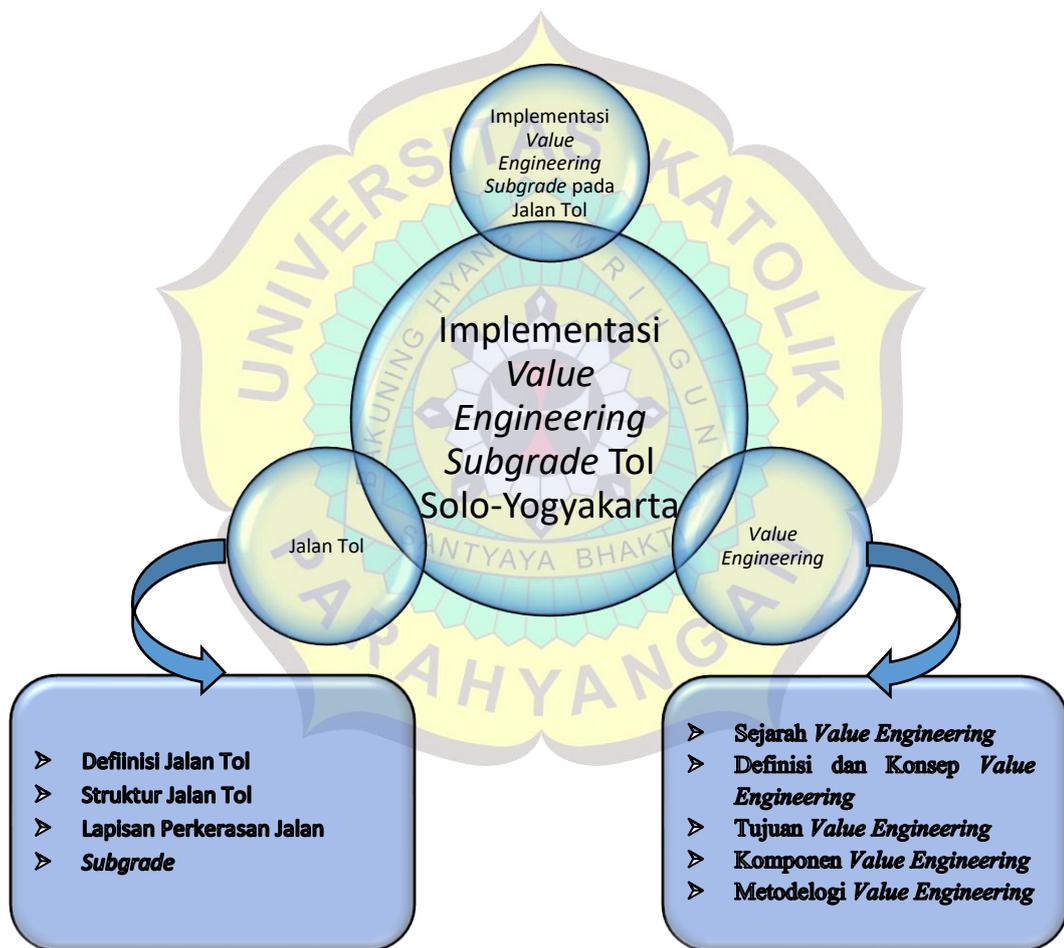


# BAB 2

## DASAR TEORI

### 2.1 Pendahuluan

Berdasarkan permasalahan dan tujuan dari penelitian ini sehingga dilakukan tinjauan pustaka sebagai landasan dalam analisis implementasi *value engineering* pekerjaan *subgrade* tol solo Yogyakarta. Tinjauan Pustaka tersebut dibentuk dalam sebuah kerangka konseptual seperti pada gambar sebagai berikut :



Gambar 2.1 Kerangka Konseptual Studi Literatur

## 2.2 Jalan Tol

### 2.2.1 Definisi Jalan Tol

Jalan tol merupakan infrastruktur penting dalam transportasi yang berperan penting dalam menghubungkan kota-kota, meningkatkan mobilitas, mengurangi kemacetan lalu lintas, dan mendukung pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Definisi jalan menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 13/PRT/M/2019 tentang Jalan Tol, jalan tol adalah jalan yang dirancang, dibangun, dan dioperasikan secara khusus untuk kepentingan transportasi kendaraan bermotor dengan kecepatan tinggi, serta memberikan pelayanan yang terjamin, aman, nyaman, dan efisien bagi pengguna jalan. Jalan tol memiliki karakteristik teknis yang khusus, termasuk fasilitas dan perlengkapan yang mendukung fungsi dan keamanan lalu lintas.

Definisi jalan tol menurut peraturan ini juga mencakup beberapa aspek, yaitu:

1. Lebaran jalan tol

Jalan tol memiliki lebaran yang memadai untuk melayani lalu lintas kendaraan bermotor dengan kecepatan tinggi. Lebaran jalan tol dapat berbeda-beda tergantung pada jenis dan kelas jalan tol.

2. Jumlah Jalur

Jalan tol dapat memiliki beberapa jalur yang memungkinkan aliran lalu lintas dalam arah yang sama. Jumlah jalur jalan tol ditentukan berdasarkan pertimbangan volume lalu lintas yang diperkirakan.

3. Ruas Jalan Tol

Jalan tol terdiri dari beberapa ruas yang saling terhubung dan membentuk jaringan jalan tol. Setiap ruas jalan tol memiliki panjang dan karakteristik teknis yang ditentukan berdasarkan kebutuhan dan kondisi topografi wilayah yang dilalui.

4. Simpang Tol

Jalan tol dilengkapi dengan simpang tol yang berfungsi sebagai tempat beralihnya kendaraan dari atau ke jalan tol. Simpang tol dapat berupa gerbang tol manual atau gerbang tol otomatis yang dilengkapi dengan sistem elektronik untuk pengumpulan tol.

## 5. Fasilitas Keselamatan

Jalan tol harus dilengkapi dengan fasilitas keselamatan yang memadai, seperti penerangan jalan, tanda lalu lintas, marka jalan, rambu-rambu, penghalang pengaman, serta fasilitas penanganan kecelakaan.

## 6. Operasional dan Pengelolaan

Jalan tol dioperasikan dan dikelola oleh Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) yang memiliki kewajiban untuk memastikan jalan tol beroperasi dengan baik, termasuk pemeliharaan rutin, pengawasan lalu lintas, penanganan kecelakaan, dan pengelolaan sistem pembayaran tol.

Definisi jalan tol dalam peraturan ini bertujuan untuk mengatur standar dan persyaratan teknis yang harus dipenuhi dalam perencanaan, pembangunan, dan pengoperasian jalan tol di Indonesia.

### 2.2.2 Struktur Jalan Tol

Struktur jalan tol terdiri dari beberapa elemen utama yang mencakup lapisan-lapisan perkerasan, bahu jalan, drainase, dan struktur penahan tanah.

#### 1. Lapisan Perkerasan Jalan Tol

Lapisan perkerasan jalan tol terdiri dari beberapa lapisan yang berfungsi untuk menahan beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke lapisan bawahnya. Lapisan perkerasan jalan tol umumnya terdiri dari lapisan *subgrade*, lapisan pondasi, lapisan *subbase*, dan lapisan permukaan.

#### 2. Bahu Jalan

Bahu jalan pada jalan tol adalah area yang terletak di samping permukaan jalan dan berfungsi sebagai tempat pengemudi yang mengalami keadaan darurat, parkir sementara, atau pekerjaan pemeliharaan jalan.

#### 3. Drainase

Sistem drainase pada jalan tol meliputi saluran air, saluran tepi, saluran tengah, parit, dan alat penampung air lainnya untuk mengalirkan air hujan dari permukaan jalan.

#### 4. Struktur Penahan Tanah

Struktur penahan tanah, seperti dinding penahan tanah, diperlukan untuk mengatasi perubahan elevasi dan mempertahankan kestabilan lereng di sekitar jalan tol.

### 2.2.3 Lapisan Perkerasan Jalan Tol

Lapisan perkerasan jalan tol merupakan salah satu lapisan yang paling penting karena berfungsi untuk menahan beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke lapisan bawahnya. Berikut adalah lapisan-lapisan perkerasan jalan tol:

1. *Subgrade*

*Subgrade* adalah lapisan tanah alami yang berada di bawah lapisan perkerasan jalan tol. *Subgrade* adalah tanah dasar yang membentuk dasar struktur jalan dan harus memiliki kekuatan dan kestabilan yang memadai.

2. Pondasi atau *base course*

Lapisan pondasi berada di atas *subgrade* dan bertugas mendistribusikan beban lalu lintas dari lapisan perkerasan ke *subgrade*. Pondasi dapat terbuat dari bahan seperti agregat alam atau agregat yang telah dipadatkan.

3. *Subbase*

Lapisan *subbase* berada di atas pondasi dan berfungsi sebagai lapisan penahan yang membantu mendistribusikan beban lalu lintas secara merata. *Subbase* biasanya terdiri dari agregat kasar yang telah dipadatkan.

4. Lapis permukaan

Lapisan permukaan adalah lapisan teratas perkerasan jalan tol yang berfungsi sebagai lapisan pengguna jalan. Lapisan permukaan dapat terbuat dari aspal (perkerasan aspal) atau beton (perkerasan beton).

### 2.2.4 *Subgrade*

*Subgrade* berperan sebagai dasar struktur jalan tol dan harus memiliki kekuatan dan kestabilan yang memadai. Kualitas *subgrade* yang baik penting untuk menjaga kestabilan dan daya dukung jalan tol. Beberapa hal yang harus diketahui mengenai *subgrade* diantaranya adalah:

1. Karakteristik *subgrade* jalan tol

*Subgrade* jalan tol harus memiliki kemampuan daya dukung yang memadai, kestabilan lereng yang baik, dan ketahanan terhadap deformasi. Karakteristik *subgrade* dapat ditentukan melalui pengujian tanah dan analisis geoteknik.

2. Metode pekerjaan *subgrade*

Metode pekerjaan *subgrade* jalan tol dapat mencakup beberapa tahapan, seperti persiapan lahan, penggalian, pemadatan, dan pengecekan kualitas.

- a. Persiapan lahan  
Tahap persiapan lahan melibatkan pengukuran dan pemetaan area proyek, pembuatan akses jalan sementara, serta pembersihan lahan dari vegetasi atau penghalang lainnya.
  - b. Penggalian  
Penggalian dilakukan untuk mencapai tingkat *subgrade* yang diinginkan. Penggalian ini dapat melibatkan penggunaan alat berat seperti ekskavator, bulldoser, atau scraper untuk menghilangkan lapisan tanah yang tidak sesuai atau material yang tidak diinginkan.
  - c. Pemadatan  
Tahap pemadatan bertujuan untuk meningkatkan kepadatan dan kestabilan *subgrade*. Pemadatan ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat pemadat tanah seperti roller atau mesin pemadat lainnya. Proses pemadatan dapat melibatkan penggunaan galian tambahan atau penggantian material *subgrade* jika diperlukan.
  - d. Pengecekan Kualitas  
Setelah pemadatan, dilakukan pengecekan kualitas *subgrade* untuk memastikan bahwa lapisan tersebut memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Ini melibatkan pengujian kualitas tanah, seperti kepadatan, kelembaban, dan analisis geoteknik.
3. Jenis-Jenis Metode Pemadatan *Subgrade*
- Berikut adalah beberapa jenis metode pemadatan *subgrade* jalan tol:
- a. Pemadatan dengan roller tanah  
Metode ini melibatkan penggunaan roller tanah (*soil compactor*) untuk memadatkan *subgrade* dengan menggulung dan menekan tanah secara berulang.
  - b. Pemadatan dengan roller getar  
Metode ini menggunakan roller getar (*vibratory roller*) yang dilengkapi dengan drum yang dapat bergetar untuk meningkatkan efisiensi pemadatan dan kepadatan *subgrade*.

- c. Pemadatan dengan mesin pemadat luncur  
Metode ini melibatkan penggunaan mesin pemadat luncur (*sheepsfoot roller*) yang memiliki rumbai logam berbentuk piramida untuk meningkatkan pemadatan dan kepadatan *subgrade*.
  - d. Pemadatan dengan mesin pemadat getar  
Metode ini melibatkan penggunaan mesin pemadat getar (*vibratory plate compactor*) yang digunakan untuk pemadatan *subgrade* pada area yang sulit dijangkau oleh alat pemadat lainnya.
  - e. Pemadatan dengan pemadatan dinamis  
Metode ini melibatkan penggunaan peralatan pemadat dinamis seperti alat pemadat getar besar atau mesin pemadat guncangan untuk memadatkan *subgrade* dengan menggunakan getaran atau guncangan yang kuat.
4. Bahan-Bahan *Subgrade*
- a. Tanah asli (tanah alam)  
Tanah asli atau tanah alam adalah tanah yang ada di lokasi proyek jalan tol dan digunakan sebagai *subgrade* tanpa perlakuan khusus. Tanah alam ini bisa juga disebut *Common Borrow Material* (CBM) yang merupakan istilah yang digunakan dalam industri konstruksi untuk merujuk pada material tambahan yang diperoleh dari sumber daya alam di sekitar lokasi proyek. Material CBM biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan dalam konstruksi, seperti material timbunan, pengisi, atau material lain yang diperlukan untuk pembangunan infrastruktur. Material CBM dapat berupa pasir, kerikil, tanah, atau campuran dari berbagai jenis material alami lainnya yang tersedia secara lokal. Material CBM biasanya diperoleh dari lokasi yang dekat dengan lokasi proyek untuk mengurangi biaya transportasi dan meminimalkan dampak lingkungan yang disebabkan oleh pengangkutan material dari jarak yang jauh.
  - b. *Limestone*  
*Limestone* atau batu kapur adalah jenis batuan sedimen yang terbentuk dari endapan mineral kalsium karbonat yang berasal dari fosil organisme laut. Batu kapur memiliki komposisi utama berupa kalsit atau aragonit, yang merupakan bentuk kristal dari kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). *Limestone* umumnya memiliki warna putih atau abu-abu, tetapi dapat juga memiliki

variasi warna lain seperti kuning, coklat, atau hitam tergantung pada kandungan mineral dan pengotor yang ada di dalamnya. Batu kapur memiliki kekerasan yang relatif rendah, dengan tingkat kekerasan sekitar 3 pada skala Mohs.

c. Bantak/Sirtu

Bantak/Sirtu adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada material berupa tanah liat yang dicampur dengan bahan tambahan seperti pasir atau kerikil. Bantak biasanya digunakan dalam konstruksi untuk membentuk dasar atau pondasi yang stabil. Karena kandungan liatnya, bantak memiliki sifat yang padat dan kuat setelah dipadatkan, sehingga cocok untuk digunakan dalam konstruksi.

d. Tanah Laterit

Tanah laterit adalah jenis tanah yang kaya akan mineral laterit dan biasanya memiliki tingkat kekuatan dan stabilitas yang baik.

e. Tanah Lempung

Tanah lempung adalah jenis tanah yang mengandung lebih dari 50% partikel lempung. Tanah ini dapat memiliki sifat plastis yang tinggi dan membutuhkan perlakuan khusus untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitasnya.

f. Tanah Berpasir

Tanah berpasir adalah jenis tanah yang terdiri dari material utama partikel pasir. Tanah ini biasanya memiliki drainase yang baik, tetapi mungkin memerlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitasnya.

g. Tanah Stabilisasi

Stabilisasi tanah melibatkan penambahan bahan tambahan seperti kapur, semen, *fly ash*, atau bahan pengikat lainnya ke dalam tanah asli atau tanah lemah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitasnya.

5. Perbaikan *Subgrade*

Jika *subgrade* jalan tol memiliki kelemahan atau ketidakstabilan, perbaikan dapat dilakukan dengan menggunakan teknik stabilisasi tanah, seperti pemadatan, penggalian dan penggantian tanah, atau penggunaan bahan stabilisasi.

6. Pengujian *subgrade*

Pengujian tanah dilakukan untuk mengevaluasi sifat-sifat fisik dan mekanik *subgrade* jalan tol, termasuk kekuatan, kepadatan, konsistensi, dan kemampuan drainase tanah.

7. Perawatan *subgrade*

*Subgrade* jalan tol perlu dirawat untuk menjaga kestabilan dan daya dukungnya. Perawatan yang umum dilakukan meliputi pengendalian erosi, pengaturan drainase yang baik, dan pemeliharaan terhadap vegetasi yang dapat merusak *subgrade*.

8. Drainase *subgrade*

Drainase yang baik pada *subgrade* jalan tol penting untuk mencegah akumulasi air di bawah lapisan perkerasan. Drainase yang buruk dapat menyebabkan penurunan stabilitas *subgrade* dan kerusakan pada perkerasan jalan tol.

9. Stabilisasi *subgrade*

Jika *subgrade* memiliki karakteristik yang tidak memadai, stabilisasi dapat dilakukan dengan menggunakan bahan tambahan seperti bahan stabilisasi kimia, bahan geotekstil, atau bahan pengikat lainnya untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas *subgrade*.

10. Perhitungan kekuatan *subgrade*

Untuk mendesain struktur jalan tol yang aman dan tahan lama, perlu dilakukan perhitungan kekuatan *subgrade*. Hal ini melibatkan evaluasi kapasitas daya dukung *subgrade* dan analisis beban yang akan diterima oleh *subgrade* dari lalu lintas jalan tol.

11. Analisis geoteknik *subgrade*

Analisis geoteknik digunakan untuk mempelajari sifat fisik dan mekanik *subgrade* jalan tol. Ini mencakup pengujian tanah, penentuan parameter geoteknik, dan pemodelan untuk memahami perilaku *subgrade*.

## 2.3 Value Engineering

### 2.3.1 Sejarah Value Engineering

Pada dasarnya sebuah metode yang diciptakan dan bisa digunakan diperoleh dari proses yang rumit dan panjang, seperti halnya metode *value engineering*. Dari proses tersebut kita dapat memahami dengan tujuan apa metode ini dibuat dan bagaimana kita mengaplikasikannya. Dikutip dari buku *Value Engineering Handbook* (2006) *Value Engineering* (VE) memiliki sejarah yang dimulai selama Perang Dunia II, ketika produsen terpaksa menggunakan bahan dan desain pengganti akibat keterbatasan bahan baku. *General Electric Company*, setelah menemukan bahwa banyak pengganti tersebut memberikan kinerja yang setara atau lebih baik dengan biaya yang lebih rendah, dan meluncurkan upaya untuk mengembangkan alternatif yang lebih murah secara sistematis.

Lawrence D. Miles, seorang insinyur staf di *General Electric*, memimpin upaya ini dan menggabungkan berbagai ide dan teknik untuk mengembangkan pendekatan metodologis yang berhasil dalam menjamin nilai dalam produk. Konsep ini dengan cepat menyebar di industri swasta karena diakui bahwa investasi yang relatif kecil dapat menghasilkan keuntungan besar.

Pada tahun 1957, Bureau of Ships Angkatan Laut Amerika Serikat menjadi organisasi Departemen Pertahanan AS pertama yang mendirikan program VE resmi. Miles dan seorang karyawan *General Electric* lainnya, Raymond Fountain, mendirikan program tersebut untuk membantu mengurangi biaya konstruksi kapal yang telah meningkat drastis sejak akhir Perang Dunia II.

Pada tahun 1959, persyaratan kontraktual untuk VE ditambahkan ke dalam *Armed Services Procurement Regulation*, yang kemudian menjadi pendahulu dari *Federal Acquisition Regulation* (FAR) saat ini. Pada awalnya, VE hanya digunakan dengan persetujuan komando, tetapi pada tahun 1962, peraturan pengadaan Departemen Pertahanan diubah untuk menjadikan VE sebagai program wajib baik bagi Departemen maupun kontraktornya.

Sejak awal pendiriannya, konsep VE terbukti sangat sukses, dan saat ini VE menjadi praktek yang digunakan di seluruh dunia. Program VE DoD memiliki dua komponen utama, yaitu upaya internal yang dilakukan oleh personil militer dan sipil DoD, serta upaya eksternal yang dilakukan oleh kontraktor DoD. Ketentuan

VE yang wajib dalam kontrak DoD mendorong partisipasi kontraktor dan memberikan insentif bagi mereka untuk mengajukan proposal pengurangan biaya.

### 2.3.2 Definisi dan Konsep *Value Engineering*

*Value engineering* adalah sebuah metodologi yang digunakan untuk meningkatkan nilai atau efisiensi suatu proyek atau produk, dengan fokus pada pengoptimalan biaya, waktu, kualitas, dan fungsi. Tujuan dari *value engineering* adalah mencapai nilai yang lebih tinggi dengan mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan, mengurangi biaya, meningkatkan kualitas, dan meningkatkan kepuasan pengguna.

*Value engineering* adalah sebuah pendekatan yang umum digunakan dalam industri konstruksi, manufaktur, dan rekayasa untuk meningkatkan efisiensi dan memberikan nilai tambah bagi suatu proyek atau produk. Metodologi ini melibatkan analisis menyeluruh terhadap fungsi dan biaya dengan melibatkan tim multidisiplin yang terdiri dari ahli teknis, manajemen proyek, dan pemangku kepentingan terkait.

Berikut adalah definisi dan konsep *value engineering* menurut beberapa ahli:

1. *Value Engineering Institute* (VEI)

Menurut VEI, *value engineering* didefinisikan sebagai "sebuah sistematis dan fungsional analisis suatu proyek dengan tujuan untuk mencapai nilai yang optimal melalui penggunaan kombinasi yang tepat dari biaya, fungsi, keandalan, estetika, dan kualitas".

2. Lawrence D. Miles, Pendiri *Value Engineering*

Lawrence D. Miles mendefinisikan *value engineering* sebagai "menganalisis sistem atau produk yang ada untuk mencapai penghematan yang maksimal dalam biaya, tanpa mengorbankan fungsi, keandalan, atau estetika yang diinginkan".

3. SAVE International (*Society of American Value Engineers*)

SAVE International mendefinisikan *value engineering* sebagai "sebuah metode kolaboratif yang digunakan untuk meningkatkan nilai dari suatu proyek, sistem, atau produk melalui evaluasi sistematis dari fungsi-fungsi yang ada dengan fokus pada penghapusan pemborosan, pengurangan biaya, dan peningkatan kualitas.

### **2.3.3 Tujuan *Value Engineering***

Tujuan utama dari *value engineering* adalah untuk mencapai nilai yang optimal dalam suatu proyek atau produk. Berikut adalah beberapa tujuan umum dari *value engineering*:

1. Mengoptimalkan biaya

*Value engineering* bertujuan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan atau aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah sehingga dapat mengurangi biaya produksi atau konstruksi.

2. Meningkatkan kualitas

Dengan melibatkan analisis menyeluruh terhadap fungsi dan komponen suatu proyek atau produk, *value engineering* bertujuan untuk meningkatkan kualitas, keandalan, dan performa keseluruhan.

3. Meningkatkan efisiensi

*Value engineering* berfokus pada mencari solusi yang lebih efisien dalam hal penggunaan sumber daya, waktu, tenaga kerja, dan material, sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional dan produktivitas.

4. Memaksimalkan nilai fungsional

Melalui analisis fungsi, *value engineering* bertujuan untuk memaksimalkan nilai fungsional dari suatu proyek atau produk dengan memastikan bahwa setiap komponen dan fitur memiliki tujuan yang jelas dan efektif.

5. Mengurangi risiko

Dengan melakukan analisis mendalam terhadap berbagai aspek suatu proyek atau produk, *value engineering* bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko yang mungkin terjadi selama proses produksi, konstruksi, atau operasional.

### **2.3.4 Komponen *Value Engineering***

Berikut adalah beberapa komponen yang umumnya memainkan peran penting dalam *value engineering*:

1. Fungsi

Analisis fungsi adalah komponen inti dalam *value engineering*. Fokus pada pemahaman mendalam tentang fungsi yang harus dipenuhi oleh proyek atau produk yang dievaluasi.

## 2. Biaya

Komponen biaya melibatkan penilaian terhadap biaya yang terkait dengan proyek atau produk. Hal ini meliputi biaya konstruksi, biaya operasional, biaya pemeliharaan, dan sebagainya.

## 3. Kualitas dan kinerja

Komponen ini melibatkan penilaian kualitas dan kinerja produk atau proyek yang dievaluasi. Hal ini meliputi aspek-aspek seperti keandalan, efisiensi, durabilitas, dan sebagainya.

## 4. Keberlanjutan dan lingkungan

Komponen ini melibatkan pertimbangan terhadap aspek keberlanjutan dan dampak lingkungan dari proyek atau produk yang dievaluasi. Hal ini termasuk dalam rangka mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan dan perlindungan lingkungan.

### **2.3.5 Metodologi *Value Engineering***

Dikutip dari *SAVE International Value Standard* edisi 2007, bahwa metodologi value engineering merupakan sistem/prosedur yang terstruktur yang bertujuan untuk meningkatkan suatu nilai (value). Prosedur tersebut akan memudahkan dalam proses pelaksanaan sampai dengan hasil yang diinginkan, dan dapat menjadi tolak ukur dari keberhasilan metode *Value Engineering* tersebut. Menurut Dell'Isola (1997); Hafnidar A. Rani (2022) prosedur dari *value engineering* melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :

#### 1. Tahap Informasi

Identifikasikan secara lengkap atas sistem struktur bangunan dan sistem pelaksanaan konstruksi, identifikasikan fungsi dan estimasi biaya yang mendasar pada fungsi pokok.

#### 2. Tahap Kreatif

Mencari alternatif-alternatif untuk memenuhi fungsi pokok

#### 3. Tahap Analisis

Analisis terhadap alternatif meliputi: analisis keuntungan-kerugian, analisis biaya daur hidup proyek, dan analisis pembobotan kriteria dalam analisis pemilihan alternatif untuk mendapatkan alternatif potensial.

#### 4. Tahap Rekomendasi

Mempersiapkan rekomendasi dari alternatif yang dipilih dengan mempertimbangkan pelaksanaan secara teknis dan ekonomis.

Adapun cara yang digunakan dalam tahapan-tahapan *value engineering* adalah sebagai berikut :

##### 1. Tahap Informasi

Tahapan ini merupakan pengumpulan semua informasi yang mendukung pekerjaan proyek, seperti sistem, fungsi dan biaya dari pekerjaan yang akan dianalisa.

Menurut Dell'Isola (1974) dalam Barrie dan Poulson (1984) informasi suatu item pekerjaan dapat berupa jawaban dari pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut:

- a) Apa itemnya?
- b) Apa Fungsinya?
- c) Berapa nilai fungsinya?
- d) Berapa total biayanya?
- e) Area yang mempunyai indikasi biaya tinggi atau nilai yang rendah?

Menurut Donomartono (1999) Informasi umum proyek dapat berupa:

- a) Kriteria desain teknis
- b) Kondisi lapangan (topografi, kondisi tanah, daerah sekitar, gambar sekitar)
- c) Kebutuhan-kebutuhan regular
- d) Unsur-unsur desain (komponen konstruksi dan bagian-bagian dari proses)
- e) Riwayat proyek
- f) Batasan yang dipakai untuk proyek
- g) *Utility* yang tersedia
- h) Perhitungan desain
- i) Partisipasi publik

Dalam tahapan informasi cara yang dapat digunakan adalah dengan mendefinisikan fungsi item dalam proyek. Terdapat 2 teknik yang bisa digunakan antara lain adalah sebagai berikut :

a. *Breakdown*

Menurut Dell'Isolla (1974) *breakdown* adalah suatu analisis untuk menggambarkan distribusi pemakaian biaya dari item-item pekerjaan suatu elemen bangunan. Jumlah biaya item pekerjaan tersebut kemudian dibandingkan dengan total biaya proyek untuk mendapatkan persentase bobot pekerjaan. Semakin besar bobot pekerjaan, maka semakin berpotensi untuk dianalisis *value engineering*.

**Tabel 2.1** Breakdown (Sumber : Dell'Isola (1974))

Item Pekerjaan Biaya	Biaya
1. Pekerjaan A	RP.....
2. Pekerjaan B	RP.....
3. Pekerjaan C	RP.....
4. Pekerjaan D	RP.....
5. Pekerjaan E	RP.....
6. Pekerjaan F	RP.....
Total	RP M
Biaya total proyek keseluruhan	Rp N
Presentase	Rp M/N

Dari tabel tersebut dapat di jelaskan sebagai berikut :

- a) Pekerjaan A-F merupakan item-item pekerjaan dari suatu elemen bangunan yang memiliki potensial untuk dilakukan VE. Item pekerjaan tersebut dipilih berdasarkan biaya yang besar dari elemen pekerjaan lainnya.
- b) Item pekerjaan tersebut berpotensi dilakukan VE jika perbandingan jumlah item pekerjaan tersebut dengan biaya total proyek memiliki persentase besar.
- c) Selanjutnya, memilih item pekerjaan A-F yang berpotensi untuk dilakukan Analisa VE. Selain dari segi biaya, identifikasi juga dapat ditinjau dari segi bahan dan metode untuk mencari alternatif pengganti.

b. Analisis Fungsi

Analisis Fungsi pekerjaan adalah salah satu hal yang krusial dalam *Value Engineering* karena dapat membedakan antara VE dan Teknik-

teknik penghematan biaya lainnya. Didalam Analisa fungsi kita dapat mengetahui biaya terendah dari pelaksanaan fungsi utama dan fungsi pendukung pekerjaan dengan cara mengurangi biaya yang tidak diperlukan tanpa mempengaruhi fungsi dari pekerjaan. Identifikasi fungsi dilakukan dengan mendeskripsikan dua kata, yaitu kata kerja aktif dan kata benda yang terukur. Identifikasi tersebut diidentifikasi lagi menjadi fungsi dasar yang merupakan pekerjaan utama yang harus dilaksanakan dan fungsi-fungsi sekunder yang mungkin diperlukan tapi tidak wajib dilaksanakan. Menurut Hutabarat (1995) fungsi adalah kegunaan atau manfaat yang diberikan produk kepada pemakai untuk memenuhi suatu atau sekumpulan kebutuhan tertentu.

**Tabel 2.2** Tabel Analisa Fungsi (Donomartono (1999))

No	Komponen	Fungsi			Worth (Rp.)	Cost (Rp.)
		Verb	Noun	Kind		
1	A	Menahan	Beban	P	Rp....	Rp....
2	B	Meneruskan	Beban	S	Rp....	Rp....
<b>Jumlah</b>					$\Sigma W$	$\Sigma C$

**Nilai cost/worth =  $\Sigma Rp C / \Sigma Rp W$**

Adapun penjelasan dari tabel tersebut adalah sebagai berikut :

- a) Analisa fungsi hanya menerangkan item pekerjaan yang akan dianalisa dengan mendefinisikan dari kata kerja dan kata benda. Analisa fungsi digunakan pada tahap informasi dan tahap kreatif *value engineering*. Komponen A dan B merupakan item pekerjaan yang akan dianalisa fungsinya.
- b) Pada kolom Fungsi mencakup *verb*, *noun*, dan *kind* merupakan identifikasi fungsi dari komponen pekerjaan yang akan dianalisa. *verb* merupakan identifikasi fungsi kata kerja aktif komponen, *noun* merupakan identifikasi fungsi kata benda terukur komponen, dan *kind* merupakan identifikasi fungsi jenis komponen dimana P merupakan fungsi primer dan S merupakan fungsi sekunder.
- c) Pada kolom *cost* diisi biaya komponen pekerjaan desain, dan pada kolom *worth* diisi biaya komponen pekerjaan alternatif setelah dilakukan perhitungan anggaran biaya.
- d) Nilai *cost/worth* hanya menunjukkan besar efisiensi penghematan dari alternatif yang direncanakan. Jika nilai *cost/worth* kurang dari 1 maka tidak ada penghematan, jika nilai lebih besar dari 1 maka terjadi penghematan.

## 2. Tahap Kreatif

Tahap ini berisikan opsi-opsi atau alternatif-alternatif lain yang digunakan sebagai pembanding dari rencana awal dan dimungkinkan adanya kesesuaian material yang dibutuhkan sehingga perubahan yang terjadi dapat efisien dari segi biaya, mutu, dan waktu. Menurut Hutabarat (1995) tahap kreatif adalah mengembangkan sebanyak mungkin alternatif yang bisa memenuhi fungsi primer atau pokoknya. Alternatif-alternatif tersebut akan dipilih dengan mempertimbangkan kriteria-kriteria rencana sebagai bahan evaluasi.

## 3. Tahap Analisis

Tahap ini berisikan olah data dan analisa dengan mempertimbangkan keuntungan dan kerugian dari alternatif-alternatif dengan beberapa kriteria sebagai bahan evaluasi dan memberikan ranking hasil penilaian guna menentukan keputusan alternatif apa yang paling efisien untuk digunakan. Proses evaluasi tersebut dapat dilakukan dengan teknik diantaranya ialah metode *paired comparison*.

Metode *paired comparison* adalah sebuah metode penentuan keputusan terhadap beberapa kriteria dengan melakukan pembobotan yang menggambarkan kepentingan relative beberapa objek. Metode *paired comparison* dilakukan dengan beberapa urutan, yaitu sebagai berikut :

### 1. Membuat tabel analisa fungsi

Tabel analisa fungsi yang ada pada tahap informasi dimasukkan kembali pada tahap analisa dengan estimasi biaya desain dan alternatif telah diketahui.

### 2. Membuat tabel kriteria desain dari masing-masing alternatif

Tabel kriteria desain berisikan kriteria-kriteria yang akan digunakan sebagai bahan evaluasi pada keputusan final kedepannya. Kriteria-kriteria tersebut dibatasi hanya pada kriteria yang berhubungan dengan tujuan kedepannya.

3. Membuat tabel metode *paired comparison* mencari bobot

**Tabel 2.3** Metode *Paired Comparison* Bobot

	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>Skor</b>	<b>Persentase</b>	<b>Deskripsi</b>
<b>A</b>	A3	A3	A3	A3	A3	15	41,7	A
	<b>B</b>	B3	B3	B3	B3	12	33,3	B
		<b>C</b>	C2	C2	C2	6	16,7	C
			<b>D</b>	D1	F1	1	2,8	D
				<b>E</b>	E1	1	2,8	E
						1	2,8	F
<b>TOTAL</b>						<b>36</b>	<b>100</b>	

**1. Slight benefit**

**2. Moderate benefit**

**3. Major benefit**

Penjelasan tabel:

- a) Dalam contoh tabel diatas terdapat enam kriteria yaitu A, B, C, D, E, F yang akan dibandingkan.
- b) Skor 1 untuk *slight*
- c) Skor 2 untuk *moderat*
- d) Skor 3 untuk *Major*
- e) Dari contoh diatas kriteria A lebih penting dibandingkan B, C, D, E, F dengan tingkat kepentingan adalah *major* maka pada tabel tertulis A3 pada masing-masing kriteria yang dibandingkan.
- f) Dari contoh diatas kriteria B lebih penting dibanding C, D, E, F dengan tingkat kepentingan *major* maka pada tabel tertulis B3 pada masing-masing kriteria yang dibandingkan.
- g) Dari contoh diatas kriteria C lebih penting dibanding D, E, F dengan tingkat kepentingan *moderate* maka pada tabel tertulis C2 pada masing-masing kriteria yang dibandingkan.
- h) Dari contoh diatas kriteria D lebih penting dibanding E dengan tingkat kepentingan *slidght* maka pada tabel tertulis D1, pada perbandingan kriteria D dengan F kriteria F lebih penting dengan tingkat kepentingan *slidght* maka pada tabel tertulis F1.
- i) Dari contoh diatas kriteria E lebih penting dibanding F dengan tingkat kepentingan *slidght* maka pada tabel tertulis E1.
- j) Skor-skor tersebut dijumlahkan, dimana pada tabel kriteria A memiliki skor A3 sebanyak 5 sehingga skornya 15. Kriteria B

memiliki skor B3 sebanyak 4 sehingga memiliki skor 12. Kriteria C memiliki skor C2 sebanyak 3 sehingga memiliki skor 6. Kriteria D memiliki skor D1 sebanyak 1 sehingga memiliki skor 1. Kriteria E memiliki skor E1 sebanyak 1 sehingga memiliki skor 1. Kriteria F memiliki skor F1 sebanyak 1 sehingga memiliki skor 1.

- k) Skor tersebut dipersentasekan dan didapat A = 41,7%, B = 33,3%, C = 16,7 %, D = 2,8%, E = 2,8%, dan F = 2,8 %
- l) Skor tersebut nantinya akan dibawa ke matriks analisa fungsi sebagai bobot.

4. Membuat tabel metode *paired comparison* mencari indeks

**Tabel 2.4** Metode *Paired Comparison* Indeks

	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Skor</b>	<b>Persentase</b>	<b>Deskripsi</b>
<b>A</b>	A2	C2	2	33	<b>A</b>
	<b>B</b>	C2	0	0	<b>B</b>
			4	67	<b>C</b>
	<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>100</b>	

4. **Slight benefit**

5. **Moderate benefit**

6. **Major benefit**

Penjelasan Tabel :

- a) Dalam contoh tabel diatas terdapat tiga kriteria yaitu A, B, C yang akan dibandingkan.
- b) Skor 1 untuk *slight*
- c) Skor 2 untuk *moderat*
- d) Skor 3 untuk *Major*
- e) Dari contoh diatas kriteria A lebih penting dibandingkan B dengan tingkat kepentingan adalah *moderate* maka pada tabel tertulis A2.
- f) Dari contoh diatas kriteria C lebih penting dibanding A dengan tingkat kepentingan *moderate* C2, begitupula C lebih penting dibanding B Sehingga pada tabel tertulis C2.
- g) Skor-Skor tersebut dijumlahkan, dimana pada tabel kriteria A memiliki skor A2 sehingga skornya 2. Kriteria C memiliki skor C2 sebanyak 2 sehingga memiliki skor 4.
- h) Skor tersebut dipersentasekan dan didapat A = 33%, B = 0%, dan C = 67 %.
- i) Skor tersebut nantinya akan dibawa ke matriks analisa fungsi sebagai indeks.

5. Membuat tabel matrik evaluasi

Menurut Hutabarat (1995) matrik evaluasi adalah salah satu alat pengambilan keputusan yang dapat menggabungkan kriteria kualitatif (tak dapat diukur) dan kriteria kuantitatif (dapat diukur). Dalam perhitungan, matrik evaluasi menggunakan dua tabel yaitu tabel metode *paired comparison* bobot dan tabel metode *paired comparison* indeks untuk setiap kriteria desain dengan hasil akhir berupa nilai persentase. Nilai persentase tersebut dimasukkan kedalam matriks analisis fungsi dengan rumus: **Indeks x Bobot**. Penetapan keputusan dipilih berdasarkan skor terbesar dari hasil tersebut.

**Tabel 2.5** Matriks Analisa Fungsi

No	Fungsi	Kriteria									Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	<b>Bobot</b>	<b>B</b>									
1	A	I	I	I	I	I	I	I	I	I	ΣY
		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	
2	B	I	I	I	I	I	I	I	I	I	ΣY
		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	
3	C	I	I	I	I	I	I	I	I	I	ΣY
		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	

Keterangan tabel :

- a) B = Bobot
- b) I = Indeks
- c) Y = Bobot x Indeks
- d) ΣY = Jumlah Total pada baris Y
- e) A, B, C adalah item pekerjaan yang dianalisa.
- f) Baris kolom 1 – 9 merupakan asumsi kriteria item pekerjaan yang akan dianalisa.
- g) Baris bobot diperoleh dari tabel metode *paired comparison* bobot dengan bentuk berupa nilai persentase seperti pada tabel 2.3.
- h) Nilai indeks diperoleh dari tabel metode *paired comparison* indeks dengan bentuk berupa nilai persentase seperti pada tabel 2.4.

- i) Alternatif dipilih berdasarkan  $\sum Y$  yaitu total indeks x bobot terbesar.

#### 4. Tahap Rekomendasi

Tahap ini merupakan tahap dimana hasil analisa akan dijelaskan kepada pihak manajemen. Penyampaian penjelasan berisikan hasil akhir atau keputusan dari alternatif yang akan digunakan, biaya yang akan digunakan, spesifikasi singkat, dan pengaruh dari alternatif yang akan dilaksanakan. Penjelasan tersebut dapat dilakukan secara tertulis ataupun secara lisan kepada semua pihak yang berhubungan dengan alternatif yang akan dipilih dan juga digunakan untuk meyakinkan owner dalam pengambilan keputusan.

### 2.4 Implementasi *Value Engineering* pada Pekerjaan Jalan Tol

Implementasi *value engineering* pada pekerjaan *Subgrade* jalan tol mengacu pada pendekatan yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengurangi biaya, meningkatkan kualitas, dan meningkatkan nilai dari pekerjaan *subgrade* jalan tol melalui analisis yang teliti dan pemilihan alternatif terbaik. Dalam konteks ini, *subgrade* mengacu pada lapisan tanah yang menjadi dasar atau pondasi dari jalan tol.

Nilai dalam *value engineering* tidak hanya berkaitan dengan aspek finansial, tetapi juga meliputi aspek fungsional, operasional, dan estetika. Dengan menerapkan *value engineering* pada pekerjaan *subgrade* jalan tol, dapat dicapai efisiensi dalam penggunaan sumber daya, peningkatan kualitas, dan pengurangan risiko yang mungkin terjadi.

Untuk menyusun implementasi *value engineering* pada pekerjaan *subgrade* jalan tol, langkah-langkah berikut dapat diikuti:

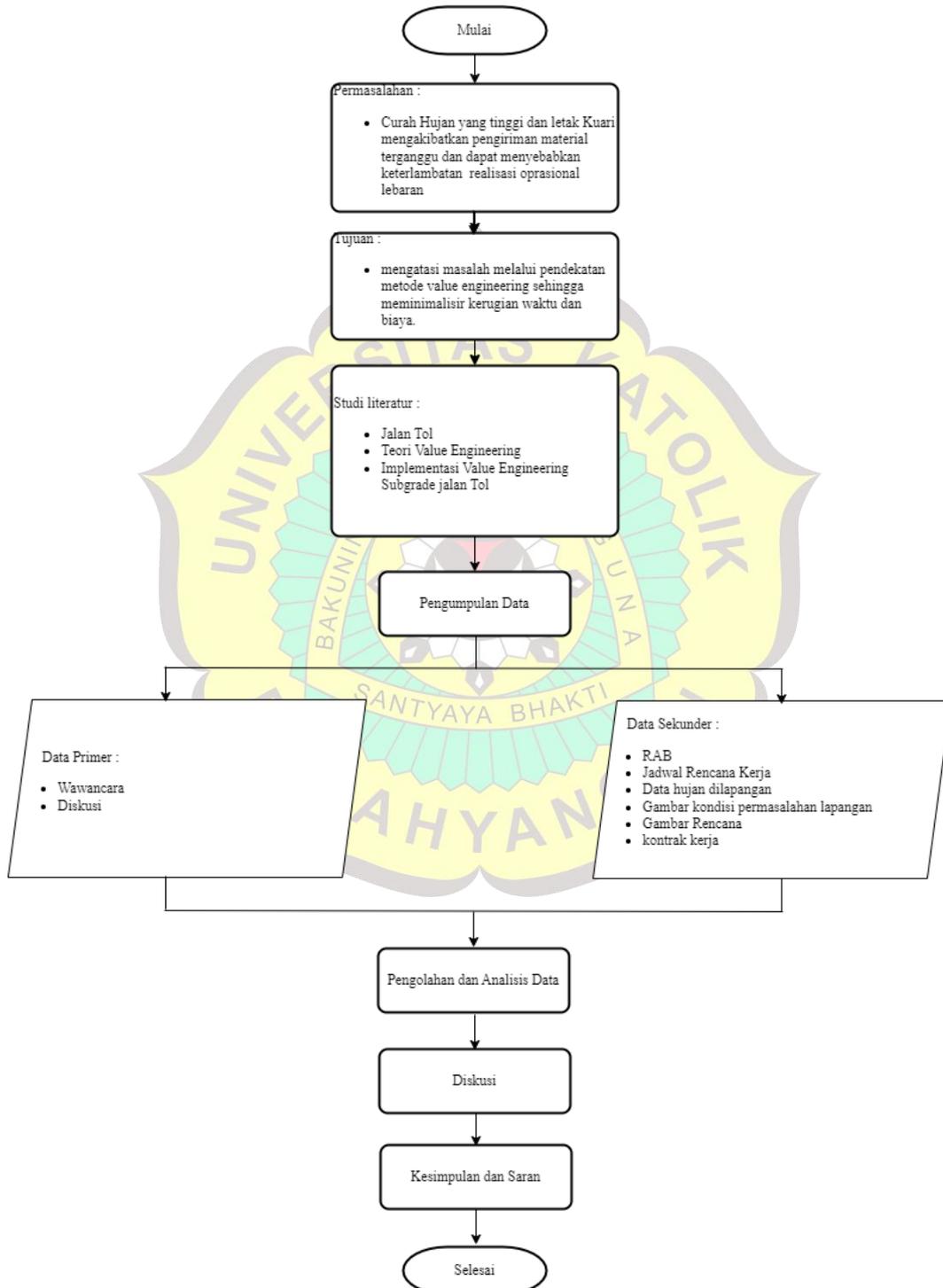
1. Tim *value engineering*: Bentuk tim khusus yang terdiri dari para ahli terkait, termasuk insinyur sipil, arsitek, perencana, dan pihak terkait lainnya. Tim ini bertanggung jawab untuk menganalisis dan mengidentifikasi potensi peningkatan nilai pada pekerjaan *subgrade* jalan tol.

2. Analisis fungsi: Identifikasi fungsi utama dari pekerjaan *subgrade* jalan tol dan tujuan yang ingin dicapai. Pertimbangkan aspek teknis dan operasional yang harus dipenuhi oleh *subgrade* jalan tol.
3. Identifikasi alternatif: Melalui analisis mendalam, tim *value engineering* harus mengidentifikasi berbagai alternatif dalam perancangan, bahan, metode konstruksi, dan teknologi yang dapat meningkatkan nilai pekerjaan *subgrade* jalan tol.
4. Evaluasi alternatif: Tim *value engineering* harus melakukan evaluasi komprehensif terhadap setiap alternatif yang diidentifikasi. Evaluasi ini harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti kualitas, biaya, keberlanjutan, efisiensi operasional, dan risiko yang terkait dengan masing-masing alternatif.
5. Pemilihan alternatif terbaik: Berdasarkan hasil evaluasi, tim *value engineering* harus memilih alternatif terbaik yang memberikan peningkatan nilai secara keseluruhan pada pekerjaan *subgrade* jalan tol. Alternatif terbaik harus mempertimbangkan semua aspek yang relevan dan memenuhi tujuan proyek.
6. Implementasi dan monitoring: Setelah alternatif terbaik dipilih, langkah selanjutnya adalah mengimplementasikannya dalam pekerjaan *subgrade* jalan tol. Selama pelaksanaan, proyek harus dipantau secara terus-menerus untuk memastikan bahwa alternatif terbaik diterapkan dengan benar dan memberikan hasil yang diharapkan.

# BAB 3

## METODELOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

### 3.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dikaji adalah terkait adanya Permasalahan Curah hujan yang tinggi yang menyebabkan akses jalan terganggu, ditambah lokasi kuari yang cukup jauh menyebabkan pekerjaan terganggu dan tidak menutup kemungkinan terjadinya keterlambatan pekerjaan dan rencana operasional fungsional tidak dapat direalisasikan. Agar tidak terjadi demikian, maka Pihak Pertama merencanakan percepatan pekerjaan. Percepatan tersebut dilakukan dengan perubahan material pada jalan akses yang dilalui menuju site yang akan dioprasionalkan. Perubahan tersebut kedepannya akan dianalisa menggunakan *value engineering*.

### 3.3 Tujuan

Berdasarkan pada masalah yang telah dijabarkan, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penerapan *value engineering* dan mengetahui seberapa efisien jika perubahan/pekerjaan baru tersebut dilakukan dengan metode *value engineering* pada pekerjaan *subgrade* tol Solo-Yogyakarta.

### 3.4 Studi Literatur

Studi literatur meliputi tinjauan pustaka yang relevan mengenai *value engineering*, *subgrade* jalan tol, implementasi *value engineering* pada proyek infrastruktur, serta studi terkait yang menyangkut penelitian terkait implementasi *value engineering* pekerjaan *subgrade* tol Solo-Yogyakarta. Adapun studi literatur yang ditinjau adalah sebagai berikut :

1. Jalan tol  
dengan didalamnya terkait definisi jalan tol, struktur jalan tol, lapisan perkerasan jalan tol, dan *subgrade*.
2. *Value engineering*  
didalamnya terkait sejarah *value engineering*, definisi dan konsep *value engineering*, tujuan komponen *value engineering*, dan metode *value engineering*.
3. Implementasi metode *value engineering* terhadap pekerjaan *subgrade* jalan tol.

### 3.5 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan meliputi observasi lapangan, wawancara dengan pihak terkait, studi dokumentasi, dan pengumpulan data sekunder. Adapun data yang dikumpulkan meliputi:

1. Data Primer

Wawancara Proyek Manager Atau Pelaksana Proyek terkait permasalahan-permasalahan yang terjadi, dan langkah yang dilakukan oleh mereka,

2. Data Sekunder

- a) RAB;
- b) Jadwal rencana kerja;
- c) Data hujan dilapangan;
- d) Gambar kondisi permasalahan dilapangan;
- e) Gambar rencana;
- f) Kontrak kerja.

### 3.6 Pengolahan dan Analisis Data

Metode pengolahan dan analisis data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengorganisasian data, penyusunan data ke dalam format yang sesuai, pengkodean data, analisis, serta interpretasi data. Metode pengolahan dan analisis data dalam *value engineering* menggunakan metode *paired comparison*, meliputi :

1. Tahap Informasi

Identifikasikan secara lengkap atas sistem struktur bangunan dan sistem pelaksanaan konstruksi, identifikasikan fungsi dan estimasi biaya yang mendasar pada fungsi pokok.

2. Tahap Kreatif

Mencari alternatif-alternatif untuk memenuhi fungsi pokok

3. Tahap Analisis

Analisis terhadap alternatif meliputi, analisis keuntungan kerugian, analisis biaya daur hidup proyek, dan analisis pembobotan kriteria dalam analisis pemilihan alternatif untuk mendapatkan alternatif potensial. Adapun dalam analisa digunakan metode *paired comparison* dilakukan dengan beberapa urutan, yaitu sebagai berikut :

1. Membuat tabel analisa fungsi;
  2. Membuat tabel kriteria desain dari masing-masing alternatif;
  3. Membuat tabel metode *paired comparison* mencari bobot;
  4. Membuat tabel metode *paired comparison* mencari indeks;
  5. Membuat tabel matrik evaluasi
4. Tahap Rekomendasi
- Mempersiapkan rekomendasi dari alternatif yang dipilih dengan mempertimbangkan pelaksanaan secara teknis dan ekonomis.

### **3.7 Diskusi**

Pada bagian ini, akan dilakukan diskusi terhadap hasil pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan. Hasil penelitian akan dikaitkan dengan teori-teori yang relevan dan studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya. Diskusi akan berfokus pada temuan-temuan yang signifikan, serta implikasi dari hasil penelitian terhadap implementasi *value engineering* pada pekerjaan *subgrade* jalan tol Solo-Yogyakarta.

### **3.8 Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan akan merangkum temuan-temuan utama dan menjawab pertanyaan penelitian yang diajukan. Selain itu, akan diberikan saran-saran yang relevan berdasarkan hasil penelitian untuk meningkatkan implementasi *value engineering* pada pekerjaan *subgrade* jalan tol Solo-Yogyakarta. Saran dapat mencakup rekomendasi praktis, rekomendasi untuk penelitian lanjutan, atau rekomendasi kebijakan.

## BAB 4

### ANALISIS DATA

#### 4.1 Tahap Informasi

Tahap ini berisikan informasi proyek dan identifikasi permasalahan yang akan dianalisa berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Informasi tersebut dibagi menjadi tiga, yaitu informasi proyek, informasi permasalahan yang terjadi, dan analisa fungsi pekerjaan timbunan *subgrade* tol Solo-Yogyakarta.

##### 4.1.1 Informasi Proyek

Per tanggal 19 Februari 2021 sampai dengan saat ini, perusahaan melakukan pekerjaan proyek Jalan Tol Solo-Yogyakarta dengan tugas sebagai pihak kedua atau sub-kontraktor yang bertugas menangani pekerjaan Jalan Tol sepanjang 12 Km. Pekerjaan akan dijabarkan dalam beberapa data sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Proyek Tol Solo-Yogyakarta (Sebagai Pihak Kedua/Sub-kontraktor)

No	Jenis Pekerjaan /Spesifikasi	Sat	Vol	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)	Bobot (%)
<b>Pembuatan Badan Jalan</b>						
1	Pembersihan Tempat Kerja	m2	919.181,01	3.300	3.033.297.333	0,60%
2	Galian Buang	m3	484.894,39	29.000	14.061.937.310	2,79%
3	Common Borrow Material	m3	3.988.169,17	83.000	331.018.041.110	65,56%
4	Selected Borrow Material (Urugan Pasir)	m3	475.094,39	147.000	69.838.875.330	13,83%
5	Urugan Material Berbutur (Granula Back Fill)	m3	246.951,14	265.000	65.442.052.100	12,96%
6	Persiapan Tanah Dasar	m2	403.424,10	5.000	2.017.120.500	0,40%
7	Lapis Drainase	m3	55.956,43	348.000	19.472.837.640	3,86%
<b>Jumlah</b>					<b>504.884.161.323</b>	<b>100,00%</b>
<b>PPN</b>					<b>50.488.416.132</b>	
<b>Total Jumlah Inci. PPN 10%</b>					<b>555.372.577.455</b>	

Pada kontrak yang disepakati bersama, kapasitas pengiriman produksi material timbunan adalah sebesar 20.000 m<sup>3</sup>/hari dengan daftar peralatan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.2** Minimal Alat yang Harus Disediakan

No	Uraian	Sat.	Vol. Rencana	Kapasitas Alat/Jam	Jam Kerja	Durasi Rencana (hari)	Keb Alat Teoritis (Unit)
1	Pembersihan Tempat Kerja	m <sup>2</sup>	919.181,01				
	Dozer D65			93,75	8,00	200,00	6,00
2	Galian di Buang	m <sup>3</sup>	484.894,39				
	Exca PC 200			72,00	8,00	300,00	22,00
	Dump Truck			9,00	8,00	300,00	22,00
3	Common Borrow Material	m <sup>3</sup>	3.988.169,17				
	Exca PC 300			84,00	8,00	351,00	17,00
	Dump Truck			6,00	8,00	351,00	237,00
4	Selected Borrow Material (Urugan Pasir)	m <sup>3</sup>	475.094,39				
	Dozer D65			6,00	8,00	325,00	2,00
	Dump Truck			6,00	8,00	325,00	30,00
5	Urugan Material Berbutir (Granula Back Fill)	m <sup>3</sup>	246.951,14				
	Dump Truck			7,50	8,00	330,00	5,00
6	Persiapan Tanah Dasar	m <sup>2</sup>	403.424,10				
	Motor Grader			125,00	8,00	250,00	2,00
7	Lapis Drainase	m <sup>3</sup>	55.956,43				
	Motor Grader			15,00	8,00	225,00	2,00

**Tabel 4.3** Kebutuhan Minimal Alat dan Schedule Kedatangan Alat

No	Alat	Jumlah	Satuan	Schedule Alat (Bulan ke-)						
				1	2	3	4	5	6	7
1	Excavator PC300	17	Unit	4	4	7	12	17	17	17
2	Excavator PC200	22	Unit	5	10	22	22	22	22	22
3	Bulldozer D65	8	Unit	3	6	6	8	8	8	8
4	Dump Truck 8 m <sup>3</sup>	289	Unit	50	50	100	180	289	289	289
5	Dump Truck 22 m <sup>3</sup>	10	Unit							
6	Vibrator Roller	10	Unit	4	8	8	10	10	10	10
7	Water Tank 3000-4500 L	8	Unit	2	2	3	5	8	8	8
8	Motor Grader	5	Unit							



kementrian menyebabkan proses perijinan tambang menjadi lama dan akhirnya menghambat pekerjaan timbunan. Selain itu, lahan pekerjaan terbatas karena menunggu instruksi dari kontraktor utama untuk bekerja menyebabkan pekerjaan tidak sesuai dengan rencana.

Saat ini terdapat kendala yang dapat menyebabkan pekerjaan tidak sesuai dengan rencana. Permasalahan tersebut berupa curah hujan tinggi yang dapat menyebabkan akses jalan kerja terganggu. Lokasi kuari yang cukup jauh juga menyebabkan pekerjaan menjadi kurang efisien.

**Tabel 4.5** Data Aktifitas Monitoring Cuaca Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta Per Tanggal 22 Februari 2023 – 20 Maret 2023

Tanggal	Waktu										Keterangan
	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00		
	s/d										
	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	
22/02/23											
23/02/23											
24/02/23											
25/02/23											
26/02/23											
27/02/23											
28/02/23											
01/03/23											
02/03/23											
03/03/23											
04/03/23											
05/03/23											
06/03/23											
07/03/23											
08/03/23											
09/03/23											
10/03/23											
11/03/23											
12/03/23											
13/03/23											
14/03/23											
15/03/23											
16/03/23											
17/03/23											
18/03/23											
19/03/23											
20/03/23											

Keterangan :

	Hujan ringan/gerimis
	Hujan Lebat

Dari Tabel diatas dapat disimpulkan bahwa intensitas curah hujan sedang tinggi, Sehingga akses jalan tidak dapat langsung dilewati oleh dump truck. Pada kondisi mendung setelah hujan membutuhkan 1 hari agar akses dapat dilewati dan jika kondisi cerah akses dapat dilewati setelah menunggu  $\frac{1}{2}$  hari.

**Tabel 4.6** Data Lokasi dan Jarak Masing-Masing Kuari

No	Kuari	Jarak menuju site	Waktu Tempuh
1	Kampung Air	15.1 km	30 menit
2	Gempol	17,6 km	38 menit
3	Babadan	19.3 km	39 menit
4	3Pion	19,5 km	41 menit
5	Gn. Madu	30.9 km	60 menit

Waktu tempuh tercepat pengantaran material dari kuari menuju site adalah selama 30 menit, sehingga akan menambah waktu tunggu mulainya pekerjaan. Selain itu, kondisi curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan pengantaran menjadi lebih tidak efisien karena pekerjaan akan berrhenti sementara akibat dari material tidak bisa dihamparkan.

Pada tanggal 19 April 2023 akan dilakukan oprasional fungsional Jalan Tol Solo-Yogyakarta dengan target penyelesaian timbunan untuk akses mudik lebaran Idul Fitri 2023. Curah hujan tinggi dan lokasi kuari yang cukup jauh dapat menyebabkan keterlambatan pekerjaan, sehingga perlu dilakukan proses percepatan agar sesuai dengan target oprasional lebaran. Percepatan pekerjaan dilakukan dengan perubahan material tanah agar dapat dilalui dalam pengantaran material timbunan pada saat kondisi setelah hujan maupun cerah. Agar perubahan material tanah menjadi lebih efisien dan efektif, maka perlu dilakukan evaluasi dengan menggunakan pendekatan *value engineering*.

#### **4.1.3 Analisa Fungsi Pekerjaan Timbunan *Subgrade* Tol Solo-Yogyakarta**

Analisis Fungsi pekerjaan adalah salah satu hal yang krusial dalam *Value Engineering* karena dapat membedakan antara VE dengan teknik teknik

penghematan biaya lainnya. Selain itu analisa fungsi dalam pekerjaan ini dapat mengetahui perbandingan biaya antara desain dan alternatif-alternatif lainnya.

**Tabel 4.7** Analisa Fungsi Pekerjaan Timbunan *Subgrade* Tol Solo-Yogyakarta

No	Uraian	Kata Kerja	F.K. Benda	Jenis	Cost	Worth
1	P. Timbunan	membentuk	Badan Jalan	Primer	Belum Dihitung	Belum Dihitung
		pondasi	Perkerasan jalan	Primer		
		Memperindah	Bentuk Jalan	Sekunder		
<b>Total</b>					-	-

Analisis fungsi dalam pekerjaan timbunan *subgrade* tol Solo-Yogyakarta diidentifikasi dengan dua kata yaitu kata kerja aktif dan kata benda yang terukur. Dari identifikasi tersebut diidentifikasi lagi menjadi fungsi dasar yang merupakan pekerjaan utama yang harus dilaksanakan dan fungsi-fungsi sekunder yang mungkin diperlukan tapi tidak wajib dilaksanakan. Adapun fungsi dasar atau primer dari pekerjaan timbunan ialah membentuk badan jalan dan berfungsi sebagai pondasi perkerasan jalan dan fungsi sekunder dari pekerjaan timbunan tersebut ialah memperindah bentuk jalan.

#### 4.2 Tahap Kreatif

Setelah dilakukan tahap informasi serta identifikasi masalah dan tujuan, Langkah berikutnya ialah tahap kreatif. Tahap ini berisikan opsi-opsi atau alternatif-alternatif lain yang digunakan sebagai pembanding dari rencana awal dan dimungkinkan adanya kesesuaian material yang dibutuhkan sehingga perubahan yang terjadi dapat efisien dari segi biaya, mutu, dan waktu. Berdasarkan identifikasi masalah tersebut perusahaan yang bertugas sebagai sub-kontraktor membuat beberapa opsi sebagai berikut:

1. Menggunakan material *Limestone*
2. Menggunakan material Bantak/Sirtu

#### 4.3 Tahap Analisis

Pada Tahap ini Analisa dilakukan menggunakan metode *paired comparison*. Metode *paired comparison* dilakukan dengan beberapa urutan, yaitu sebagai berikut :

1. Membuat tabel analisa fungsi;
2. Membuat tabel kriteria desain dari masing-masing alternatif;
3. Membuat tabel metode *paired comparison* mencari bobot;
4. Membuat tabel metode *paired comparison* mencari indeks;
5. Membuat tabel matrik evaluasi.

#### 4.3.1 Membuat Tabel Analisa Fungsi

Sebelum melakukan pembuatan tabel analisa fungsi, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan estimasi biaya berdasarkan volume pekerjaan, harga satuan, dan faktor kembang susut material. Perhitungan estimasi biaya digunakan untuk mengisi kolom *cost* dan *wort* dari alternatif-alternatif yang di rekomendasikan.

Pada perhitungan estimasi biaya, terdapat tiga biaya utama yang dipertimbangkan yaitu biaya material, biaya alat berat, dan biaya pekerjaan. Dikarenakan perubahan material tersebut merupakan pekerjaan yang sama sebelumnya sehingga biaya alat berat dan biaya pekerjaan dianggap sama, dan yang akan dianalisa lebih lanjut adalah biaya material. Biaya material diperoleh dari harga satuan di kuari dan besar volume yang dibutuhkan di lapangan. Dikarenakan perubahan material bersifat insidental sehingga volume dari pekerjaan di lapangan tidak tetap. Berdasarkan hal tersebut analisa harga dibuat berdasarkan volume satuan yaitu 1 m<sup>3</sup>.

**Tabel 4.8** Data Volume Pekerjaan, Harga Satuan dan Faktor Kembang Susut Taterial Tanah

Material	Volume Pekerjaan (m <sup>3</sup> )	Harga Satuan (Rp./m <sup>3</sup> )	Faktor Kembang Susut
Common Borrow Material	1	30.000	1,35
Limestone	1	250.000	1,35
Sirtu/Bantak	1	180.000	1,39

Harga satuan dari material diperoleh dari harga satuan umum area Solo, dimana untuk harga material desain atau *common borrow material* (CBM) berkisar pada harga Rp.30.000/m<sup>3</sup>, untuk harga material alternatif 1 (*limestone*) berkisar pada harga Rp. 250.000/m<sup>3</sup>, untuk harga material alternatif 2 (bantak/sirtu) berkisar pada harga Rp. 180.000/m<sup>3</sup>.

Faktor kembang susut menurut PUPR (2012) untuk material *CBM* bernilai 1,35, untuk material alternatif *limestone* bernilai 1,35, dan untuk material alternatif sirtu/bantak bernilai 1,39. Adapun cara menentukannya menggunakan tabel faktor konversi bahan untuk volume tanah/bahan berbutir.

Faktor kembang susut tersebut digunakan untuk mengetahui volume dari material terkait yang dibutuhkan untuk kecukupan aktual dilapangan. Selain itu, dapat mengetahui total harga material sesungguhnya dilapangan. Selanjutnya dilakukan perhitungan estimasi total biaya rencana.

**Tabel 4.9** Tabel Faktor Konversi Bahan Untuk Volume Tanah/bahan berbutir (PUPR (2012))

Jenis Tanah	Kondisi Tanah Semula	Kondisi tanah yang akan dikerjakan		
		Asli	Lepas	Padat
Pasir	A	1.00	1.11	0.95
	B	0.90	1.00	0.86
	C	1.05	1.17	1.00
Tanah Liat Berpasir	A	1.00	1.25	0.90
	B	0.80	1.00	0.72
	C	1.10	1.39	1.00
Tanah Liat	A	1.00	1.25	0.90
	B	0.70	1.00	0.63
	C	1.11	1.59	1.00
Tanah campur Kerikil	A	1.00	1.18	1.08
	B	0.85	1.00	0.91
	C	0.93	1.09	1.00
Kerikil	A	1.00	1.13	1.03
	B	0.88	1.00	0.91
	C	0.97	1.10	1.00
Kerikil Kasar	A	1.00	1.42	1.29
	B	0.70	1.00	0.91
	C	0.77	1.10	1.00
Pecahan cadas atau batuan lunak	A	1.00	1.65	1.22
	B	0.61	1.00	0.74
	C	0.82	1.35	1.00
Pecahan granit atau batuan keras	A	1.00	1.70	1.31
	B	0.59	1.00	0.77
	C	0.76	1.30	1.00
Pecahan batu	A	1.00	1.75	1.40
	B	0.57	1.00	0.80
	C	0.71	1.24	1.00
Bahan hasil peledakan	A	1.00	1.80	1.30
	B	0.56	1.00	0.72
	C	0.77	1.38	1.00

A adalah Asli  
 B adalah Lepas  
 C adalah Padat  
 Sumber : Kapasitas & produksi alat – alat berat, 1. (Komatsu, *Specifications And Application handbook Edition-7*, Hal 5- 5).  
 Rochmanhadi, Ir. 1992. Kapasitas dan Produksi Alat-alat Berat.. Hal 6-7. Departemen Pekerjaan Umum. Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

**Tabel 4.10** Perhitungan Estimasi Total Biaya Rencana

Material	volume	harga satuan	total harga
	ton	Rp./m <sup>3</sup>	RP.
Common Borrow Material	1,35	30.000	40.500
Limestone	1,35	250.000	337.500
Sirtu/Bantak	1,39	180.000	250.200

Dari tabel tersebut kolom volume diperoleh dari perkalian volume kebutuhan dilapangan dikali faktor kembang susut. Dari volume tersebut dikalikan dengan harga satuan material sehingga diperoleh total harga untuk material CBM sebesar RP. 40.500, untuk alternatif 1 (*limestone*) sebesar Rp. 337.500, untuk alternatif 2 (bantak/sirtu) sebesar Rp. 250.200. Langkah terakhir dalam analisa fungsi adalah membandingkan *Cost/Worth* dari masing masing alternatif.

**Tabel 4.11** Analisa Fungsi Dari Beberapa Alternatif yang Dipilih Pada Pekerjaan Timbunan Subgrade Tol Solo-Yogyakarta

No	Uraian	Kata Kerja	F.K. Benda	Jenis	Cost (Rp.)	Worth 1 (Rp.)	Worth 2 (Rp.)
1	P. Timbunan	membentuk	Badan Jalan	Primer	40.500	337.500	250.200
		pondasi	Perkerasan jalan	Primer			
		Memperindah	Bentuk Jalan	Sekunder			
<b>Total</b>					40.500	337.500	250.200
<b>Cost/Worth</b>					1	0,12	0,16

Dari tabel diatas dapat dilihat untuk nilai *Cost/Worth* dari alternatif 1 (*limestone*) sebesar 0,12, dan untuk alternatif 2 (bantak/sirtu) sebesar 0,16. Nilai *Cost/Worth* diartikan adanya penghematan jika nilainya > 1 dan melebihi biaya desain jika nilainya < 1. Dikarenakan tujuan utama dari perubahan ini adalah peningkatan mutu sehingga tidak melihat penghematan biaya melainkan melihat harga yang paling murah. Alternatif 2 merupakan alternatif yang paling murah dikarenakan nilai dari *Cost/Worth* yang paling mendekati 1 atau mendekati harga rencana.

#### 4.3.2 Membuat Tabel Kriteria Desain dari Masing-Masing Alternatif

Sebagai bahan evaluasi pada keputusan final maka dibuat kriteria-kriteria desain yang berhubungan dengan tujuan kedepannya. Kriteria-kriteria tersebut diantaranya adalah harga material, ketahanan dan stabilitas material, tingkat drainase material, proses pengiriman material, dan kebutuhan aktual dilapangan..

**Tabel 4.12** Kriteria Desain Alternatif 1 dan 2

No	Kriteria Desain	Alternatif material 1	Alternatif Material 2
1	Harga Material	Harga Material lebih mahal	Harga Material lebih murah
2	Ketahanan dan Stabilitas	Ketahanan dan stabilitas limestone lebih unggul	Ketahanan dan stabilitas limestone kalah unggul
3	Tingkat Drainase	Tingkat drainase limestone kalah unggul	Tingkat drainase Sirtu lebih unggul
4	Proses Pengiriman	Proses pengiriman lebih lama karena jarak kuari lebih jauh	Proses pengiriman lebih cepat karena jarak kuari lebih dekat
5	Kebutuhan Aktual dilapangan	Kebutuhan aktual dilapangan lebih sedikit	Kebutuhan Aktual dilapangan lebih besar

#### 4.3.3 Membuat Tabel Metode Paired Comparison Mencari Bobot

Setelah kriteria desain dibuat, maka perlu dilakukan perbandingan setiap alternatif berdasarkan kriteria-kriteria desain dengan menggunakan metode *paired comparison*. Penentuan bobot perlu ditentukan didalam metode *paired comparison* untuk menentukan bobot perbandingan antara kriteria-kriteria desain.

**Tabel 4.13** Bobot dari Masing-Masing Kriteria Desain

	B	C	D	E	Skor	Persentase	Deskripsi
<b>A</b>	A2	A1	A2	A3	8	47,1%	A = Harga
<b>B</b>		C1	B1	B2	3	17,6%	B = Ketahanan dan Stabilitas
		C	C2	C2	5	29,4%	C = Tingkat Drainase
			D	D1	1	5,9%	D = Proses Pengiriman
				0	0	0%	E = Kebutuhan Aktual dilapangan
Total					18	100%	

Penjelasan Tabel:

- a) Tabel diatas terdapat lima kriteria yaitu A, B, C, D, E yang akan dibandingkan.
- b) Perbandingan dilakukan secara berpasangan antara kriteria dengan skala perbandingan sebagai berikut :

**Tabel 4.14** Nilai Skala Perbandingan Acuan

<b>Intensitas Kepentingan</b>	<b>Definisi</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Persentase Kepentingan</b>
0	Equal	kedua elemen sama pentingnya	0%
1	slight	Elemen yang satu sedikit lebih penting	1-25 %
2	Moderate	elemen yang satu lebih penting daripada elemen lainnya	26-60%
3	Major	elemen yang satu mutlak lebih penting daripada yang lainnya	61-100%

- c) Terdapat 10 perbandingan yang dilakukan yaitu kriteria A dibandingkan dengan kriteria B, kriteria A dibandingkan dengan kriteria C, kriteria A dibandingkan dengan kriteria D, kriteria A dibandingkan dengan kriteria E, kriteria B dibandingkan dengan kriteria C, kriteria B dibandingkan dengan kriteria D, kriteria B dibandingkan dengan kriteria E, kriteria C dibandingkan dengan kriteria D, kriteria C dibandingkan dengan kriteria E, dan kriteria D dibandingkan dengan kriteria E.
- d) Perbandingan-perbandingan tersebut dicari nilai intensitas kepentingannya dari tabel hierarki kriteria yang dibuat.

**Tabel 4.15** Tabel Hierarki kriteria Desain

<b>Kriteria</b>	<b>Bobot hierarki</b>
Harga	5
Tingkat drainase	4
Ketahanan dan stabilitas	3
Proses pengiriman	2
Kebutuhan aktual dilapangan	1

Dimana intensitas kepentingan diperoleh dari persentase selisih bobot hirarki kriteria, dengan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.16** Perhitungan Skor intensitas berdasarkan tabel hirarki

perbandingan	kriteria unggul	selisih	persentase Perbandingan	Skor Intensitas kepentingan
A-B	A	2	40%	A2
A-C	A	1	20%	A1
A-D	A	3	60%	A2
A-E	A	4	80%	A3
B-C	C	1	20%	C1
B-D	B	1	20%	B1
B-E	B	2	40%	B2
C-D	C	2	40%	C2
C-E	C	3	60%	C2
D-E	D	1	20%	D1

- Skor-Skor tersebut dijumlahkan, dimana pada kriteria A memiliki skor A1 sebanyak 1, A2 sebanyak 2, dan A3 sebanyak 1 sehingga total skor yang dimiliki kriteria A adalah 8. Material B memiliki skor B1 dan B2 masing-masing sebanyak 1 sehingga memiliki skor 3. Material C memiliki skor C1 sebanyak 1 dan C2 sebanyak 2 sehingga kriteria C memiliki skor 5. kriteria D memiliki skor D1 sebanyak 1 sehingga memiliki skor 1. kriteria E memiliki skor 0 sebanyak 0 sehingga memiliki skor 0.
- Skor tersebut dipersentasekan dan didapat A = 47,1%, B = 17,6%, C = 29,4%, D = 5,9%, dan E = 0%
- Skor tersebut nantinya akan dibawa ke matriks analisa fungsi sebagai nilai bobot.

#### 4.3.4 Membuat Tabel Metode Paired Comparison Mencari Indeks

Setelah mencari bobot dari setiap kriteria desain, maka perlu dibuat indeks dari masing masing kriteria dengan membandingkan material desain dan alternatif. Nilai indeks ini akan digunakan bersamaan dengan nilai bobot dalam melakukan evaluasi. Dikarenakan tujuan percepatan pekerjaan adalah melakukan perubahan material karena mutu ketahanan terhadap hujan yang tidak mendukung sehingga material desain diasumsikan material yang tidak unggul dibandingkan dengan alternatif-alternatif lainnya.

#### 4.3.4.1 Membuat Tabel Metode Paired Comparison Mencari Indeks Harga Material

**Tabel 4.17** Indeks Harga Material

	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Skor</b>	<b>Persentase</b>	<b>Deskripsi</b>
<b>A</b>	B3	C3	0	0%	<b>A = CBM</b>
	<b>B</b>	C2	3	37,5%	<b>B = Limestone</b>
		0	5	62,5%	<b>C = Sirtu</b>
<b>Total</b>			8	100%	

Penjelasan Tabel:

- d) Tabel diatas terdapat tiga materia yaitu A, B, C yang akan dibandingkan harga materialnya.
- e) Perbandingan dilakukan secara berpasangan antara material dengan skala perbandingan mengikuti skala penilaian pada Tabel 4.14
- f) Terdapat tiga perbandingan yang dilakukan yaitu material A dibandingkan dengan material B, material A dibandingkan dengan material C, dan material B dibandingkan dengan material C.
- g) Dari tabel diatas dikarenakan tujuan utama mengganti material A dengan material alternatif yaitu material B dan C, maka material A dianggap tidak unggul dengan tingkat kepentingan Major. Maka material A dibandingkan dengan material B mendapat nilai B3, dan material A dibandingkan dengan material C mendapat nilai C3.
- h) Material B dibandingkan dengan material C diperoleh dari perbandingan harga sebagai berikut :

**Tabel 4.18** Tabel Perhitungan Intensitas Kepentingan Perbandingan Harga Material B dengan Material C

<b>harga limestone (Rp.)</b>	<b>harga Sirtu (RP.)</b>	<b>selisih</b>	<b>perentase perbandingan harga</b>		<b>intensitas kepentingan</b>
337.500	250.200	87.300	26%	<b>Sirtu lebih murah dari harga limestone</b>	2

Dari perhitungan diatas material C lebih murah 26% dibanding material B. mengikuti skala penilaian pada tabel 4.14 maka perbandingan tersebut mendapatkan nilai C2.

- i) Skor-Skor tersebut dijumlahkan, dimana pada material A memiliki skor 0 sebanyak 0 sehingga skornya 0. Material B memiliki skor B3 sebanyak 1 sehingga memiliki skor 3. Material C memiliki skor C3 dan C2 masing-masing sebanyak 1 sehingga memiliki skor 5.
- j) Skor tersebut dipersentasekan dan didapat A = 0%, B = 37,5%, C = 62,5 %.
- k) Skor tersebut nantinya akan dibawa ke matriks analisa fungsi sebagai Indeks harga.

#### 4.3.4.2 Membuat Tabel Metode Paired Comparison Mencari Indeks Ketahanan dan Stabilitas

**Tabel 4.19** Indeks Ketahanan dan Stabilitas

	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Skor</b>	<b>Persentase</b>	<b>Deskripsi</b>
<b>A</b>	B3	C3	0	0%	<b>A = CBM</b>
	<b>B</b>	B1	4	57,1%	<b>B = Limestone</b>
		0	3	42,9%	<b>C = Sirtu</b>
	<b>Total</b>		7	100%	

Penjelasan Tabel:

- a) Tabel diatas terdapat tiga materia yaitu A, B, C yang akan dibandingkan ketahanan dan stabilitas materialnya.
- b) Perbandingan dilakukan secara berpasangan antara material dengan skala perbandingan mengikuti skala penilaian pada Tabel 4.14
- c) Terdapat tiga perbandingan yang dilakukan yaitu material A dibandingkan dengan material B, material A dibandingkan dengan material C, dan material B dibandingkan dengan material C.
- d) Dari tabel diatas dikarenakan tujuan utama mengganti material A dengan material alternatif yaitu material B dan C, maka material A dianggap tidak unggul dengan tingkat kepentingan Major. Maka material A dibandingkan dengan material B mendapat nilai B3, dan material A dibandingkan dengan material C mendapat nilai C3.
- e) Material B dibandingkan dengan C diperoleh dari perbandingan ketahanan dan stabilitas pada hasil pengecekan nilai CBR sesuai dengan penelitian Sugiarno, Indriawan Pratomo (2003) menjelaskan bahwa sebagai bahan lapis pondasi bawah struktur perkerasan jalan. Campuran 90% sirtu dan 10% lempung diperoleh hasil CBR senilai 27,39. Campuran 90% limestone dan 10%

lempung diperoleh hasil CBR senilai 27,67 sehingga nilai kepentingan dapat dihitung sebagai berikut:

**Tabel 4.20** Tabel Perhitungan Intensitas Kepentingan Perbandingan Ketahanan dan Stabilitas Material B dengan Material C

ketahanan dan stabilitas limestone (CBR)	ketahanan dan stabilitas Sirtu (CBR)	selisih	perentase perbandingan ketahanan dan stabilitas		intensitas kepentingan
27,67	27,39	0,28	1%	Limestone lebih unggul dari Sirtu	1

Dari perhitungan diatas material B lebih unggul 1% dibanding material C. mengikuti skala penilaian pada tabel 4.14 maka perbandingan tersebut mendapatkan nilai B1.

- f) Skor-Skor tersebut dijumlahkan, dimana pada material A memiliki skor 0 sebanyak 0 sehingga skornya 0. Material B memiliki skor B3 dan B1 masing-masing sebanyak 1 sehingga memiliki skor 4. Material C memiliki skor C3 sebanyak 1 sehingga memiliki skor 3.
- g) Skor tersebut dipersentasekan dan didapat A = 0%, B = 57,1%, C = 42,9 %.
- h) Skor tersebut nantinya akan dibawa ke matriks analisa fungsi sebagai Indeks ketahanan dan stabilitas.

#### 4.3.4.3 Membuat Tabel Metode Paired Comparison Mencari Indeks Tingkat Drainase

**Tabel 4.21** Indeks Tingkat Drainase

	B	C	Skor	Persentase	Deskripsi
A	B3	C3	0	0%	A = CBM
	B	C1	3	42,9%	B = Limestone
		0	4	57,1%	C = Sirtu
<b>Total</b>			7	100%	

Penjelasan Tabel:

- a) Tabel diatas terdapat tiga materia yaitu A, B, C yang akan dibandingkan tingkat drainase materialnya.
- b) Perbandingan dilakukan secara berpasangan antara material dengan skala perbandingan mengikuti skala penilaian pada Tabel 4.14

- c) Terdapat tiga perbandingan yang dilakukan yaitu material A dibandingkan dengan material B, material A dibandingkan dengan material C, dan material B dibandingkan dengan material C.
- d) Dari tabel diatas dikarenakan tujuan utama mengganti material A dengan material alternatif yaitu material B dan C, maka material A dianggap tidak unggul dengan tingkat kepentingan Major. Maka material A dibandingkan dengan material B mendapat nilai B3, dan material A dibandingkan dengan material C mendapat nilai C3.
- e) Material B dibandingkan dengan C diperoleh dari perbandingan Tingkat drainase material pada hasil pengecekan nilai penurunan kadar air optimum sesuai dengan hasil penelitian Prayoga, Gregorius Sandjaja S, (2021) bahwa material uji campuran 9% Limestone terjadi penurunan kadar air optimum sebesar 2%. Material uji campuran 9% Bantak/Sirtu terjadi penurunan kadar air optimum sebesar 2,8%. sehingga nilai kepentingan dapat dihitung sebagai berikut:

**Tabel 4.22** Tabel Perhitungan Intensitas Kepentingan Perbandingan Tingkat Drainase Material B dengan Material C

tingkat drainase limestone (penurunan kadar air optimum)	tingkat drainase Sirtu (Penurunan kadar air optimum)	selisih	perentase perbandingan penurunan kadar air optimum (tingkat drainase)	intensitas kepentingan
2	2,08	0,08	4% Sirtu lebih unggul dari harga limestone	1

Dari perhitungan diatas material C lebih unggul 4% dibanding material B. mengikuti skala penilaian pada tabel 4.14 maka perbandingan tersebut mendapatkan nilai C1.

- f) Skor-Skor tersebut dijumlahkan, dimana pada material A memiliki skor 0 sebanyak 0 sehingga skornya 0. Material B memiliki skor B3 sebanyak 1 sehingga memiliki skor 3. Material C memiliki skor C3 dan C1 masing-masing sebanyak 1 sehingga memiliki skor 4.
- g) Skor tersebut dipersentasekan dan didapat A = 0%, B = 42,9%, C = 57,1%.
- h) Skor tersebut nantinya akan dibawa ke matriks analisa fungsi sebagai Indeks tingkat drainase.

#### 4.3.4.4 Membuat Tabel Metode Paired Comparison Proses Pengiriman

Tabel 4.23 Indeks Proses Pengiriman

	B	C	Skor	Persentase	Deskripsi
A	B3	C3	0	0%	A = CBM
	B	C1	3	42,9%	B =Limestone
		0	4	57,1%	C = Sirtu
<b>Total</b>			7	100%	

Penjelasan Tabel:

- Tabel diatas terdapat tiga materia yaitu A, B, C yang akan dibandingkan Proses pengiriman materialnya.
- Perbandingan dilakukan secara berpasangan antara material dengan skala perbandingan mengikuti skala penilaian pada Tabel 4.14
- Terdapat tiga perbandingan yang dilakukan yaitu material A dibandingkan dengan material B, material A dibandingkan dengan material C, dan material B dibandingkan dengan material C.
- Dari tabel diatas dikarenakan tujuan utama mengganti material A dengan material alternatif yaitu material B dan C, maka material A dianggap tidak unggul dengan tingkat kepentingan Major. Maka material A dibandingkan dengan material B mendapat nilai B3, dan material A dibandingkan dengan material C mendapat nilai C3.

Material B dibandingkan dengan C diperoleh dari perbandingan Jarak tempuh pengantaran material. Posisi kuari untuk material A berada pada daerah Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jarak tempuh yang diperlukan untuk pengantaran material A dari kuari terdekat daerah Gunung Kidul (Tambang Batu Kapur Candirejo) sejauh 35,9 Km. Posisi kuari untuk material B berada pada daerah Lereng Merapi Boyolali. Jarak tempuh yang diperlukan untuk pengantaran material alternatif 2 (bantak/sirtu) dari kuari terdekat daerah Lereng Gunung Merapi Boyolali (Pasir Seling Kere Ayam) yaitu sejauh 26,9 Km. sehingga nilai kepentingan dapat dihitung sebagai berikut :

**Tabel 4.24** Tabel Perhitungan Intensitas Kepentingan Perbandingan Proses Pengiriman Material B dengan Material C

Jarak Kuari limestone	Jarak Kuari Sirtu/Bantak	selisih	perentase perbandingan Jarak		intensitas kepentingan
35,9	26,9	9	25%	Sirtu lebih dekat daripada jarak kuari limestone	1

Dari perhitungan diatas material C lebih dekat 25% dibanding material B. mengikuti skala penilaian pada tabel 4.14 maka perbandingan tersebut mendapatkan nilai C1.

- e) Skor-Skor tersebut dijumlahkan, dimana pada material A memiliki skor 0 sebanyak 0 sehingga skornya 0. Material B memiliki skor B3 sebanyak 1 sehingga memiliki skor 3. Material C memiliki skor C3 dan C1 masing-masing sebanyak 1 sehingga memiliki skor 4.
- f) Skor tersebut dipersentasekan dan didapat  $A = 0\%$ ,  $B = 42,9\%$ ,  $C = 57,1\%$ .
- g) Skor tersebut nantinya akan dibawa ke matriks analisa fungsi sebagai Indeks proses pengiriman.

#### 4.3.4.5 Membuat Tabel Metode Paired Comparison Indeks Kebutuhan

##### Aktual dilapangan

**Tabel 4.25** Indeks Kebutuhan Aktual dilapangan

	B	C	Skor	Persentase	Deskripsi
A	B3	C3	0	0%	A = CBM
	B	B1	4	57,1%	B = Limestone
		0	3	42,9%	C = Sirtu
<b>Total</b>			7	100%	

Penjelasan Tabel:

- a) Tabel diatas terdapat tiga materia yaitu A, B, C yang akan dibandingkan Proses pengiriman materialnya.

- b) Perbandingan dilakukan secara berpasangan antara material dengan skala perbandingan mengikuti skala penilaian pada Tabel 4.14
- c) Terdapat tiga perbandingan yang dilakukan yaitu material A dibandingkan dengan material B, material A dibandingkan dengan material C, dan material B dibandingkan dengan material C.
- d) Dari tabel diatas dikarenakan tujuan utama mengganti material A dengan material alternatif yaitu material B dan C, maka material A dianggap tidak unggul dengan tingkat kepentingan Major. Maka material A dibandingkan dengan material B mendapat nilai B3, dan material A dibandingkan dengan material C mendapat nilai C3.

Material B dibandingkan dengan C diperoleh dari perbandingan Faktor penyusutan material. Pada Tabel 4.8 diperoleh faktor penyusutan material B sebesar 1,35 dan faktor penyusutan material C sebesar 1,39, sehingga nilai kepentingan dapat dihitung sebagai berikut:

**Tabel 4.26** Tabel Perhitungan Intensitas Kepentingan Perbandingan Kebutuhan Aktual dilapangan Material B dengan Material C

faktor susut limestone	faktor susut Sirtu	selisih	perentase perbandingan faktor susut	intensitas kepentingan
1,35	1,39	0,04	3% Limestone lebih kecil daripada faktor susut sirtu	1

Dari perhitungan diatas material B lebih kecil 3% dibanding material C. mengikuti skala penilaian pada tabel 4.14 maka perbandingan tersebut mendapatkan nilai B1.

- e) Skor-Skor tersebut dijumlahkan, dimana pada material A memiliki skor 0 sebanyak 0 sehingga skornya 0. Material B memiliki skor B3 dan B1 masing-masing sebanyak 1 sehingga memiliki skor 4. Material C memiliki skor C3 sebanyak 1 sehingga memiliki skor 3.
- f) Skor tersebut dipersentasekan dan didapat  $A = 0\%$ ,  $B = 57,1\%$ ,  $C = 42,9\%$ .
- g) Skor tersebut nantinya akan dibawa ke matriks analisa fungsi sebagai Indeks Kebutuhan aktual dilapangan.

#### 4.3.5 Membuat Tabel Matriks Evaluasi

Nilai bobot dan nilai indeks selanjutnya dimasukkan kedalam matriks evaluasi untuk mengetahui persentase nilai alternatif terbesar yang akan digunakan untuk pekerjaan selanjutnya.

**Tabel 4.27** Matriks Evaluasi Percepatan Pekerjaan Tol Solo-Yogyakarta

No	Fungsi	Kriteria					Total
		Harga	Ketahanan dan Stabilitas	Tingkat Drainase	Proses pengiriman	Kebutuhan Aktual Dilapangan	
	<b>Bobot</b>	47,1%	17,6%	29,4%	5,9%	0%	
1	Indeks material CBM	0%	0%	0%	0%	0%	
	Bobot x Indeks	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	Indeks material Limestone	37,5%	57,1%	42,9%	42,9%	57,1%	
	Bobot x Indeks	17,7%	10,1%	12,6%	2,5%	0%	42,8%
3	Indeks Material Sirtu	62,5%	42,9%	57,1%	57%	42,9%	
	Bobot x Indeks	29,4%	7,6%	16,8%	3,4%	0%	57,2%
<b>Total</b>							100%

Dari masing-masing material dilakukan pengalihan antara indeks dengan bobot. Hasil dari pengalihan tersebut dijumlah dengan hasil yang dapat dilihat pada tabel diatas yaitu nilai total material desain sebesar 0%, nilai material alternatif 1 (*limestone*) sebesar 42,8%, dan nilai alternatif 2 (bantak/sirtu) sebesar 57,2%. Dari beberapa hasil tersebut persentase terbesar diperoleh dari material alternatif 2 (bantak/sirtu) yang direkomendasikan untuk material perbaikan akses pekerjaan timbunan *subgrade* Tol Solo-Yogyakarta.

#### 4.4 Pembahasan Hasil Evaluasi

Nilai persentase material alternatif 1 (*limestone*) 42,8% diperoleh dari nilai harga material 17,6%, ketahanan dan stabilitas 10,1%, tingkat drainase 12,6%, nilai proses pengiriman 2,5%, dan nilai kebutuhan aktual dilapangan 0%. Nilai persentase material alternatif 2 (Bantak/Sirtu) 57,2% diperoleh dari nilai harga material 29,4%, ketahanan dan stabilitas 7,6%, tingkat drainase 16,8%, nilai proses

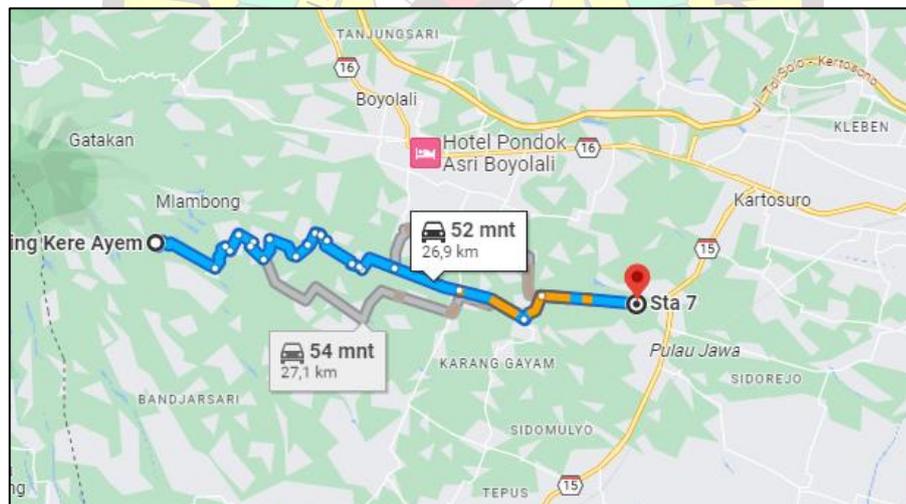
pengiriman 3,4%, dan nilai kebutuhan aktual dilapangan 0%. Berdasarkan hasil evaluasi didapatkan bahwa material alternatif 2 (bantak/sirtu) lebih unggul dengan nilai 57,2% dibandingkan material alternatif 1 (*limestone*) dengan nilai 42,8%.

Harga material alternatif 2 (bantak/sirtu) senilai 29,4% lebih unggul dibandingkan material alternatif 1 (*limestone*) senilai 17,6% dengan selisih sebesar 11,8%. Hal itu dikarenakan harga material bantak lebih murah daripada material *limestone*. Berdasarkan harga pasaran material bantak adalah Rp. 180.000/m<sup>3</sup> dan harga pasaran material *limestone* adalah Rp. 250.000/m<sup>3</sup>. Namun untuk menentukan harga dilapangan perlu memperhatikan faktor kembang susut. Hal ini sesuai dengan pendapat PUPR (2012) bahwa berbagai jenis tanah dalam keadaan asli (sebelum digali) telah lepas karena pekerjaan galian atau pengurangan yang kemudian dipadatkan, Volumennya akan berlainan akibat dari faktor pengembangan dan penyusutan bahan. Menurut PUPR (2012) untuk faktor kembang susut material *limestone* sebesar 1,35 dan material bantak/sirtu sebesar 1,39. Setelah dikalikan harga material yang dibutuhkan dengan faktor kembang susut diperoleh harga material bantak/sirtu senilai Rp. 250.200/m<sup>3</sup> dan material *Limestone* Rp. 337.500/m<sup>3</sup>. Dapat kita lihat material bantak/sirtu lebih murah Rp. 87.300/m<sup>3</sup> dibandingkan dengan material *limestone*.

Ketahanan dan stabilitas material alternatif 2 (bantak/sirtu) senilai 7,6% lebih rendah dibandingkan material alternatif 1 (*limestone*) senilai 10,1% dengan selisih sebesar 2,5%. Hal itu dikarenakan material *limestone* memiliki kualitas ketahanan dan stabilitas lebih tinggi, Hal ini sesuai dengan hasil penelitian (Sugiarno, Indriawan Pratomo (2003) menjelaskan bahwa sebagai bahan lapis pondasi bawah struktur perkerasan jalan. Campuran 90% sirtu dan 10% lempung diperoleh hasil CBR senilai 27,39. Campuran 90% *limestone* dan 10% lempung diperoleh hasil CBR senilai 27,67. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai CBR *limestone* lebih tinggi daripada bantak/sirtu, sehingga kekuatan atau kemampuan daya dukung *limestone* lebih baik dan lebih mampu menahan beban. Selain itu, nilai CBR *limestone* lebih tinggi daripada bantak/sirtu menandakan bahwa tanah memiliki stabilitas yang lebih baik untuk menahan beban dalam menangani penurunan atau kegagalan.

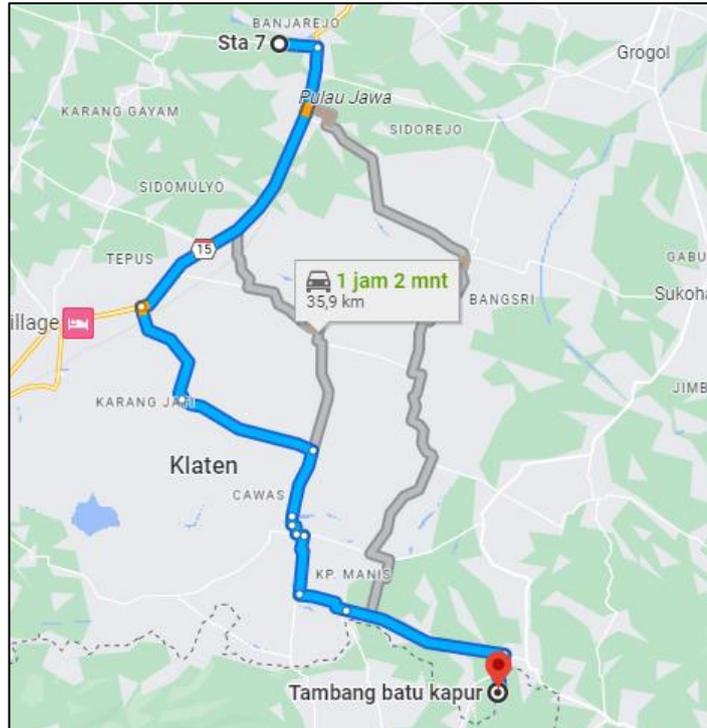
Tingkat drainase material alternatif 2 (bantak/sirtu) senilai 16,8% lebih unggul dibandingkan material alternatif 1 (*limestone*) senilai 12,6% dengan selisih sebesar 4,2%. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Prayoga, Gregorius Sandjaja S,2021 bahwa material uji campuran 9% Limestone terjadi penurunan kadar air optimum sebesar 2%. Material uji campuran 9% Bantak/Sirtu terjadi penurunan kadar air optimum sebesar 2,8%. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar penurunan kadar air optimum semakin tinggi tingkat drainasenya, sehingga dapat disimpulkan bahwa material bantak/sirtu mampu meningkatkan tingkat drainase lebih baik daripada *limestone*.

Proses pengiriman material alternatif 2 (bantak/sirtu) senilai 3,4% lebih unggul dibandingkan material alternatif 1 (*limestone*) senilai 2,5% dengan selisih sebesar 0,9%. Hal ini didapat dari perbandingan jarak tempuh pengantaran material. Posisi kuari untuk material alternatif 1 (*limestone*) berada pada daerah Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jarak tempuh yang diperlukan untuk pengantaran material 1 (*limestone*) dari kuari terdekat daerah Gunung Kidul (Tambang Batu Kapur Candirejo) sejauh 35,9 Km.



**Gambar 4.1** Waktu Tempuh Pengantaran Material Alternatif 2 (Bantak/Sirtu) dari Kuari Menuju Site (Google Maps 2023)

Posisi kuari untuk material 2 (bantak/sirtu) berada pada daerah Lereng Merapi Boyolali. Jarak tempuh yang diperlukan untuk pengantaran material alternatif 2 (bantak/sirtu) dari kuari terdekat daerah Lereng Gunung Merapi Boyolali (Pasir Seling Kere Ayam) yaitu sejauh 26,9 Km.



**Gambar 4.2** Waktu Tempuh Pengantaran Material Alternatif 1 (Limestone) dari Kuari Menuju Site (Google Maps 2023)

Kebutuhan aktual dilapangan material alternatif 1 (*limestone*) dan material alternatif 2 (bantak/sirtu) bernilai 0%. Perhitungan bobot kriteria desain menunjukkan bahwa kebutuhan aktual dilapangan merupakan prioritas terakhir,

#### 4.5 Tahap Rekomendasi

Desain awal akses jalan pekerjaan timbunan menggunakan material CBM. Berdasarkan hasil analisis *value engineering* dengan metode *paired comparison*, maka direkomendasikan alternatif bantak sebagai pengganti material perbaikan akses untuk mobilisasi pekerjaan. Bantak memiliki nilai persentase terbesar dari alternatif *limestone*, yaitu senilai 57,2% diperoleh dari nilai harga material 29,4%, ketahanan dan stabilitas 7,6%, tingkat drainase 16,8%, nilai proses pengiriman 3,4%, dan nilai kebutuhan aktual dilapangan 0%.

Dasar-dasar pertimbangan penggunaan alternatif bantak diantaranya adalah :

- a) Biaya yang dikeluarkan lebih murah daripada material *limestone* sebesar Rp. 87.300/m<sup>3</sup>.

- b) Tingkat drainase air hujan lebih unggul. Hasil penelitian Prayoga, Gregorius Sandjaja S,2021 Material uji campuran 9% Bantak/Sirtu terjadi penurunan kadar air optimum sebesar 0,8% lebih unggul daripada *limestone*.
- c) Proses pengiriman pada saat pengantaran material bantak/sirtu dari kuari menuju site lebih deka 9 Km dibandingkan dengan material *limestone*.

Permasalahan proyek terkait dengan intensitas hujan yang menghambat proses pekerjaan dapat ditangulangi dengan merubah material akses dari CBM ke bantak/sirtu. Intensitas curah hujan pada Tabel 4.5 per tanggal 22 Februari 2023 sampai 20 Maret 2023 dapat diproyeksikan dimana pekerjaan tersebut selama 27 hari dengan waktu kerja tanpa hujan yaitu 202 jam, jika menggunakan material CBM dari waktu kerja 202 jam tersebut pekerjaan hanya dapat dilakukan selama 166 jam, sedangkan bilamana menggunakan material Bantak/Sirtu pekerjaan dapat dilakukan lebih konsisten yaitu selama 188 jam, Sehingga dapat mengefisienkan waktu 10,9% lebih baik dibandingkan dengan menggunakan material CBM.

