

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Kondisi Batuan Penyusun Lereng

Pada lokasi penelitian memiliki batuan sampling penyusun utama berupa batulempung lanauan, batupasir lanauan dan batu lanau lempungan, di mana setiap batuan tersebut dapat dikategorikan sebagai batuan relatif lemah, nilai sifat fisik batuan yang digunakan berupa nilai median agar dapat mewakili kondisi maksimum dan minimumnya, data-data tersebut memiliki distribusi normal berdasarkan pengujian normalitas metode deskriptif dan metode analitik Kolmogorof-Smirnov, data-data nilai properti batuan sampling adalah sebagai berikut:

1. *Section A*
 - a. Batulempung lanauan, memiliki nilai median untuk densitas natural sebesar $18,22 \text{ kN/m}^3$, densitas jenuh $18,41 \text{ kN/m}^3$, kohesi *peak* $17,34 \text{ kN/m}^2$, sudut geser *peak* dalam $14,99^\circ$, kohesi residu $12,18 \text{ kN/m}^2$ dan sudut geser dalam residu sebesar $9,61^\circ$.
 - b. Batupasir lanauan, memiliki nilai median untuk densitas natural sebesar $21,01 \text{ kN/m}^3$, densitas jenuh $21,28 \text{ kN/m}^3$, kohesi *peak* $38,16 \text{ kN/m}^2$, sudut geser dalam *peak* $21,50^\circ$, kohesi residu $22,03 \text{ kN/m}^2$, dan sudut geser dalam residu sebesar $11,29^\circ$.
 - c. Batulanau lempungan, memiliki nilai median untuk densitas natural sebesar $18,78 \text{ kN/m}^3$, densitas jenuh $19,50 \text{ kN/m}^3$, kohesi *peak* $22,44 \text{ kN/m}^2$, sudut geser dalam *peak* $16,94^\circ$, kohesi residu $11,57 \text{ kN/m}^2$, dan sudut geser dalam residu sebesar $11,53^\circ$.

2. Section B

- a. Batulempung lanauan, memiliki nilai median untuk densitas natural sebesar $19,30 \text{ kN/m}^3$, densitas jenuh $19,85 \text{ kN/m}^3$, kohesi *peak* $47,62 \text{ kN/m}^2$, sudut geser *peak* dalam $21,61^\circ$, kohesi residu $30,20 \text{ kN/m}^2$, dan sudut geser dalam residu sebesar $11,75^\circ$.
- b. Batupasir lanauan, memiliki nilai median untuk densitas natural sebesar $21,01 \text{ kN/m}^3$, densitas jenuh $21,16 \text{ kN/m}^3$, kohesi *peak* $22,10 \text{ kN/m}^2$, sudut geser dalam *peak* $16,18^\circ$, kohesi residu $14,78 \text{ kN/m}^2$, dan sudut geser dalam residu sebesar $10,50^\circ$.
- c. Batulanau lempungan, memiliki nilai median untuk densitas natural sebesar $19,46 \text{ kN/m}^3$, densitas jenuh $19,55 \text{ kN/m}^3$, kohesi *peak* $20,57 \text{ kN/m}^2$, sudut geser dalam *peak* $15,18^\circ$, kohesi residu $14,05 \text{ kN/m}^2$, dan sudut geser dalam residu sebesar $10,95^\circ$.

Sedangkan untuk batubara pada lokasi penelitian memiliki 7 *seam* batubara dengan pengkodean A1, A2, B1, B2, C, D dan E. Batubara ini memiliki kualitas yang bervariasi namun didominasi oleh klasifikasi batubara sub-bituminus. Masing-masing *seam* memiliki ketebalan yang bervariasi yaitu ketebalan rata-rata *seam* A1 sebesar 9,42 m, *seam* A2 sebesar 12,34 m, *seam* B1 sebesar 12,10 m, *seam* B2 sebesar 4,33 m, *seam* C sebesar 13,40 m, *seam* D sebesar 4,75 m dan *seam* E sebesar 10,14 m.

Data-data nilai properti batubara memiliki nilai median untuk densitas natural sebesar $11,99 \text{ kN/m}^3$, densitas jenuh $12,02 \text{ kN/m}^3$, kohesi *peak* $133,00 \text{ kN/m}^2$, sudut geser *peak* dalam $32,99^\circ$, kohesi residu $50,99 \text{ kN/m}^2$, dan sudut geser dalam residu sebesar $25,90^\circ$. Batubara ini memiliki kemiringan yang cukup bervariasi, dengan nilai *dip* minimum sebesar 15° dan yang paling curam sebesar 25° . Pada setiap data tersebut dapat menentukan nilai faktor keamanan lereng yang diamati.

5.2 Klasifikasi Batuan Berdasarkan Kemampugaruan

Dalam pengklasifikasian batuan dalam penelitian ini pada dasarnya menggunakan dua parameter, yaitu klasifikasi berdasarkan nilai uji kuat tekan uniaksial dan kemampugaruan, di mana berdasarkan klasifikasi Wyllie dan Mah, 2004 (**Gambar 5.1**), batuan pada batulempung lanauan, batupasir lanauan dan batulanau lempungan memiliki klasifikasi batuan lemah sekali disebabkan nilai *Uniaxial Compressive Strength* (UCS) berada pada *range* 0,25-1,0 Mpa, sedangkan pada batubara memiliki klasifikasi batuan sangat lemah yang disebabkan nilai UCS berada pada *range* 1,0-5,0 Mpa.

Klasifikasi kekuatan batuan berdasarkan nilai <i>uniaxial compressive strengt</i> /UCS (Wyllie dan Mah, 2004)			
Grade	Deskripsi	Identifikasi lapangan	UCS (MPa)
R6	Batuan kuat sekali	Percontoh hanya berupa chip menggunakan palu geologi	> 250
R5	Batuan sangat kuat	Percontoh membutuhkan banyak pukulan palu geologi untuk memecahkannya	100-250
R4	Batuan kuat	Percontoh membutuhkan lebih sekali pukulan palu geologi untuk memecahkannya	50-100
R3	Batuan kuat menengah	Percontoh dapat dipecahkan melalui sekali pukulan palu geologi	25-50
R2	Batuan lemah	Dapat dikelupas menggunakan pisau secara hati-hati, titik lekukan dangkal menggunakan palu geologi	5,0-25
R1	Batuan sangat lemah	Hancur dipukul menggunakan palu geologi dan dapat dikelupas menggunakan pisau	1,0-5,0
R0	Batuan lemah sekali	Dapat ditusuk menggunakan kuku tangan	0,25-1,0

Sumber : Wyllie dan Mah, 2004

Gambar 5.1
Hasil Klasifikasi Massa Batuan Berdasarkan Nilai UCS

Sedangkan dalam pengklasifikasian menggunakan uji kemampugaruan secara garis besar relatif sama dengan pengklasifikasian menurut RMR (*rock mass rating*) akan tetapi parameter yang membedakannya adalah pada parameter nilai RQD pengklasifikasian RMR diganti dengan cepat rambat gelombang seismik, di

mana dalam hal ini nilai cepat rambat gelombang menggunakan hasil konversi nilai UCS dengan menggunakan persamaan Karpuz, selain itu juga dalam uji kemampugaruan ini juga mengabaikan kondisi air dibatuan, untuk hasil pengklasifikasian berdasarkan uji kemampugaruan dapat dilihat pada **Tabel 5.1** sebagai berikut:

Tabel 5.1
Hasil Klasifikasi Kemampugaruan

Lithology	Deskripsi	Total Rattng	Kemampugaruan
Batubara	Permukaan kekar kasar, bukaan <1mm, dindingnya segar, arah bidang diskontinu relatif searah dengan arah bukaan, nilai <i>dip</i> maksimum 25°	54	Batuan memiliki kelas III atau <i>fair rock</i> dengan klasifikasi kemampugaruan <i>very hard ripping</i>
Batulempung lanauan, Batupasir lanauan dan Batulanau lempungan	Permukaan kekar kasar, bukaan <1mm, dindingnya segar, arah bidang diskontinu relatif searah dengan arah bukaan, nilai <i>dip</i> maksimum 25°	51	Batuan memiliki kelas III atau <i>fair rock</i> dengan klasifikasi kemampugaruan <i>very hard ripping</i>

Dari hasil uji kemampugaruan secara umum batuan penyusun lokasi penelitian dapat dikelompokkan menjadi kelas III atau *fair rock* di mana berdasarkan kelas kemampugaruan tergolong sebagai batuan *very hard ripping*, akan tetapi tidak memerlukan peledakan untuk memberaikannya melainkan dapat menggunakan alat *tractor D9/D8* dengan spesifikasi *horse power* 385/ 270 dan *kilowatts* 290/ 200. Dengan demikian dalam kegiatan penambangan tidak banyak menimbulkan gangguan pada lereng, sehingga tidak mempengaruhi pada analisis kestabilan lereng yang dilakukan.

5.3 Parameter Analisis Kestabilan Lereng

Dalam proses analisis kestabilan lereng terdapat beberapa parameter yang diperlukan, seperti penentuan data kohesi dan sudut geser dalam yang dimasukkan, di mana pada analisis lereng *single*, *input* yang dimasukkan berupa nilai residu, hal ini dikarenakan lereng *single* berada dekat dengan permukaan, sehingga

dipengaruhi oleh aktivitas penambangan, kegempaan dan pengaruh cuaca dan iklim lainnya. Sedangkan dalam analisis lereng *overall*, *input* yang digunakan berupa nilai *peak* atau utuh dikarenakan asumsi pada lereng *overall* berada jauh di dalam permukaan sehingga tidak terpengaruh dari faktor-faktor luar.

Dalam analisis ini menggunakan kondisi lereng jenuh yang diperuntukan untuk mendapatkan nilai FK dan PK pada kondisi paling kritis, mengingat lokasi penelitian pada umumnya memiliki iklim tropis, sehingga lereng akan tetap stabil pada saat musim hujan terjadi. Selain itu analisis lereng ini menggunakan faktor dinamik berupa nilai kegempaan sebesar 0,1 g. Nilai tersebut diperuntukan agar kondisi lereng dapat tetap stabil pada saat gempa, penentuan nilai kegempaan didapatkan dari peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017 yang disesuaikan dengan umur tambang pada umumnya.

Kriteria kemantapan lereng pada penelitian ini menggunakan acuan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K/ 30/ MEM/ 2018 (**Tabel 3.3**) dengan kriteria untuk lereng tunggal nilai FK lebih besar dari 1,1 pada kondisi statik dan PK 25 % – 10 %, sedangkan untuk lereng keseluruhan (*Highwall*) nilai FK lebih besar dari 1,3 pada kondisi statik dan 1,05 pada kondisi dinamik dengan PK berkisar dari 10% – 20%. Dalam ketentuan ini nilai PK tersebut juga dapat digunakan pada kondisi nilai faktor keamanan kurang dari 1 (satu), dengan metode probabilitistik yang digunakan berupa metode Monte-Carlo dan Latin-Hypercube agar hasil yang didapat akurat.

5.4 Kestabilan Lereng *Single*

Pada pemodelan lereng *single* dibuat dengan variasi ketinggian 6 m, 8 m, 10 m dan 12 m, sedangkan variasi sudut sebesar 30°, 40°, 50°, 60°. Proses analisis menggunakan metode kesetimbangan batas dan probabilitas pada *section A* dan *section B*, dari hasil analisis didapatkan hasil rekomendasi adalah sebagai berikut:

5.4.1 Section A

Untuk *section A* didapatkan rekomendasi geometri lereng perlitologi sebagai berikut:

1. Batulempung lanauan, memiliki hasil rekomendasi geometri ketinggian 6 meter dengan *slope* 40° , untuk metode Monte-Carlo pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,108 dan PB 46,40%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,322 dan PB 30,70%. Untuk metode Latin-Hypercube pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,115 dan PB 45,80%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,331 dan PB 29,40%.
2. Batupasir lanauan, memiliki hasil rekomendasi geometri ketinggian 6 meter dengan *slope* mulai dari 40° , 50° dan 60° . Geometri maksimum (6 m, *slope* 60°) untuk metode Monte-Carlo pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,109 dan PB 46,40%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,243 dan PB 35,223%. Untuk metode Latin-Hypercube pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,132 dan PB 44,20%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,247 dan PB 33,970%.
3. Batulanau lempungan, memiliki hasil rekomendasi geometri ketinggian 6 meter dengan *slope* 40° , untuk metode Monte-Carlo pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,041 dan PB 48,60%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,213 dan PB 23,50%. Untuk metode Latin-Hypercube pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,044 dan PB 48,44%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,216 dan PB 22,90%.
4. Batubara, memiliki hasil rekomendasi geometri ketinggian 6 meter dengan *slope* mulai dari 40° dan 50° , untuk ketinggian 8 meter dengan *slope* 60° sedangkan untuk ketinggian 12 meter memiliki *slope* 70° . Geometri maksimum (12 m, *slope* 70°) untuk metode Monte-Carlo pada kondisi

dinamik memiliki nilai FK 1,477 dan PB 10,30%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,60 dan PB 5,40%. Untuk metode Latin-Hypercube pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,478 dan PB 10,30%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,614 dan PB 4,60%.

5.4.2 Section B

Untuk *section B* didapatkan rekomendasi geometri lereng perlitologi sebagai berikut:

1. Batulempung lanauan, memiliki hasil rekomendasi geometri ketinggian 6 meter dengan *slope* mulai dari 40° dan 50°, untuk ketinggian 8 meter dengan *slope* mulai dari 60° dan 70°. Geometri maksimum (8 m, slope 70°) untuk metode Monte-Carlo pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,146 dan PB 38,244%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,216 dan PB 30,269%. Untuk metode Latin-Hypercube pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,169 dan PB 37,10%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,218 dan PB 30,738%.
2. Batupasir lanauan, memiliki hasil rekomendasi geometri ketinggian 6 meter dengan *slope* mulai dari 40° dan 50°. Geometri maksimum (6 m, slope 50°) untuk metode Monte-Carlo pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,009 dan PB 44,30%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,262 dan PB 25,60%. Untuk metode Latin-Hypercube pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,090 dan PB 445,00%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,251 dan PB 27,40%.
3. Batulanau lempungan, memiliki hasil rekomendasi geometri ketinggian 5 meter dengan *slope* 40°, untuk metode Monte-Carlo pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,137 dan PB 33,90%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,344 dan PB 13,90%. Untuk metode Latin-Hypercube

pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,144 dan PB 34.40%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,352 dan PB 13,00%.

4. Batubara, memiliki hasil rekomendasi geometri ketinggian 6 meter dengan *slope* mulai dari 40° dan 50°, untuk ketinggian 8 meter dengan *slope* 60° sedangkan untuk ketinggian 12 meter memiliki *slope* 70°. Geometri maksimum (12 m, *slope* 70°) untuk metode Monte-Carlo pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,477 dan PB 10,30%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,60 dan PB 5,40%. Untuk metode Latin-Hypercube pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,478 dan PB 10,30%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,614 dan PB 4,60%.

5.5 Kestabilan Lereng Overall (Highwall)

Pada pemodelan lereng *overall* dibuat dengan variasi penurunan elevasi 10 mdpl, sedangkan variasi sudut sebesar 20°, 25°, 30°, 35°. Proses analisis menggunakan metode kesetimbangan batas dan probabilitas pada section A dan section B, dari hasil analisis didapatkan hasil rekomendasi adalah sebagai berikut:

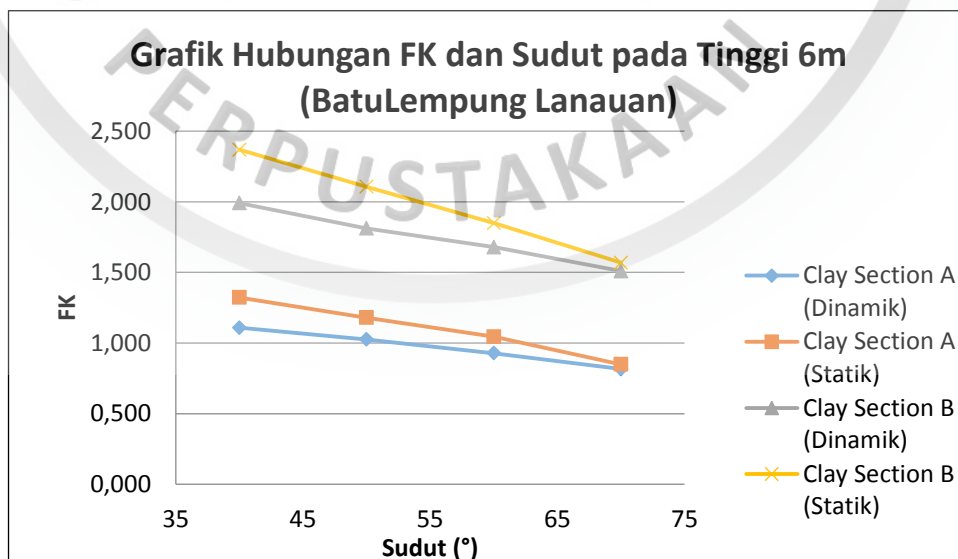
1. *Section A*, memiliki hasil rekomendasi geometri elevasi 0 mdpl dengan *slope* 20° dan 25°, dengan kedalaman 33 m, di mana pada geometri optimal (elevasi 0 mdpl, *slope* 25°) memiliki tinggi lereng 33,608 meter dengan nilai untuk metode Monte-Carlo pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,268 dan PB 7,60%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,578 dan PB 0,00%. Untuk metode Latin-Hypercube pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,271 dan PB 7,20%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,581 dan PB 0,10%.
2. *Section B*, memiliki hasil rekomendasi geometri elevasi -10 mdpl dengan *slope* 30° dan 35°, elevasi -20 mdpl dengan *slope* 25°, sedangkan untuk

elevasi -30 mdpl dengan *slope* 20°, di mana pada geometri optimal (elevasi -30 mdpl, *slope* 20°) memiliki tinggi lereng 60,551 meter dengan nilai untuk metode Monte-Carlo pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,156 dan PB 7,10%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,491 dan PB 0,00%. Untuk metode Latin-Hypercube pada kondisi dinamik memiliki nilai FK 1,157 dan PB 8,90%, sedangkan pada kondisi statik memiliki nilai FK 1,491 dan PB 0,00%.

5.6 Pengaruh Geometri Lereng Terhadap Faktor Keamanan

Dari hasil rekapitulasi analisis kestabilan lereng yang telah dilakukan, dapat dibuat grafik hubungan geometri lereng terhadap nilai FK, sebagai berikut:

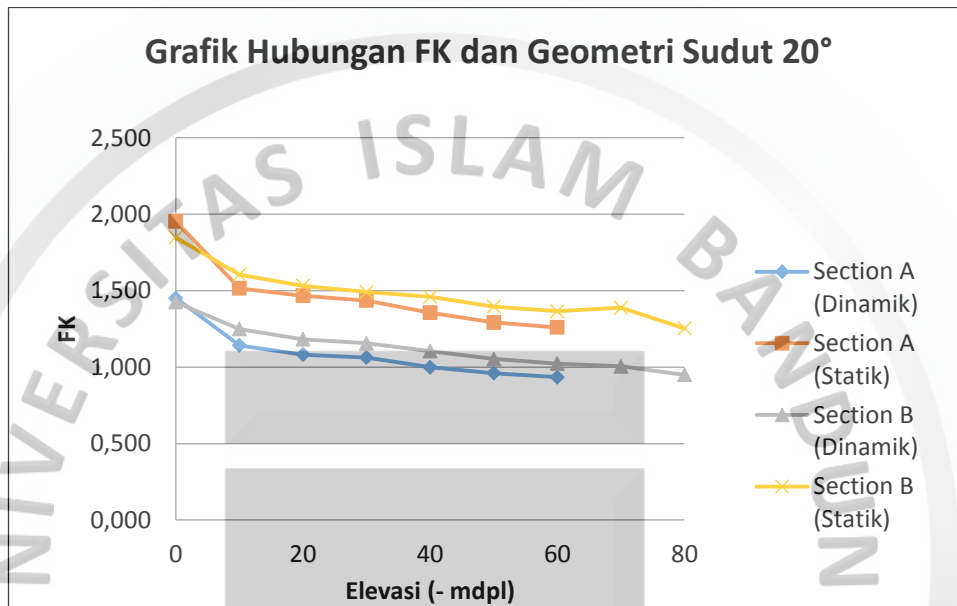
1. Lereng *Single*, di mana apabila dilihat pada **Gambar 5.2** dapat dilihat semakin tinggi sudut yang dibentuk maka nilai FK akan semakin turun, hal ini dikarenakan lereng yang terjal dapat mengakibatkan pembebanan dari batuan semakin besar, sehingga menimbulkan nilai faktor keamanan menjadi semakin kecil.



Gambar 5.2
Grafik Hubungan Geometri Terhadap FK Lereng *Single*

Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran J**

2. Lereng *overall*, di mana apabila dilihat pada **Gambar 5.3** grafik pada *overall* dilihat dari nilai FK dengan penurunan elevasinya, di mana semakin dalam penggalian yang dibentuk maka nilai FK akan semakin kecil, oleh karena itu grafik hubungan yang terbentuk menjadi turun.



Gambar 5.3
Grafik Hubungan Geometri Terhadap FK Lereng *Overall*

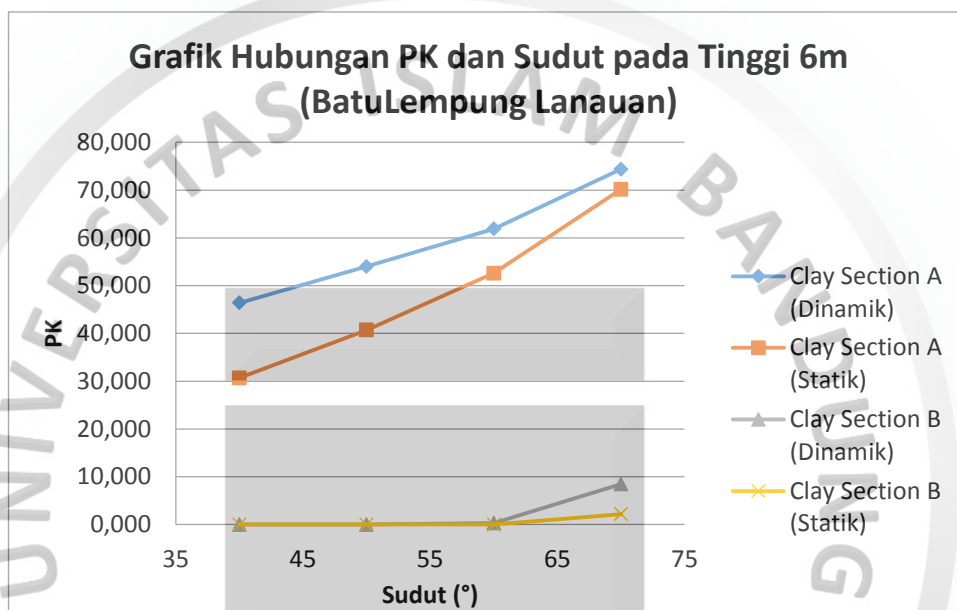
Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran J**

Dari grafik keseluruhan memiliki bentuk yang sama, di mana hal tersebut dapat dijelaskan bahwa besaran geometri sudut lereng berbanding terbalik dengan nilai faktor keamanan lereng. Akan tetapi sudut lereng tersebut dapat mempengaruhi besar volume pengupasan *overburden* yang harus dilakukan, karena semakin landai lereng maka volume pengupasan akan semakin meningkat, dan kemungkinan ongkos penggaliannya akan semakin meningkat.

5.7 Pengaruh Geometri Lereng Terhadap Probabilitas Kelongsoran

Dari hasil rekapitulasi analisis kestabilan lereng yang telah dilakukan, dapat dibuat grafik hubungan geometri lereng terhadap nilai probabilitas kelongsoran, sebagai berikut:

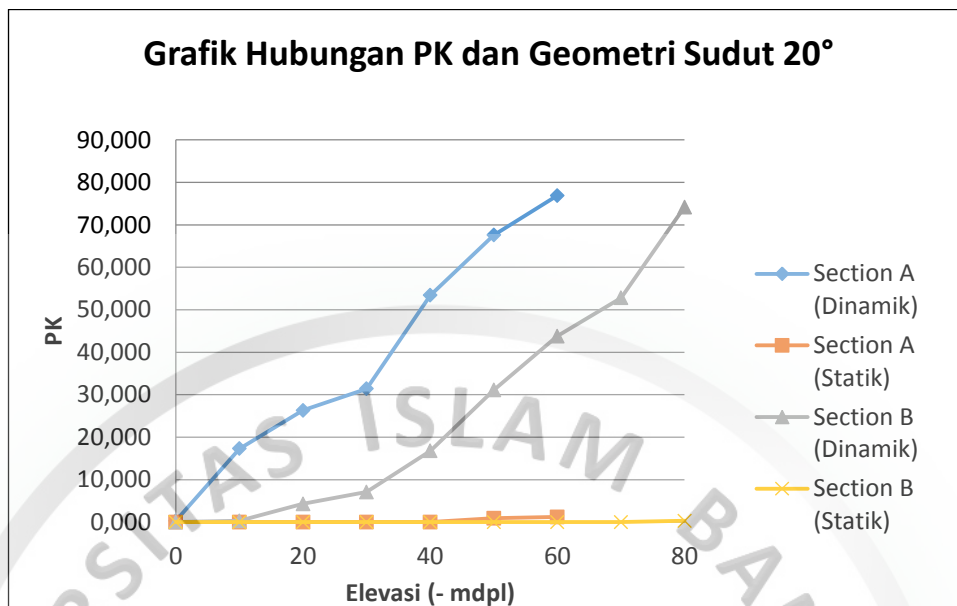
1. Lereng *Single*, di mana apabila dilihat pada **Gambar 5.4** dapat dilihat semakin tinggi sudut yang dibentuk maka nilai PK akan semakin naik, hal ini dikarenakan lereng yang terjal dapat mengakibatkan menimbulkan peluang yang lebih besar terhadap kelongsoran, sehingga lereng menjadi tidak aman dan nilai PK menjadi besar.



Gambar 5.4
Grafik Hubungan Geometri Terhadap PK Lereng *Single*

Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran K**

2. Lereng *overall*, di mana apabila dilihat pada **Gambar 5.5** grafik pada *overall* melihat hubungan PK dengan penurunan elevasinya, di mana nilai PK akan semakin besar apabila sudut lereng besar, besarnya nilai probabilitas tersebut menyatakan bahwa lereng tersebut tidak aman, hal ini disebabkan nilai PK menyatakan kemungkinan atau peluang terjadinya longsoran di lereng tersebut, sehingga apabila semakin besar nilai probabilitas kelongsorannya, maka semakin besar juga kemungkinan terjadi longsoran. Akan tetapi pada kondisi statis nilai probabilitas kelongsoran relatif sangat aman, sehingga didominasi dengan nilai 0 (nol), sehingga grafik menunjukkan garis yang datar secara horizontal.



Gambar 5.5
Grafik Hubungan Geometri Terhadap PK Lereng Overall

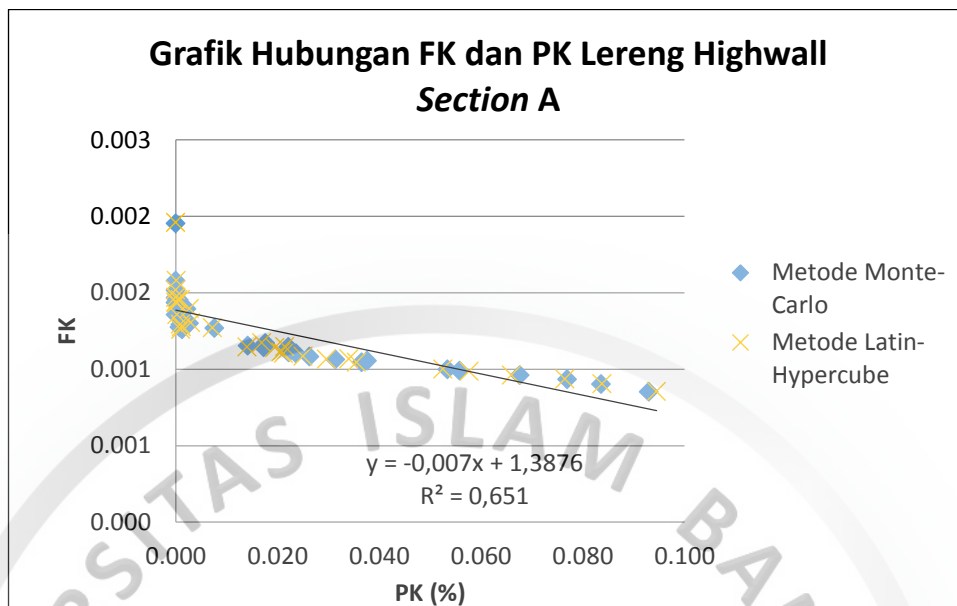
Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran K**

Dari grafik keseluruhan memiliki bentuk yang sama, di mana hal tersebut dapat dijelaskan bahwa besaran geometri sudut lereng berbanding lurus dengan nilai probabilitas kelongsoran lereng. Akan tetapi apabila dilihat dari nilai faktor keamanannya, semakin kecil nilai probabilitas maka semakin besar nilai faktor keamanannya.

5.8 Pengaruh Faktor Kemanan Terhadap Probabilitas Kelongsoran

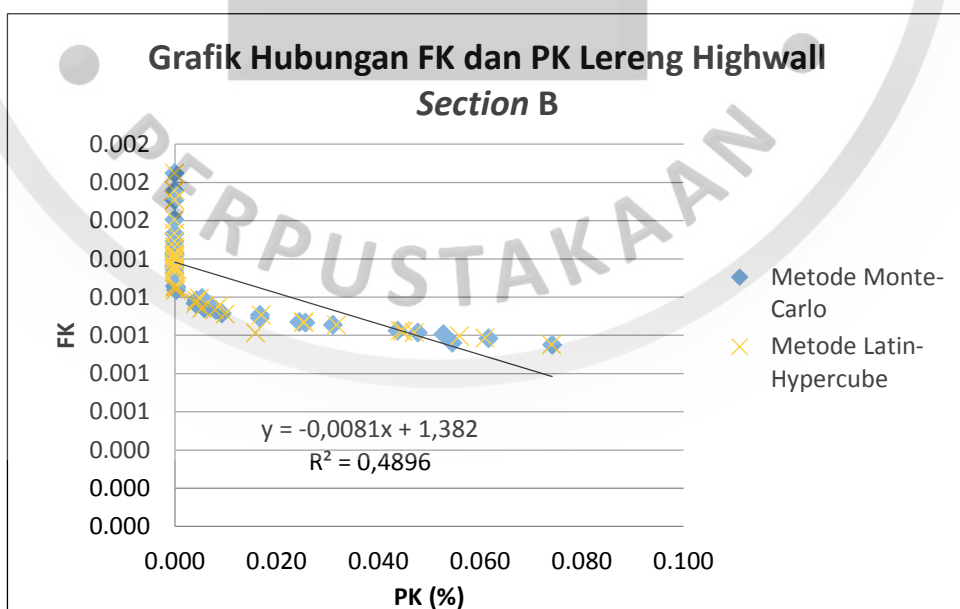
Adapun grafik hubungan antara nilai faktor kemanan dan nilai probabilitas kelongsoran pada lereng *overall highwall* dapat dilihat sebagai berikut:

1. *Section A*, dari grafik dapat terlihat bahwa seluruh data memiliki sebaran membentuk garis linier negatif, di mana semakin tinggi nilai faktor keamanan dari lereng tersebut maka persentase nilai probabilitas kelongsoran akan semakin kecil, hal ini disebabkan akibat tingginya nilai kemanan suatu lereng maka kemungkinan terjadinya longsor akan semakin kecil. Grafik ini dapat dilihat pada **Gambar 5.6**.



Gambar 5.6
Grafik Hubungan FK Terhadap PK Section A

2. *Section B*, dari grafik ini sama halnya dengan *section A* memiliki sebaran membentuk garis linier negatif, di mana semakin tinggi nilai faktor keamanan dari lereng tersebut maka persentase nilai probabilitas kelongsoran akan semakin kecil. Grafik ini dapat dilihat pada **Gambar 5.7**



Gambar 5.7
Grafik Hubungan FK Terhadap PK Section B