



PENERAPAN METODE STATISTIKA DALAM ANALISIS KEMANTAPAN LERENG TAMBANG DI INDONESIA

Application of Statistical Methods in Mine Slopes Stability Analyses in Indonesia

Ridho Kresna Wattimena^{1*}, Masagus Ahmad Azizi², Singgih Saptono³

¹ Kelompok Keahlian Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132

² Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Univeritas Trisakti, Jakarta 11440

³ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Univeritas Pembangunan Negeri Veteran Yogyakarta, Yogyakarta 55283

Artikel masuk : 13-07-2022 , Artikel diterima : 25-07-2022

ABSTRAK

Perkembangan penerapan metode statistika dalam analisis kemantapan lereng tambang di Indonesia sudah berjalan secara cukup lengkap lebih dari 1 dekade. Penerapan tersebut ditujukan untuk mengatasi variasi parameter pembentuk lereng maupun beban pada lereng. Tulisan ini mengulas mengenai penerapan metode statistika dalam analisis kemantapan lereng di Indonesia, yang diawali dengan penentuan fungsi distribusi dan penerapannya dalam analisis kemantapan lereng, perhitungan FK dan PK, serta pengembangan kurva kestabilan lereng.

Kata kunci:

Tambang, tambang terbuka,
kestabilan lereng, statistika
terapan

Keywords:

Mine, open pit, slope stability,
applied statistic.

ABSTRACT

Abstract should be written of maximum 200 words in 1 (one) aline or paragraph, in English, in italics with Arial Narrow points-9 within 1 space of each line. Content of the Abstract should be clear, descriptive, providing a brief overview of the problem studied. including purpose, method of the research, brief overview of the results and concluded with a brief comment of the importance of the results.

*Penulis Koresponden: rkw@mining.itb.ac.id

Doi : <https://doi.org/10.36986/impj.v4i1.58>

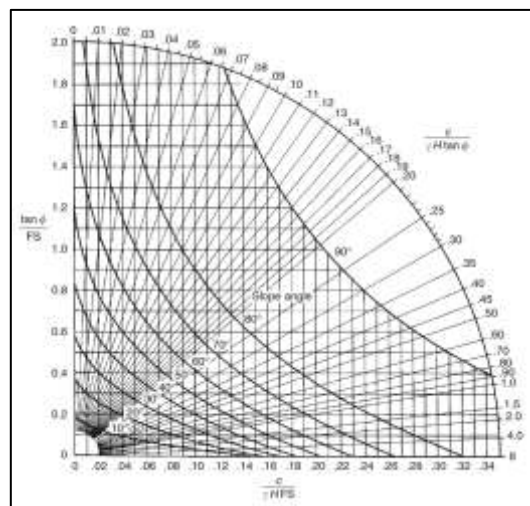
PENDAHULUAN

Analisis kemantapan lereng senantiasa melibatkan perhitungan Faktor Keamanan (FK), yang secara sederhana merupakan perbandingan antara kekuatan material pembentuk lereng dan beban yang dialaminya. Permasalahan yang dihadapi dalam perhitungan FK ini adalah terdapatnya distribusi statistika pada karakteristik material pembentukan lereng sehingga FK akan mempunyai distribusi statistika juga, bahkan terdapat kemungkinan/ probabilitas lereng menjadi tidak mantap. Hal ini menyebabkan saat ini analisis kemantapan lereng tidak hanya melaporkan FK tetapi juga Probabilitas Kelongsoran (PK) seperti tercantum dalam Kepmen ESDM No. 1827 tahun 2018.

Makalah ini merupakan sebuah *review* mengenai penerapan metode statistika dalam analisis kemantapan lereng di Indonesia. Penerapan ini diawali dengan penentuan fungsi distribusi dan penerapannya dalam analisis kemantapan lereng, perhitungan FK dan PK, dan pengembangan kurva kestabilan lereng.

METODE ANALISIS KEMANTAPAN LERENG

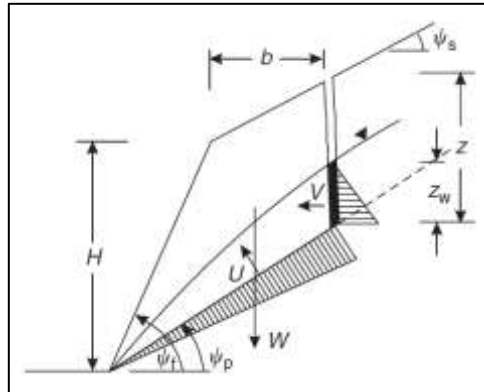
Terdapat beberapa metode analisis kemantapan lereng, di antaranya Metode Grafis dari Hoek dan Bray (Wyllie dan Ma, 2004), Metode Kesetimbangan Batas, dan Metode Numerik. Gambar 1 menunjukkan contoh *chart* dari Hoek dan Bray. Terlihat bahwa untuk menggunakan chart ini dibutuhkan data bobot isi (g), kohesi (c) dan sudut gesek dalam (f) material pembentuk lereng.



Gambar 1. Chart Untuk Longsoran Sirkular – Lereng Kering (Wyllie dan Ma, 2005)

Gambar 2 menunjukkan model sederhana untuk perhitungan FK pada longsoran bidang dengan Metode Kesetimbangan Batas. Perhitungan besaran-besaran pada

model ini juga memerlukan g , c dan f material pembentuk lereng.



Gambar 2. Contoh Model Sederhana Longsoran Bidang (Wyllie dan Ma, 2005)

Pada perhitungan dengan Metode Numerik, khususnya yang didasarkan pada analisis tegangan, selain ketiga parameter di atas, diperlukan juga parameter deformasi material pembentuk lereng, seperti Modulus Young (E), dan Nisbah Poisson (n).

FUNGSI DISTRIBUSI STATISTIKA

Fungsi distribusi atau *probability density function* (PDF) menjelaskan kemungkinan relatif sebuah parameter acak (misalnya sebuah parameter tertentu dari massa batuan) akan bernilai tertentu. Distribusi normal atau *Gaussian* adalah fungsi distribusi statistika yang paling umum digunakan untuk studi probabilitas

dalam rekayasa geoteknik, kecuali ada alasan yang cukup untuk menggunakan distribusi lainnya (Hoek dkk, 2000). Contoh fungsi distribusi lainnya adalah eksponensial, lognormal, dan *Weibul*. Penjelasan rinci mengenai fungsi distribusi dapat ditemukan dalam banyak buku acuan statistika.

Azizi dkk (2013a) dan Azizi (2014) menggunakan metode pencocokan kurva dari Kolmogrov-Smirnov dan menemukan bahwa distribusi statistika beberapa parameter dari contoh batuan maupun massa batuan pada tambang terbuka batubara tidak mengikuti distribusi normal, seperti terlihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Distribusi Statistika Parameter Contoh Batuan

Batuan	Distribusi Statistika		
	g	c	f
Batulumpur	Normal	Normal	Normal
Batupasir	Normal	Normal	-
Batubara	Gamma	Normal	-

Sumber: Azizi dkk (2013a)

Tabel 2. Distribusi Statistika Parameter Massa Batuan

Batuan	Distribusi Statistika					
	GSI	m _b	s	a	c	f
Batulumpur	Normal	Gamma	Gamma	Lognormal	Lognormal	Gamma
Batupasir	Normal	Normal	Beta	Lognormal	Lognormal	Lognormal
Batubara	Normal	Gamma	Beta	Lognormal	Beta	Gamma

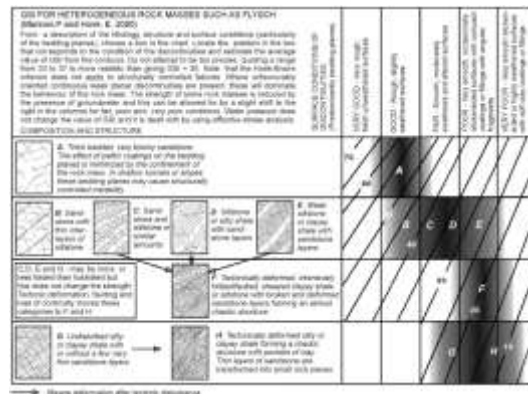
Sumber: Azizi (2014)

Pada Tabel 2 di atas GSI adalah Indeks Kekuatan Geologis. Indeks ini

diperkenalkan oleh Hoek (1994) dan dimodifikasi dan diperluas dengan

bertambahnya pengalaman dalam penerapannya pada permasalahan praktik. Sebagai contoh, Marinos dan Hoek (2000, 2001) memberikan *chart* pada Gambar 3 untuk penggunaan GSI

pada massa batuan heterogen. Adapun m_b , s , dan a adalah parameter-parameter massa batuan berdasarkan Kriteria Hoek-Brown.



Gambar 3. Penggunaan GSI untuk Massa Batuan Heterogen (Marinos dan Hoek, 2000)

Satu hal penting yang perlu dicatat, adalah hasil uji kekuatan batuan akan sangat dipengaruhi oleh ukuran spesimen (Saptono, 2012). Selain itu kekuatan jangka panjang massa batuan akan lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan yang didapatkan dari uji laboratorium (Wattimena dkk, 2008; Saptono, 2014).

FK DAN PK

Secara umum lereng dapat dikatakan mantap jika analisis kemantapannya menghasilkan $FK > 1$. Perlu dicatat

bahwa nilai karakteristik material yang digunakan dalam perhitungan mempunyai distribusi statistika. Oleh karena itu, FK hasil perhitungan pun akan mempunyai distribusi statistika bahkan terdapat kemungkinan untuk terjadinya $FK < 1$.

Tabel 3 menunjukkan FK dan PK yang dipersyaratkan untuk lereng tambang. Terlihat bahwa semakin tinggi lereng dan semakin parah konsekuensi jika lereng tersebut longsor, semakin tinggi FK dan semakin rendah PK yang dipersyaratkan.

Tabel 3. Nilai FK dan PK Lereng Tambang

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria Dapat Diterima		
		FK Statis (Min)	FK Dinamis (Min)	PK (Maks)
Lereng tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
Inter-ramp	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Sumber: Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018

Azizi dkk (2013b) melakukan percobaan laboratorium dengan alat sentrifugal dan percepatan sebagai variabel acak yang diasumsikan mengikuti distribusi normal. Percepatan kritis yang diperoleh dibandingkan dengan percepatan kritis menurut Persamaan Newmark (1965) yang sangat luas digunakan, yaitu

$$a_{kritis} = (FK_{statis} - 1) \cdot g \cdot \sin y \quad (1)$$

dengan

a_{kritis} = Percepatan kritis yang menyebabkan lereng longsor,

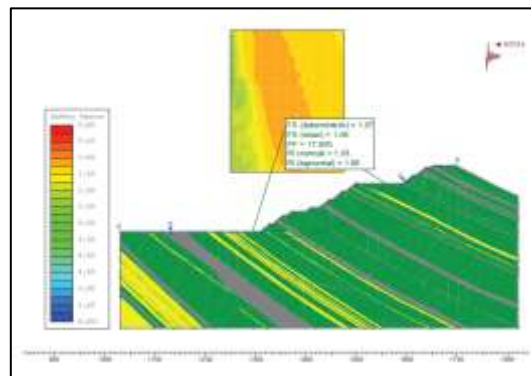
FK_{statis} = Faktor Keamanan dari perhitungan statis,

g = Percepatan gravitasi,

y = Sudut lereng.

Hasil-hasil percobaan ini diberikan pada Tabel 4.

Azizi (2014) melakukan analisis kemandapan lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas dengan hasil perhitungan FK dan PK diberikan pada Gambar 4.



Gambar 3. Contoh Perhitungan FK dan PK Lereng Keseluruhan (Azizi, 2014)

Tabel 4. Hasil Analisis Probabilitas Kemandapan Model Fisik Lereng

Tinggi lereng (cm)	Sudut lereng (°)	FK Statis	a_{kritis}		FK Deterministik	FK Rata-rata	PK (%)
			Newmark	Model Fisik			
10	20	1,74	0,25	0,43	1,47	1,49	4,1
	25	1,50	0,21	0,26	1,37	1,38	9,6
	30	1,12	0,06	0,16	1,29	1,30	14,9
20	20	1,71	0,24	0,26	1,21	1,23	26,1
	25	1,34	0,14	0,26	1,11	1,12	37,1
	30	1,10	0,06	0,16	1,00	1,01	52,8
30	20	1,70	0,24	0,26	1,11	1,12	38,7
	25	1,33	0,14	0,14	1,00	1,01	53,9
	30	1,08	0,04	0,16	0,91	0,91	69,1

Sumber: Azizi dkk (2013b)

Contoh lain mengenai pertimbangan ketidakpastian dalam rekayasa geoteknik ini dapat dilihat dalam Kramadibrata dkk (2012) dan Wattimena (2017).

KURVA STABILITAS LERENG

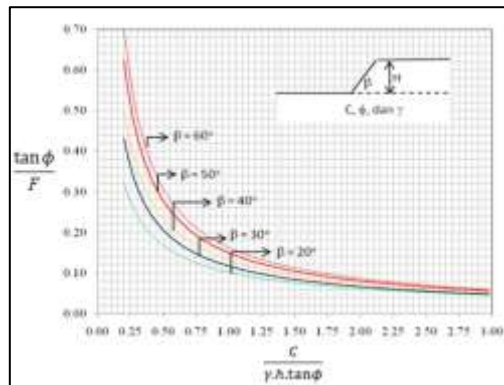
Kurva stabilitas lereng yang didasarkan pada percobaan maupun hasil

pengamatan kondisi lereng langsung di lapangan merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk perancangan lereng.

Dengan menggunakan analisis dimensi terhadap kondisi lereng di tambang batubara, Kramadibrata dkk (2011) mengusulkan kurva stabilitas lereng,

seperti terlihat pada Gambar 4. Dengan menggunakan kurva ini, FK lereng dengan geometri dan sifat material

pembentuk lereng tertentu dapat diperkirakan.



Gambar 4. Kurva Kemantapan Lereng Tambang Batubara (Kramadibrata dkk, 2011)

Wattimena dkk (2012) selanjutnya melakukan analisis probabilitas terhadap data Kramadibrata dkk (2011). Perhitungan FK dilakukan dengan menggunakan kurva Hoek dan Bray dan Metoda Bishop, sedangkan perhitungan

PK dilakukan dengan menggunakan metode estimasi titik (Rosenblueth, 1975). Mereka menemukan bahwa kurva pada Gambar 4 memberikan hasil yang lebih pesimistik dalam perhitungan PK, seperti terlihat pada Tabel 5.

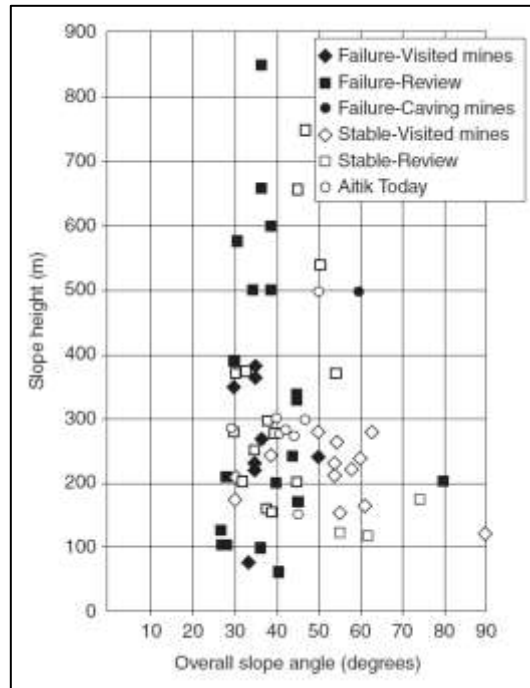
Tabel 5. Hasil Perhitungan Metode Estimasi Titik

Kasus	Kuat Geser		FK		Kurva Kramadibrata (2011)		FK
	c (kPa)	f (°)	Bish op	Hoek - Bray	c (kPa)	f (°)	
c-, f-	164,7	45,0	1,92	2,56	132,2	30,7	1,56
c+, f+	308,4	48,8	3,33	3,90	376,0	47,2	4,16
c+, f-	308,4	45,0	3,26	3,71	376,0	30,7	3,49
c-, f+	164,8	48,8	1,97	2,68	132,2	47,2	1,57
	Rata-rata		2,62	3,21			2,69
	Simpangan baku		0,61	0,69			1,33
	PK		0,4	0,1			10,2

Sumber: Wattimena dkk (2012)

Gambar 5 menunjukkan kondisi lereng sebagai fungsi dari tinggi dan kemiringannya. Beberapa studi telah

dilakukan untuk menetapkan kurva stabilitas yang didasarkan pada data kondisi lereng tersebut.



Gambar 5. Kondisi Lereng Untuk Tinggi dan Kemiringan Tertentu (Sjöberg, 1999)

Wattimena (2013) melakukan analisis probabilitas terhadap data yang digunakan oleh Douglas (2002) ketika mengusulkan kurva rancangannya. Batas daerah longsor dan mantap berdasarkan metode regresi logistik digunakan oleh Wattimena (2013) sebagai kurva rancangan dan selanjutnya diplot pada kurva stabilitas Douglas (2002), seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Dapat dilihat bahwa untuk tinggi lereng tertentu, dibandingkan terhadap kurva rancangan Douglas (2002), kemiringan lereng dari kurva rancangan Wattimena (2013) akan lebih landai untuk lereng kering dan mendekati untuk lereng dengan airtanah moderat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis kemandapan lereng tambang di Indonesia telah menerapkan metode

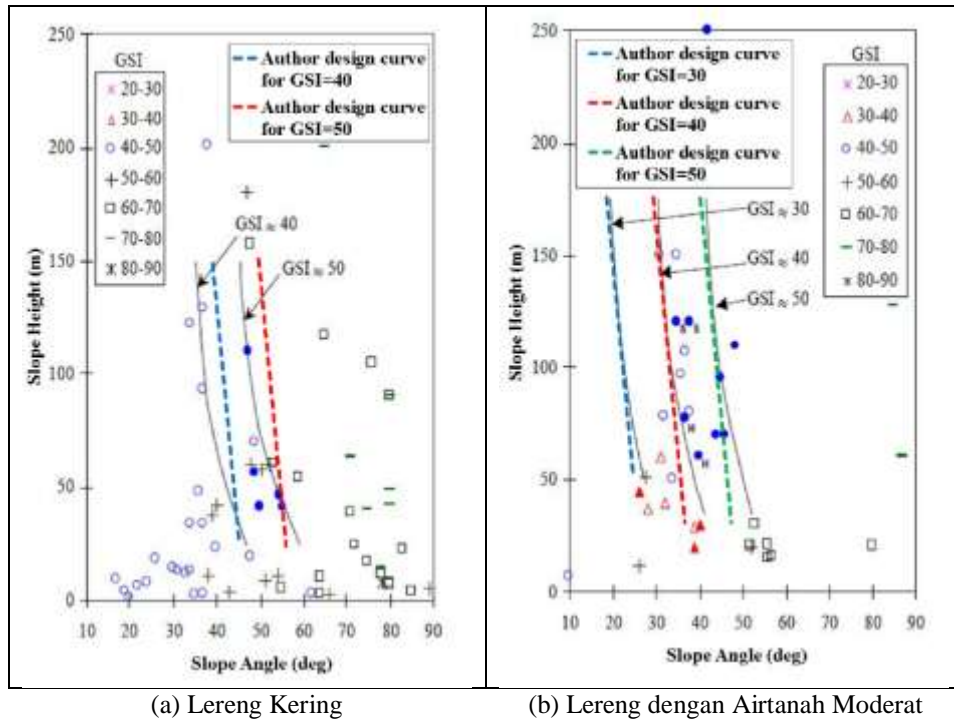
statistika secara cukup lengkap untuk mengatasi variasi parameter pembentuk lereng maupun beban pada lereng.

Penerapan ini mulai dilakukan sejak tahap penentuan data masukan sampai kepada perhitungan dengan berbagai metode yang umum digunakan.

Ke depannya, pembuatan kurva rancangan lereng khusus untuk lereng tambang di Indonesia sebaiknya mulai dikembangkan mengingat sudah banyaknya studi kemandapan lereng yang dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada para pihak yang telah membantu dalam penyelesaian makalah ini.



Gambar 6. Kurva Rancangan Lereng Tambang (Wattimena, 2013)

DAFTAR PUSTAKA

Azizi, M.A., 2014. *Pengembangan Metode Reliabilitas Penentuan Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara di Indonesia*. Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.

Azizi, M.A., Kramadibrata, S., Wattimena, R.K., dan Sidi, I.D. 2013. Characterization of the distribution of physical and mechanical properties of rocks at the Tutupan coal mine, South Kalimantan, Indonesia. *Proc. Eurock 2013*, Wroclaw.

Azizi, M.A., Kramadibrata, S., Wattimena, R.K., dan Sidi, I.D. 2013. Probabilistic analysis of physical models slope failure. *Proc. Earth Planetary Sci*, 6, 411-416.

Douglas, K.J., 2002. *The Shear Strength of Rock Masses*. Ph.D. Thesis, University of New South Wales.

Hoek, E. 1994. Strength of rock and rock masses, *ISRM News Journal*, 2(2), 4-16.

Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.

Kramadibrata, S., Saptono, S., Wattimena, R.K., Simangunsong, G.M., dan Sulistianto, B. 2011. Developing a slope stability curve of open pit coal mine by using dimensional analysis method. *Proc. ISRM Congress 12*, Beijing.

Kramadibrata, S., Wattimena, R.K., Sidi, I.D., Azizi, M.A, dan Adriansyah, Y. 2012. Open pit mine slope stability and uncertainty. *Proc. ARMS 7*, Seoul.

Marinos, P. dan Hoek, E. 2000. GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. *Proc. GeoEng2000 Conf.*, Melbourne.

Marinos, P. dan Hoek, E. 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch. *Bull. Engng. Geol. Env.* 60, 85-92.

- Newmark, N.M. 1965. Effects of Earthquakes on dams and embankments. *Géotechnique*, 15(2), 139-160.
- Rosenblueth, E., 1975, Point estimates for probability moments. *Proc. National Academy Sci.* (10), 3812-3814.
- Saptono, S. 2012. *Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara*. Disertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Saptono, S. 2014. Penentuan kekuatan geser jangka panjang batupasir dengan pendekatan perilaku rayapan geser visko-elastik. *Pros. Sem. Kebumihan 7*, Yogyakarta.
- Sjöberg, J. 1999. *Analysis of Large Scale Rock Slopes*. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology.
- Wattimena, R.K. 2013. Predicting probability stability of rock slopes using logistic regression. *Int. J. Japanese Com. Rock Mech.*, 9(1), 1-6.
- Wattimena, R.K. 2017. Dealing with uncertainties in rock mechanics. *Proc. YSRM 2017 & NDRMGE 2017*, Jeju.
- Wattimena, R.K., Rai, M.A., Kramadibrata, S. Arif, I., dan Dwinagara, B. 2008. Estimating rock mass long-term strength using in situ measurement and testing results. *Proc. ARMS 5*, Tehran.
- Wyllie, D.C. dan Ma, C.W. 2005. *Rock Slope Engineering Civil and Mining*, 4th ed. Taylor & Francis e-Library.

