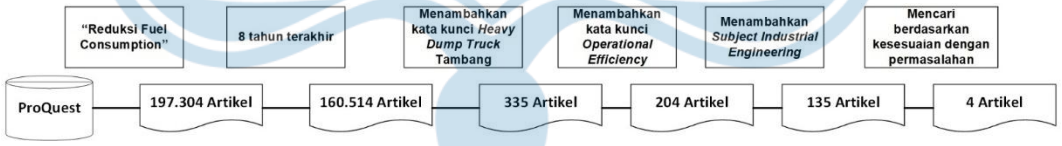
BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

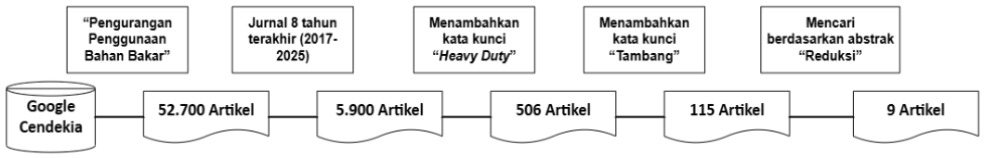
2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka pada penulisan tugas akhir dibuat untuk memperoleh informasi terkait gambaran masalah dan solusi yang digunakan dari penelitian-penelitian terdahulu. Informasi tersebut diperoleh dari artikel ilmiah, jurnal, tugas akhir, dan buku melalui penelusuran pada beberapa *website* literatur ilmiah seperti *Scopus, ProQuest,* Google Cendekia, *Ebsco, Emerald,* dan Portal Garuda. Untuk memperoleh data pustaka dilakukan penelurusan dengan menggunakan kata kunci ”reduksi *fuel consumption* pada *dump truck tambang”* dan diperoleh beberapa artikel ilmiah dari setiap sumber. Salah satu hasil penelusuran pustaka melalui *website* literatur ilmiah *ProQuest* diperoleh 197.304 artikel dengan menggunakan kata kunci ”Reduksi *fuel consumption”*. Untuk mempersempit sumber pustaka, digunakan pencarian berdasarkan penerbitan 8 tahun terakhir dan perluasan pencarian dengan menambahkan kata kunci ”*heavy dump truck”* dan ”*operational efficiency”* pada *subject* Teknik Industri agar hasil pencarian lebih relevan dengan permasalahan yang dibahas, sehingga diperoleh 135 artikel. Kembali menyesuaikan dengan permasalahan yang dibahas pada beberapa artikel sehingga diperoleh 4 artikel. Metode pencarian artikel melalui *ProQuest* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



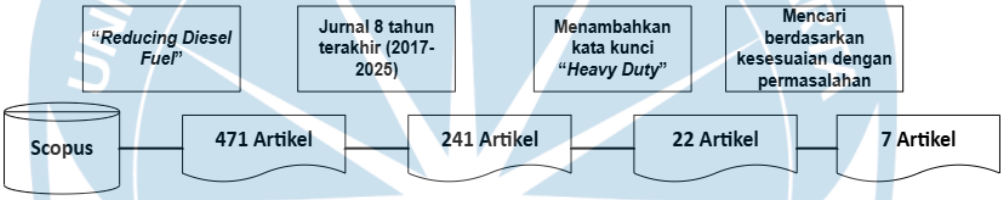
Gambar 2.1. Penelusuran artikel *ProQuest*

Alternatif pencarian lain dengan menggunakan *website* Google Cendekia, diperoleh sebanyak 52.700 artikel dengan menggunakan kata kunci “Pengurangan Bahan Bakar”. Untuk mempermudah pencarian sumber pustaka, dilakukan dengan mengambil sumber penerbitan 8 tahun terakhir (2017 – 2025), serta menambahkan kata kunci “*Heavy Duty*” dan “Tambang” perolehan jurnal tersebut disesuaikan juga dengan abstrak yang berkaitan dengan kata reduksi. Hal tersebut mempengaruhi jumlah artikel dari 52.700 artikel menjadi 9 artikel. Metode pencarian artikel melalui Google Cendekia dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Penelusuran artikel Google Cendekia

Alternatif pencarian lain dengan menggunakan *website Scopus*, diperoleh sebanyak 471 artikel dengan kata kunci "*Reducing Diesel Fuel*". Untuk mempersempit dan mempermudah pencarian sumber tinjauan pustaka, dilakukan dengan mengambil sumber penerbitan 8 tahun terakhir (2017-2025), serta menambahkan kata kunci "*Heavy Duty*". Hal tersebut mempengaruhi jumlah jurnal artikel sebanyak 22 artikel dan mengaitkan dengan permasalahan yang sama sehingga diperoleh 7 artikel. Berikut merupakan tahapan pencarian tinjauan pustaka menggunakan *Scopus*, yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Penelusuran artikel *Scopus*

2.1.1. Pemborosan *Fuel Consumption* Akibat *Excessive Idle Time (Fuel Working)*

Hasil penelitian Pathan *et al*. (2025) menjelaskan bahwa tingginya waktu menganggur (*idle time*) pada alat gali (*shovel*) menjadi salah satu penyebab terjadinya pemborosan penggunaan bahan bakar pada operasi *open-pit mining.* Masalah tersebut disebabkan oleh operasional *shovel* tidak maksimal berbanding lurus dengan mesin yang terus menyala saat menunggu kedatangan truk, sehingga *shovel* tersebut tetap mengkonsumsi bahan bakar tanpa menghasilkan *output* produktif. Kondisi ini diperparah dengan ketidakseimbangan antara jumlah *heavy dump truck* dengan *shovel* sehingga intensitas waktu tunggu tinggi. Permasalahan dari penelitian tersebut dapat diatasi dengan menggunakan pendekatan *Modified Fixed Truck Assignment* (MFTA) yang dapat mengoptimalkan output produksi dengan melakukan pengaturan alokasi truk agar dapat menurunkan waktu tunggu, *idle time,* dan secara langsung dapat menurunkan

penggunaan bahan bakar yang mempengaruhi efisiensi energi dan biaya operasional sekaligus juga meningkatkan efisiensi operasional.

Selain menggunakan pendekatan *Modified Fixed Truck Assignment* (MFTA) untuk mengurangi *idle time,* pendekatan lainnya juga dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Li *et al*. (2025). Penelitian ini menggunakan penyelesaian dengan pendekatan *Improved Genetic Algorithm* (IGA). Secara singkat sistem kerja IGA sendiri diawali dengan :

a. *Initialization* yang membagi setiap individu menjadi populasi kromosom yang mewakili satu kombinasi penugasan truk ke *shovel.*
b. *Chromosome encoding* untuk membedakan penugasan truk dengan *shovel.*
c. *Fitness Function* yang bertujuan untuk mengurangi waktu truk menunggu giliran muat.
d. *Selection Operator,* untuk nilai *fitness* (jadwal terbaik) tertinggi dipilih menjadi induk.
e. *Crossover* untuk mengkombinasikan dua kromosom induk dengan metode *two point crossover*
f. *Dynamic Mutation* dilakukan untuk menukar posisi *shovel* atau truk dalam kromosom untuk solusi baru yang lebih efisien.
g. *Elitist Strategy and Iteration* dilakukan untuk menentukan solusi terbaik yang selanjutnya disimpan dan dibawa ke generasi selanjutnya, proses tersebut diulang untuk mengetahui hasil akhir jadwal truk dan *shovel* optimal dengan waktu tunggu yang minim dengan produktivitas yang maksimal.

Pendekatan tersebut digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ketidakseimbangan jumlah truk dan *shovel* yang menyebabkan adanya *bottleneck, idle time*, waktu tunggu yang besar pada alat berat. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada penjadwalan tidak efisien dan alokasi sumber daya dalam sistem kerja truk dan *shovel* yang mengakibatkan penurunan produktivitas dan peningkatan konsumsi energi sehingga biaya operasional yang tidak optimal.

Kedua artikel tersebut menunjukan bahwa sistem pengelolaan alat tambang mampu meningkatkan efisiensi operasi, mengurangi *waiting time, idle time,* serta meningkatkan biaya operasional dengan menggunakan parameter geoteknik batuan dan melakukan pengembangan *genetic algorithm.* Meskipun demikian, kedua penelitian tersebut masih memiliki beberapa keterbatasan model yang digunakan masih belum sepenuhnya menggambarkan kondisi operasional

tambang yang dinamis. Selain itu implementasi teknologi yang digunakan khsususnya pada IoT, *machine learning,* dan *digital twin* belum diterapkan secara optimum. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan sistem *dispatching* dan mempertimbangkan aspek efisiensi energi serta keberlanjutan lingkungan agar dapat diterapkan secara efektif pada operasi tambang modern.

2.1.2. Pemborosan *Fuel Consumption* Akibat Lingkungan Operasional

Selain itu, penelitian lainnya mengungkapkan bahwa pemborosan *fuel consumption* juga bisa disebabkan oleh kondisi lingkungan operasional, seperti yang dibahas oleh Bodziony *et al*. (2025). Penelitian ini membahas terkait dengan pengaruh lingkungan operasional terhadap konsumsi energi di sistem penambangan terbuka (*open-pit mining*) permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini berkaitan dengan tingginya konsumsi bahan bakar dan frekuensi kerusakan alat berat akibat kondisi jalan *hauling* yang buruk, gradien medan yang tinggi, dan topografi lingkungan yang meningkatkan *rolling resistance.* Kondisi tersebut mengakibatkan intensitas perawatan meningkat, *lead time* muatan truk menjadi lebih lama dan efisiensi sistem angkut menurun, sehingga hal tersebut mempengaruhi biaya operasional dan produktivitas pertambangan. Pendekatan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian tersebut adalah *Discrete Event Simulation* (DES), pendekatan ini menggunakan *software* HaulSim 3.0. Selain itu, metode lain yang digunakan adalah *reliability analysis* yang menggunakan distribusi Weibull. Hasil penelitian ini menunjukan bahwa perbaikan kondisi jalan dapat menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 12,5%, mengurangi *idle time* sebesar 15% dan meningkatkan reliabilitas alat sebesar 44%.

Karnaukhov *et al*. (2022) mengungkapkan bahwa penyebab terjadinya peningkatan penggunaan bahan bakar pada alat berat pertambangan dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti variasi suhu, tekanan udara, dan kelembapan udara yang tidak dapat dikompensasi oleh sistem mesin. Pendekatan yang digunakan pada permasalahan ini menggunakan model matematis dan sistem koreksi parameter udara berbasis sensor dan pemanas serat karbon. Hasil penelitian tersebut menunjukkan keberhasilan yang cukup signifikan, dapat dilihat penelitian tersebut menunjukkan terjadi penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 5%-16% dan juga meningkatkan efisiensi pembakaran pada mesin.

Kedua artikel di atas yang membahas pemborosan bahan bakar yang diakibatkan kondisi lingkungan berhasil menunjukan bahwa kondisi lingkungan/*haul road* sangat mempengaruhi konsumsi bahan bakar khsusnya saat jalan undulating dan menanjak. Namun, pada penelitian ini masih terbatas pada lokasi dan kondisi tertentu sehingga penerapan sistemnya masih perlu diuji lebih lanjut.

2.1.3. Pemborosan *Fuel Consumption* Akibat Kebiasaan Operator

Kebiasaan operator menjadi salah satu faktor lain yang mempengaruhi pemborosan pada *fuel consumption* unit *heavy dump truck,* seperti penelitian yang dilakukan oleh Wahyu *et al*. (2018) menjelaskan terkait salah satu faktor yang mempengaruhi pemborosan penggunaan bahan bakar adalah dari naluri operator memilih mode yang sesuai antara *power mode* atau *Economy Mode* untuk unit yang menggunakan sistem pengaturan *Economy Mode* manual. Dalam penelitian ini mengatakan bahwa operator kerap kali tidak mematikan *power mode* ketika unit sedang tidak mengangkut muatan yang berat. Kelalaian dari operator dapat menyebabkan konsumsi *fuel* yang melonjak tinggi. Dalam menyelesaikan permasalahan kelalaian operator, penelitian tersebut menggunakan pendekatan *Integrated Control System*, yang mengacu pada otomatisasi penggunaan *Economy Mode* berbasis *Programable Logic Controller* (PLC). PLC yang digunakan dalam penelitian tersebut merupakan PLC *Schneider* tipe SR2B121BD dengan sistem monitoring menggunakan *software Zelio*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa salah satu unit yang telah dipasang AEM (*Auto Economy Mode*) mengalami penurunan penggunaan bahan bakar dilihat dari *fuel rate* per kilometernya yang lebih rendah.

Penelitian di atas memiliki kelebihan karena berhasil mengembangkan sistem *Auto Economy Mode* terutilisasi 100% untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar *heavy dump truck.* Sistem yang dirancang juga mampu mengurangi ketergantungan pada operator, sehingga resiko kelalaian dalam mengoperasikan *power mode* dapat diminimalkan. Pengembangan yang disarankan adalah melakukan tambahan improvisasi dengan menambahkan sensor beban dan sistem monitoring secara *real-time*.

2.1.4. Pemborosan *Fuel Consumption* akibat *High Cycle Time*

Cycle time pada perusahaan tambang batu bara merupakan perhitungan waktu unit *heavy dump truck* bekerja dari tempat pengangkutan bata bara atau lapisan tanah (*overburden*) ke tempat pembuangan (disposal) atau ke tempat

penyimpanan batu bara sementara *(Run of Mine)*. Dalam satu siklus kerja unit *heavy dump truck*, terdapat beberapa masalah yang dapat meningkatkan *cycle time,* sehingga menurunkan tingkat efektivitas dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Menurut penilitian yang dilakukan oleh Shinthya Sari *et al*. (2023) dalam penelitiannya berfokus pada evaluasi efisiensi konsumsi bahan bakar *dump truck* Kamaz 6520 pada aktivitas pengangkutan batu bara. Permasalahan utama yang terjadi adalah peningkatan konsumsi bahan bakar yang melampaui standar yang diakibatkan oleh tingginya *cycle time* dan rendahnya efisiensi kerja unit akibat faktor hambatan seperti antrian, pengisian bahan bakar, dan perawatan area kerja. Metode penyelesaian yang digunakan adalah kuantitatif dan kualitatif untuk melakukan analisis konsumsi bahan bakar dan mengidentifikasi faktor penyebab *delay*.

Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh Saputra dan Supriyono (2025) menjelaskan bahwa pengaruh *cycle time* yang tinggi dapat mempengaruhi konsumsi bahan bakar pada sistem *hauling* yang bergantung pada *heavy duty truck*. *Cycle time* terdistribusi pada waktu operasional dalam tahapan *loading*, *hauling,* dan *dumping.* Hauling sendiri adalah proses pemindahan material dari lokasi pemuatan (*front*) ke lokasi pembuangan (*disposal*), sedangkan untuk *dumping* adalah proses pembuanagn material galian ke area penimbunan. Pada penelitian ini berfokus untuk merancang dan menggambarkan kerangka sistem *hauling* dengan pendekatan deskriptif-kualitatif.

Kedua penelitian pada perspektif pemborosan terhadap *high cycle time* secara kolektif menunjukan bahwa efisiensi energi di pertambangan dapat dicapai dengan meminimalkan waktu tunggu dan meningkatkan efektivitas waktu kerja operasional. Besarnya ketergantungan terhadap kedisiplinan manusia dan kurangnya integrasi teknologi pemantauan otomatis yang *real-time,* sehingga diperlukan tranformasi menggunakan *fleet management system* untuk mengurangi *human error.*

2.1.5. Pemborosan *Fuel Consumption* akibat *Low Fuel Pressure*

Fuel Pressure merupakan faktor yang mempengaruhi proses pembakaran mesin dan jumlah bahan bakar yang terbakar dalam menghasilkan torsi dan *horse power* melalui proses sistem aliran bahan bakar yang dipengaruhi oleh *fuel pump* untuk mendistribusikan bahan bakar dari tangki menuju ke ruang pembakaran menurut Afrikhudin *et al.* (2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Sariyanto *et al*. (2018) menjelaskan bahwa *fuel pressure* (tekanan bahan bakar) mempengaruhi tingkat konsumsi bahan bakar (*fuel*). Dalam penelitiannya menggunakan 4-*cylinder Spark Ignition* (SI) *engine* dengan kapasitas 1500 cc, mendapatkan kesimpulan bahwa tekanan injeksi bahan bakar berperan signifikan terhadap konsumsi bahan bakar. Saat tekanan injeksi bahan bakar dibawah standar, mesin membutuhkan pasokan bahan bakar yang lebih banyak untuk proses pembakaran.

Hubungan antara *fuel pressure* dengan *fuel consumption* dibuktikan juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Arafat dan Firdaus (2024). Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa perbedaan tekanan bahan bakar mempengaruhi efisiensi bahan bakar. Tekanan bahan bakar yang rendah akan menyebabkan tingkat konsumsi bahan bakar meningkat. Sebaliknya, apabila tekanan bahan bakar tinggi maka tingkat konsumsi bahan bakar menurun.

Nilai *fuel pressure* yang rendah dapat mempengaruhi tingkat konsumsi bahan bakar yang berlebih. Pada penelitian yang dilakukan oleh Salim (2024) salah satu penyebab *fuel pressure* rendah adalah penyumbatan pada lubang *nozzle* pada pompa injektor bahan bakar pada mesin. Penyumbatan tersebut terjadi karena ada kotoran pada bahan bakar (*fuel*). Selain itu, kotoran pada bahan bakar dapat menghambat proses pengabutan dan pembakaran. Kotoran pada bahan bakar akan berdampak pada nilai *cleanliness fuel*. Nilai parameter *cleanliness* yang dipakai diseluruh dunia berada pada *range* 18/16/13 mikron sesuai dengan standar pada ISO 4406:2021. Untuk mendapatkan nilai *cleanliness fuel* sesuai dengan standar tersebut, maka diperlukan proses *handling* atau penanganan untuk bahan bakar. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Darismawanto *et al*. (2024) salah satu metode yang dapat digunakan adalah merancang penjadwalan untuk proses *flushing* pada tangki penyimpanan bahan bakar.

Ketiga artikel ilmiah pada tinjauan pustaka masih terdapat beberapa kelemahan penelitian yang dapat menjadi bahan evaluasi dan pengembangan penelitian selanjutnya. Pengujian yang dilakukan cenderung menggunakan obyek dan kondisi tertentu sehingga hasilnya belum dapat mewakili kondisi operasional yang lebih luas. Selain itu, analisis yang digunakan sebagian besar masih berfokus pada hubungan sebab-akibat secara sederhana dan belum didukung oleh uji statistik atau data teknis yang lebih mendalam.

Seluruh tinjauan pustaka disajikan juga ke dalam bentuk tabel yang berisi rangkuman tinjauan pustaka, terdiri atas ringkasan permasalahan, metode yang digunakan, alternatif solusi, dan hasil perancangan yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Rekapitulasi tinjauan pustaka

No	Peneliti	Akar Masalah	Metode	Rancangan Solusi	Hasil Penelitian
1	Pathan *et al*. (2025)	Terjadinya kondisi *truck waiting time* dan *bucket excavator* hanging *karena harus menunggu truk*	Menggunakan pendekatan Modified Fixed Truck Assignment (MTFA)	Sistem alokasi truk berbasis TLT (*total loading time*)	Pada penelitian ini berhasil engoptimalkan jumlah truk pada tiap excavator
2	Li *et al*. (2025)	Penjadwalan alat tambang masih manual sehingga terjadinya waktu tunggu yang lama dan utilisasi alat rendah	Menggunakan pendekatan *Genetic Algorithm* (GA)	*Traditional Genetic Algortihm* dan *Improved Genetic Algorithm*	Berhasil menurunkan biaya transportasi, *waiting time* dan idle time
3	Bodziony *et al*. (2025)	Kondisi lingkungan oeprasi seperti kondisi dan gradien jalan mempengaruhi konsumsi bahan bakar	*Discrete Event Simulation,* Analisis *Rolling Resistance, Analisis Reliabilitas*	*Failure Intensity Function*	Mampu menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar, waktu operasi, dan *breakdown* unit

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Akar Masalah	Metode	Rancangan Solusi	Hasil Penelitian
4	Karnaukhov *et al*. (2022)	Gangguan lalu lintas oeprasi yang menyebabkan perilaku engemudi menjadi agresif sehingga mempengaruhi peningkatan penggunaan bahan baakr dan emisi	*Naturalistic Driving Data,* Analisis *Driving Volatility,* dan *Machine Learning Clustering*	Perancangan sistem berkendara pasif	Berhasil meningkatkan *fuel economy* dan menurunkan emisi kendaraan
5	Wahyu *et al*. (2018)	Operator sering lupa mematikan *power mode* setelah unit selesai membawa muatan berat	*Programmable Logic Computer* (PLC) Schneider SR2B121BD	*Auto Economy Mode* berbasis PLC	Sistem *auto Economy Mode* terutilisasi 100% dan menghasilkan tren positif terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar
6	Shinthya Sari *et al*. (2023)	Tingginya nilai *fuel ration* akibat tingginya nilai *delay* pada *cycle time* dan rendahnya efisiensi kerja akibat hambatan	Perhitungan statistik dan matematis	Optimalisasi *cycle time* dan perbaikan kerja	Efisiensi kerja meningkat sebesar 66,86% dan penurunan *cycle time* dari 48,01 menit menjadi 43,27 menit

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Akar Masalah	Metode	Rancangan Solusi	Hasil Penelitian
7	Saputra dan Supriyono (2025)	*High Cycle* tinggi sehingga menimbulkan tidak efisiennya proses operasional	*Waterfall*	*System Development Life Cycle* (SDLC)	Aplikasi berbasis *website* yang mampu menangani proses pergantian unit dari awal
8	Sariyanto *et al*. (2018)	Tingginya konsumsi bahan bakar pada jenis kendaraan mesin TIMOR (KIA Sephia)	*Gas Analyzer* (eksperimen laboratorium)	Memvariasikan tekanan injeksi bahan bakar pada mesin	Konsumsi bahan bakar cenderung hemat ketika berada di angka <2.8kg/m^3
9	Arafat dan Firdaus (2024)	Tekanan bahan bakar tidak stabil menyebabkan gangguan performa mesin	Observasi lapangan	*Fuel pump pressure tester*	Konsumsi bahan bakar paling hemat pada tekanan 294kPa
10	Salim (2024)	Kerusakan pada sistem *fuel injector* yang menyebabkan kinerja mesin induk kapal menurun	*Preventive Maintenance*	*Planned maintenance system*	Pembersihan *injector* dan perawatan *nozzle* mampu menurunkan temperatur gas buang dan kinerja mesin kembali normal

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Akar Masalah	Metode	Rancangan Solusi	Hasil Penelitian
11	Darismawanto *et al*. (2024)	Rendahnya tingkat kebersihan bio solar yang tidak memenuhi standar ISO4406:2021 dengan parameter *cleanliness* 18/16/13	Matriks *Grand Slam*	Trainning pengecekan *cleanliness* dan *flushing* tangki *fuel truck*	Meningkatkan *fuel cleanliness* hingga target 96% dan produktivitas perusahaan, menurunkan biaya *handling,* serta mengurangi *breakdown engine*

2.2. Dasar Teori

Penulisan Tugas Akhir ini menggunakan beberapa dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam penulisan.

2.2.1. *Biodiessel* B40

Dalam proses operasional unit alat berat dalam perusahaan pertambangan sangat erat kaitannya dengan penggunaan bahan bakar. Menurut keputusan kementerian ESDM per tanggal 1 Januari 2025 bahwa penggunaan bahan bakar berjenis B-40 ini mulai diterapkan sebagai bentuk komitmen serius terhadap penggunaan energi yang berkelanjutan (*sustainability*). B-40 sendiri merupakan bahan bakar campuran yang terdiri atas solar dan kandungan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) sebanyak 40%. Peningkatan jumlah FAME pada bahan bakar solar cenderung mempengaruhi sifat fisik dari bahan bakar *biodiessel* yang digunakan, terutama pada viskositas, nilai kalor per satuan massa yang berimplikasi langsung pada kinerja pembakaran motor diesel menurut Septi *et al*. (2025).

2.2.2. *Fishbone Diagram*

Metode analisis akar masalah menggunakan *Fishbone Diagram* adalah salah satu pendekatan yang digunakan untuk memberikan gambaran penyebab permasalahan yang terjadi dalam suatu sistem atau proses. Diagram ini menggunakan perspektif 5M (*Man, Machine, Material, Method,* dan *Measurement*), 2E (*Environment* dan *Energy*), dan *Information.* Analisa yang digunakan dalam pendekatan ini adalah menggunakan data dominan dikumpulkan secara subjektif atas pengamatan langsung dengan menggunakan data kualitatif dan data kuantitatif (Aristriyana & Fauzi, 2022).

2.2.3. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Menurut Setyawan *et al*. (2022) salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria yang dikembangakan oleh Thomas L. Saaty adalah metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Metode ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang melibatkan beberapa kriteria dan alternatif secara sistematik dan objektif. Metode ini menggunakan struktur perbandingan berpasangan (*pair-wise comparison*) antar elemen pada setiap level untuk menentukan bobot relatif setiap kriteria dan alternatif, selanjutnya menjumlahkan nilai bobot untuk menentukan *ranking* prioritas alternatif berdasarkan tujuan yang sudah ditetapkan.



Gambar 2.4. Model hirarki pengambilan keputusan dalam AHP

(Sumber : Jurnal Teknik Industri Vol. 1, No. 1 Bulan Juni 2022)

2.2.4. Instruksi Kerja

Instruksi Kerja (WI) merupakan dokumen tertulis yang berisi instruksi dan langkah kerja yang sistematis dan terstandarisasi untuk melaksanakan suatu aktivitas dalam lingkungan kerja. Keberadaan instruksi kerja bertujuan untuk memastikan bahwa pekerjaan dapat dilakukan dengan konsisten serta mengurangi kesalahan dan variasi operasional pelaksana tugas (Lesmana & Anwar, 2024).

2.2.5. Perancangan Sistem Berbasis *Work Design and Measurement*

Perancangan sistem kerja (*work design*) merupakan salah satu pendekatan dalam keilmuan Teknik Industri yang bertujuan untuk merancang dan menyusun metode kerja dengan memperhatikan interaksi antara manusia, mesin dan lingkungan kerja agar operasional dapat berjalan dengan efisien, efektif, dan aman. Perancangan ini mencakup standar pelaksanaan kerja, urutan kerja, pembagian tugas yang tepat sehingga setiap operator dapat menjalankan pekerjaannya secara konsisten dan produktif (Karmelia *et al*., 2025).

2.2.6. ISO 50001:2018

Perancangan berbasis standar ISO 50001:2018, merupakan salah satu standar internasional yang digunakan untuk mengelola sistem manajemen energi, bertujuan untuk membantu sebuah organisasi menetapkan kerangka kerja untuk dapat mencapai peningkatan kinerja energi secara *sustainability* melalui pendekatan *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) (Fitriadhi *et al*., 2025).

2.2.7. Teori *Reliability*

Teori *reliability* digunakan untuk mengukur tingkat keandalan suatu mesin atau komponen dalam bentuk probabilitas, yaitu peluang bahwa mesin atau komponen

tersebut dapat beroperasi sesuai fungsinya tanpa mengalami kegagalan dalam periode waktu tertentu. Dalam konsep perawatan, teori *reliability* dapat memberikan informasi mengenai karakteristik kegagalan peralatan serta membantu dalam penentuan kebijakan perawatan yang lebih efektif.

2.2.7.1. Identifikasi Pola Distribusi

Tahap awal dalam teori *reliability* adalah mengidentifikasi pola distribusi data kerusakan atau *Time to Failure* (TTF). Identifikasi distribusi dilakukan menggunakan metode *Least Square Fitting* dengan membandingkan empat distribusi probabilitas yang umum digunakan dalam analisis keandalan, yaitu distribusi Normal, Lognormal, Eksponensial, dan Weibull. Proses ini bertujuan untuk memperoleh nilai *Index of Fit* terbesar yang menunjukkan tingkat kesesuaian terbaik antara data aktual dengan distribusi teoritis yang digunakan. Berikut merupakan langkah dalam menghitung nilai *Index of Fit*

a. Nilai Tengah Kerusakan (*Medium Rank*)

$$F_{ti} = \frac{(i\text{-}0{,}3)}{(n\text{+}0{,}4)} \tag{2.1}$$

F_{ti} = Nilai tengah kerusakan

i = Data wakktu ke-i

n = Jumlah data kerusakan

b. Nilai *Index of Fit* (r)

$$r = \frac{[n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - (\sum_{i=1}^{n} X_i)(\sum_{i=1}^{n} Y_i)]}{\sqrt{\left[n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} X_i)^2\right] - \left[\sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} Y_i)^2\right]}} \tag{2.2}$$

r = *Index of Fit*

X_i = Nilai variabel X pada data waktu ke-i

Y_i = Nilai variabel Y pada data waktu ke-i

i = Data waktu ke-i

Berikut merupakan tahapan untuk menghitung nilai *Index of Fit* berdasarkan distribusi Normal, Lognormal, Eksponensial, Weibull.

a. Distribusi Normal

$$X_i = t_i \tag{2.3}$$

$$Y_i = Z_i = \phi^{-1}[F_{ti}] \tag{2.4}$$

X_i = Nilai variabel X pada data waktu ke-i

t_i = Data Waktu Kegagalan (*Time to Failure*) pada data ke-i

Y_i = Nilai variabel Y pada data waktu ke-i

Z_i = Variabel transformasi data yang mengikuti distribusi Normal

ϕ^{-1} = Fungsi invers distribusi kumulatif Normal

F_{ti} = Nilai tengah kerusakan

b. Distribusi Lognormal

$$X_i = ln\, t_i \tag{2.5}$$

$$Y_i = Z_i = \phi^{-1}[F_{ti}] \tag{2.6}$$

X_i = Nilai variabel X pada data waktu ke-i

t_i = Data Waktu Kegagalan (*Time to Failure*) pada data ke-i

Y_i = Nilai variabel Y pada data waktu ke-i

Z_i = Variabel transformasi data yang mengikuti distribusi Normal

ϕ^{-1} = Fungsi invers distribusi kumulatif Normal (Lampiran 7)

F_{ti} = Nilai tengah kerusakan

c. Distribusi Eksponensial

$$X_i = t_i \tag{2.7}$$

$$Y_i = ln\left[\frac{1}{1-F_{ti}}\right] \tag{2.8}$$

X_i = Nilai variabel X pada data waktu ke-i

t_i = Data Waktu Kegagalan (*Time to Failure*) pada data ke-i

Y_i = Nilai variabel Y pada data waktu ke-i

F_{ti} = Nilai tengah kerusakan

d. Distribusi Weibull

$$X_i = ln\, t_i \tag{2.9}$$

$$Y_i = ln(ln(\frac{1}{1-F_{ti}})) \tag{2.10}$$

X_i = Nilai variabel X pada data waktu ke-i

t_i = Data Waktu Kegagalan (*Time to Failure*) pada data ke-i

Y_i = Nilai variabel Y pada data waktu ke-i

F_{ti} = Nilai tengah kerusakan

2.2.7.2. Uji *Goodness of Fit*

Uji *Goodness of Fit* (GoF) digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian antara data aktual dengan distribusi probabilitas teoritis yang terpilih berdasarkan hasil perhitungan nilai *Index of Fit*. Dalam pelaksanaannya, uji Go digunakan untuk menolak distribusi yang tidak sesuai dengan data aktual. Oleh karena itu, pengujian dilakukan dengan menggunakan dua hipotesis yang saling berlawanan, sebagai berikut

H0 = Data kerusakan atau data perbaikan mengikuti distribusi probabilitas tertentu

H1 = Data kerusakan atau data perbaikan tidak mengikuti distribusi probabilitas tertentu

Keputusan pengujian diambil berdasarkan perbandingan antara nilai statistik uji dengan nilai kritis pada tingkat signifikansi yang telah ditentukan. Berikut merupakan uji *Goodness of Fit* untuk setiap distribusi

a. Uji *Kolmogorov – Smirnov* untuk Distribusi Normal dan Lognormal

Hipotesa yang digunakan pada uji *Kolmogorov – Smirnov* adalah

H0: Data kerusakan berdistribusi Normal atau Lognormal

H1: Data kerusakan tidak berdistribusi Normal atau Lognormal

H0 diterima ketika

$$D_n < D_{crit} \tag{2.11}$$

D_n = Nilai maksimal antara D1 dan D2

D_{crit} = Nilai kritis uji *Kolmogorov-Smirnov* (Lampiran 10)

$$D1 = max\phi\left(\frac{t_i-\mu}{s}\right)-\left(\frac{t-1}{n}\right) \tag{2.12}$$

$$D2 = max\left(\frac{i}{n}\right) - \phi\left(\frac{t_i-\mu}{s}\right) \tag{2.13}$$

D1 = Selisih maksimum antara fungsi distribusi teoritis dan fungsi distribusi empiris bagian bawah

D2 = Selisih maksimum antara fungsi distribusi teoritis dan fungsi distribusi empiris bagian atas

t_i = Data Waktu Kegagalan (*Time to Failure*) pada data ke-i

μ = Nilai rata-rata (*mean*) data

S = Standar deviasi data

t dan i = urutan data ke-i

n = Jumlah data kegagalan

ϕ = Fungsi distribusi kumulatif normal (Lampiran 7)

b. Uji *Bartlett* untuk Distribusi Eksponensial

Hipotesa yang digunakan pada uji *Bartlett* adalah

H0: Data kerusakan berdistribusi Eksponensial

H1: Data kerusakan tidak berdistribusi Eksponensial

H0 diterima ketika

$$X^2_1 < B > X^2_2 \tag{2.14}$$

X_1 dan X_2 = Nilai kritis *Chi-Square* (Lampiran 11)

B = Nilai uji statistik *Bartlett*

$$B = \frac{2r\left[ln\left(\frac{1}{r}\right)\sum_{t=1}^{r} t_i - \left(\frac{1}{r}\right)\sum_{t=1}^{r} lnt_i\right]}{1+\frac{r+1}{6r}} \tag{2.15}$$

B = Uji *Bartlett*

r = Jumlah data kerusakan

t_i = Data Waktu Kegagalan (*Time to Failure*) pada data ke-i

c. Uji *Mann's Test* untuk Distribusi Weibull

Hipotesa yang digunakan pada uji *Mann's Test* adalah

H0: Data kerusakan berdistribusi Weibull

H1: Data kerusakan tidak berdistribusi Weibull

H0 diterima ketika

$$M_{hitung} < M_{tabel} \tag{2.16}$$

$$M_{tabel} = M_{\alpha,k1,k2} \tag{2.17}$$

M_{tabel} = Nilai kritis *Mann's Test* (Lampiran 8 dan 9)

M_{hitung} = Nilai *Mann's Test* dari hasil perhitungan

$$k1 = \frac{r}{2} \tag{2.18}$$

$$k2 = \frac{r-1}{2} \tag{2.19}$$

k1 = Parameter pertama untuk menentukkan nilai kritis *Mann's Test*

k2 = Parameter kedua untuk menentukkan nilai kritis *Mann's Test*

r = Jumlah data kerusakan

$$Z_i = ln\left[-ln\left(1-\frac{i-0.5}{n+0.25}\right)\right] \quad (2.20)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \quad (2.21)$$

Z_i = Transformasi Weibull untuk data ke-i

i = urutan data ke-i

n = Jumlah data kerusakan

M_i = Selisih antara dua nilai Z yang berurutan

Z_{i+1} = Nilai Z pada data berikutnya

$$M = \frac{k1 \sum_{i=k1+1}^{r-1} \left(\frac{lnt_{i+1} - lnt_i}{M_i}\right)}{k2 \sum_{i=1}^{k1} \left(\frac{lnt_{i+1} - lnt_i}{M_i}\right)} \quad (2.22)$$

M = Statistik Uji *Mann's Test*

t_i = Data Waktu Kegagalan (*Time to Failure*) pada data ke-i

M_i = Selisih antara dua nilai Z yang berurutan

Z_i = Transformasi Weibull untuk data ke-i

k1 = Parameter pertama untuk menentukkan nilai kritis *Mann's Test*

k2 = Parameter kedua untuk menentukkan nilai kritis *Mann's Test*

r = Jumlah data kerusakan

i = urutan data ke-i

2.2.7.3. Parameter Estimasi Distribusi

Estimasi parameter distribusi merupakan proses untuk menentukan nilai parameter suatu distribusi probabilitas yang sesuai dengan data kegagalan. Dalam analisis reliabilitas, estimasi parameter dilakukan setelah distribusi data kegagalan atau *Time to Failure* (TTF) terpilih, sehingga model distribusi dapat digunakan untuk menghitung interval penggantian komponen atau *Mean Time to Failure* (MTTF).

a. Distribusi Normal

Parameter pada distribusi Normal adalah standar deviasi (σ) dan rata-rata (μ)

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n} \quad (2.23)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (t_i - \mu)^2}{n}} \quad (2.24)$$

t_i = Data Waktu Kegagalan (*Time to Failure*) pada data ke-i

n = Jumlah data kerusakan

μ = Nilai rata-rata (*mean*) data

σ = Standar Deviasi

b. Distribusi Lognormal

Parameter pada distribusi Lognormal adalah *mean* (μ), standar deviasi (S), dan *median* (T_{med})

$$\mu=\frac{\sum_{i=1}^{n} ln(t_i)}{n} \quad (2.25)$$

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[ln(t_i)-\mu]^2}{n}} \quad (2.26)$$

$$T_{med}=e^{\mu} \quad (2.27)$$

t_i = Data Waktu Kegagalan (*Time to Failure*) pada data ke-i

μ = Nilai rata-rata (*mean*) data

S = Standar deviasi

n = Jumlah data kerusakan

T_{med} = Median data kerusakan

c. Distribusi Eksponensial

Parameter pada distribusi Eksponensial adalah rata-rata jumlah kegagalan (λ)

$$\lambda=\frac{n}{T} \quad (2.28)$$

λ = Rata-rata jumlah kegagalan

n = Jumlah data kerusakan

T = Total data kerusakan

d. Distribusi Weibull

Parameter pada distribusi Weibull adalah *Shape Parameter* (β) dan *Scale Parameter* (θ)

$$b=\beta=\frac{n\sum X_i Y_i-(\sum X_i)(\sum Y_i)}{n\sum X_i^2-(\sum X_i)^2} \quad (2.29)$$

(β) = *Shape Parameter*

X_i = Nilai variabel X pada data waktu ke-i

Y_i = Nilai variabel Y pada data waktu ke-i

n = Jumlah data kerusakan

$$a=\frac{\sum Y_i - b\sum X_i}{n} \tag{2.30}$$

a = Intersep (konstanta)

X_i = Nilai variabel X pada data waktu ke-i

Y_i = Nilai variabel Y pada data waktu ke-i

n = Jumlah data kerusakan

$$\theta=e^{\left(-\frac{a}{b}\right)} \tag{2.31}$$

θ = *Scale Parameter*

a = Intersep (konstanta)

b = *Shape Parameter*

2.2.7.4. *Mean Time to Failure* (MTTF)

MTTF merupakan rata-rata waktu operasi suatu komponen atau sistem sebelum mengalami kegagalan. MTTF digunakan untuk menggambarkan umur harapan (*expected lifetime*) suatu komponen berdasarkan data kegagalan yang telah terjadi. Secara sederhana, MTTF menunjukkan berapa lama rata-rata komponen dapat beroperasi hingga mengalami kerusakan pertama kali.

a. Distribusi Normal

Berikut merupakan persamaan matematis untuk MTTF berdasarkan distribusi Normal

$$MTTF=\mu \tag{2.32}$$

μ = Nilai rata-rata (*mean*) data

b. Distribusi Lognormal

Berikut merupakan persamaan matematis untuk MTTF berdasarkan distribusi Lognormal

$$MTTF=T_{med}\times e^{\frac{S^2}{2}} \tag{2.33}$$

S = Standar deviasi

T_{med} = Median data kerusakan

c. Distribusi Eksponensial

Berikut merupakan persamaan matematis untuk MTTF berdasarkan distribusi Eksponensial

$$MTTF=\frac{1}{\lambda} \quad (2.34)$$

λ = Rata-rata jumlah kegagalan

d. Distribusi Weibull

Berikut merupakan persamaan matematis untuk MTTF berdasarkan distribusi Weibull

$$MTTF=\theta.\Gamma(1+\frac{1}{\theta}) \quad (2.35)$$

θ = *Scale Parameter*

Γ = Tabel fungsi Gamma (Lampiran 6)

2.2.8. Perancangan Sistem Berbasis *Quality Reliability Engineering*

Quality Reliability Engineering (QRE) adalah pendekatan yang menggabungkan aspek kualitas dan keandalan untuk memastikan sistem tidak hanya memenuhi standar yang ditetapkan tetapi juga beroperasi secara stabil tanpa kegagalan selama periode waktu tertentu. Menurut Charles (2003), keandalan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu sistem atau komponen akan menjalankan fungsinya dengan benar dalam kondisi tertentu dan untuk periode waktu tertentu. Dalam praktiknya, pendekatan ini mencakup analisis kegagalan, pemodelan keandalan, dan penentuan strategi pemeliharaan yang tepat.

2.2.9. *Match Factor*

Match factor (MF) merupakan suatu rumusan matematis yang digunakan untuk menilai tingkat kesesuian kerja antara alat muat dan alat angkut pada setiap kondisi kegiatan pemuatan dan pengangkutan (Anaperta, 2016). Menurut Nuryanneti & Kurniawan (2025) *match factor* adalah rasio antara kapasitas peralatan pemuatan, seperti ekskavator, *loader*, atau sekop, dan kapasitas peralatan pengangkutan, seperti truk pengangkut atau *haul truck*, selama satu siklus penambangan. Nilai MF yang optimal dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi waktu tunggu, dan memaksimalkan produktivitas alat berat. Dalam penerapannya, *match factor* tidak hanya dipengaruhi oleh kapasitas alat, tetapi juga oleh waktu siklus masing-masing alat, jumlah unit yang digunakan, serta kondisi operasional seperti jarak, kondisi jalan, dan keterampilan operator.

2.2.10. ISO 10224:2010

Merupakan standar yang digunakan untuk melakukan manajemen dokumen proses bisnis melaui dokumentasi, pemetaan, dan analisis secara sistematis untuk memahami alur kerja serta dapat menentukan kebutuhan perbaikan atau penerapan teknologi. Selain itu, standar ini juga digunakan untuk dapat meningkatkan efisiensi untuk mendukung pencapaian tujuan kebutuhan bisnis secara lebih efektif.

2.2.11. *Ergonomy Display*

Istilah ”ergonomi” berasal dari bahasa Yunani ”*ergon*”, yang berarti pekerjaan, dan ”nomos” yang berarti hukum (Anggara *et al*., 2025). Ergonomi dapat dipahami sebagai ilmu yang mengatur sistem kerja. Seiring perkembangannya, ergonomi telah menjadi bidang studi yang mengkaji interaksi antara manusia dan lingkungan kerjanya dari perspektif anatomi, psikologi, teknik, manajemen, dan desain. Tujuan ergonomi adalah menyesuaikan pekerjaan, peralatan, dan lingkungan kerja dengan kemampuan serta keterbatasan manusia guna mencapai efisiensi, kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan dalam berbagai aktivitas.

Display adalah perangkat yang digunakan untuk menyampaikan informasi kepada operator atau orang yang sedang melakukan tugas, sehingga menciptakan lingkungan kerja yang memungkinkan operator memahami informasi yang diterima dan meneruskannya melalui pengamatan visual, serta mendukung kelancaran alur proses kerja. Dengan adanya *display*, informasi di dalam perusahaan dapat dikomunikasikan dan disebarluaskan, termasuk dalam bentuk aturan atau instruksi yang disajikan secara visual (Junaedi & Cholisana, 2021). Dalam konteks ini, *display* didefinisikan sebagai komponen lingkungan yang berfungsi untuk mengkomunikasikan kondisi atau keadaan kepada orang-orang. Perancangan *display* yang efektif perlu memperhatikan aspek keterbacaan (*legibility*) dan kemudahan pemahaman (*readability*) dari setiap elemen visual. Unsur-unsur seperti warna, bentuk, simbol, serta ukuran memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan dan ketepatan pengguna dalam menangkap informasi yang disajikan.

a. Warna dapat dimanfaatkan untuk mengelompokkan informasi, menarik perhatian, serta menunjukkan tingkat urgensi. Pemilihan kombinasi warna perlu mempertimbangkan kontras yang memadai.

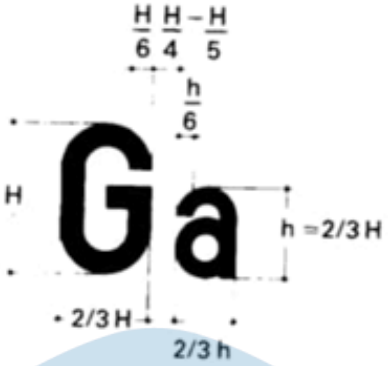
Tabel 2.2. Legabilitas kombinasi warna

Legibilitas	Kombinasi Warna	
	Karakter	***Background***
Sangat Bagus	Hitam	Putih
	Hitam	Kuning
Bagus	Kuning	Hitam
	Putih	Hitam
	Biru Gelap	Putih
Sedang	Hijau	Putih
	Merah	Putih
	Merah	Kuning
Buruk	Hijau	Merah
	Merah	Hijau
	Oranye	Hitam
	Oranye	Putih
Sangat Buruk	Hitam	Biru
	Kuning	Putih

b. Bentuk geometris seperti lingkaran, segitiga, dan persegi memiliki makna yang diasosiasikan secara khusus, misalnya segitiga yang sering digunakan sebagai tanda peringatan. Penggunaan bentuk yang konsisten dapat mempermudah pengguna dalam mengenali ikon atau simbol secara cepat.

c. Simbol perlu dirancang sederhana, mudah dikenali, dan tidak menimbulkan ambiguitas. Penggunaan simbol yang kurang familiar berpotensi menyebabkan kebingungan serta menghambat kecepatan respon pengguna.

d. Ukuran huruf dan ikon perlu disesuaikan dengan jarak pandang serta resolusi layar agar tetap mudah terbaca. Informasi yang bersifat penting sebaiknya ditampilkan dengan ukuran lebih besar dan ketebalan lebih tinggi dibandingkan elemen pendukung.



Gambar 2.5. Proporsi ukuran huruf

(Sumber:
https://ojs.uajy.ac.id/index.php/JTIMR/article/download/7102/3107/23313)

2.2.12. ISO 14224:2016

ISO 14224:2016 merupakan standar untuk pemeliharaan. Standar ini menekankan bahwa pemeliharaan merupakan kombinasi tindakan teknis, administratif, dan manajerial yang dilakukan sepanjang siklus hidup aset dengan tujuan mempertahankan atau mengembalikkan fungsinya sesuai yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa pemeliharaan harus dipahami sebagai proses yang berlangsung secara berkelanjutan sejak awal hingga akhir umur pakai aset. Standar ini juga menegaskan bahwa kegiatan pemeliharaan tidak hanya dilakukan saat terjadi kerusakan, tetapi juga mencakup tahap perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, hingga evaluasi kinerja aset. Integrasi antara data historis kegagalan dan aktivitas perawatan menjadi dasar dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat, seperti penentuan strategi perawatan dan interval pemeliharaan yang optimal.

2.2.13. Kode Etik Asosiasi Jasa Pertambangan Indonesia (ASPINDO)

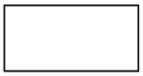
Kode etik ini berisi tentang kebijakan perusahaan jasa pertambangan dalam praktiknya dapat menjalankan kegiatan dengan mengutamakan keselamatan dan kesehatan kerja, perlindungan lingkungan, pemanfaatan sumber daya alam dengan bijak, serta menjaga kepentingan umum. Sebagai perusahaan yang bergerak di bidang jasa pelayanan pertambangan, anggota juga wajib menjunjung kejujuran, keadilan, integritas, dan menerapkan praktik pertambangan serta tata kelola perusahaan yang baik (ASPINDO, 2026).

2.2.14. Teori Forgetting Curve

Forgetting curve adalah teori yang membahas tentang informasi yang diperoleh melalui proses pelatihan lambat laun akan mengalami penurunan retensi jika tidak ada proses pengulangan atau penguatan materi, teori ini dikemukakan oleh Hermann Ebbinghaus. Menurut penelitian (Zhang *et al.*, 2026) pelatihan menggunakan metode *Forgetting Curve* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan pelatihan konvensional pada perawat instrumen yang baru bekerja dan sering mengalami kesulitan dalam mengingat pengetahuan dan praktik yang diperlukan selama melakukan operasi penggantian sendi lutut (*knee arthroplasty*). Selain itu, metode ini juga memiliki keberhasilan dengan menggunakan pola interval 1-3-7 hari untuk meningkatkan retensi konsep spasial pada pembelajaran mata pelajaran Geografi (Rojulan *et al.*, 2026).

2.2.15. *Business Process Modeling Notation* (BPMN)

Business Process Modeling Notation (BPMN) adalah salah satu standar yang digunakan untuk memvisualisasikan atau memodelkan alur proses bisnis yang menyediakan informasi alur menggunakan notasi grafis (Setiyani *et al.*, 2022). Representasi visual yang mudah dipahami oleh berbagai pemangku kepentingan merupakan tujuan dari perancangan BPMN. Selain berfungsi sebagai alat perancangan proses bisnis, BPMN juga berperan sebagai sarana komunikasi yang efektif antara persyaratan bisnis dan implementasi teknis. Proses ini terdiri notasi *event, activity, gateway,* dan *flow* dengan simbol seperti pada gambar 2.6.

Simbol	Nama Simbol	Keterangan
	*Event*	Suatu kejadian yang ada dalam proses bisnis, *event* dibagi menjadi tiga yaitu *start event, end event,* dan *intermediate event.*
	*Task/Activity*	Kegiatan yang dilakukan dalam suatu area bisnis.
	*Gateway*	Percabangan yang menyatakan lebih dari satu kondisi.
	Flow	Menunjukan aliran data dari suatu simbol ke simbol lain.

Gambar 2.6. Notasi BPMN

(Sumber: Jurnal Interkom Vol. 16 Nomor 04 Bulan Januari – Tahun 2022)