

Geologi dan Pengaruh Struktur Kekar Terhadap Kestabilan Lereng Desain Pit Pada Tambang Terbuka Batubara Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muaraenim, Sumatra Selatan

Herry Riswandi^{*1)}, Arnia Fitri¹⁾

¹⁾Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

*herry.riswandi@upnyk.ac.id

Abstrak - Sistem penambangan terbuka merupakan salah satu sistem yang digunakan untuk eksploitasi sumberdaya batubara dengan cara mengupas batuan penutup sehingga menghasilkan lereng. Lereng yang tidak stabil akan mengakibatkan tanah longsor. Kekar merupakan salah satu penyebab longsor. Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui kondisi geologi dan kondisi geoteknik daerah untuk membuat desain lereng yang optimal dan aman. Daerah penelitian secara administratif terletak di desa Tanjung Lalang, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatra Selatan merupakan daerah izin usaha pertambangan (IUP) PT Bukit Asam Tbk. Secara geografis terletak pada koordinat geografis 103°49'0" BT - 103°50'20" BT dan 3°50'59" LS - 3°50'9" LS. Metode penelitian yang digunakan yaitu studi literatur, pemetaan geologi, profil, *Scanline* mekanika batuan, analisis data, pembobotan *massa* batuan RQD, RMR, SMR, GSI, analisis kinematik, dan Analisis Kuantitatif untuk menentukan nilai FK (*Safety Factor*). Daerah penelitian termasuk kedalam cekungan Sumatra Selatan yang terdiri dari satuan batulempung Muara Enim yang berumur Miosen tengah - Akhir dan satuan Aluvial yang berupa material lepas hasil penambangan yang berumur Holosen. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian berupa sesar mendatar kiri (*left slip fault*) dengan tegasan SE-NW dan kekar yang memiliki tegasan berarah NE-SW. Pada lokasi pengamatan 7 memiliki nilai RQD 22.2543%, RMR 48.4210, SMR 46.81, GSI 40.8654, pada lokasi pengamatan 10 memiliki nilai RQD 35.1343 %, RMR 52.6428, SMR 49.17, GSI 48.2671, pada lokasi pengamatan 24 memiliki nilai RQD 57.2979, RMR 64.375, SMR 61.27 dan GSI 60.836 pada lokasi pengamatan 2 memiliki nilai GSI 30 dan pada lokasi pengamatan 16 memiliki nilai GSI 25. Berdasarkan hasil analisis nilai FK tanpa pengaruh kekar pada sayatan A-A' 2.364, sayatan B-B' 1.889 dan sayatan C-C' 2.546, nilai FK dengan Kekar pada sayatan A-A' 2.326, sayatan B-B' 1,172 dan sayatan C-C' 1.389 berdasarkan hasil analisis linier pengaruh kekar terhadap penurunan nilai FK memiliki nilai determinasi $R^2 = 0.5836$ (sedang) dan pengaruh banyaknya kekar terhadap penurunan nilai FK memiliki nilai determinasi $R^2 = 0.6948$ (Kuat). Berdasarkan hasil analisis kinematik pada sayatan A-A' dan C-C' memiliki tipe Potensi Longsoran *Wedge* sedangkan pada sayatan B-B' memiliki tipe potensi longsoran *Toppling*. Rekomendasi peningkatan kestabilan lereng pada LP 7 dengan merubah *slope direction* N 288°E dan *slope* 55°, pada LP 10 *slope direction* N 325°E dan *slope* 62°, LP 24 *slope direction* N 005°E dan *slope* 44°. Potensi geologi positif pada daerah penelitian berupa tambang batubara yang ekonomis dan PLTU, potensi geologi negatif daerah penelitian berupa longsor, air asam tambang, polusi udara dan hutan yang gundul.

Kata kunci: faktor keamanan, geologi, kinematik, *Scanline*, struktur geologi.

Abstract - Open pit mining system is one of the systems used to exploitation coal resources by stripping the overburden to produce slopes. Unstable slopes will result in landslides. Fractures are one of the causes of landslides. The purpose of the study was to determine the geological and geotechnical conditions of the area to create an optimal and safe slope design. The research area is administratively located in Tanjung Lalang, Lawang Kidul District, Muara Enim Regency, South Sumatra Province, which is a mining business permit (IUP) area of PT Bukit Asam Tbk. Geographically located at the geographical coordinates 103° 49'0 "BT - 103° 50'20" BT and 3° 50'59" LS - 3° 50'9" LS. The research methods used are literature studies, geological mapping, profiles, *Scanlines*, data analysis, rock mass rating, RQD, RMR, SMR, GSI, kinematic analysis, and quantitative analysis to determine the FK (*Safety Factor*) value. The research area is included in the South Sumatra basin which is included in the Muara Enim Formation which consist of Muara Enim mudstone units aged Middle - Late Miocene, and Alluvial units aged Holocene in the form of loose material accumulation. The geological structure that developed in the research area is a left slip fault with SE-NW emphasis and fractures that have NE-SW direction emphasis. At observation location 7 has an RQD value of 22.2543%, RMR 48.4210, SMR 46.81, GSI 40.8654, at observation location 10 has an RQD value of 35.1343%, RMR 52.642 8, SMR 49.17, GSI 48.2671, at observation location 24 has an RQD value of 57.2979, RMR 64.375, SMR 61.27 and GSI 60.836 at observation location 2 has a GSI value of 30 and at observation location 16 has a GSI value of 25. Based on the results of the analysis of the

FK value without the influence of fractures on Section A-A' 2.364, section B-B' 1.889 and section C-C' 2.546, the FK value with fractures on section A-A' 2.326, section B-B' 1.172 and section C-C' 1.389 based on the results of linear analysis of the influence of fractures on the decrease in FK value has a determination value of $R^2 = 0.5836$ (moderate) and the effect of the number of fractures on the decrease in FK value has a determination value of $R^2 = 0.6948$ (Strong). Based on the results of kinematic analysis on sections A-A' and C-C' have a Wedge Landslide Potential type while on section B-B' has a Toppling landslide potential type. Recommendations for increasing slope stability at LP 7 by changing the slope direction N 288°E and slope 55°, at LP 10 slope direction N 325°E and slope 62°, LP 24 slope direction N 005°E and slope 44°. Positive geological potential in the research area is in the form of economical coal mines and PLTU, negative geological potential in the research area is in the form of landslides, acid mine water, air pollution and bare forests.

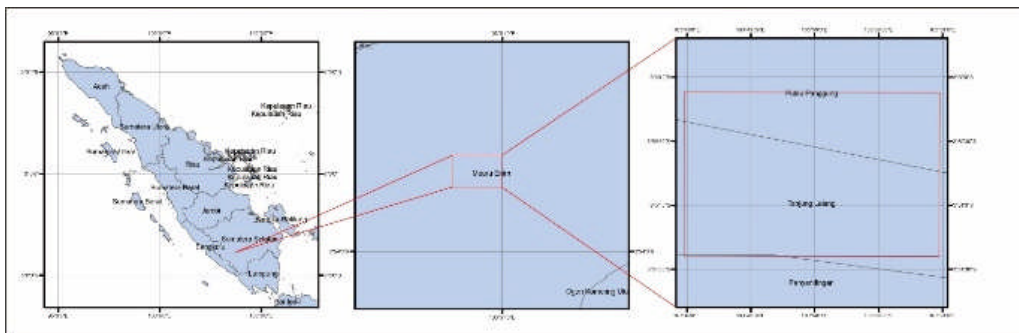
Keywords: safety factors, geology, kinematics, Scanline, geological structure.

PENDAHULUAN

Desa Tanjung Lalang Merupakan daerah Izin Usaha Penambangan (IUP) PT Bukit Asam Tbk. Sistem penambangan terbuka atau *open pit mining* merupakan salah satu sistem yang digunakan untuk eksploitasi sumberdaya batubara. Sistem *open pit mining* merupakan proses pengupasan batuan penutup untuk mendapatkan batubaran yang akan menghadapi permasalahan yaitu adanya potensi seperti lereng yang tidak stabil dan akhirnya terjadi longsor yang akan mempengaruhi kelancaran dalam operasi tambang, oleh karena itu harus dilakukan Analisis kestabilan lereng terlebih dahulu untuk mengetahui nilai faktor keamanan dari suatu lereng. Jika lereng yang terbentuk akibat proses penambangan (*pit slope*) tidak stabil, kegiatan produksi akan terganggu dan mengakibatkan ketidak sinambungan produksi.

Lokasi Penelitian

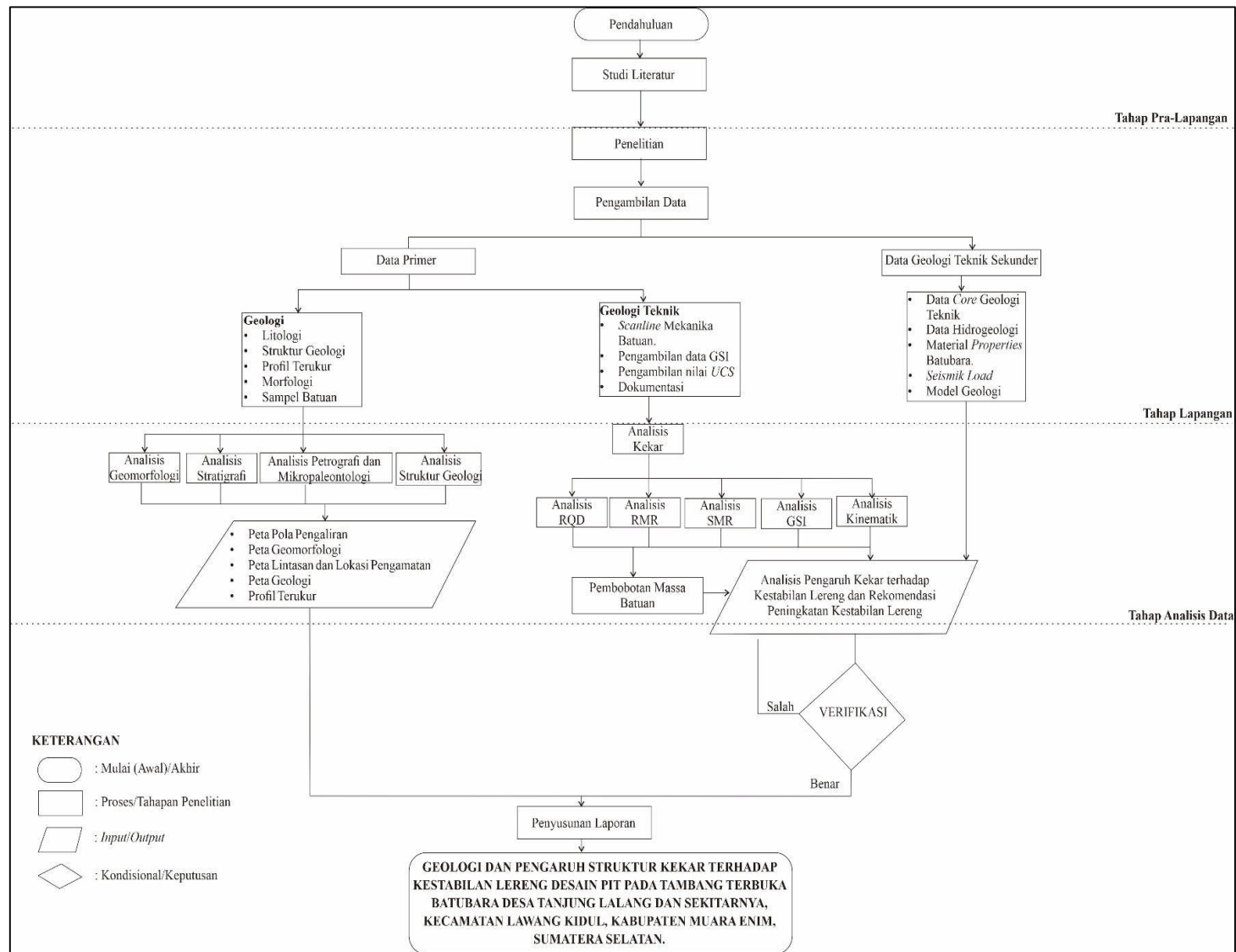
Pada Gambar 1 merupakan letak daerah penelitian secara administratif terletak di desa Tanjung Lalang, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatra Selatan. Secara geografis terletak pada koordinat geografis 103°49'0" BT - 103°50'20" BT dan 3°50'59" LS - 3°50'9" LS.



Gambar 1 Lokasi Penelitian, berada di Kelurahan Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatra Selatan.

METODELOGI PENELITIAN

Metode Penelitian yang digunakan yaitu studi literatur yang bertujuan untuk mengumpulkan data sekunder tentang kondisi geologi daerah penelitian berdasarkan penelitian terdahulu, pemetaan geologi yaitu dengan melakukan pemetaan terhadap sebaran litologi dan struktur geologi yang berkembang didaerah penelitian, profil, analisis mikrofossil, analisis petrografis, pengambilan sampel batuan. Pengambilan data yang digunakan untuk nalisis kestabilan lereng menggunakan metode *Scanline*, analisis RQD, RMR, SMR, GSI dan Kinematik untuk menentukan nilai FK (Faktor Keamanan).



Gambar 2 Diagram Alir


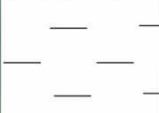
HASIL DAN PEMBAHASAN

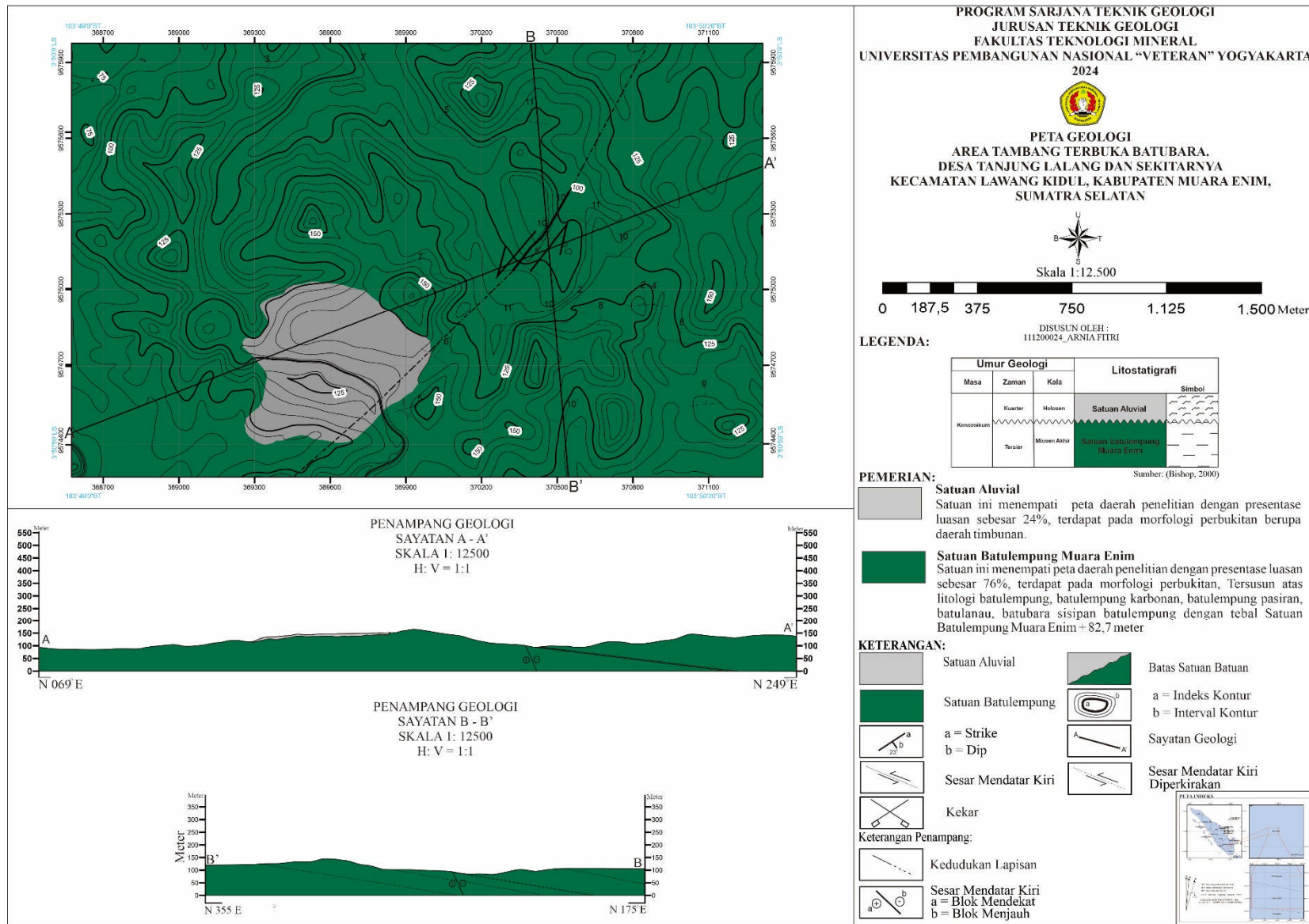
Daerah penelitian termasuk kedalam sub cekungan Palembang tengah yang termasuk kedalam formasi Muara Enim yang memiliki morfologi perbukitan yang masuk kedalam formasi Muara Enim dan terdapat sesar mendatar kiri *Left slip fault* (Richard,1972) yang berarah Timur laut – Barat daya serta terdapat kekar-kekar tektonik.

Stratigrafi Daerah Penelitian

Pada Gambar 3 merupakan peta geologi didaerah penelitian yang terdiri dari satuan Batulempung Muara Enim dengan ketebalan kurang lebih 82,7 meter terdiri dari litologi batulempung, batulempung karbonan, perselingan lanau dan batubara menyerpih, batulempung sisipan lanau, batulempung pasiran, batubara dengan sisipan siderit dan batubara sisipan *Clayband* dengan struktur sedimen *lenticular* dan laminasi. Sedangkan pada Tabel 1 merupakan kolom stratigrafi yang menunjukkan urutan pengendapan yang terdiri dari satuan Batulempung Muara Enim yang berumur Miosen Tengah dan di atasnya terendapkan satuan Aluvial yang berumur holosen berupa material timbunan.

Tabel 1 Kolom Stratigrafi Daerah Tanjung Lalang dan Sekitarnya

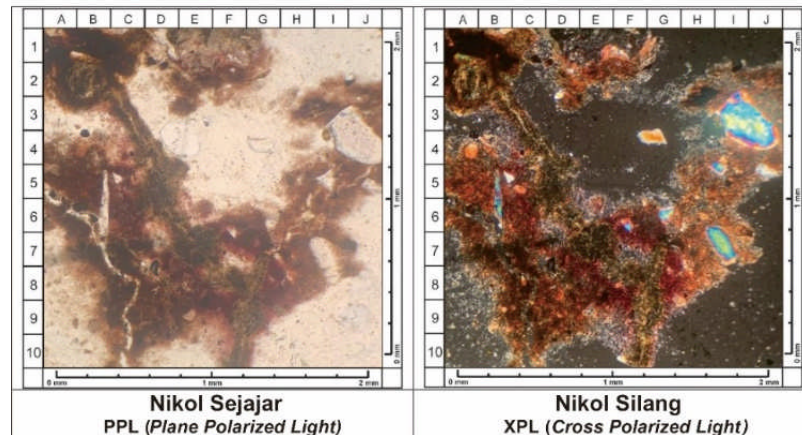
Umur Geologi			Litostatigrafi	
Masa	Zaman	Kala		Simbol
Kenozoikum	Kuarter	Holosen	Endapan aluvial	
	Tersier	Miosen Akhir	Satuan batulempung Muara Enim	



Gambar 3 Peta Geologi daerah Taanjung Lalang dan Sekitarnya

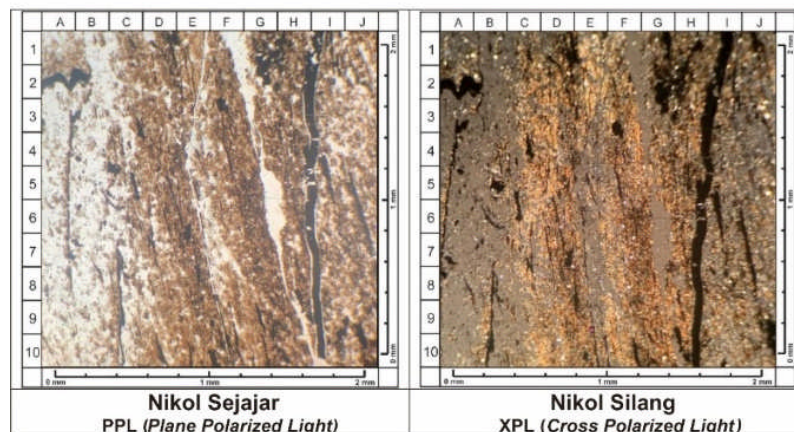
a. Satuan Batulempung Muara Enim

Penentuan satuan batuan berdasarkan berdasarkan hasil pemetaan geologi sehingga dapat diketahui dominasi persebaran batuan, kesamaan sifat fisik batuan, serta analisis petrografi. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan pada daerah penelitian terdiri dari satuan Batulempung Muara Enim terdiri dari litologi batulempung, batulempung karbonan, perselingan lanau dan batubara menyerpih, batulempung sisipan lanau, batulempung pasiran, batubara dengan sisipan siderit dan batubara sisipan *Clayband*. Model lingkungan pengendapan batubara di daerah Tanjung Lalang dan sekitarnya berdasarkan data di lapangan masuk kedalam lingkungan pengendapan *Lower Delta Plain* sub lingkungan pengendapan *Interdistributarybay* yang di tandai dengan litologi berupa batubara, batulanau, batulempung, siderit yang memiliki struktur *Lenticular* dan *Lamins*.



Gambar 3 Sayatan Petrografi Lokasi Pengamatan 25

Pada gambar 8 merupakan hasil analisis petrografi pada LP 25 memiliki; Warna Coklat; Ukuran Butir Lanau - Lempung (0,004 - 0,0625); Bentuk Butir *Angular*; Terpilah Baik; didukung oleh *Mud Supported*; Kontak Butiran *point contact*; disusun oleh mineral Kuarsa (10%), Opak (1%), Oksida (83%), *Coal Strech* (6%), dari hasil analisis di peroleh nama batuan *Mudrock* (Pettijohn 1975).



Gambar 4 Sayatan Tipis Petrografi Lokasi Pengamatan 19

Pada gambar 9 merupakan hasil analisis petrografi LP 19 termasuk Batuan Sedimen Silisi Klastik; Warna Coklat Kemerahan; Ukuran Butir Lanau - Lempung (0,004 - 0,0625); Bentuk Butir *Subrounded*; Terpilah Baik; didukung oleh *Mud Supported*; Kontak Butiran *Floating Contact*; disusun oleh mineral Kuarsa (8%), Opak (2%), Muskovit (10%), Oksida (80), dari hasil analisis petrografi diperoleh nama Batuan *Mudrock* (Pettijohn, 1975).

b. Satuan Aluvial

Timbunan (Disposal) pada daerah penelitian merupakan hasil akumulasi dari batuan yang berada di daerah tambang terbuka pada daerah penelitian

Struktur Geologi

Struktur geologi pada daerah penelitian terbentuk akibat aktivitas tektonik pada miosen tengah hingga pliosen awal yang menyebabkan terdapat sesar mendatar kiri dengan arah timur laut – barat daya yang termasuk pola struktur jambi dan diikuti oleh kekar-kekar tektonik disekitar sesar.

1. Sesar Mendatar Kiri

Pada gambar 10 merupakan kenampakan sesar dilapangan berupa Shear Fracture, Gash Fracture dan Breksiasi. Identifikasi sesar dilapangan dilakukan berdasarkan *offsite* litologi dilapangan dan juga data arah umum *Shear Fracture* N 308° E/82°, arah umum *Gash Fracture* N 265° E/84° dan azimuth Breksiasi N 175° E.



Gambar 5 (a) Kenampakan sesar dilapangan (Azimuth foto N 110° E), (b) Shear Fracture (merah), gash Fracture (Kuning)

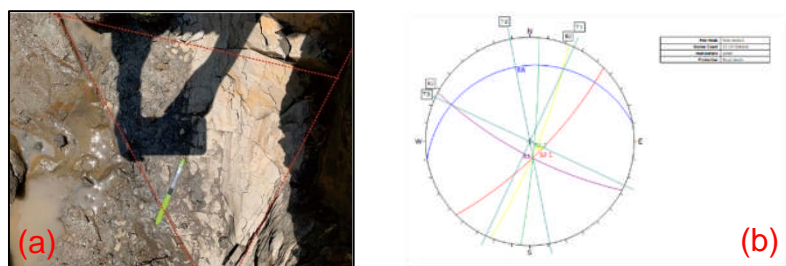
Tabel 2 merupakan hasil analisis sesar yang dilakukan menggunakan *software dips 7.0* didapatkan arah Tegasan 1(T1) yaitu 04°, N 158° E, tegasan T1' 12°, N 128°E, tegasan 2 (T2) 08°, N 043°E, tegasan 3 (T3)06°,N248°E tegasan T3' 08°, N 218°E dan Rake 05° dengan pergerakan kiri maka didapatkan sesar mendatar kiri atau *Left slip fault* (Richard,1972).

Tabel 2 Data Shear Fracture, Gash Fracture, Breksiasi dan Hasil Analisis Sesar

SF		GF		AZ BREKSIASI	Netslip	176/20	Penamaan Sesar : Left Slip Fault (Richard,1972)
308	82	265	85	175	T1	158,4	
308	81	266	82		T1'	128,12	
307	82	263	84		T2	43,8	
305	80	264	85		T3	248,06	
310	81	265	85		T3'	218,08	
309	82	263	85		Rake	5	
308	80	265	83		Pergerakan	Kiri	
307	82	265	82				
310	82	264	84				
308	81	265	85				

2. Kekar

Pada gambar 11 merupakan kenampakan kekar tektonik dilapangan yang terdapat pada litologi lempung yang memiliki dua arah orientasi.



Gambar 6 (a) Kenampakan Kekar di lokasi 12 (Azimuth foto N 336° E), (b) Hasil Analisis Kekar menggunakan Dips 7.0

Tabel 3 Data kekar dan hasil analisis

ANALISIS KEKAR				
Shear Joint 1			Shear Joint 2	
45	75		4	88
46	75		5	85
43	70		7	86
45	73		4	83
44	77		3	80
46	75		6	78
44	74		4	89
47	76		5	88
45	73		5	86
46	74		4	87
44	75		6	88
45	77		7	85
Arah Umum SJ 1 N 045 E/75			Arah Umum SJ 2 N 005 E/85	
Extension N 022 E/81		Release N 118 E/75		
T1 14, N025 E		T3 10, N 294 E		
T2 71, N169 E				

Tabel 3 merupakan hasil analisis kekar di lapangan di dapatkan arah umum *shear joint* 1 yaitu N 045° E/75°, *Shaer Joint* 2 N 005° E/ 85°. Tegasan 1 (T1) terbesar yaitu 14°, N 025 E, tegasan 2 71°,N 169 E, tegasan 3 10°, N 294 E, yang menghasilkan *Extension joint* berarah N 022 E/81° dan *Release joint* N 118 E/75°.

Analisis Pengaruh Kekar Terhadap Kestabilan Lereng

1. Klasifikasi Massa Batuan LP 7

Pada gambar 14 menunjukkan kenampakan kekar yang terdapat pada litologi batubara yang terdapat dua tipe *join set* yang diukur pada sembilan belas kekar.

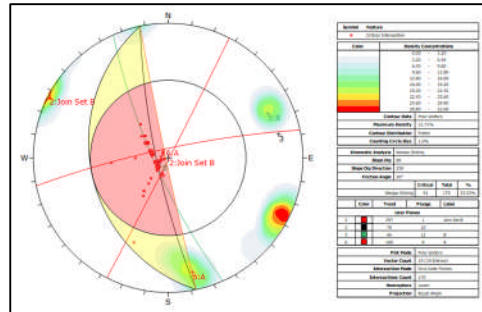


Gambar 7 Scanline Lokasi Pengamatan 7, (Azimuth N 078° E)

Tabel 4 Rock Mass Classification Lokasi Pengamatan 7

ROCK MASS CLASSIFICATION													
LP	Tipe join set	No. joint	Distance (m)	Strike (N...E)	Dip (°)	Rata-rata spasi (m)	λ	ROD (%)	BN Kondisi	Kondisi Air Tanah		RMR	
										Kondisi	BN	Nilai Total	Kategori
LP 7	A	1	0,01	260	85	0,035	28,2543	22,8764	17	Lembab	10	45	Fair
	A	2	0,2	254	90				15			43	Fair
	A	3	0,5	261	75				21			49	Fair
	A	4	0,85	255	80				21			49	Fair
	A	5	0,9	265	75				21			49	Fair
	A	6	1,14	270	71				21			49	Fair
	A	7	1,16	256	83				21			49	Fair
	A	8	1,85	210	86				17			45	Fair
	A	9	1,88	205	84				18			46	Fair
	A	10	1,9	213	88				13			41	Fair
	A	11	1,95	209	87				17			45	Fair
	A	12	0,26	225	85				21			56	Fair
	A	13	3,3	202	90				21			56	Fair
	A	14	3,6	200	85				21			49	Fair
	A	15	0,41	210	86				21			49	Fair
	B	16	0,35	150	79				24			52	Fair
	B	17	0,4	155	80				20			48	Fair
	B	18	4,15	158	78				22			50	Fair
	B	19	4,42	155	79				22			50	Fair

Table 4 merupakan hasil perhitungan bidang diskontinu yang dilakukan pada litologi batubara dengan jenis diskontinu berupa *Cleat* didapatkan **jarak rata-rata spasi 0,035 meter** dengan **Frekuensi kekar 28,2543 kekar/meter** sehingga batubara memiliki nilai **RQD 22,6784% Very Poor** (Deere,1963), nilai rata-rata **RMR 48,4210 dengan kategori Fair** (Bienawski,1978), didapatkan nilai SMR pada **46,81** termasuk kedalam kategori **III-Normal (Romana 1985)** dan untuk sudut pengupasan lereng yang disarankan maksimal **55° (Laubsher,1975)** dan berdasarkan analisis kinematic pada daerah penelaian memiliki potensi longsoran **Wedge** seperti yang ditunjukkan oleh gambar 15.



Gambar 8 Analisis Kinematik LP 7

2. Klasifikasi Massa Batuan LP 10

Pada gambar 16 menunjukkan kenampakan kekar yang terdapat pada batubara yang terdapat dua tipe *join set* yang diukur pada empan belas kekar yang memiliki arah orientasi saearah, kemudian dianalisis kinematika menggunakan *software dips 7.0* yang dapat dilihat pada Tabel 5 yaitu *Rock mas Classification* pada lokasi pengamatan 10.



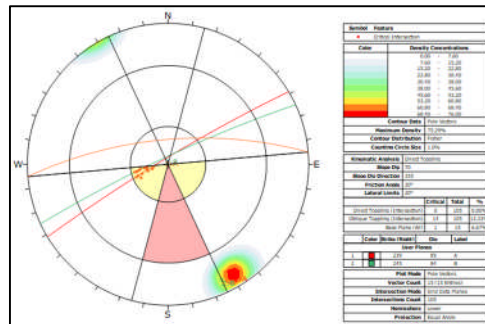
Gambar 9 Scanline Lokasi Pengamatan 10, (Azimuth N 066° E)

Tabel 5 *Rock Mass Classification* Lokasi Pengamatan 10

ROCK MASS CLASSIFICATION																
LP	Tipe Join set	No. join	Distance	Strike	Dip	Rata-rata spasi	λ	RQD (%)	BN	Kondisi Diskontinuitas	Kondisi Air Tanah		RMR			
			(m)	N. E	(.....°)	(m)					Kondisi	BN	Nilai Total	Kategori		
24	A	1	0,01	239	84	0,04518	22,13286	35,13431	20	Basah	7	48	Fair			
	A	2	0,02	232	85									52	Fair	
	A	3	0,45	235	80									23	56	Fair
	A	4	0,49	232	82									16	47	Fair
	A	5	0,78	235	89									23	56	Fair
	A	6	1,5	235	85									25	58	Fair
	B	7	0,26	244	84									18	51	Fair
	B	8	0,35	240	86									18	49	Fair
	B	9	0,58	247	85									21	54	Fair
	B	10	0,63	241	89									21	52	Fair
	B	11	0,07	245	88									23	54	Fair
	B	12	1,1	241	80									21	54	Fair
	B	13	1,26	240	83									23	54	Fair
	B	14	1,3	243	83									21	52	Fair

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan bidang diskontinu yang dilakukan pada litologi batubara dengan jenis diskontinu berupa *Cleat* didapatkan **jarak rata-rata spasi 0,04518 meter** dengan **Frekuensi kekar 22,1328 kekar/meter** sehingga batubara memiliki nilai **RQD 35,1343% Poor** (Deere,1963), nilai rata-rata **RMR 52,6428 dengan kategori Fair** (Bienawski,1978), nilai SMR **49,17**

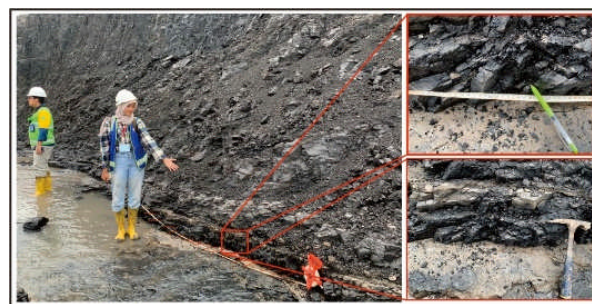
termasuk kedalam kategori **III-Normal (Romana 1985)**, dan untuk sudut pengupasan lereng yang disarankan maksimal **55° (Laubsher,1975)** dan berdasarkan analisis kinematic pada daerah penelitaian memiliki potensi longoran **Toppling** seperti yang ditunjukkan oleh gambar 17.



Gambar 10 Analisis Kinematik LP 10

3. Klasifikasi Massa batuan LP 24

Pada gambar 18 menunjukkan kenampakan kekar yang terdapat pada batubara yang terdapat tiga tipe *joint set* yang diukur pada dua puluh empat kekar yang dianalisis kinematika menggunakan *software dips 7.0* yang dapat dilihat pada Tabel 6 yaitu *Rock mas Classification* pada lokasi pengamatan 24.



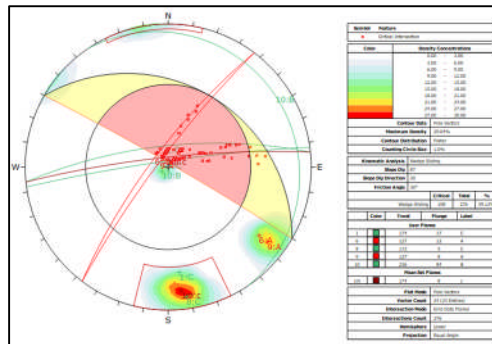
Gambar 11 Scanline Lokasi Pengamatan 24, (Azimuth N 039° E)

Tabel 6 *Rock Mass Classification* Lokasi Pengamatan 24

ROCK MASS CLASSIFICATION													
LP	Type Joint set	No. joint	Distance (m)	Strike (N.....°E)	Dip (.....°)	Rata-rata spasi (m)	λ	RQD (%)	BN Kondisi	Kondisi Air Tanah	RMR		
											Nilai Total	Kategori	
LP 10	A	1	0,3	210	82	0,06872584	14,5506	57,2979	22	Basah	7	64	Good
	A	2	0,35	211	83				22			64	Good
	A	3	0,42	215	81				22			64	Good
	A	4	0,48	220	81				24			66	Good
	A	5	2,25	215	90				26			78	Good
	A	6	2,3	222	89				21			61	Good
	A	7	2,34	217	76				21			61	Good
	A	8	2,39	220	76				24			64	Good
	B	9	0,08	320	3				18			58	Fair
	B	10	1,08	275	82				28			80	Good
	B	11	1,3	331	10				20			60	Fair
	B	12	1,4	275	76				26			68	Good
	B	13	1,9	271	84				18			60	Fair
	B	14	2	268	79				24			66	Good
	B	17	2,6	300	4				18			60	Fair
	B	15	3,2	300	3				18			60	Fair
	C	16	1,29	263	89				23			75	Good
	C	18	1,3	260	79				20			60	Fair
	C	19	1,7	263	78				21			63	Good
	C	20	1,72	266	84				21			61	Good
	C	21	1,8	259	85				21			61	Good
	C	22	1,85	262	77				21			61	Good
	C	23	2,9	255	86				15			67	Good
	C	24	3	253	87				21			63	Good

Tabel 6 merupakan hasil perhitungan bidang diskontinu yang dilakukan pada litologi batubara dengan jenis diskontinu berupa *Cleat* didapatkan **jarak rata-rata spasi 0,068725 meter** dengan **Frekuensi kekar 14,5506 kekar/meter** sehingga batubara memiliki nilai **RQD 57,2979% Fair** (Deere,1963), nilai rata-rata **RMR 64,375 dengan kategori Good** (Bienawski,1978), nilai **SMR 61,27**

termasuk kedalam kategori **II-Good (Romana 1985)**, dan untuk sudut pengupasan lereng yang disarankan maksimal **65° (Laubsher,1975)** dan berdasarkan analisis kinematic pada daerah penelitaian memiliki potensi longoran **Wedge** seperti yang ditunjukkan oleh gambar 19.



Gambar 12 Analisis Kinematik LP 24

4. Geological Strength Index (GSI)

Penentuan nilai GSI pada LP 2 dan LP16 dilakukan secara kualitatif berdasarkan pengamatan langsung dilapangan dengan parameter berupa banyaknya bidang diskontinuitas dan kondisi surface pada singkapan, didapatkan nilai GSI pada LP 2 yaitu 30 dan pada LP 16 yaitu 25, sedangkan pada LP 7, LP 10 dan LP 24 penentuan nilai GSI berdasarkan perhitungan secara kuantitatif seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Klasifikasi nilai GSI Paada daerah Tanjung Lalang (Hoek & Brown, 2018)

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slackened, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slackened, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
INTACT OR MASSIVE - Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80		N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		70	60		
VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets			50		
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity				40	
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					30
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			20
					10

Sumber: Hoek & Marinos (2000) dalam Hoek & Brown (2018)

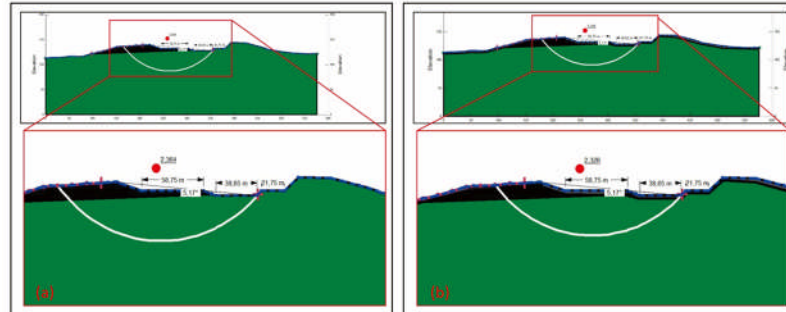
Keterangan :

- : Lokasi Pengamatan 7
- : Lokasi Pengamatan 2
- : Lokasi Pengamatan 10
- : Lokasi Pengamatan 16
- : Lokasi Pengamatan 24

5. Hasil Analisis Kestabilan Lereng

1. Sayatan A-A'

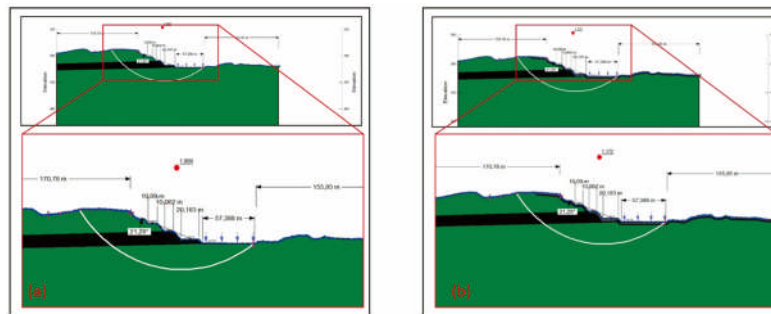
Berdasarkan hasil analisis menggunakan software geostudio yang ditunjukkan gambar 20 pada sayatan A-A' memiliki nilai FK 2,364 (**Aman**) dengan Kondisi *full saturated* atau jenuh air dan *Seismic load* sebesar 0,2.



Gambar 13 (a) Analisis Faktor Keamanan tanpa Kekar, (b) Analisis Faktor Keamanan tanpa Kekar

2. Sayatan B-B'

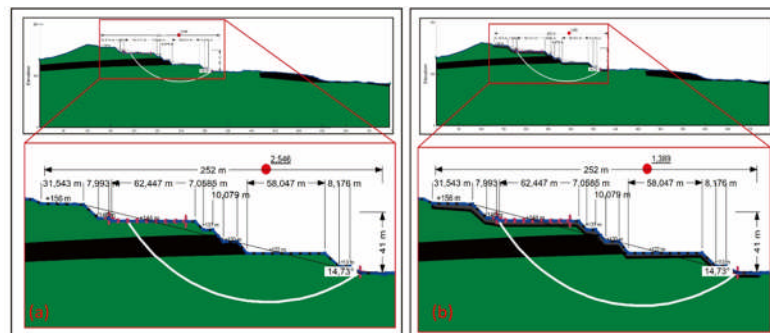
Berdasarkan hasil analisis menggunakan software geostudio yang ditunjukkan gambar 21 pada sayatan B-B' memiliki nilai FK 1,172 (**Aman**) dengan Kondisi *full saturated* atau jenuh air dan *Seismic load* sebesar 0,2.



Gambar 14 (a) Analisis Faktor Keamanan tanpa Kekar, (b) Analisis Faktor Keamanan tanpa Kekar

3. Sayatan C-C'

Berdasarkan hasil analisis menggunakan software geostudio yang ditunjukkan gambar 22 pada sayatan C-C' memiliki nilai FK 1,389 (**Aman**) dengan Kondisi *full saturated* atau jenuh air dan *Seismic load* sebesar 0,2.

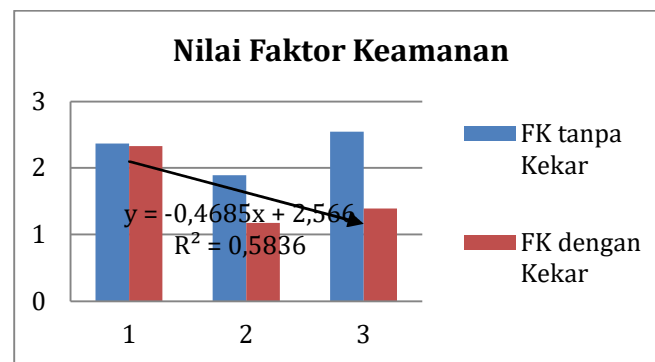


Gambar 15 (a) Analisis Faktor Keamanan tanpa Kekar, (b) Analisis Faktor Keamanan tanpa Kekar

Pada Tabel 8 menunjukkan perbandingan perubahan nilai Faktor Keamanan (FK) berdasarkan banyaknya volume kekar dan perbandingan analisis berdasarkan adanya kekar dan tanpa kekar yang dilakukan pada lereng di lokasi pengamatan.

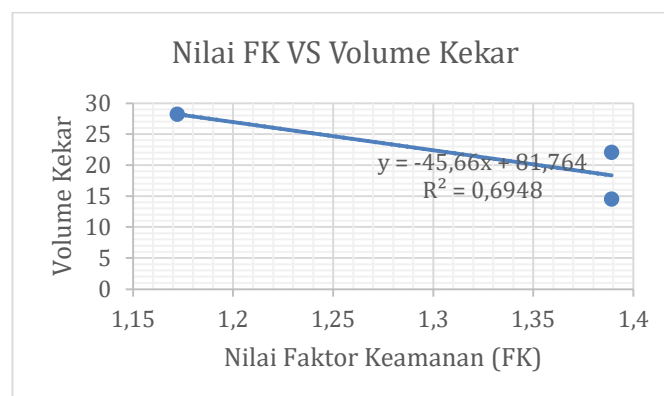
Tabel 8 Perbandingan nilai FK tanpa Kekar dengan nilai FK dengan pengaruh Kekar

Analisis Kestabilan Lereng			
Sayatan	Volume Struktur	FK tanpa Kekar	FK dengan Kekar
A-A'	28,25	2,364	2,326
B-B'	28,25	1,179	1,172
C-C'	18,3417	2,546	1,389



Gambar 16 Perbandingan nilai Faktor Keamanan (FK)

Berdasarkan grafik diatas dapat di ketahui bahwa kekar dapat mempengaruhi atau menurunkan nilai faktor keamanan suatu lereng, dari grafik diatas memiliki persamaan linier $y = -0.4685x + 2.566$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.5836$ moderate (Chin,1998), hal ini menunjukkan bahwa nilai Kekar dapat mempengaruhi penurunan nilai FK. Dan dapat diketahui bahwa pada grafik bahwa parameter memiliki korelasi negatif, yang berarti berbanding terbalik.

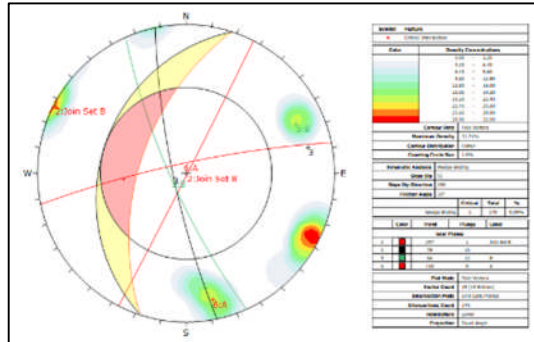


Gambar 17 Grafik Nilai FK VS Volume Kekar

Pada gambar 24 menunjukkan tentang pengaruh volume kekar terhadap penurunan kestabilan lereng yang dilakukan pada lokasi penelitian, dapat diketahui bahwa Volume Kekar sebagai variabel bebas dan Nilai Faktor Keamanan sebagai variabel terikat yang memiliki persamaan linier $y = -45,66x + 81,74$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.6948$, yang dapat menunjukkan hubungan linier Kuat (Chin,1998) yang berarti banyaknya kekar mempengaruhi nilai FK. Dan dapat diketahui bahwa pada grafik bahwa parameter memiliki korelasi negatif, yang berarti berbanding terbalik. Maka dari itu semakin banyak kekar maka nilai FK semakin kecil.

6. Rekomendasi Keamanan Lereng Berdasarkan Hasil Analisis Kinematik
a. Pada LP 7

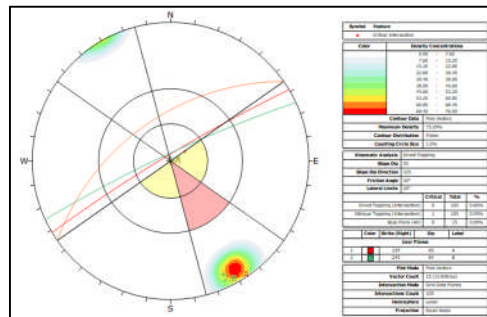
Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang dilakukan pada lokasi pengamatan 7 memiliki potensi kelongsoran Wedge, setelah dilakukan analisis kembali seperti yang ditunjukkan gambar 25 pada lokasi pengamatan 7 untuk mengubah *slope direction* menjadi N 238 °E dan sudut kemiringan 55° dengan merubah arah pengupasan lereng dapat menurunkan potensi terjadinya longsor yang disebabkan karena pengaruh kekar.



Gambar 18 Rekomendasi peningkatan Kestabilan Lereng LP 7

b. Pada LP 10

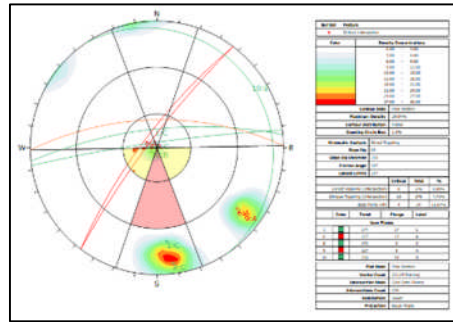
Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang dilakukan pada lokasi pengamatan 10 memiliki potensi kelongsoran Toppling, setelah dilakukan analisis kembali seperti yang ditunjukkan gambar 26 pada lokasi pengamatan 10 untuk mengubah *slope direction* menjadi N 325 °E dan sudut kemiringan 55° dengan merubah arah pengupasan lereng dapat menurunkan potensi terjadinya longsor yang disebabkan karena pengaruh kekar.



Gambar 19 Rekomendasi peningkatan Kestabilan Lereng LP 10

c. Pada LP 24

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang dilakukan pada lokasi pengamatan 24 memiliki potensi kelongsoran Wedge, setelah dilakukan analisis kembali seperti yang ditunjukkan gambar 27 pada lokasi pengamatan 24 untuk mengubah *slope direction* menjadi N 005 °E dan sudut kemiringan 65° dengan merubah arah pengupasan lereng dapat menurunkan potensi terjadinya longsor yang disebabkan karena pengaruh kekar.



Gambar 20 Rekomendasi peningkatan Kestabilan Lereng LP 24

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di daerah Tanjung lalang dan sekitarnya dapat disimpulkan bahwa Stratigrafi pada daerah penelitian terdiri dari dua satuan yaitu satuan batulempung muara enim yang memiliki umur miosen akhir dan satuan alluvial yang terdiri dari material timbunan bekas tambang, struktur geologi yang berkembang yaitu kekar dan sesar mendatar kiri (*Left slip fault*) serta hasil Analisis Kestabilan Lereng menunjukkan persamaan linier antara nilai FK tanpa kekar VS nilai FK dengan Struktur kekar didapatkan besar koefisien determinasi $R^2=0,5836$ yang berarti Struktur kekar terhadap penurunan nilai FK. Rekomendasi peningkatan kestabilan lereng dapat dilakukan dengan merubah orientasi *slope direction* dan besaran sudut kemiringan lereng Pada LP 7 merubah *Slope direction* menjadi N 288°E dan *Slope* 55°, Pada LP 10 merubah *Slope direction* menjadi N 325°E dan *Slope* 44° dan pada Pada LP 24 merubah *Slope direction* menjadi N 005°E dan *Slope* 62°.

Saran

Diperlukan adanya evaluasi RKAP desain Lereng bulan Februari karena berpotensi mengalami longsoran Toppling dan wedge yang dapat memungkinkan terjadinya longsoran oleh karena itu dapat dilakukan perubahan arah pengupasan lereng sesuai dengan hasil analisis rekomendasi keamanan lereng berdasarkan analisis kinematic yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2018. *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik*. Kementerian ESDM RI
- Aprilia, Jesica, Dicky Muslim, Zulfiadi Zakaria & Osmon Tedy. 2019. Evaluasi Kestabilan Lereng Tambang Batubara PIT "X" Menggunakan Metode Keseimbangan Batas PT. Bukit Asam Tbk. *Padjajaran Geoscience Journal*. Vol 3, No3
- Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang*. Gramedia Jakarta : Pustaka Utama
- Astawa, Rai & S. Kramadibrata. 2000. *The Influence of Water Content on Strength Characteristic of Sandstone Subject to Triaxial Test*. Departement of Mining Engineering, Collage of Mineraland Energy Resources, West Virginia University.
- Baecher, G. B., and J. T. Christian. 2003. *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*. Wiley, Chicester, UK.
- Barber, A. J., Crow M. J. & Milsom J. S. 2005. *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. London: Geological Society Memoir No. 31.
- Bell, F. G. 1993. *Engineering Geology*. Burlington, USA: Elsevier.
- Bell, G. 1978. *Models for the specific adhesion of cells to cells*. *Science*, 200(4342), 618–627. doi:10.1126/science.347575
- Bieniawski, Z.T. 1978. Determining Rock Mass Deformability: Experience from Case Histories. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 15, 237-247. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(78\)90956-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(78)90956-7)
- Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classification*. John-Wiley. New York, 251 p.
- Bishop, M.G. 2000. *Petroleum System of The Northwest Java Province, Java and Offshore Southeast Sumatra Indonesia*. USGS.USA. p 1-23
- Bishop, M. G. 2001. *South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar Cenozoic Total Petroleum System*. Colorado: USGS.

- Broch, E. and Franklin, J.A. 1972. The Point-Load Strength Test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9, 669-697. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(72\)90030-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(72)90030-7)
- Chin, W.W. 1998. *The Partial Least Square Approach to Structural Equation Modeling. Modern Method for Business Research*, 299,336.
- De Coster, G. L. 1974. The Geology of the Central and South Sumatra Basins. Proc. Indon Petrol. Assoc., 3rd Ann. Conv. <https://doi.org/10.29118/IPA.670.77.110>
- Deere, D. U. 1963. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purpose. *Felsmechanik Und Ingenieurgeologie (Rock Mechanics and Engineering Geology)*. Vol. 1. No. 1, 16-22.
- Deere, D. U. & Deere, D. W. 1987. *The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice, Rock Classified Yon Systems for Engineering Purposes*. ASTM STP 984, Louis Kirkaldie, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1988, pp. 91-101.
- Fianti, Lisa, Munirwansyah & Halida Yunita. 2020. Analisis Bentuk Geometri Terhadap Stabilitas Lereng Pada Tambang Terbuka Dari Aspek Geoteknik. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Perencanaan*, 166-176
- F. J. Pettijohn & P. E. Potter. 1964. *Atlas and glossary of primary sedimentary structures*. Berlin Springer.
- Ginger, D., & Fielding, K. 2005. *The Petroleum System and Future Potential of The South Sumatra Basin*, Jakarta
- Goodman, R.E. & Bray. J.W. 1976. Toppling of Rock Slopes. *Proceedings of the Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes*, 2, 201-234.
- Harries, N., Noon, D. 2009. *Slope Stability Radar for Managing Rock Fall Risk in Open Cut Mines*. Proceeding of the 3rd Canus Rock Mechanics, Toronto.
- Hoek, E & Bray, J.W. 1981. *Rock Slope Engineering*. Revised 3rd edition. The Institution of Mining Metallurgy. London.
- Hoek, E. C. Carranza Torres. B, Corkum. 2002. Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition. www.rocscience.com.
- Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S. 2003. *Quantification of the Geological Strength Index chart*. American Rock Mechanics Assosiation. San Fransisco USA.
- Hoek, E & Brown. 2018. The Hoek-Brown Failure Criterion and GSI. 2018. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*.
- Hossain, Sahadat MD. *Properties and Behavior of Soil*. University of Texas. Mavs Open Press.
- Huang, Y. H. 2014. *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method*. Virginia: ASCE Press.
- Joseph F. Labuz & Arno Zang. 2000. Mohr-Coulomb Failure Criterion. *Rock Mechanics and Rock Engineering*.
- Jian, Zhao. 2000. *Applicability of Mohr-Coloumb and Hoek-Brown Strength Criteria to the Dynamic Strength of the Brittle Rock*. Research Gate. DOI: 10.1016/S1365-1609((00)00049-6.
- Kliche, C.A. 1999. *Rock Slope Stability*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton.
- Koesoemadinata R.P. 1980. *Geologi Minyak dan Gas Bumi: Edisi 1-2*. Jurusan Teknik Geologi ITB. Bandung.
- Koesoemadinata R.P. 1981. *Prinsip-Prinsip Sedimentasi*. Jurusan Teknik Geologi ITB. Bandung.
- Krahn, John. 2004. *Geostudio Tutorial*. GEO-SLOPE International Ltd, Alberta.
- Millot, G. 1970. *Geology Clays: Weathering, Sedimentology, Geochemistry*. Springer, Berlin, 425. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-41609-9>.
- Pangabean Hermes., & Santi Dwita Lauti. 2012. Sejarah Penimbunan Cekungan Sumatra Selatan dan Implikasinya Terhadap Waktu Generasi Hidrokarbon. *Jurnal Sumber Daya Geologi*. Vol.22, No 4. Hal 225-235
- Prabowo Baniarga., Hedy Setiawan2 & I Gde Budi Indrawan. 2022. Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Blok A Sisi Timur Daerah Tanjung Lalang, Kecamatan Tanjung Agung, Kabupaten Muara Enim, Sumatra Selatan. *Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)*, Vol 2, No1
- Pettijohn, F. J. & Potter. P.E. 1964. *Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures*. USA. Springer.
- Pettijohn, F. J. 1987. *Sedimentary Rocks*. Harper and Row Limited. New York
- Price, D.G. 2009. *Engineering Geology*. Berlin: Springer.
- Pulunggono, A., Haryo, A., & Kosuma, C. G. 1992. Pre-Tertiary and Tertiary fault systems as a framework of the South Sumatra Basin; a study of SAR-maps. Proc. Indon Petrol. Assoc., 21st Ann. Conv. <https://doi.org/10.29118/IPA.24.339.360>
- Rai, M.A. dan Kramadibrata, S. 1990. *Mekanika Batuan*. Bandung: Jurusan Teknik Pertambangan, ITB.
- Rickard, M.J. 1972. Fault Classification: Discussion. *Geological Society of America Bulletin*. 83 (8). 2545-2546
- Romana, M.R. 1993. A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating. Engineering Pergamon press, Oxford, New York, Seoul. Vol. 3, 575-600. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-042066-0.50029>.
- Romana, M. R. Tomás & J. Serón. 2005. Slope Mass Rating (SMR) Geomechanic Classification: Thirty Years Review. *ISRM Congres Proceeding International Rock Symposium on Rock Mechanics*. Qubec Canada.

- S. Gafoer & J. Purnomo. 1986. Peta Geologi Lembar Lahat.
- Takwin, G.A, Turangan, A.E & Rondonuwu, S.G. 2017. *Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern Price*. Tekno.
- Terzaghi, K. and Peck, R. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd Edition*. John Wiley. New York.
- Terzaghi, Karl., Ralph B. Peck & Gholamreza. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice Third Edition*. USA.
- Titah, Anggraeni P.K, Agung Dimas Prabowo D., Rayhan Farisi R. & Widya Utama. 2020. *Analisis Pengaruh Porositas Terhadap Nilai Kuat Tekan Batuan Andesit dengan Menggunakan Model Regresi Hasselman dan Ryshkewitch Berbasis Matlab*. Artikel Riset. DOI: 10.22146/j. v24i3.56549
- Thomas R., A. Cuenca, M. Cano, & J. García-Barba. 2011. Graphical Approach for Slope Mass Rating (SMR). Science Direct.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. The Geology of Indonesia, V.F.A. Government Printing Office, The Hague, 732 p.
- Varnes DJ. 1978. *Slope movement types and processes*. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) *Landslides, analysis and control, special report 176*: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., pp. 11–33
- Wyllie, D.C and Mah, C.W. .2004. *Rock Slope Engineering Civil and Mining 4th Edition*. New York, USA: Spon Press 270 Madison, Avenue