi Artificial Intelligence (Chat-GPT) dalam menunjang pemberian materi pembelajaran. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara*, 5(4), 4351–4358.

- Muhammad, A. (2024). Kompetensi Profesional Auditor Syariah dalam Menunjang Integritas Audit. *Jurnal Ekonomi Syariah*, 12(1), 99–109.
- Mukmin, A., Farid, M., & Finahari, N. (2012). Pengaruh Octane Booster terhadap Konsumsi Bahan Bakar. *Jurnal Mesin Nasional*, 8(1), 47–54.
- Mukherjee, P., Wu, Y., & Kim, B. (2024). Language models capture human-like color-concept associations without supervision. *arXiv preprint arXiv:2406.17781*.
- Nana, S. (2016). *Penilaian Hasil Proses Belajar Mengajar*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Nur, M. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Gear Camshaft terhadap Performa Mesin. *Jurnal Teknik Otomotif*, 7(1), 28–34.
- Purnamasari, L. (2024). *The potential of ChatGPT in digital learning: A review*. RJU Publisher.
- Pamungkas, S. (2017). Analisis Sistem Injeksi Menggunakan Scan Tool dan Gas Analyzer. *Jurnal Teknologi Otomotif*, 5(2), 90–98.
- Prasetyani, M., Kurniawati, L., & Purnamasari, A. (2024). Implementasi Kurikulum Merdeka di SMK Jurusan DKV. *Jurnal Inovasi Kurikulum*, 9(1), 11–21.
- Pratiwi, R., Partono, B., & Suherman, D. (2024). Pemanfaatan ChatGPT dalam Pembelajaran Pendidikan Agama Buddha. *Jurnal Pendidikan Digital*, 5(2), 61–70.
- Rasjid, A. R., et al. (2024). Revolutionize the potential of ChatGPT as teaching material to engage students in learning. *Lentera Pendidikan: Jurnal Ilmu Tarbiyah dan Keguruan*.
- Rahmi, Y., Susanto, R., & Sugiarto, D. (2025). Kolaborasi SMK dan DUDIKA dalam Meningkatkan Kesiapan Kerja Siswa. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 10(1), 70–81.
- Rizaludin, M., Daud, H., & Dwi Astuti, L. (2025). Penguatan Kompetensi SDM untuk Daya Saing Industri Global. *Jurnal SDM Industri*, 4(2), 29–38.
- Safitri, I., Pambudi, A., & Fauziah, N. (2024). Kompetensi Tenaga Kerja dalam Sistem Outsourcing di Surabaya. *Jurnal Manajemen dan Ketenagakerjaan*, 3(1), 40–49.
- Saragi, A., & Purba, B. (2021). Sinkronisasi Komponen Mesin Bensin Empat Langkah. *Jurnal Teknik Mesin Otomotif*, 9(2), 18–27.

- Saripuddin, D., Wahyudi, T., & Ramadhan, U. (2023). Pengaruh Camshaft Racing terhadap Torsi Mesin. *Jurnal Mekanika Terapan*, 11(1), 51–59.
- Setiawaty, R., & Fahmi, H. (2022). Strategi Kolaborasi SMK dan Industri dalam Penyesuaian Kurikulum. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Vokasi*, 10(1), 33–42.
- Sugiarto, H., Ananda, A., & Prayitno, D. (2022). Penguatan Kompetensi Lulusan Teknik Otomotif dalam Era Revolusi Industri 4.0. *Jurnal Teknik dan Pendidikan Kejuruan*, 4(2), 88–96.
- Sekaran, U. (2006). *Research Methods for Business: A Skill Building Approach* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Slameto. (2015). *Belajar dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sudjana, N. (2016). *Penilaian Hasil Belajar Mengajar*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Sulianta, A. (2024). Pemanfaatan ChatGPT dalam Transformasi Pembelajaran Digital. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 7(1), 22–31.
- Systematic Review. (2024). The role of ChatGPT in education: Applications, challenges, insights from a systematic review. ResearchGate.
- Tian, E. (2023). Educational applications of the ChatGPT AI system. ERIC.
- Valova, I., et al. (2024). Critical minds: Enhancing education with ChatGPT. *Cogent Education*.
- Wang, Y., et al. (2024). Scientific figures interpreted by ChatGPT: Strengths in plot recognition, weaknesses in color perception. Elsevier Pure.
- Yang, X., et al. (2023). Assessing ChatGPT's educational capabilities and application potential. *ECNU Review of Education*.
- Perpustakaan IVET. (2023). Evaluasi Pembelajaran Teknik Otomotif di SMK. <https://perpus.ivet.ac.id/index.php?p=fstream-pdf&fid=1251&bid=2880>
- Scribd. (2023a). Cara Mengetahui Kondisi Mesin dengan Melihat Warna Busi. <https://id.scribd.com/document/679250642/144038-1671750034>

- Scribd. (2023b). Laporan Praktikum Pemeriksaan Busi. <https://id.scribd.com/document/482814931/Laporan-Praktikum-Pemeriksaan-Busi>
- Suryatama Jaya Putra, D. (2023). Klasifikasi Kematangan Jeruk Medan Menggunakan RGB dan KNN. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 5(1), 75–83.
- Toyib, M. (2023). Deteksi Objek Otomatis Berbasis Citra Digital dan Notifikasi SMS. *Jurnal Robotika dan Otomasi*, 8(1), 60–69.
- Trunojoyo. (2021). Penerapan Sensor Warna Berbasis Mikrokontroler untuk Identifikasi Warna Otomatis. *Jurnal SIMANTEC*. <https://journal.trunojoyo.ac.id/simantec/article/viewFile/1390/1195>
- UNS. (2023). Tingkat Kesesuaian antara Materi Ajar Tune Up Mobil pada Program Keahlian Teknik Mekanik Otomotif SMK dengan Bidang Pekerjaan Teknis Otomotif di Kota Surakarta. <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/download/22261/NDQzNTM=>
- Utami, S., Dwi Lestari, M., & Gunawan, R. (2024). ChatGPT sebagai Pendukung Evaluasi Berbasis Taksonomi Bloom. *Jurnal Evaluasi Pendidikan*, 3(1), 45–53.
- BMW Group. (2022). BMW engine technology overview. BMW Group.
- Briggs & Stratton. (2023). Spark plug diagnosis guide. Briggs & Stratton Corporation.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An engineering approach* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ford Corporate. (2022). Engine efficiency and innovation. Ford Motor Company.
- Honda Engines. (2023). Small engine components and maintenance. Honda Motor Co., Ltd.
- HowStuffWorks. (2023). How car engines work. HowStuffWorks.
- Idolz. (2023). Reading spark plugs for engine diagnosis. Idolz Garage. <https://idolzgarage.com>
- Pulkrabek, W. W. (2004). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- Toyota Global. (2023). Variable valve timing and engine performance. Toyota Motor Corporation. <https://global.toyota>

- Toyota Technical. (2023). Engine block and cylinder construction. Toyota Technical Education Network.
- Briggs & Stratton. (2023). How to test and repair ignition system problems.
- Mercedes-Benz. (2023). Technology milestones.
- Federal Aviation Administration. (2023). Engine ignition & electrical systems.
- Denso. (2021). Ignition coil basic principles.
- Universal Technical Institute. (2023). How 4-stroke engines work.
- Ford Performance Parts. (2023). Four-cylinder engine section.
- Wikipedia. (2025). Ignition system.
- Ford Motor Company. (2022). Warranty guide.
- Briggs & Stratton. (2023). How a 4-stroke engine works.
- Ford Performance Parts. (2023). Ignition, fuel systems and electrical.
- Briggs & Stratton. (2023). FG fullpower engine guide.
- Ford Performance Parts. (2023). Properly selecting electronic fuel injection components.
- Honda Engines. (2023). GXV630/GXV660/GXV690 manual.
- Honda Engines. (2023). GX630/GX660/GX690 manual.
- Honda Engines. (2023). GXV610/GXV620/GXV670 manual.
- Honda Engines. (2023). GX630/GX660/GX690 fuel-cut solenoid.
- Briggs & Stratton. (2023). Fuel recommendations.
- Wikipedia. (2025). Four-stroke engine.
- Wikipedia. (2025). Fuel injection.
- LinkedIn. (2014). Principles and working of four-stroke gasoline engine.
- Suryatama Jaya Putra, D. (2023). Klasifikasi Kematangan Jeruk Medan Menggunakan RGB dan KNN. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 5(1), 75–83.