



BAB 4 DATA PENELITIAN

4.1 Deskripsi Proyek

Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen ini merupakan sebuah bangunan infrastruktur di Kabupaten Demak yang dibangun dari tahun 2020 sampai tahun 2022. Proyek tersebut merupakan bentuk perhatian pemerintah untuk menanggulangi kemacetan yang terjadi pada wilayah tersebut. Kemacetan tersebut diakibatkan adanya perlintasan rel kereta api sebidang dan ditambah pada wilayah tersebut terdapat dua pasar induk sebagai salah satu tempat perekonomian bagi masyarakat di Kabupaten Demak dan sekitarnya.

Lokasi Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen berada di ruas jalan Semarang-Godong KM 15, Mranggen dengan total panjang proyek mencapai 1,3 km. Titik awal proyek dimulai dari STA -0+250 dan titik akhir proyek yaitu STA 1+050 yang diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Proyek *Flyover* Ganefo (Mranggen) (Sumber: Diperoleh dari <https://bit.ly/proyekflyoverganefo>)

Pemilik proyek tersebut adalah Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Cipta Karya (DPU BMCK) yang dimulai pada tanggal 29 September 2020 dan selesai pada tanggal 26 September 2022. Proyek tersebut memiliki nilai kontrak sebesar Rp. 109.037.051.430,51 dengan sumber dana berasal dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) Tahun Anggaran (TA) 2020, 2021, dan 2022.



Penyedia jasa dari proyek tersebut yaitu PT Garis Putih Sejajar yang bertindak sebagai konsultan pengawas, PT Adhiyasa Desicon yang bertindak sebagai konsultan perencana serta PT Brantas Abipraya – PT Heroni Karya Semesta, KSO yang bertindak sebagai kontraktor umum.

4.2 Data Proyek

Penelitian ini menggunakan data *quantity* dari Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen yang meliputi gambar kerja yang diperlihatkan pada Lampiran A, spesifikasi material yang diperlihatkan pada Lampiran B, serta wawancara tidak terstruktur dengan daftar pertanyaan yang diperlihatkan pada Lampiran C. Variabel dari penelitian ini dibatasi pada struktur lantai jembatan mulai dari STA 0+327 sampai STA 0+667. Struktur lantai jembatan pada Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen terdiri dari plat beton bertulang yang dilapisi aspal AC-WC. Data-data yang digunakan dalam penelitian diantaranya sebagai berikut:

a. Data perencanaan struktur lantai jembatan

Struktur lantai jembatan pada Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen memiliki komponen penyusun meliputi beton bertulang ganda dengan ketebalan 30 cm dan lapisan aspal beton (AC-WC) dengan ketebalan 4 cm. Terdapat delapan segmen lantai jembatan yang menghubungkan antar pilar pada struktur *flyover* yang diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Segmen Struktur Lantai Jembatan STA 0+327 Sampai STA 0+667

Keterangan	Titik Awal	Titik Akhir	Panjang (m)
Abutmen 1 – Pilar 2	STA 0+327	STA 0+368	40,8
Pilar 2 – Pilar 3	STA 0+368	STA 0+400	32,8
Pilar 3 – Pilar 4	STA 0+400	STA 0+433	32,8
Pilar 4 – Pilar 5	STA 0+433	STA 0+497	59,31
Pilar 5 – Pilar 6	STA 0+497	STA 0+556	54,91
Pilar 6 – Pilar 7	STA 0+556	STA 0+593	36,8
Pilar 7 – Pilar 8	STA 0+593	STA 0+629	36,8
Pilar 8 – Abutmen 2	STA 0+629	STA 0+667	36,8
Jumlah			331,02

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen)

Volume material beton, baja dan aspal pada tiap-tiap segmen struktur lantai jembatan diperlihatkan pada Tabel 4.2.



Tabel 4.2 Volume Material Beton, Baja dan Aspal Struktur Lantai Jembatan

Panjang Segmen (m)	Volume		
	Beton f_c' 30 MPa (m^3)	Baja (kg)	Aspal (AC-WC) (m^3)
40,8	165,240	23.094,45	17,952
32,8	132,840	17.072,080	14,432
59,31	240,206	62.150,45	26,096
54,91	222,386	57.812,81	24,160
36,8	149,040	20.959,18	16,192

(Sumber: Diolah dari data gambar kerja Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen)

b. Desain campuran material beton mutu f_c' 30 MPa, $t = 30$ cm

Rumusan campuran dari material beton mutu f_c' 30 MPa pada struktur lantai jembatan yang terdiri dari semen, agregat kasar dan halus, air serta bahan tambah diperlihatkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 *Job Mix Formula* Beton Mutu f_c' 30 MPa

Keterangan	Satuan	Jenis	Jumlah
<i>Cement</i>	kg	OPC type I	390
<i>Free Water Content</i>	ltr	<i>Deep Well</i>	175
<i>Coarse Agg. 5.0 – 25.0 mm</i>	kg	Gringsing/BaTANG	1.014
<i>Fine Aggregate</i>	kg	Ex. Merapi	851
<i>Admixed Retarder</i>	ltr	Type D Ex. Sika	1,04
<i>Admixed Super Plasticizer</i>	ltr	Type F Ex. Sika	2,73
<i>w/c Ratio</i>			0,449
Berat jenis beton	Kg/ m^3	f_c' 30 MPa	2.433,64

(Sumber: Diolah dari data *job mix formula* PT Garis Putih Seजार)

c. Desain campuran material aspal AC-WC, $t = 4$ cm

Desain campuran dari material aspal yang digunakan sebagai lapisan permukaan plat lantai jembatan diperlihatkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Komposisi Campuran Aspal AC-WC

Komposisi Campuran Aspal	Persentase (%)
Kadar Aspal Rancangan (Aspal Pen 60/70)	6,00
Batu Pecah 1-2 (maks. $\frac{3}{4}$ "	16,92
Batu Pecah 1-1 (maks. $\frac{1}{2}$ "	28,20
Abu Batu	47,94
Filler (Kalsium Karbonat Ex. OMYA)	0,94
Jumlah	100
Berat Jenis Aspal (AC-WC)	2395 kg/ m^3

(Sumber: Diolah dari data *job mix design* PT Garis Putih Seजार)



d. Spesifikasi alat berat konstruksi

Spesifikasi dari alat berat didapatkan berdasarkan data di lapangan dan hasil wawancara dengan konsultan pengawas serta berdasarkan brosur atau katalog yang diperoleh dari sumber internet. Alat berat yang digunakan pada proyek diuraikan sebagai berikut:

d.1. *Concrete Mixer Truck*

Concrete mixer truck merupakan alat berat yang digunakan untuk mengangkut material beton yang berasal dari *batching plant* hingga ke lokasi pekerjaan untuk proses pengecoran. Alat berat *concrete mixer truck* yang digunakan pada Proyek *Flyover Ganefo Mranggen* diperlihatkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Concrete Mixer Truck* Tipe Hino 500 FM 260 JM

Alat berat *concrete mixer truck* yang diperlihatkan pada Gambar 4.2 merupakan alat berat yang dimiliki oleh PT Merak Jaya Beton. Spesifikasi alat berat *concrete mixer truck* tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.5.

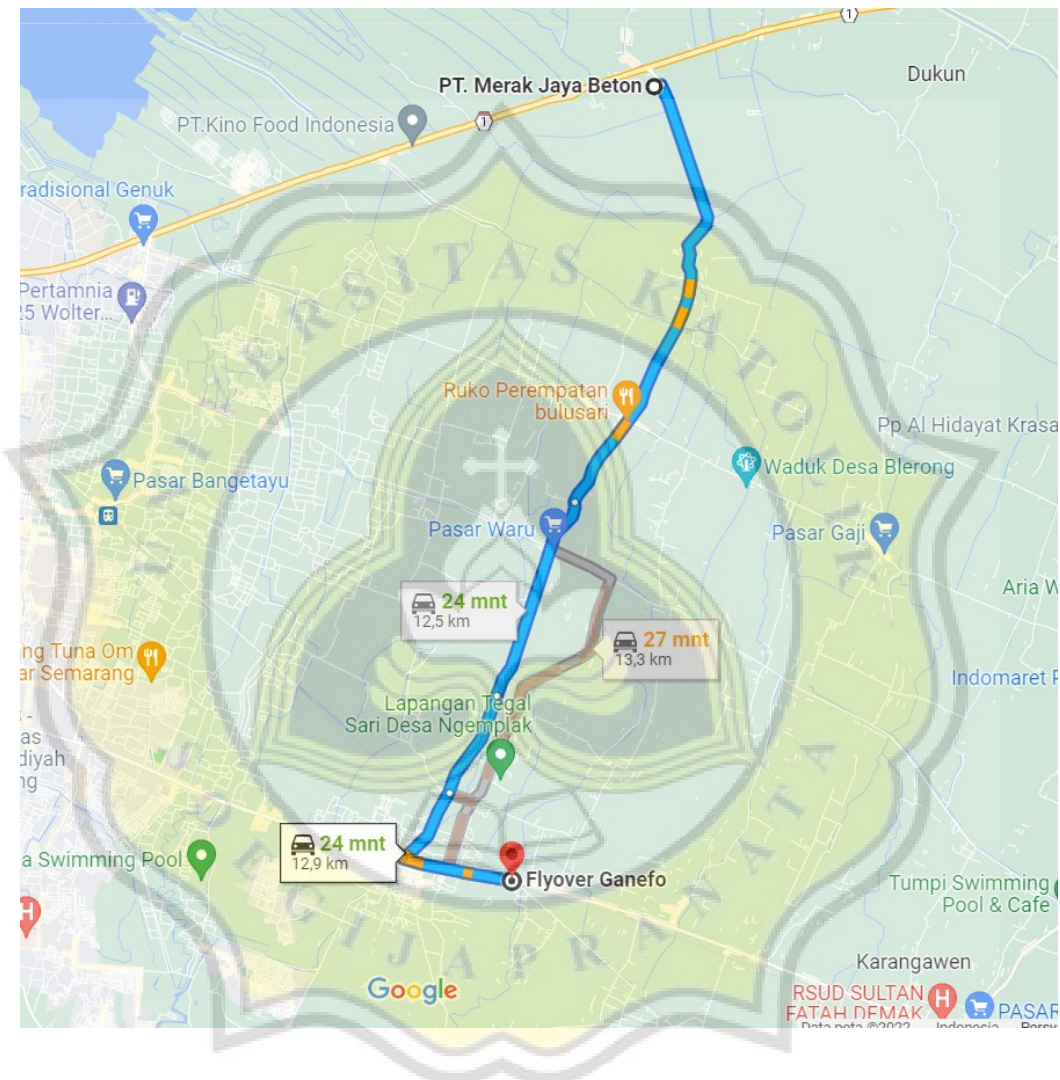
Tabel 4.5 Spesifikasi Alat Berat *Concrete Mixer Truck*

Keterangan	Spesifikasi
<i>Merk</i>	Hino
<i>Tipe</i>	500 FM 260 JM
<i>Dimensi (Panjang × Lebar × Tinggi)</i>	7,5 m × 2,5 m × 2,78 m
<i>Tenaga Mesin</i>	256,131 HP @2.500 rpm
<i>Berat Operasional</i>	26 Ton
<i>Kapasitas Maksimal</i>	6,5 m ³

(Sumber: Diolah dari <https://www.hino.co.id/product-detail/2/fm-260-jm-new.>)



Jalur yang ditempuh alat berat *concrete mixer truck* mulai dari lokasi *batching plant* PT Merak Jaya Beton yang berada di Jl. Raya Onggorawe, Area Tambak, Loireng, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, sampai lokasi proyek sejauh 12,9 km. Jarak tempuh alat *concrete mixer truck* diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Rute Perjalanan *Concrete Mixer Truck* (Sumber: Diperoleh dari <https://bit.ly/JarakTempuhTruckMixer>)

d.2. *Concrete Pump Truck*

Concrete pump truck merupakan alat berat yang digunakan pada pelaksanaan pekerjaan pengecoran untuk menyalurkan material beton dari *concrete mixer truck* menuju komponen struktur yang akan dilakukan pengecoran. Alat berat tersebut digunakan apabila lokasi pengecoran berada di ketinggian atau area yang tidak



dapat dijangkau oleh *concrete mixer truck*. Selain itu *concrete pump truck* dapat digunakan untuk menjangkau lokasi pengecoran di area yang sempit. Alat berat *concrete pump truck* yang digunakan pada Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen diperlihatkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Concrete Pump Truck* Tipe Mitsubishi Fuso DC-L100

Alat berat *concrete pump truck* yang diperlihatkan pada Gambar 4.4 merupakan alat berat yang disewa dari melalui PT Tugu Beton Semesta Abadi. Spesifikasi alat berat *concrete pump truck* diperlihatkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Spesifikasi Alat Berat *Concrete Pump Truck*

Keterangan	Spesifikasi
Merk	Mitsubishi Fuso
Tipe	DC-L100
Dimensi (Panjang × Lebar × Tinggi)	12,5 m × 3 m × 3,98 m
Tenaga Mesin	271,150 HP @2.300 rpm
Panjang <i>Boom</i> Maksimal	32 m
Kapasitas <i>Pump System</i>	10 – 100 m ³

(Sumber: Diolah dari <https://www.indotrading.com/indoquip1/concrete-pumptruck-p434139.aspx>)

d.3. *Mobile Crane*

Mobile crane merupakan alat berat yang digunakan untuk membantu pengangkutan serta pemindahan material baja dari tempat pabrikasi menuju lokasi pekerjaan. Alat berat *mobile crane* yang digunakan pada Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen diperlihatkan pada Gambar 4.5.

Gambar 4.5 *Mobile Crane* Tipe Kato KR-250

Spesifikasi alat berat *mobile crane* yang diperlihatkan pada Gambar 4.6 merupakan alat berat yang disewa dari PT Trijaya Rental Crane. Spesifikasi alat berat *mobile crane* diperlihatkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Spesifikasi Alat Berat *Mobile Crane*

Keterangan	Spesifikasi
<i>Merk</i>	Kato
Tipe	KR-250
Dimensi (Panjang × Lebar × Tinggi)	10,33 m × 2,49 m × 3,47 m
Berat Operasional	22,96 ton
Tenaga Mesin	186,38 HP @2.800 rpm
Panjang <i>Boom</i> Maksimal	26,7 m
Kapasitas Angkat Beban Maksimal	25,2 ton
Kecepatan Hoist Maksimal	110 m/min
Kecepatan Hoist Minimum	53 m/min
Kecepatan Trolley	102 m/min
Slewing	3,5 rpm

(Sumber: Diolah dari http://www.kato-works.co.jp/eng/products/allterr/pdf/KR-250_spec.pdf.)

d.4. *Dump Truck*

Dump truck merupakan alat berat yang digunakan pada pekerjaan lapisan aspal AC-WC untuk mengangkut campuran material *asphalt* yang berasal dari *asphalt mixing plant* menuju lokasi pekerjaan. Alat berat *dump truck* yang digunakan pada Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen diperlihatkan pada Gambar 4.6.

Gambar 4.6 *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Colt Diesel Dump 125 HD

Alat berat *dump truck* yang diperlihatkan pada Gambar 4.6 merupakan alat berat milik proyek. Spesifikasi alat berat *dump truck* diperlihatkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Spesifikasi Alat Berat *Dump Truck*

Keterangan	Spesifikasi
<i>Merk</i>	Mitsubishi
<i>Tipe</i>	Colt Diesel Dump 125 HD
Dimensi (Panjang × Lebar × Tinggi)	5,9 m × 1,97 m × 2,15 m
Tenaga Mesin	122,031 HP @2.900 rpm
Berat Operasional	7,5 ton
Kapasitas Bak Tampung	7 m ³ (11,48 ton)

(Sumber: Diolah dari <https://ktbfuso.co.id/product-detail/8/fe-74-hd-k>)

Material campuran aspal diangkut menggunakan alat berat *dump truck* dari lokasi *asphalt mixing plant* PT. Merak Jaya Beton yang berada di Jl. Raya Onggorawe, Area Tambak, Loireng, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak, menuju lokasi proyek. Jarak yang ditempuh *dump truck* sejauh 12,9 km yang diperlihatkan pada Gambar 4.2

d.5. *Asphalt Finisher*

Asphalt finisher merupakan alat berat beroda ban ataupun *crawler* yang dilengkapi penghampar *hydraulic extension* yang digunakan untuk melakukan pekerjaan menghamparkan campuran aspal panas di atas permukaan badan jalan. Alat berat *asphalt finisher* yang digunakan pada Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen



diperlihatkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Asphalt Finisher* Tipe Sumitomo HA60W-8 (Sumber: Diperoleh dari shorturl.at/vyDT6)

Spesifikasi alat berat *tandem roller* yang diperlihatkan pada Gambar 4.7 merupakan alat berat yang disewa dari PT. Multi Bangun Indonesia. Spesifikasi alat berat *asphalt finisher* diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Spesifikasi Alat Berat *Asphalt Finisher*

Keterangan	Spesifikasi
<i>Merk</i>	Sumitomo
<i>Tipe</i>	HA60W-8
Dimensi (Panjang × Lebar × Tinggi)	6,93 m × 6,05 m × 3,79 m
Berat Operasional	14,95 ton
Tenaga Mesin	119,35 HP @1.800 rpm
Hydraulic Extension	6 m

(Sumber: Diolah dari <https://www.lectura-specs.com/en/model/construction-machinery/wheeled-asphalt-pavers-sumitomo/ha60w-8-11703743>)

d.6. *Tandem Roller*

Tandem roller merupakan alat berat yang memiliki dua buah roda atau penggilas besi yang difungsikan untuk melakukan pekerjaan pemadatan, misalnya untuk pekerjaan penggilasan material aspal agar memperoleh hasil permukaan aspal yang rata dan padat. Alat berat *tandem roller* yang digunakan pada Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen diperlihatkan pada Gambar 4.8.



Tugas Akhir

Perbandingan Hasil Estimasi *Embodied Energy* Berdasarkan *Software* SimaPro Versi 9.4.0.2 *Faculty* dan Perhitungan Konvensional Pada Struktur Lantai Jembatan (Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)



Gambar 4.8 *Tandem Roller* Tipe Sakai SW800 (Sumber: Diperoleh dari https://www.youtube.com/watch?v=VOMETFh25I0&ab_channel=Bangjack93)

Spesifikasi alat berat *tandem roller* yang diperlihatkan pada Gambar 4.8 merupakan alat berat yang disewa dari PT. Multi Bangun Indonesia. Spesifikasi alat berat *tandem roller* diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Spesifikasi Alat Berat *Tandem Roller*

Keterangan	Spesifikasi
<i>Merk</i>	Sakai
<i>Tipe</i>	SW800
Dimensi (Panjang × Lebar × Tinggi)	5,69 m × 2,00 m × 2,33 m
Berat Operasional	10,48 ton
Tenaga Mesin	116 HP @2.500 rpm
Lebar Total Drum	2 m
Lebar Overlap Drum	0,3 m

(Sumber: Diolah dari https://www.sakainet.co.jp/en/products/asphalt_roller/sw900-800series.html)

d.7. *Pneumatic Tire Roller*

Pneumatic tire roller merupakan alat berat pemadat ataupun penggilas yang terdiri dari roda dengan ban karet dengan permukaan yang rata. Susunan dari roda-roda tersebut dibuat selang seling sehingga bagian yang tidak tergilas oleh roda bagian depan dapat digilas oleh ban yang belakang. Alat berat ini digunakan untuk melakukan pekerjaan pemadatan lapisan permukaan pada jalan aspal akhir. Alat berat *pneumatic tire roller* yang digunakan pada Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen diperlihatkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 *Pneumatic Tire Roller* Tipe Sakai TS200 (Sumber: Diperoleh dari https://www.youtube.com/watch?v=VOMETFh25I0&ab_channel=Bangjack93)

Spesifikasi alat berat *pneumatic tire roller* yang diperlihatkan pada Gambar 4.9 merupakan alat berat yang disewa dari PT. Multi Bangun Indonesia. Spesifikasi alat berat *pneumatic tire roller* diperlihatkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Spesifikasi Alat Berat *Pneumatic Tire Roller*

Keterangan	Spesifikasi
Merk	Sakai
Tipe	TS200
Dimensi (Panjang × Lebar × Tinggi)	5,04 m × 2,06 m × 2,49 m
Berat Operasional	13,08 ton
Tenaga Mesin	95 HP @1.800 rpm
Lebar Roda	2,06 m
Lebar Overlap Roda	0,03 m

(Sumber: Diolah dari https://www.sakainet.co.jp/en/products/asphalt_roller/ts200.html)

4.3 Data Asumsi

Data asumsi digunakan untuk melengkapi analisis data yang digunakan dalam penelitian. Data-data yang diasumsikan merupakan data yang tidak dapat diperoleh secara langsung dikarenakan proyek yang sudah selesai sehingga diperlukan asumsi berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan. Data asumsi yang digunakan pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

a. Faktor efisiensi alat berat konstruksi

Efisiensi alat berat konstruksi merupakan faktor yang dapat mempengaruhi



produktivitas alat pada pelaksanaan pekerjaan terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi kerja antara lain topografi, keahlian operator dan pemeliharaan alat berat tersebut. Faktor efisiensi alat diperlihatkan pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Faktor Efisiensi Alat

Kondisi Operasi	Pemeliharaan Mesin				
	Baik Sekali	Baik	Sedang	Buruk	Buruk Sekali
Baik Sekali	0,83	0,81	0,76	0,70	0,63
Baik	0,78	0,75	0,71	0,65	0,60
Sedang	0,72	0,69	0,65	0,60	0,54
Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52	0,45
Buruk Sekali	0,53	0,5	0,47	0,42	0,32

(Sumber: Diolah dari Permen PUPR, 2016)

Klasifikasi alat berat pada Proyek *Flyover* Ganefo Mranggen berdasarkan hasil wawancara tidak terstruktur kepada pihak konsultan pengawas, alat berat pada proyek tersebut termasuk dalam kondisi yang baik. Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan faktor efisiensi alat 0,75 sesuai dengan Tabel 4.12.

b. Waktu siklus alat berat *concrete mixer truck*

Asumsi waktu siklus yang dibutuhkan alat berat *concrete mixer truck* menggunakan data pada penelitian yang telah dilakukan oleh Jawat, dkk., (2018) yang memiliki tujuan untuk mengetahui produktivitas dari alat berat konstruksi pada pekerjaan pengecoran beton *ready mix*. Pada penelitian tersebut, alat berat *concrete mixer truck* memiliki kapasitas tangki sebesar 7 m³. Data yang digunakan meliputi waktu muat beton ke dalam truk, waktu tunggu, waktu tuang dan waktu tunggu untuk dimuati yang diperlihatkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Waktu Siklus *Concrete Mixer Truck*

No. Truk	Waktu muat beton ke truk (menit)	Waktu angkut ke lokasi (menit)	Waktu tunggu (menit)	Waktu tuang ke <i>concrete pump</i> (menit)	Waktu kembali ke pabrik beton (menit)	Waktu tunggu untuk dimuati (menit)
1	5,38	15,11	3,28	6,47	15,07	3,00
2	5,43	14,43	4,09	6,23	13,11	4,14
3	5,41	15,16	4,21	6,13	14,27	3,38
4	5,43	15,30	4,18	6,20	15,15	3,58
5	5,42	14,56	3,48	6,26	15,21	4,09

Tabel 4.13 Waktu Siklus *Concrete Mixer Truck*

No. Truk	Waktu muat beton ke truk (menit)	Waktu angkut ke lokasi (menit)	Waktu tunggu (menit)	Waktu tuang ke <i>concrete pump</i> (menit)	Waktu kembali ke pabrik beton (menit)	Waktu tunggu untuk dimuati (menit)
6	5,42	15,46	4,02	6,03	15,03	5,17
7	5,41	17,05	2,43	10,25	17,23	4,03
8	5,44	17,19	4,37	7,15	17,49	4,19
9	5,43	19,09	4,43	7,23	20,01	4,23
10	5,43	19,20	6,21	9,00	19,38	4,36
11	5,40	19,53	7,39	5,42	19,57	4,15
Rata-rata	5,42	16,55	4,37	6,94	16,50	4,03

(Sumber: Diolah dari Jawat, dkk., 2018)

Data asumsi yang dibutuhkan alat berat *concrete mixer truck* pada penelitian ini berdasarkan rata-rata waktu yang terdapat pada Tabel 4.13. Rata-rata waktu tersebut kemudian disesuaikan dengan kapasitas *concrete mixer truck* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 6 m^3 yang diuraikan sebagai berikut:

1. Waktu muat beton $= \frac{6 \text{ m}^3 \times 5,42}{7 \text{ m}^3} = 4,64$ menit
2. Waktu tunggu $= \frac{6 \text{ m}^3 \times 4,37}{7 \text{ m}^3} = 3,75$ menit
3. Waktu tuang $= \frac{6 \text{ m}^3 \times 6,94}{7 \text{ m}^3} = 5,95$ menit
4. Waktu tunggu muat beton $= \frac{6 \text{ m}^3 \times 4,37}{7 \text{ m}^3} = 3,45$ menit

Waktu yang dibutuhkan alat berat *concrete mixer truck* untuk melakukan perjalanan dari lokasi *batching plant* menuju lokasi proyek dan kembali lagi menuju lokasi *batching plant* dihitung berdasarkan kecepatan serta jarak yang ditempuh. Kecepatan alat berat *concrete mixer truck* diasumsikan berdasarkan data pada penelitian yang telah dilakukan oleh Purworini (2016) yang bertujuan untuk melakukan analisis terhadap kebutuhan pemakaian alat berat yang meliputi analisis produktivitas alat berat, waktu pelaksanaan serta perhitungan biaya peralatan. Pada penelitian tersebut, kecepatan alat berat *concrete mixer truck* saat muat yaitu 25 km/jam dan saat kosong yaitu 40 km/jam. Waktu yang dibutuhkan alat berat *concrete mixer truck* selama perjalanan diuraikan sebagai berikut:

1. Jarak tempuh $= 12,9$ km



$$2. \text{ Waktu angkut beton} = \frac{12,9 \text{ km} \times 60}{25 \text{ km/jam}} = 30,96 \text{ menit}$$

$$3. \text{ Waktu kembali} = \frac{12,9 \text{ km} \times 60}{40 \text{ km/jam}} = 19,35 \text{ menit}$$

c. Waktu siklus alat berat *concrete pump truck*

Asumsi waktu siklus yang dibutuhkan alat berat *concrete pump truck* menggunakan data pada penelitian yang telah dilakukan oleh Jawat, dkk., (2018) yang memiliki tujuan untuk mengetahui produktivitas dari alat berat konstruksi pada pekerjaan pengecoran beton *ready mix*. Data yang digunakan meliputi waktu efektif, waktu *delay*, dan waktu total yang diperlihatkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Waktu Siklus *Concrete Pump Truck*

No.	Waktu efektif (menit)	Waktu delay (menit)	Waktu total (menit)
1	7,26	3,21	10,47
2	7,05	3,07	10,12
3	7,15	3,45	10,6
4	7,18	3,48	10,66
5	7,23	4,18	11,41
6	6,28	4,02	10,3
7	10,52	2,43	12,95
8	7,42	2,19	9,61
9	7,48	1,42	8,9
10	9,23	6,21	15,44
11	6,14	7,39	13,53
Rata-rata	7,54	3,73	11,27

(Sumber: Diolah dari Jawat, dkk., 2018)

Data asumsi yang dibutuhkan pada alat berat *concrete pump truck* pada penelitian ini berdasarkan rata-rata waktu yang terdapat pada Tabel 4.14. Rata-rata waktu tersebut kemudian disesuaikan dengan kapasitas *concrete mixer truck* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 6 m^3 yang diuraikan sebagai berikut:

$$1. \text{ Waktu efektif} = \frac{6 \text{ m}^3 \times 7,54}{7 \text{ m}^3} = 6,46 \text{ menit}$$

$$2. \text{ Waktu delay} = \frac{6 \text{ m}^3 \times 3,73}{7 \text{ m}^3} = 3,20 \text{ menit}$$

d. Waktu siklus alat berat *mobile crane*

Asumsi waktu siklus yang dibutuhkan alat berat *mobile crane* menggunakan data



pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ahmad (2018) yang memiliki tujuan untuk mengetahui produktivitas dari alat berat pada bangunan konstruksi. Data yang digunakan untuk penelitian ini meliputi waktu muat, waktu bongkar, sudut *slewing*, dan jarak *trolley* yang diuraikan sebagai berikut:

1. Waktu muat = 2 menit
2. Waktu bongkar = 1,4 menit
3. Sudut *slewing* = 0,1 radian
4. Jarak *trolley* = 5 meter
- e. Waktu siklus alat berat *dump truck*

Asumsi waktu siklus yang dibutuhkan alat berat *dump truck* menggunakan data pada penelitian yang telah dilakukan oleh Muis, (2017) untuk mengetahui produktivitas masing-masing alat berat pada konstruksi jalan. Data yang digunakan pada penelitian tersebut diuraikan sebagai berikut:

1. Kapasitas *dump truck* = 10 ton
2. Waktu mengisi = 10 menit
3. Waktu menunggu, *dumping*, dan memutar = 10 menit

Alat berat *dump truck* yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas 7 m³ atau 11,480 ton. Data asumsi yang digunakan diuraikan sebagai berikut:

1. Kapasitas *dump truck* = 11,480 ton
2. Waktu mengisi = $\frac{11,480 \text{ ton} \times 10}{10 \text{ ton}}$
= 11,48 menit
3. Waktu menunggu, *dumping*, dan memutar = $\frac{11,480 \text{ ton} \times 10}{10 \text{ ton}}$
= 11,48 menit

Waktu yang dibutuhkan alat berat *dump truck* pada saat perjalanan dari lokasi *asphalt mixing plant* menuju lokasi proyek dan kembali ke lokasi *asphalt mixing plant* dihitung berdasarkan kecepatan serta jarak yang ditempuh. Perkiraan umum kecepatan alat berat *dump truck* sesuai kondisi lapangan dan kondisi beban diperlihatkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Kecepatan *Dump Truck*

Kondisi Lapangan	Kondisi Beban	Kecepatan (km/jam)
Datar	Isi	40
	Kosong	60
Menanjak	Isi	20
	Kosong	40
Menurun	Isi	20
	Kosong	40

(Sumber: Diolah dari Permen PUPR, 2016)

Berdasarkan Tabel 4.16, dengan asumsi kondisi jalur dari lokasi *asphalt mixing plant* menuju lokasi proyek adalah mendatar namun memiliki tanjakan dan turunan meskipun tidak terlalu tinggi sehingga kecepatan *dump truck* saat kondisi isi yaitu 20 km/jam dan kondisi kosong yaitu 40 km/jam. Waktu yang dibutuhkan *dump truck* selama perjalanan pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Jarak tempuh = 12,9 km
2. Waktu angkut material = $\frac{12,9 \text{ km} \times 60}{20 \text{ km/jam}} = 38,70$ menit
3. Waktu kembali = $\frac{12,9 \text{ km} \times 60}{40 \text{ km/jam}} = 19,35$ menit

f. Waktu siklus alat berat *asphalt finisher*

Asumsi waktu siklus yang dibutuhkan alat berat *asphalt finisher* menggunakan data pada penelitian yang telah dilakukan oleh Muis (2017) yang memiliki tujuan untuk mengetahui produktivitas dari alat berat pada bangunan konstruksi. Data yang digunakan untuk penelitian ini meliputi kecepatan dari alat berat *asphalt finisher* yang diuraikan sebagai berikut:

1. Kecepatan alat = 4 km/jam

g. Waktu siklus alat berat *tandem roller*

Asumsi waktu siklus yang dibutuhkan alat berat *tandem roller* menggunakan data pada penelitian yang telah dilakukan oleh Muis (2017) yang memiliki tujuan untuk mengetahui produktivitas dari alat berat pada konstruksi. Data yang digunakan untuk penelitian ini meliputi kecepatan dan jumlah lintasan dari alat berat *tandem roller* yang diuraikan sebagai berikut:



1. Kecepatan alat = 4 km/jam
 2. Jumlah lintasan = 5 kali
- h. Waktu siklus alat berat *pneumatic tire roller*

Asumsi waktu siklus yang dibutuhkan alat berat *pneumatic tire roller* menggunakan data pada penelitian yang telah dilakukan oleh Muis (2017) yang memiliki tujuan untuk mengetahui produktivitas dari alat berat pada bangunan konstruksi. Data yang digunakan untuk penelitian ini meliputi kecepatan dan jumlah lintasan dari alat berat *pneumatic tire roller* yang diuraikan sebagai berikut:

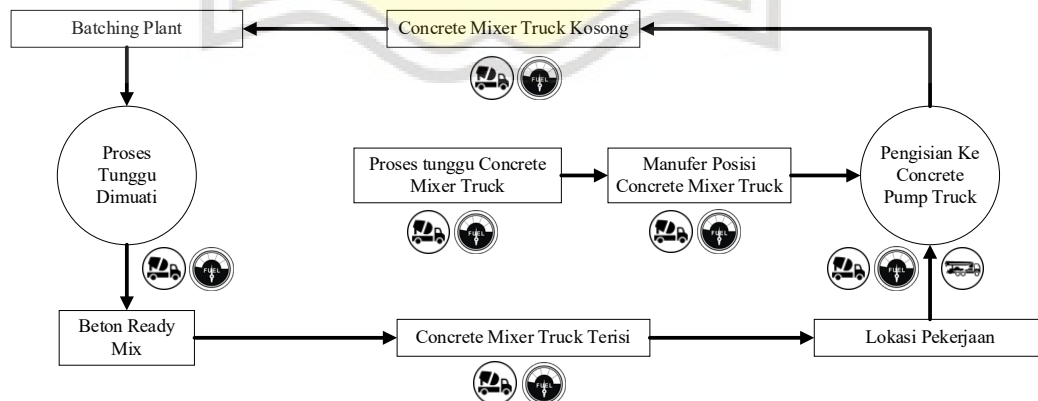
1. Kecepatan alat = 4 km/jam
2. Jumlah lintasan = 5 kali

4.4 Volume Bahan Bakar Solar

Bahan bakar yang digunakan pada setiap alat berat yaitu menggunakan bahan bakar dengan jenis solar. Volume konsumsi bahan bakar solar dihitung berdasarkan durasi penggunaan alat selama tahap konstruksi yang didapatkan berdasarkan estimasi produktivitas alat berat. Estimasi produktivitas alat berat dan total volume bahan bakar solar diuraikan sebagai berikut:

a. *Concrete mixer truck*

Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan *concrete mixer truck* dapat diuraikan berdasarkan siklus kerja alat tersebut. Siklus kerja alat berat *concrete mixer truck* diperlihatkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Siklus Kerja Alat *Concrete Mixer Truck*



Berdasarkan Gambar 4.10, konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan alat berat *concrete mixer truck* yaitu pada saat alat melakukan proses pemuatan beton *ready mix*, pengangkutan beton *ready mix*, proses tunggu di lokasi proyek, proses manuver untuk menyesuaikan posisi alat di lokasi proyek agar memudahkan pada saat melakukan proses pengisian beton *ready mix*, proses pengisian beton *ready mix* ke dalam *concrete pump truck* dan proses perjalanan kembali dari lokasi proyek menuju lokasi *batching plant* untuk melakukan pengisian kembali beton *ready mix*. Data yang digunakan untuk estimasi konsumsi bahan bakar alat berat *concrete mixer truck* diuraikan sebagai berikut:

1. Efisiensi alat berat = 0,75
2. Jarak tempuh = 12,9 km
3. Total jarak tempuh = $12,9 \text{ km} \times 2 = 25,8 \text{ km}$
4. Waktu muat beton = 4,64 menit
5. Waktu angkut beton = 30,96 menit
6. Waktu tunggu = 3,75 menit
7. Waktu tuang beton = 5,95 menit
8. Waktu kembali = 19,35 menit
9. Waktu tunggu muat beton = 3,45 menit
10. Waktu siklus (T_s) = $4,65 + 30,96 + 3,75 + 5,95 + 19,35 + 3,45$
= 68,106 menit

Estimasi konsumsi bahan bakar saat di lokasi *batching plant* dan lokasi pekerjaan dihitung berdasarkan produktivitas alat berat *concrete mixer truck* menggunakan Persamaan 2.15 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{V \times F_a \times 60}{T_s} \\
 &= \frac{6 \text{ m}^3 \times 0,75 \times 60}{68,106 \text{ menit}} \\
 &= 3,964 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi durasi pekerjaan alat berat *concrete mixer truck* pada segmen 40,8 m menggunakan Persamaan 2.14 yang diuraikan sebagai berikut:

$$V_{\text{beton}} = 165,24 \text{ m}^3$$



$$\begin{aligned} \text{Durasi} &= \frac{V_{\text{beton}}}{Q_{\text{mixer truck}}} \\ &= \frac{165,24 \text{ m}^3}{3,964 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 41,68 \text{ jam} \end{aligned}$$

Estimasi konsumsi bahan bakar alat berat *concrete mixer truck* menggunakan Persamaan 2.13 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM} &= 0,04 \text{ gal/jam} \times \text{HP} \\ &= 0,04 \text{ gal/jam} \times 256,131 \\ &= 10,245 \text{ gal/jam} \\ &= 38,78 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

Estimasi total konsumsi bahan bakar alat berat *concrete mixer truck* pada pekerjaan beton segmen 40,8 m dihitung berdasarkan estimasi matematis yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM}_{\text{Total}} &= \text{BBM} \times \text{Durasi} \\ &= 38,78 \text{ liter/jam} \times 41,68 \text{ jam} \\ &= 1.616,307 \text{ liter} \end{aligned}$$

Selanjutnya data diestimasi dengan bantuan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar *Concrete Mixer Truck*

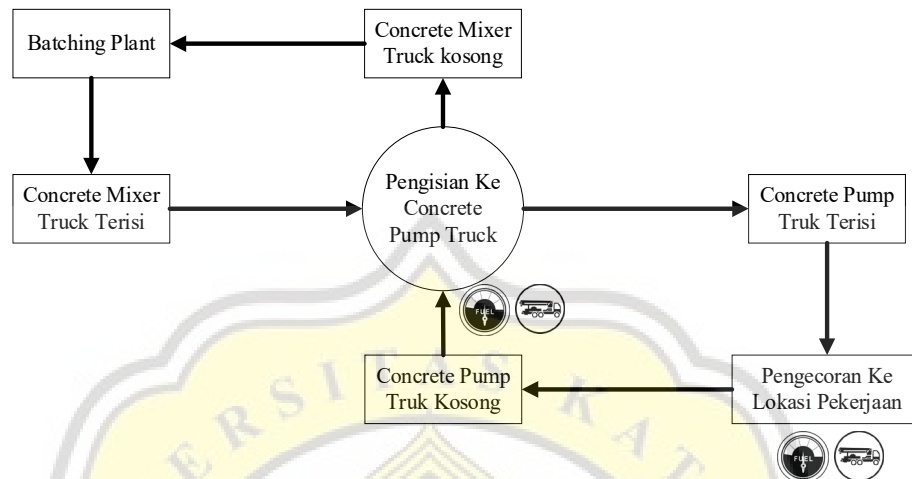
Keterangan	Segmen (m)	Volume Beton (m ³)	Produktivitas (m ³ /jam)	Durasi (jam)	BBM (liter/jam)	BBM Total (Liter)
Abutmen 1 – Pilar 2	40,8	165,24	3,964	41,68	38,78	1616,307
Pilar 2 – Pilar 3	32,8	132,84	3,964	33,51	38,78	1299,384
Pilar 3 – Pilar 4	32,8	132,84	3,964	33,51	38,78	1299,384
Pilar 4 – Pilar 5	59,31	240,21	3,964	60,59	38,78	2349,587
Pilar 5 – Pilar 6	54,91	222,39	3,964	56,10	38,78	2175,280
Pilar 6 – Pilar 7	36,8	149,04	3,964	37,59	38,78	1457,845
Pilar 7 – Pilar 8	36,8	149,04	3,964	37,59	38,78	1457,845
Pilar 8 – Abutmen 2	36,8	149,04	3,964	37,59	38,78	1457,845
Total						13.113,478

b. *Concrete pump truck*

Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan *concrete pump truck* dapat diuraikan



berdasarkan siklus kerja alat tersebut. Siklus kerja alat berat *concrete pump truck* diperlihatkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Siklus Kerja Alat *Concrete Pump Truck*

Berdasarkan Gambar 4.11, konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan alat berat *concrete pump truck* yaitu pada saat proses pengecoran beton dan proses *delay* pengisian beton. Data yang digunakan untuk estimasi produktivitas alat berat *concrete pump truck* diuraikan sebagai berikut:

1. Efisiensi alat berat = 0,75
2. Waktu efektif = 6,46 menit
3. Waktu delay = 3,20 menit
4. Waktu total siklus = 6,46 menit + 3,20 menit
= 9,66 menit

Estimasi produktivitas alat berat *concrete pump truck* menggunakan Persamaan 2.17 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{V_{\text{Concrete mixer truck}}}{T_s} \\
 &= \frac{6 \text{ m}^3}{9,66 \text{ menit}} \\
 &= 0,621 \text{ m}^3/\text{menit} \\
 &= 37,261 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi durasi pekerjaan alat berat *concrete pump truck* pada segmen 40,8 m



menggunakan Persamaan 2.14 yang diuraikan sebagai berikut:

$$V_{\text{beton}} = 165,24 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi} &= \frac{V_{\text{beton}}}{Q_{\text{Concrete pump truck}}} \\ &= \frac{165,24 \text{ m}^3}{37,261 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 4,43 \text{ jam} \end{aligned}$$

Estimasi konsumsi bahan bakar alat berat *concrete pump truck* menggunakan Persamaan 2.13 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM} &= 0,04 \text{ gal/jam} \times \text{HP} \\ &= 0,04 \text{ gal/jam} \times 271,150 \\ &= 10,846 \text{ gal/jam} \\ &= 41,052 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

Estimasi total konsumsi bahan bakar alat *concrete pump truck* pada pekerjaan beton segmen 40,8 m dihitung berdasarkan estimasi matematis yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM}_{\text{Total}} &= \text{BBM} \times \text{Durasi} \\ &= 41,052 \text{ liter/jam} \times 4,43 \text{ jam} \\ &= 182,05 \text{ liter} \end{aligned}$$

Selanjutnya data diestimasi dengan bantuan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 4.17.

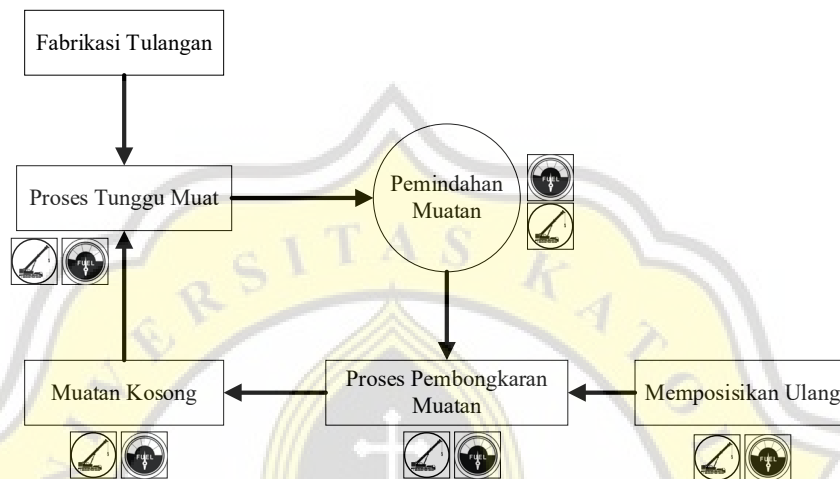
Tabel 4.17 Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar *Concrete Pump Truck*

Keterangan	Segmen (m)	Volume Beton (m ³)	Produktivitas (m ³ /jam)	Durasi (jam)	BBM (liter/jam)	BBM Total (Liter)
Abutmen 1 – Pilar 2	40,8	165,24	0,0104	4,43	41,052	182,05
Pilar 2 – Pilar 3	32,8	132,84	0,0104	3,57	41,052	146,36
Pilar 3 – Pilar 4	32,8	132,84	0,0104	3,57	41,052	146,36
Pilar 4 – Pilar 5	59,31	240,21	0,0104	6,45	41,052	264,64
Pilar 5 – Pilar 6	54,91	222,39	0,0104	5,97	41,052	245,01
Pilar 6 – Pilar 7	36,8	149,04	0,0104	4,00	41,052	164,20
Pilar 7 – Pilar 8	36,8	149,04	0,0104	4,00	41,052	164,20
Pilar 8 – Abutmen 2	36,8	149,04	0,0104	4,00	41,052	164,20
Total						1.477,03



c. *Mobile crane*

Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan *mobile crane* dapat diuraikan berdasarkan siklus kerja alat tersebut. Siklus kerja alat berat *mobile crane* diperlihatkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Siklus Kerja Alat *Mobile Crane*

Berdasarkan Gambar 4.12, konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan alat berat *mobile crane* yaitu pada saat proses muat, pemindahan muatan, pembongkaran muatan, memposisikan ulang *mobile crane*, dan waktu kembali dengan muatan kosong. Data yang digunakan untuk estimasi produktivitas alat berat *mobile crane* diuraikan sebagai berikut:

1. Efisiensi alat berat (F_a) = 0,75
2. Waktu muat = 2 menit
3. Waktu bongkar = 1,4 menit
4. Tinggi pengangkatan (D_v) = 15 m
5. Hoisting minimum (V_{v1}) = 53 m/min
6. Hoisting maksimal (V_{v2}) = 110 m/min
7. Sudut *slewing* (D_r) = 0,1 rad
8. Kecepatan rotasi (V_r) = 3,5 rpm
9. Jarak *trolley* (D_h) = 5 m
10. Kecepatan *trolley* (V_h) = 102 m/min



11. Kapasitas angkut maksimal (q) = 25200 kg

12. Kapasitas material baja (V) = Diperlihatkan pada Tabel 4.2.

Estimasi waktu siklus alat berat *mobile crane* menggunakan Persamaan 2.19 sampai Persamaan 2.21 yang diuraikan sebagai berikut:

1. Perhitungan waktu pengangkatan

a.1. Waktu tempuh vertikal angkat

$$\begin{aligned} T_{v1} &= \frac{D_v}{V_{v1}} \\ &= \frac{15 \text{ m}}{53 \text{ m/menit}} \\ &= 0,28 \text{ menit} \end{aligned}$$

a.2. Waktu tempuh rotasi angkat

$$\begin{aligned} T_{r1} &= \frac{D_r}{V_r} \\ &= \frac{0,1 \text{ rad}}{3,5 \text{ rpm}} \\ &= 0,03 \text{ menit} \end{aligned}$$

a.3. Waktu tempuh horizontal angkat

$$\begin{aligned} T_{h1} &= \frac{D_h}{V_h} \\ &= \frac{5 \text{ m}}{102 \text{ m/menit}} \\ &= 0,05 \text{ menit} \end{aligned}$$

a.4. Waktu *landing* angkat

$$\begin{aligned} T_{v1} &= \frac{D_v}{V_{v1}} \\ &= \frac{15 \text{ m}}{53 \text{ m/menit}} \\ &= 0,28 \text{ menit} \end{aligned}$$

a.5. Total waktu angkat

$$\begin{aligned} \text{Total waktu angkat} &= T_{v1} + T_{r1} + T_{h1} + T_{v1} \\ &= 0,28 \text{ menit} + 0,03 \text{ menit} + 0,05 \text{ menit} + 0,28 \text{ menit} \\ &= 0,64 \text{ menit} \end{aligned}$$



2. Perhitungan waktu kembali

b.1. Waktu tempuh kembali

$$\begin{aligned} T_{v2} &= \frac{D_v}{V_{v2}} \\ &= \frac{15 \text{ m}}{110 \text{ m}/\text{menit}} \\ &= 0,14 \text{ menit} \end{aligned}$$

b.2. Waktu tempuh rotasi kembali

$$\begin{aligned} T_{r2} &= \frac{D_r}{V_r} \\ &= \frac{0,1 \text{ rad}}{3,5 \text{ rpm}} \\ &= 0,03 \text{ menit} \end{aligned}$$

b.3. Waktu tempuh horizontal kembali

$$\begin{aligned} T_{h2} &= \frac{D_h}{V_h} \\ &= \frac{5 \text{ m}}{102 \text{ m}/\text{menit}} \\ &= 0,05 \text{ menit} \end{aligned}$$

b.4. Waktu *landing* kembali

$$\begin{aligned} T_{v2} &= \frac{D_v}{V_{v2}} \\ &= \frac{15 \text{ m}}{110 \text{ m}/\text{menit}} \\ &= 0,13 \text{ menit} \end{aligned}$$

b.5. Total waktu kembali

$$\begin{aligned} \text{Total waktu kembali} &= T_{v2} + T_{r2} + T_{h2} + T_{v2} \\ &= 0,14 \text{ menit} + 0,03 \text{ menit} + 0,05 \text{ menit} + 0,14 \text{ menit} \\ &= 0,35 \text{ menit} \end{aligned}$$

b. Total waktu siklus *mobile crane*

$$\begin{aligned} \text{CT} &= \text{waktu muat} + \text{total waktu angkat} + \text{waktu bongkar} + \text{total waktu kembali} \\ &= 2 \text{ menit} + 0,64 \text{ menit} + 1,4 \text{ menit} + 0,35 \text{ menit} \\ &= 4,39 \text{ menit} \end{aligned}$$



Estimasi produktivitas alat berat *mobile crane* menggunakan Persamaan 2.18 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= q \times \frac{60}{CT} \times Fa \\ &= 25200 \text{ kg} \times \frac{60}{4,39 \text{ menit}} \times 0,75 \\ &= 258.082,31 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Estimasi durasi pekerjaan alat berat *mobile crane* pada segmen 40,8 m menggunakan Persamaan 2.14 yang diuraikan sebagai berikut:

$$V_{\text{baja}} = 23.094,45 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi} &= \frac{V}{Q_{\text{tandem roller}}} \\ &= \frac{23.094,45 \text{ kg}}{258.082,31 \text{ kg/jam}} \\ &= 0,09 \text{ jam} \end{aligned}$$

Estimasi kebutuhan bahan bakar alat berat *mobile crane* menggunakan Persamaan 2.13 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM} &= 0,04 \text{ gal/jam} \times \text{HP} \\ &= 0,04 \text{ gal/jam} \times 118,38 \\ &= 7,29 \text{ gal/jam} \\ &= 27,61 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

Estimasi total konsumsi bahan bakar alat berat *mobile crane* pada pekerjaan aspal segmen 40,8 m dihitung berdasarkan estimasi matematis yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM}_{\text{total}} &= \text{BBM} \times \text{Durasi} \\ &= 27,61 \text{ liter/jam} \times 0,09 \text{ jam} \\ &= 2,47 \text{ liter} \end{aligned}$$

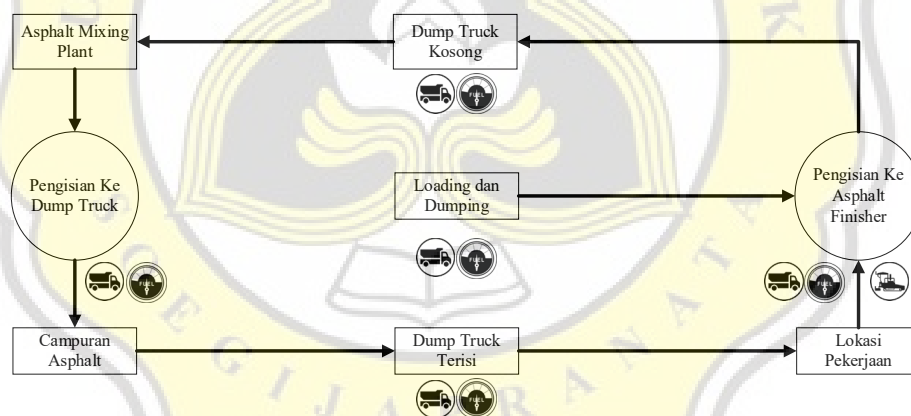
Selanjutnya data diestimasi dengan bantuan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar *Mobile Crane*

Keterangan	Segmen (m)	Volume Baja (kg)	Produktivitas (m ³ /jam)	Durasi (jam)	Bahan Bakar (liter/jam)	Bahan Bakar Total (Liter)
Abutmen 1 – Pilar 2	40,8	23.094,45	258.082,31	0,09	27,61	2,47
Pilar 2 – Pilar 3	32,8	17.072,08	258.082,31	0,07	27,61	1,83
Pilar 3 – Pilar 4	32,8	17.072,08	258.082,31	0,07	27,61	1,83
Pilar 4 – Pilar 5	59,31	62.150,45	258.082,31	0,24	27,61	6,65
Pilar 5 – Pilar 6	54,91	57.812,81	258.082,31	0,22	27,61	6,19
Pilar 6 – Pilar 7	36,8	20.959,18	258.082,31	0,08	27,61	2,24
Pilar 7 – Pilar 8	36,8	20.959,18	258.082,31	0,08	27,61	2,24
Pilar 8 – Abutmen 2	36,8	20.959,18	258.082,31	0,08	27,61	2,24
TOTAL						25,69

d. *Dump truck*

Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan *dump truck* dapat diuraikan berdasarkan siklus kerja alat tersebut. Siklus kerja alat berat *dump truck* diperlihatkan pada Gambar 4.13.

Gambar 4.13 Siklus Kerja Alat *Dump Truck*

Berdasarkan Gambar 4.13, konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan alat berat *dump truck* yaitu pada saat proses pengisian material aspal, proses perjalanan menuju lokasi pekerjaan, proses *loading dan dumping* ke alat berat *asphalt finisher*, dan proses perjalanan kembali ke *asphalt mixing plant* untuk melakukan proses pengisian material aspal. Data yang digunakan untuk estimasi produktivitas alat berat *dump truck* diuraikan sebagai berikut:

1. Efisiensi alat berat = 0,75



2. Jarak tempuh = 12,9 km
3. Total jarak tempuh = 12,9 km \times 2 = 25,8 km
4. Waktu muat = 11,48 menit
5. Waktu berangkat = 38,70 menit
6. Waktu bongkar muat = 11,48 menit
7. Waktu kembali = 19,35 menit
8. Waktu siklus (T_s) = 11,48 menit + 38,70 menit + 5 menit + 19,35 menit
= 81,01 menit

Estimasi produktivitas alat berat *dump truck* menggunakan Persamaan 2.15 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{V \times F_a \times 60}{T_s} \\
 &= \frac{7 \text{ m}^3 \times 0,75 \times 60}{81,01 \text{ menit}} \\
 &= 3,888 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi durasi pekerjaan alat berat *dump truck* pada segmen 40,8 m menggunakan Persamaan 2.14 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{aspal}} &= 17,95 \text{ m}^3 \\
 \text{Durasi} &= \frac{V_{\text{aspal}}}{Q_{\text{dump truck}}} \\
 &= \frac{17,95 \text{ m}^3}{3,888 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 4,62 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi konsumsi bahan bakar alat berat *dump truck* menggunakan Persamaan 2.13 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{BBM} &= 0,04 \text{ gal/jam} \times \text{HP} \\
 &= 0,04 \text{ gal/jam} \times 122,031 \\
 &= 4,881 \text{ gal/jam} \\
 &= 18,475 \text{ liter/jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi total konsumsi bahan bakar alat berat *dump truck* pada segmen 40,8 m dihitung berdasarkan estimasi matematis yang diuraikan sebagai berikut:



$$\begin{aligned} \text{BBM}_{\text{Total}} &= \text{BBM} \times \text{Durasi} \\ &= 18,475 \text{ liter/jam} \times 4,62 \text{ jam} \\ &= 85,298 \text{ liter} \end{aligned}$$

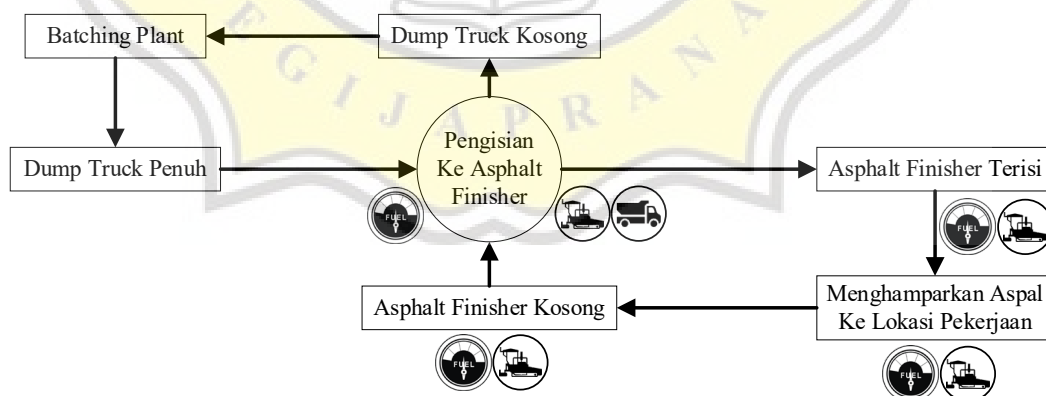
Selanjutnya data diestimasi dengan bantuan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar *Dump Truck*

Keterangan	Segmen (m)	Volume Aspal (m ³)	Produktivitas (m ³ /jam)	Durasi (jam)	BBM (liter/jam)	BBM Total (Liter)
Abutmen 1 – Pilar 2	40,8	17,95	3,888	4,62	18,475	85,298
Pilar 2 – Pilar 3	32,8	14,43	3,888	3,71	18,475	68,573
Pilar 3 – Pilar 4	32,8	14,43	3,888	3,71	18,475	68,573
Pilar 4 – Pilar 5	59,31	26,10	3,888	6,71	18,475	123,995
Pilar 5 – Pilar 6	54,91	24,16	3,888	6,21	18,475	114,796
Pilar 6 – Pilar 7	36,8	16,19	3,888	4,16	18,475	76,935
Pilar 7 – Pilar 8	36,8	16,19	3,888	4,16	18,475	76,935
Pilar 8 – Abutmen 2	36,8	16,19	3,888	4,16	18,475	76,935
Total						692,040

e. *Asphalt finisher*

Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan alat berat *asphalt finisher* diuraikan berdasarkan siklus kerja alat tersebut. Siklus kerja alat berat *asphalt finisher* diperlihatkan pada Gambar 4.14.

Gambar 4.14 Siklus Kerja Alat *Asphalt Finisher*

Berdasarkan Gambar 4.14, konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan pada alat berat *asphalt finisher* yaitu pada waktu tunggu pengisian aspal ke alat berat *asphalt*



finisher dari alat berat *dump truck*, penghamparan material aspal di lokasi proyek, dan waktu tunggu untuk pengisian kembali aspal yang kosong. Data yang digunakan untuk estimasi produktivitas alat berat *asphalt finisher* diuraikan sebagai berikut:

1. Efisiensi alat berat (F_a) = 0,75
2. Lebar hamparan (b) = 2 meter
3. Kecepatan alat (v) = 4 km/jam
4. Tebal pemadatan (t) = 0,04 meter

Produktivitas alat berat *asphalt finisher* menggunakan Persamaan 2.23 diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= V \times b \times 60 \times F_a \times t \\ &= 4 \text{ km/jam} \times 2 \text{ m} \times 60 \times 0,75 \times 0,04 \text{ m} \\ &= 29,7 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Estimasi durasi pekerjaan alat berat *asphalt finisher* pada segmen 40,8 m menggunakan Persamaan 2.14 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{aspal}} &= 17,952 \text{ m}^3 \\ \text{Durasi} &= \frac{V}{Q_{\text{asphalt finisher}}} \times 2 \\ &= \frac{17,952 \text{ m}^3}{29,7 \text{ m}^3/\text{jam}} \times 2 \\ &= 1,21 \text{ jam} \end{aligned}$$

Estimasi kebutuhan bahan bakar alat berat *asphalt finisher* menggunakan Persamaan 2.13 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM} &= 0,04 \text{ gal/jam} \times \text{HP} \\ &= 0,04 \text{ gal/jam} \times 119,35 \\ &= 4,77 \text{ gal/jam} \\ &= 18,07 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

Estimasi total konsumsi bahan bakar alat berat *asphalt finisher* pada pekerjaan aspal segmen 40,8 m dihitung berdasarkan estimasi matematis yang diuraikan sebagai berikut:



Tugas Akhir

Perbandingan Hasil Estimasi *Embodied Energy* Berdasarkan *Software* SimaPro Versi 9.4.0.2 *Faculty* dan Perhitungan Konvensional Pada Struktur Lantai Jembatan (Studi Kasus: Proyek Flyover Ganefo Mranggen)

$$\begin{aligned}
 \text{BBM}_{\text{total}} &= \text{BBM} \times \text{Durasi} \\
 &= 18,07 \text{ liter/jam} \times 1,21 \text{ jam} \\
 &= 21,84 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

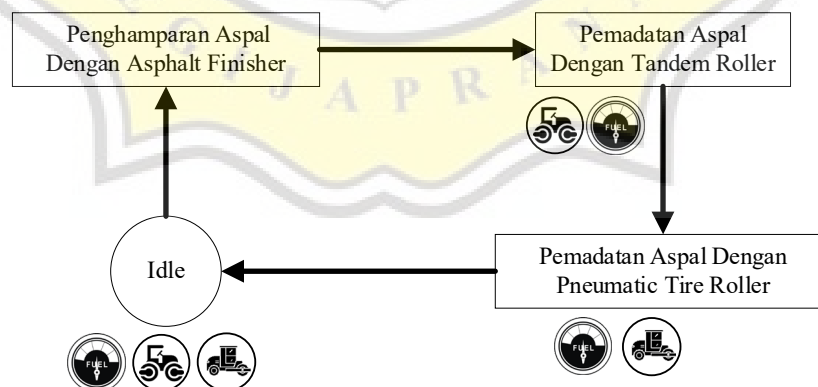
Selanjutnya data diestimasi dengan bantuan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar *Asphalt Finisher*

Keterangan	Segmen (m)	Volume Aspal (m ³)	Produktivitas (m ³ /jam)	Durasi (jam)	Bahan Bakar (liter/jam)	Bahan Bakar Total (Liter)
Abutmen 1 – Pilar 2	40,8	17,95	29,7	1,21	18,07	21,84
Pilar 2 – Pilar 3	32,8	14,43	29,7	0,97	18,07	17,56
Pilar 3 – Pilar 4	32,8	14,43	29,7	0,97	18,07	17,56
Pilar 4 – Pilar 5	59,31	26,10	29,7	1,76	18,07	31,75
Pilar 5 – Pilar 6	54,91	24,16	29,7	1,63	18,07	29,40
Pilar 6 – Pilar 7	36,8	16,19	29,7	1,09	18,07	19,70
Pilar 7 – Pilar 8	36,8	16,19	29,7	1,09	18,07	19,70
Pilar 8 – Abutmen 2	36,8	16,19	29,7	1,09	18,07	19,70
Total						177,23

f. *Tandem roller*

Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan *tandem roller* dapat diuraikan berdasarkan siklus kerja alat tersebut. Siklus kerja alat berat *tandem roller* diperlihatkan pada Gambar 4.15.

Gambar 4.15 Siklus Kerja Alat *Tandem Roller*

Berdasarkan Gambar 4.15, konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan pada alat berat *tandem roller* yaitu saat pemadatan aspal dengan *tandem roller* dan waktu



menunggu saat alat berat *asphalt finisher* melakukan penghamparan aspal. Data yang digunakan untuk estimasi produktivitas alat berat *tandem roller* diuraikan sebagai berikut:

1. Efisiensi alat berat (F_a) = 0,75
2. Lebar *drum* total (b) = 2 meter
3. Lebar *overlap* (b_o) = 0,3 meter
4. Lebar efektif pemadatan (b_e) = 2 m – 0,3 m
= 1,7 meter
5. Kecepatan alat (v) = 4 km/jam
6. Tebal pemadatan (t) = 0,04 meter
7. Jumlah lintasan (n) = 5 kali (Asumsi)

Produktivitas alat berat *tandem roller* menggunakan Persamaan 2.22 diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{(b_e \times v \times 1000) \times t \times F_a}{n} \\
 &= \frac{(1,7 \text{ m} \times 4 \text{ km/jam} \times 1000) \times 0,04 \text{ m} \times 0,75}{5 \text{ kali}} \\
 &= 40,8 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi durasi pekerjaan alat berat *tandem roller* pada segmen 40,8 m menggunakan Persamaan 2.14 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{aspal}} &= 17,952 \text{ m}^3 \\
 \text{Durasi} &= \frac{V}{Q_{\text{tandem roller}}} \\
 &= \frac{17,952 \text{ m}^3}{40,8 \text{ m}^3/\text{jam}} \times 2 \\
 &= 0,88 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi kebutuhan bahan bakar alat berat *tandem roller* menggunakan Persamaan 2.13 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{BBM} &= 0,04 \text{ gal/jam} \times \text{HP} \\
 &= 0,04 \text{ gal/jam} \times 116 \\
 &= 4,64 \text{ gal/jam} \\
 &= 17,56 \text{ liter/jam}
 \end{aligned}$$



Estimasi total konsumsi bahan bakar alat berat *tandem roller* pada pekerjaan aspal segmen 40,8 m dihitung berdasarkan estimasi matematis yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{BBM}_{\text{total}} &= \text{BBM} \times \text{Durasi} \\ &= 17,56 \text{ liter/jam} \times 0,88 \text{ jam} \\ &= 15,45 \text{ liter} \end{aligned}$$

Selanjutnya data diestimasi dengan bantuan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar *Tandem Roller*

Keterangan	Segmen (m)	Volume Aspal (m ³)	Produktivitas (m ³ /jam)	Durasi (jam)	Bahan Bakar (liter/jam)	Bahan Bakar Total (Liter)
Abutmen 1 – Pilar 2	40,8	17,95	40,8	0,88	17,56	15,45
Pilar 2 – Pilar 3	32,8	14,43	40,8	0,71	17,56	12,24
Pilar 3 – Pilar 4	32,8	14,43	40,8	0,71	17,56	12,24
Pilar 4 – Pilar 5	59,31	26,10	40,8	1,28	17,56	22,47
Pilar 5 – Pilar 6	54,91	24,16	40,8	1,18	17,56	20,79
Pilar 6 – Pilar 7	36,8	16,19	40,8	0,79	17,56	13,94
Pilar 7 – Pilar 8	36,8	16,19	40,8	0,79	17,56	13,94
Pilar 8 – Abutmen 2	36,8	16,19	40,8	0,79	17,56	13,94
Total						125,39

g. *Pneumatic tire roller*

Konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan *pneumatic tire roller* dapat diuraikan berdasarkan siklus kerja alat tersebut. Siklus kerja alat berat *pneumatic tire roller* diperlihatkan pada Gambar 4.15. Berdasarkan Gambar 4.15, konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan pada alat berat *pneumatic tire roller* yaitu saat pemadatan aspal dengan *pneumatic tire roller* dan waktu menunggu saat alat berat *asphalt finisher* melakukan penghamparan aspal. Data yang digunakan untuk estimasi produktivitas alat berat *pneumatic tire roller* diuraikan sebagai berikut:

1. Efisiensi alat berat (Fa) = 0,75
2. Lebar roda total (b) = 2,06 meter
3. Lebar overlap roda (bo) = 0,03 meter
4. Lebar efektif pemadatan (be) = 2,06 – 0,03 = 2,03 meter



- | | |
|----------------------------|--------------|
| 5. Kecepatan alat (v) | = 4 km/jam |
| 6. Tebal pemadatan (t) | = 0,04 meter |
| 7. Jumlah lintasan (n) | = 5 kali |
| 8. Total alat | = 2 alat |

Produktivitas alat berat *pneumatic tire roller* menggunakan Persamaan 2.22 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{(b_e \times v \times 1000) \times t \times F_a}{n} \times n_{\text{alat}} \\
 &= \frac{2,03 \text{ m} \times 4 \text{ km/jam} \times 1000 \times 0,04 \text{ m} \times 0,75}{5 \text{ kali}} \times 2 \text{ alat} \\
 &= 97,44 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi durasi pekerjaan alat berat *pneumatic tire roller* pada segmen 40,8 m menggunakan Persamaan 2.13 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{aspal}} &= 17,952 \text{ m}^3 \\
 \text{Durasi} &= \frac{V}{Q_{\text{pneumatic tire roller}}} \\
 &= \frac{17,952 \text{ m}^3}{97,44 \text{ m}^3/\text{jam}} \\
 &= 0,18 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi kebutuhan bahan bakar alat berat *pneumatic tire roller* menggunakan Persamaan 2.14 yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{BBM} &= 0,04 \text{ gal/jam} \times \text{HP} \\
 &= 0,04 \text{ gal/jam} \times 95 \\
 &= 3,8 \text{ gal/jam} \\
 &= 14,38 \text{ liter/jam}
 \end{aligned}$$

Estimasi total konsumsi bahan bakar alat berat *pneumatic tire roller* pada pekerjaan aspal segmen 40,8 m dihitung berdasarkan estimasi matematis yang diuraikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{BBM}_{\text{total}} &= \text{BBM} \times \text{Durasi} \\
 &= 14,38 \text{ liter/jam} \times 0,18 \text{ jam} \\
 &= 0,70 \text{ liter}
 \end{aligned}$$



Selanjutnya data diestimasi dengan bantuan *Microsoft Excel* yang diperlihatkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hasil Estimasi Konsumsi Bahan Bakar *Pneumatic Tire Roller*

Keterangan	Segmen (m)	Volume Aspal (m ³)	Produktivitas (m ³ /jam)	Durasi (jam)	Bahan Bakar (liter/jam)	Bahan Bakar Total (Liter)
Abutmen 1 – Pilar 2	40,8	17,95	97,4	0,18	14,38	0,70
Pilar 2 – Pilar 3	32,8	14,43	97,4	0,15	14,38	0,56
Pilar 3 – Pilar 4	32,8	14,43	97,4	0,15	14,38	0,56
Pilar 4 – Pilar 5	59,31	26,10	97,4	0,27	14,38	1,02
Pilar 5 – Pilar 6	54,91	24,16	97,4	0,25	14,38	0,94
Pilar 6 – Pilar 7	36,8	16,19	97,4	0,17	14,38	0,63
Pilar 7 – Pilar 8	36,8	16,19	97,4	0,17	14,38	0,63
Pilar 8 – Abutmen 2	36,8	16,19	97,4	0,17	14,38	0,63
Total						5,68

4.5 Koefisien *Embodied Energy* Perhitungan Konvensional

Koefisien *embodied energy* yang digunakan pada penelitian ini untuk metode estimasi perhitungan konvensional menggunakan basis data *Inventory of Carbon and Energy* v2.0 yang telah terdapat pada Bab 2. Koefisien tersebut dikhususkan hanya untuk material beton, baja, dan aspal sesuai dengan spesifikasi material yang digunakan pada proyek untuk struktur lantai jembatan. Koefisien *embodied energy* yang digunakan pada penelitian diperlihatkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Koefisien *Embodied Energy* Material

Material	Koefisien <i>Embodied Energy</i> (MJ/kg)
Beton	
1. RC 28/35 MPa	0,82
2. Faktor Modifikasi	$1,92 / (\text{Kof. RC} + 1,04 \times V_{\text{Tulangan}} \text{ per m}^3)$
Baja	
1. Bar & rod- R.O.W. Avg. Recy. Cont.	22,30
Aspal	
1. Asphalt, 6% binder content (by mass)	3,93

(Sumber: Diolah dari Hammond dan Jones, 2011)

Koefisien pada Tabel 4.25 nantinya digunakan untuk mendefinisikan *embodied energy* pada metode perhitungan konvensional dengan mengalikan koefisien terhadap volume material yang telah terdapat pada Tabel 4.2 sesuai dengan jenis



material konstruksi. Untuk koefisien *embodied energy* bahan bakar solar berdasarkan penelitian sebelumnya yang diperlihatkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Koefisien *Embodied Energy* Bahan Bakar Solar

Penulis	Judul Penelitian / Buku	Tahun	Koefisien <i>Embodied Energy</i> (MJ/Liter)
Rodrigues, dkk.	LCA of constructing an industrial building: focus on embodied carbon and energy	2018	38,6
Staffell	The Energy and Fuel Data Sheet	2011	38,19
Davis, dkk.	Transportation Energy Data Book: Edition 28	2009	38,66
Lanz, dkk.	Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies: Modul 1 – Hydrogen Properties	2001	37,52

Berdasarkan Tabel 4.26, koefisien *embodied energy* pada perhitungan konvensional yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada Rodrigues, dkk., (2018) dengan koefisien *embodied energy* untuk bahan bakar diesel terbaru yaitu 38,6 MJ/liter.