

Analisis Pengaruh Kemiringan Jalan dan Jarak Angkut terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan *Fuel Ratio* pada Kegiatan Penambangan Batuan Andesit di PT Gunung Sampurna Makmur, Desa Rengasjajar Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor, Jawa Barat

¹Merlin Nabella, ²Zaenal dan ³Yuliadi

^{1,2,3}*Program Studi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116
e-mail : ¹merlinnabella@gmail.com*

Abstrak. Salah satu komponen yang sangat penting dalam kegiatan operasi penambangan adalah kebutuhan bahan bakar solar. Penggunaan solar sebagai bahan bakar memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap biaya operasi penambangan. Beberapa hal yang berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar pada alat mekanis, diantaranya kondisi alat, kondisi aktual di lapangan, dan perlakuan operator terhadap alat. Oleh karena itu dibutuhkan evaluasi dan analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kebutuhan bahan bakar solar. Kegiatan penambangan batu andesit di PT Gunung Sampurna Makmur dilakukan dengan metode penambangan *quarry*. Alat muat yang digunakan adalah *excavator* KOBELCO SK 330 dan alat angkut *dump truck* MAN CLA 26.280. Produksi alat muat sebesar 69,66 BCM/jam dan produksi alat angkut sebesar 22,80 BCM/jam. Adapun produksi aktual yang terangkut dari *loading point* ke *hopper* dalam satu hari sebanyak 1830,24 BCM. Rata-rata konsumsi bahan bakar alat muat yaitu 26,56 Liter/Jam, adapun rata-rata konsumsi bahan bakar alat angkut untuk jarak angkut 1200 m sebanyak 8,36 Liter/Jam dan untuk jarak angkut 1400 m sebesar 9,53 Liter/Jam. Dengan melakukan analisis terhadap kemiringan jalan dan jarak angkut, maka dapat diketahui kebutuhan bahan bakar solar untuk *Dump Truck* MAN CLA 26.280 pada jarak angkut 1,2 Km dengan kemiringan jalan 7,25% sebesar 0,13 Liter/Km/%, sedangkan pada jarak angkut 1,4 Km dengan kemiringan jalan 6,42% sebesar 0,16 Liter/Km/%. Nilai *Fuel Ratio* aktual di lapangan untuk jarak angkut 1,2 Km sebesar 0,65 Liter/BCM, sedangkan untuk jarak angkut 1,4 Km sebesar 0,79 Liter/BCM.

Kata Kunci: Kemiringan Jalan, Jarak angkut, Produksi, Bahan Bakar, Fuel Ratio

A. Pendahuluan

Latar Belakang

PT Gunung Sampurna Makmur merupakan salah satu tambang *quarry* andesit yang terletak di Desa Rengasjajar, Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor Barat, Provinsi Jawa Barat. Proses penambangannya dilakukan secara konvensional menggunakan alat muat *Backhoe* KOBELCO SK 330 dan alat angkut *Dump Truck* MAN CLA 26.280.

Salah satu komponen yang sangat penting dalam kegiatan operasi penambangan adalah kebutuhan bahan bakar solar. Penggunaan solar sebagai bahan bakar memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap biaya operasi penambangan. Beberapa hal yang berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar pada alat mekanis, diantaranya kondisi alat, kondisi aktual di lapangan, dan perlakuan operator terhadap alat. Oleh karena itu dibutuhkan evaluasi dan analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kebutuhan bahan bakar solar. Langkah evaluasi yang dilakukan adalah evaluasi terhadap *Fuel Ratio* (FR) yaitu membandingkan antara jumlah konsumsi bahan bakar (Liter) dengan jumlah volume bahan galian yang diproduksi (BCM). Analisis yang dilakukan diantaranya analisis pengaruh kemiringan jalan dan jarak angkut terhadap konsumsi bahan bakar dan produktivitas yang akan berpengaruh terhadap nilai *Fuel Ratio*. Kemiringan jalan (*grade*) dan jarak angkut (*distance*) yang besar akan memberikan nilai *Fuel Ratio* yang besar, begitu juga sebaliknya.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui rata-rata konsumsi bahan bakar muat dan alat angkut yang dilakukan pada kegiatan penambangan.
2. Mengetahui konsumsi bahan bakar setiap penambahan jarak (Km) dan setiap penambahan kemiringan (%).
3. Mengetahui nilai *Fuel Ratio* berdasarkan keadaan aktual di lapangan.
4. Mengetahui besar daya yang dibutuhkan untuk mengatasi kemiringan pada segmen jalan..
5. Mengetahui faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar.

B. Landasan Teori

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Bahan Bakar

Faktor yang mempengaruhi penggunaan bahan bakar dapat dibagi menjadi dua, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal meliputi : tipe dan ukuran mesin, daya keluaran, jenis transmisi, rasio gigi (*axle ratio*), konstruksi ban, berat kendaraan, dan bentuk aerodinamis kendaraan. Adapun faktor eksternal meliputi : pengguna (operator) yang mempengaruhi penggunaan bahan bakar yaitu pola mengemudi, panjang lintasan dan banyaknya waktu berhenti, teknik mengemudi (akselerasi, kecepatan, perlambatan, dan jumlah ganti gigi), perawatan mesin, penggunaan fitur aksesoris, muatan alat, kondisi jalan, dan faktor cuaca. Menurut **Wong J. Y.** dalam bukunya **Theory of Ground Vehicle (2001)**, pada kendaraan *off road*, konsumsi bahan bakar kendaraan tidak hanya bergantung pada karakteristik mesin saja, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik transmisi, tahanan dalam (*internal resistance*) dari gigi yang beroperasi, *drawbar pull (rimpull)*, gaya-gaya penghambat eksternal, jarak angkut, dan kecepatan pengoperasian.

1. Kemiringan Jalan (*Grade*), berhubungan langsung dengan kemampuan alat angkut (baik dari penggunaan rem maupun dalam mengatasi tanjakan). Kemiringan jalan angkut biasanya dinyatakan dalam persen (%).

$$\text{Grade} = \frac{\Delta h}{\Delta x} \times 100\% \dots\dots\dots(3.1)$$

2. Tahanan Gulir (*Rolling Resistance*) yaitu jumlah segala gaya-gaya luar yang berlawanan dengan arah gerak kendaraan yang berjalan di atas jalur jalan atau permukaan tanah (**Partanto Prodjosumarto, 1983**). Tahanan gulir semakin besar akan menyebabkan gaya yang diperlukan untuk menarik kendaraan di atas tanah semakin besar. Dalam hal ini, tenaga yang diperlukan ikut meningkat yang mengakibatkan konsumsi bahan bakar semakin besar.
3. Tahanan Kemiringan (*Grade Resistance*) adalah gaya yang melawan dan membantu gerak kendaraan karena kemiringan jalur jalan yang dilaluinya. Tahanan kemiringan dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$\text{Grade Resistance} = W \times \sin \alpha \dots\dots\dots(3.3)$$

4. Tahanan Aerodinamis (*Aerodynamic Resistance*) pada suatu kendaraan disebabkan oleh dua hal yaitu, *pressure drag* karena bentuk mobil dan gesekan pada permukaan mobil. Tahanan aerodinamis, **Suganda (1971)** dapat dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$R_a = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho u \times A_F \dots\dots\dots(3.4)$$

Konsumsi Bahan Bakar

Dalam *Specification & Application Handbook KOBELCO edisi 27*, dijelaskan bahwa konsumsi bahan bakar (*fuel consumption*) adalah total pemakaian bahan bakar untuk masing-masing alat muat dan alat angkut dalam satu *fleet* yang ditunjukkan dalam volume (liter) per jam. Konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$FC = \frac{\text{Total FC}}{\text{Operating Hours}} \dots\dots\dots(3.4)$$

Waktu Edar

Waktu edar alat muat terdiri dari empat bagian, yaitu : waktu gali, waktu ayunan bermuatan, waktu menumpahkan isi *bucket*, waktu ayunan kosong.

Waktu edar alat angkut terdiri dari lima bagian, yaitu : waktu muat, waktu mengangkat muatan, waktu menumpahkan, waktu kembali, waktu mengarahkan, yaitu waktu yang diperlukan untuk mengarahkan posisi di area *loading point* maupun *dumping point*.

Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja sangat berpengaruh terhadap tercapainya suatu produksi. Tinggi rendahnya efisiensi kerja sangat tergantung pada faktor motivasi dan disiplin kerja operator, sedangkan produktifitas kerja sangat tergantung kepada keadaan tempat kerja, keadaan material yang digali dan dimuat serta pengalaman operator itu sendiri. Efisiensi kerja dapat dihitung dengan persamaan seperti di bawah ini :

$$E = \frac{W_e}{W_p} \times 100\% \dots\dots\dots(3.7)$$

Produktivitas Alat

Produktivitas alat muat adalah kemampuan suatu alat untuk menggali dan memuat material per satuan waktu, biasanya dinyatakan dalam BCM/jam.

$$P_m = \frac{H_m \times FF_m \times E_m \times SF \times 3600}{C_m} \dots\dots\dots(3.8)$$

Produktivitas alat angkut adalah kemampuan suatu alat untuk mengangkat material per satuan waktu, biasanya dinyatakan dalam BCM/jam. Berdasarkan buku *Peimndahan Tanah Mekanis* yang ditulis oleh **Partanto (1993)**, produktivitas alat angkut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_a = \frac{(H_m \times n) \times FF_m \times E_a \times SF \times 60}{C_a} \dots\dots\dots(3.9)$$

Fuel Ratio

Istilah *Fuel Ratio* merupakan nilai rasio yang menunjukkan perbandingan antara penggunaan bahan bakar (Liter/jam) dengan produksi yang dihasilkan (BCM/jam). Nilai *Fuel Ratio* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$FR = \frac{FC}{P} \dots\dots\dots(3.11)$$

Konsumsi Bahan Bakar pada Mesin Kendaraan

Konsumsi bahan bakar merupakan fungsi dari tenaga (*power*) yang dibutuhkan kendaraan untuk menggerakkan mesin. Untuk itu, konsumsi bahan bakar menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan alat angkut yang tepat karena pertimbangan

ekonomi dan lingkungan. Dalam industri pertambangan, alat angkut dipakai untuk mengangkut material sepanjang puluhan sampai ratusan ribu kilometer setiap tahun sehingga bahan bakar menjadi komponen utama yang berkontribusi besar pada biaya operasi penambangan. Untuk memperkirakan besarnya konsumsi bahan bakar alat angkut dapat menggunakan persamaan konsumsi bahan bakar (**Sahoo, Bandyopadhyay, Banerjee, 2010**) dengan memasukkan nilai – nilai parameter yang diperoleh dari produsen kendaraan (spesifikasi alat). Untuk menentukan besarnya konsumsi bahan bakar (kg/jam), dapat dihitung dengan menggunakan turunan rumus fisika seperti yang terdapat pada persamaan 3.12.

$$m = m_a + m_k \dots\dots\dots(3.12)$$

$$m_a + m_k = (P_a \times BF_a) + (P_k \times BF_k) \dots\dots\dots(3.13)$$

$$P_a = V_a \times (a \times V_a^2) + (b \times W_l) \dots\dots\dots(3.14)$$

$$P_b = V_k \times (a \times V_k^2) + (c \times W_e) \dots\dots\dots(3.15)$$

$$a = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho_u \times AF \dots\dots\dots(3.16)$$

$$b = (g \times \cos \theta \times (f + C_{rr})) + (g \times \sin \theta) \dots\dots\dots(3.17)$$

$$c = (g \times \cos \theta \times (f + C_{rr})) - (g \times \sin \theta) \dots\dots\dots(3.18)$$

Keterangan :

m = Masa konsumsi bahan bakar (kg/jam)

m_a = Masa konsumsi bahan bakar dari *loading point* ke *dumping point*

m_k = Masa konsumsi bahan bakar dari *dumping point* ke *loading point*

P_a = Tenaga yang dibutuhkan truk untuk mengangkut material dari *loading point* ke *dumping point* (kW)

P_k = Tenaga yang dibutuhkan truk untuk mengangkut material dari *dumping point* ke *loading point* (kW)

BF_a = *Brake Specific Fuel Consumption* untuk *loading point* ke *dumping point* (gram/kW.jam)

BF_k = *Brake Specific Fuel Consumption* untuk *dumping point* ke *loading point* (gram/kW.jam)

V_a = Kecepatan angkut rata-rata dari *loading point* ke *dumping point* (m/s)

V_k = Kecepatan angkut rata-rata dari *dumping point* ke *loading point* (m/s)

a, b, c = Konstanta

W_a = Berat kendaraan bermuatan (Kg)

W_k = Berat kendaraan kosong (Kg)

C_d = Koefisien hambatan aerodinamis

ρ_u = Density udara (Kg/m³)

AF = Luas bagian depan kendaraan (m²)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

θ = Sudut kemiringan jalan (°)

f = Koefisien gesekan ban dengan permukaan jalan

C_{rr} = Koefisien tahanan gulir

C. Hasil Penelitian
Waktu Edar

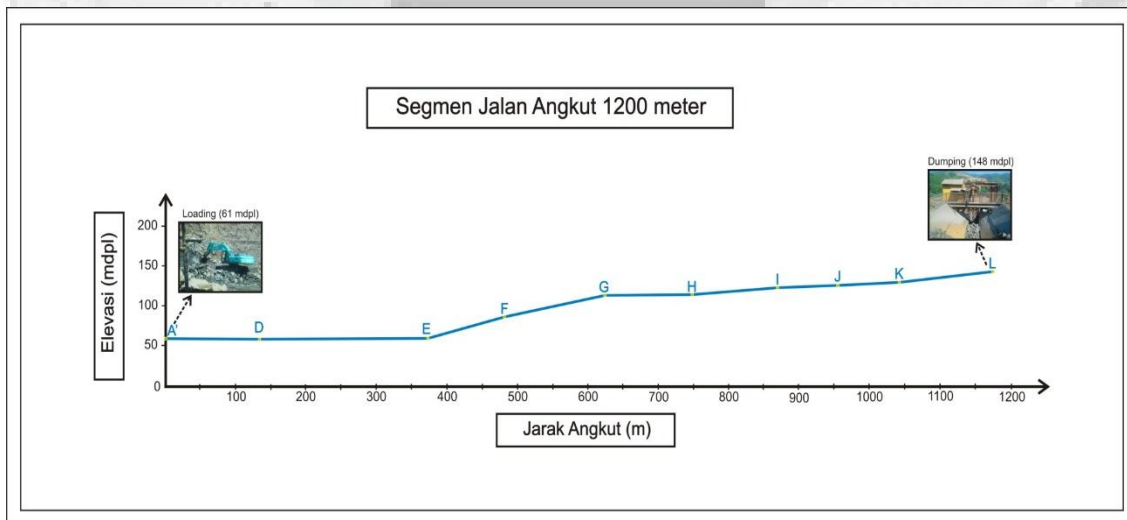
Tabel 1. Cycle Time Alat Angkut (Jarak 1200 m) Dump Truck MAN CLA 26.280

Jarak (m)	Nilai	Cycle Time (menit)							Total
		Maneuver Load	Load	Haul Load	Maneuver Dump	Dump	Haul Empty	Wait	
1.200	Rata-rata	0,97	2,23	6,47	0,69	0,579	6,01	1,71	17,06
	Maximum	1,42	3,35	8,37	0,96	0,78	8,06	4,49	21,10
	Minimum	0,46	1,22	4,44	0,47	0,33	4,11	1,11	14,36
1.400	Rata-rata	1,00	2,32	7,42	0,69	0,58	6,77	1,56	19,15
	Maximum	1,44	3,47	9,13	0,96	0,79	8,54	2,67	23,82
	Minimum	0,46	1,22	6,05	0,47	0,34	6,03	1,12	16,38

Segmen Jalan

Tabel 2. Kemiringan Jalan Tiap Segmen pada Jarak Angkut 1.200 m

Segmen	Elevasi (mdpl)		ΔH (m)	SD (m)	VD (m)	Grade	
						(%)	($^{\circ}$)
A' - D	61	60	-1	135	134,99	-0,74	-0,31
D - E	60	61	1	245	244,99	0,40	0,09
E - F	61	89	28	111	107,41	26,06	13,63
F - G	89	117	28	146	143,28	19,54	7,76
G - H	117	118	1	127	126,99	0,78	0,35
H - I	118	127	9	124	123,67	7,27	3,36
I - J	127	129	2	87	86,97	2,29	1,50
J - K	129	134	5	89	88,85	5,62	3,61
K - L	134	148	14	136	135,27	10,34	4,37
Total				1.200	1.192,42		



Gambar 1. Penampang Jalan Angkut A' - L Jarak Angkut 1.200 m

Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 3. Data Konsumsi Bahan Bakar Solar Periode Mei 2015

No	Jarak (m)	Grade (%)	Alat	Total Jam Kerja (Jam/Bulan)	Konsumsi Bahan Bakar		Rata-rata (Liter/Jam)
					(Liter/Bulan)	(Liter/Jam)	
1	1.200	7,25	DT MAN-01	332,9	2.823	8,48	8,36
2			DT MAN-02	369,5	3.044	8,24	
3			DT MAN-03	409,7	3.446	8,41	
4			DT MAN-04	419,4	3.498	8,34	
5			EXA-08	496,6	13.573	27,33	
6	1.400	6,42	DT MAN-05	348,4	3.366	9,66	9,53
7			DT MAN-06	378,1	3.589	9,49	
8			DT MAN-07	384,4	3.587	9,33	
9			DT MAN-08	367,4	3.546	9,65	
10			EXA-10	454,6	11.727	25,79	

Produktivitas

Tabel 4. Produktivitas Alat Muat dan Alat Angkut

No	Parameter	Alat Muat <i>Backhoe KOBELCO SK 330</i>	Alat Angkut <i>Dump Truck MAN CLA 26,280</i>
1	Kapasitas <i>Bucket</i> (H)	1,40 LCM	17,28 LCM
2	Faktor Pengisian (FF)	0,70	0,70
3	Efisiensi Kerja (E)	0,83	0,80
4	Faktor Pengembangan (SF)	0,67	0,67
5	Waktu Edar (C)*	0,40 menit	17,06 menit
6	Produktivitas (P)	69,66 BCM/Jam	22,8 BCM/Jam

*Disesuaikan dengan satuan waktu (dikali 60)

Daya yang Dikeluarkan Mesin

Tabel 5. Daya yang Dikeluarkan pada Setiap Segmen Jalan 1.200 m

Segmen	VD (m)	Grade		CT (detik)		V (m/s)		a	b	c	P (kW)	
		(%)	(^o)	a	b	A	b				a	B
		A' - D	134,99	-0,74	-0,31							
D - E	244,99	0,40	0,09						31,86	31,83	1.509,93	459,75
E - F	107,41	26,06	13,63						33,26	28,64	1.571,40	427,16
F - G	143,28	19,54	7,76						32,88	30,23	1.554,64	443,41
G - H	126,99	0,78	0,35	388,2	360,6	3,09	3,32	3,65	31,90	31,78	1.511,86	459,29
H - I	123,67	7,27	3,36						32,36	31,22	1.532,12	453,48
I - J	86,97	2,29	1,50						32,09	31,58	1.520,06	457,18
J - K	88,85	5,62	3,61						32,40	31,16	1.533,62	452,96
K - L	135,27	10,34	4,37						32,50	31,01	1.538,03	451,34

Konsumsi Bahan Bakar Tiap Segmen

Tabel 6. Pengaruh Daya Terhadap Konsumsi Bahan (Liter/Segmen)

Segmen	VD (m)	Grade		CT (detik)		V (m/s)		P (kW)		Penggunaan Daya (%)		Penggunaan Daya (%/segmen)		Konsumsi Bahan Bakar (Liter/segmen)		
		(%)	0	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	Liter/Ritasi	a	b
A' - D	134,99	-0,74	-0,31	388,2	360,6	3,09	3,32	1.506,90	460,45	77,21	22,78	10,93	11,32	2,37	0,25	0,26
D - E	244,99	0,40	0,09					1.509,93	459,75			10,95	11,30		0,26	0,26
E - F	107,41	26,06	13,63					1.571,40	427,16			11,40	10,50		0,27	0,24
F - G	143,28	19,54	7,76					1.554,64	443,41			11,28	10,90		0,26	0,25
G - H	126,99	0,78	0,35					1.511,86	459,29			10,97	11,29		0,26	0,26
H - I	123,67	7,27	3,36					1.532,12	453,48			11,11	11,15		0,26	0,26
I - J	86,97	2,29	1,50					1.520,06	457,18			11,03	11,24		0,26	0,26
J - K	88,85	5,62	3,61					1.533,62	452,96			11,13	11,14		0,26	0,26
K - L	135,27	10,34	4,37					1.538,03	451,34			11,16	11,10		0,26	0,26
Total								13.778,59	4.065,05			100	100		100	
Total								17.843,65								

D. Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian lapangan yang telah dilakukan di PT Gunung Sampurna Makmur, dapat disimpulkan bahwa :

1. Rata-rata konsumsi bahan bakar alat muat KOBELCO SK 330 yaitu 26,56 Liter/Jam, adapun rata-rata konsumsi bahan bakar alat angkut MAN CLA 26.280 untuk 8,94 Liter/Jam.
2. Konsumsi bahan bakar alat angkut *Dump Truck* MAN CLA 26.280 untuk rata-rata jarak angkut 1,3 Km dengan kemiringan jalan rata-rata 6,83% sebesar 0,14 Liter/Km/%.
3. Nilai *Fuel Ratio* aktual di lapangan untuk rata-rata jarak angkut 1,3 Km sebesar 0,72 Liter/BCM.
4. Kemiringan jalan berpengaruh pada daya yang dikeluarkan, sehingga mempengaruhi konsumsi bahan bakar (artinya, ketiga komponen tersebut berbanding lurus). Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, daya paling besar yang dikeluarkan oleh *Dump Truck* MAN CLA 26.280 pada segmen jalan angkut E-F dengan *grade* 26,06%. Sehingga dapat diketahui konsumsi bahan bakar pada segmen tersebut sebanyak 0,27 Liter.
5. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap perubahan nilai *Fuel Ratio* diantaranya kemiringan jalan, jarak angkut, kondisi jalan, kecepatan alat angkut, kondisi alat angkut yang digunakan, dan kemampuan operator dalam mengemudikan alat angkut tersebut.

Saran

1. Dalam merencanakan kemajuan tambang, perlu diperhatikan kemiringan jalan dan jarak angkut yang dilalui alat angkut, karena hal tersebut akan mempengaruhi konsumsi bahan bakar.
2. Diperlukan perhatian lebih terhadap kondisi jalan, dikarenakan kondisi jalan yang kurang baik, seringkali terdapat genangan air sehingga menyebabkan alat angkut mengalami slip. Hal tersebut mempengaruhi konsumsi bahan bakar.

3. Perlu diberikan pemahaman terhadap seluruh karyawan, terutama kepada operator *Dump Truck*, agar mengemudikan alat angkut dengan kecepatan yang wajar, sesuai dengan Standar Operasional Prosedur yang ditetapkan.

Daftar Pustaka

- Anam, Chairul. 2010. "Pengaruh Kemiringan Jalan dan Jarak Angkut Terhadap Fuel Ratio". Tugas Akhir Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung : Bandung.
- Anonim. 2015. "*Specification and Application Handbook Kobelco SK330*". Diakses dari web:http://www.kobelco-kenki.co.jp/english/products/pdf/SK330_SK330LC_ME.pdf. Diakses pada hari Senin, 2 November 2015, Pukul 19.51 WIB.
- Anonim. 2015. "*Specification and Application Handbook MAN CLA 26.280*". Diakses dari web:http://www.truck.man.eu/man/media/content_medien/doc/business_website_s_souts_africa/broschuere/CLA_26280_4x6_BB_Tripper.pdf. Diakses pada hari Senin, 2 November 2015, Pukul 20.00 WIB.
- Bogor Dalam Angka. 2015. "*Kabupaten Bogor Dalam Angka 2015*". Diakses dari web: <http://bogorkab.bps.go.id/publikasi/kabupaten-bogor-dalam-angka-2015>. Diakses pada hari Jumat, 30 Oktober 2015, Pukul 13.51 WIB.
- H. L. Nichols.1976. "*Moving Earth*". The Workbook of Excavation, North Castle Book : England.
- Pantja, Gun-gun. 2009. "*Laporan Studi Kelayakan*". PT Gunung Sampurna Makmur Desa Rengasjsjr, Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor : Bogor.
- Sayoga. 2004. "*Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Kendaraan*". Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung : Bandung.
- Wicaksana, Indra Karna. 2013. "*Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Bidang Miring*". Bahan Ajar Fisika Dasar II. Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung : Bandung.
- Wong, J.Y. 2001. "*Theory of Ground Vehicles Third Edition*". Journal of Applied Mining Willey-IEEE.
- Wood, Osbourne, Forde. 1995. "*Soil Parameter for Estimating Rolling Resistance of Earth Moving Plant*". Journal of Terra Mechanics Vol 32, No. 1, Elsefier Science Ltd, ISTVS : Gritain.