

SIMULASI KESAN ARAS AIR BUMI DAN MODULUS ELASTIK TANAH TERHADAP PESONGAN DAN MOMEN LENTUR BAGI CERUCUK TERGEREK BERSEBELAHAN (‘CONTIGUOUS BORE PILE’) – KAJIAN KES

**Fauziah Kasim, M.Sc
Jong Hui Kiat, B.Sc
Fakulti Kejuruteraan Awam
Universiti Teknologi Malaysia
81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia
Tel: 607-5533333 Ext 31586/81 Faks: 607-6555157**

ABSTRAK

Projek ini membincangkan penggunaan cerucuk tergerak bersebelahan sebagai struktur penahan bagi suatu kerja pengorekan tanah. Kaedah analisis dan rekabentuk tembok penahan cerucuk tergerak bersebelahan adalah mirip kepada kaedah analisis dan rekabentuk cerucuk keeping manakala teknik pembinaannya adalah sama seperti cerucuk tergerak biasa. Satu kajian parametric mengenai penggunaan cerucuk tergerak bersebelahan sebagai tembok penahan julur dijalankan. Program komputer FREW telah digunakan untuk menganalisis beberapa parameter yang berkaitan dengan rekabentuk dan prestasi tembok penahan. Aras air bumi dan modulus elastik tanah diubah bagi berbagai nilai untuk mengkaji kesan perubahan parameter-parameter tersebut terhadap pesongan dan momen lentur tembok. Keputusan menunjukkan kenaikan 1 m aras air bumi akan menyebabkan peningkatan nilai pesongan maksimum tembok dalam

lingkungan 30 % berbanding dengan nilai asal. Nilai modulus elastik tanah yang lebih rendah akan menghasilkan nilai pesongan yang lebih tinggi. Keputusan profil pesongan dari analisis program FREW adalah hampir dengan bacaan 'inclinometer' di tapak yang menunjukkan kelakuan tembok julur. Kedudukan aras air bumi juga didapati mempengaruhi nilai momen lentur sesuatu tembok penahan. Walau bagaimanapun modulus elastik tanah tidak begitu mempengaruhi nilai momen lentur dalam tembok. Manakala kajian kes prestasi di kawasan pembangunan bercampur di Mukim Sungai Buloh, Petaling Jaya, Selangor Darul Ehsan menunjukkan cerucuk tergerak 'contiguous' merupakan satu alternatif yang baik sebagai struktur penahan terutama bagi pembinaan yang melibatkan pengorekan. Kajian kes ini menunjukkan bahawa tembok tersebut masih boleh berfungsi walaupun mengalami pesongan yang hampir kepada 150 mm. Ia juga dapat menanggung momen lentur yang melebihi 1000 kNm. Taburan menunjukkan nilai momen lentur maksimum adalah berada pada bahagian lebih kurang satu pertiga di bawah paras korekan. Ini adalah merupakan sifat tembok julur seperti yang dinyatakan oleh Padfield & Mair (1983). Taburan ini adalah mirip kepada taburan momen sebuah rasuk julur yang diikat tegar pada penyokong.

1. PENGENALAN DAN LATAR BELAKANG PROJEK

Sejak beberapa dekad ini, kekurangan tanah di kawasan bandaraya atau metropolitan seperti Kuala Lumpur telah menyebabkan pembinaan tingkat bawah tanah bangunan 'basement' menjadi satu amalan yang popular dalam pembinaan bangunan baru. Kebiasaannya, tingkat bawah tanah akan digunakan sebagai tempat letak kereta dan tujuan komersil.

Pengorekan tanah di tapak yang sedalam beberapa tingkat sememangnya akan menyebabkan pergerakan tanah yang berlebihan di kawasan bersebelahan. Keadaan ini merupakan satu gangguan yang tidak dibenarkan sekiranya terdapat

bangunan di kawasan bersebelahan. Oleh itu, sistem penahan yang sesuai perlu dibina untuk menahan tanah di belakang tanah yang dikorek dan seterusnya meminimumkan pergerakan tanah di kawasan tersebut sehingga had-had yang dibenarkan.

Selain dalam aktiviti pengorekan 'basement', kerja-kerja tanah di kawasan bercerun turut memerlukan sistem penahan untuk menahan tanah di belakang kawasan yang dikorek. Keperluan ini menjadi ketara di tapak pembinaan yang terletak di kawasan bercerun yang mana kestabilan cerun yang dipotong tidak memuaskan tanpa sebarang sistem penahan.

Terdapat pelbagai jenis sistem penahan kerap digunakan untuk menahan tanah dalam kerja pengorekan. Contohnya ialah dinding gegendang (*diaphragm wall*), cerucuk keping, cerucuk tergerak secant (*secant piles*), cerucuk 'contiguous' tergerak atau cerucuk tergerak bersebelahan (*contiguous bored piles*). Jenis-jenis sistem tersebut masing-masing sesuai dengan keadaan tapak dan fungsi yang berlainan.

Cerucuk 'contiguous' tergerak (cerucuk tergerak bersebelahan) merupakan antara jenis sistem penahan yang agak popular digunakan apabila pengaliran air ke dalam kawasan yang dikorek bukan menjadi satu isu. Ini kerana cerucuk 'contiguous' tergerak dibina dengan jarak antara cerucuk lebih kurang 75 -100 mm (Fleming *et. al*, 1992). Air dan tanah berbijian halus boleh menembusi tembok penahan melalui ruang di antara dua unit cerucuk tergerak yang berterusan.

Satu lagi keistimewaan cerucuk 'contiguous' tergerak boleh berfungsi sebagai sebahagian daripada elemen struktur yang menanggung beban pugak. Dalam kata lain cerucuk 'contiguous' tergerak juga boleh berfungsi sebagai cerucuk yang memindahkan beban pugak ke tanah (Ooi & Yap, 1983). Kelebihan ini menjadi lebih bermakna atau lebih ketara apabila jenis sistem asas yang digunakan juga

merupakan cerucuk tergerak.

Melalui kajian kes mengenai penggunaan cerucuk '*contiguous*' tergerak, kita dapat melihat sejauh manakah sistem itu berkesan dalam fungsi-fungsi yang dinyatakan di atas dan aplikasi sebenar sistem tersebut dalam industri pembinaan negara kita.

2. OBJEKTIF DAN SKOP PROJEK

Objektif utama projek ini ialah mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi kelakunan cerucuk tergerak '*contiguous*' serta menilai keberkesanan penggunaan cerucuk tersebut sebagai tembok penahan bagi kerja-kerja binaan yang melibatkan pengorekan. Oleh itu, objektif spesifik projek ini ialah:

- Menentukan kesan kedudukan aras air bumi dan modulus elastik tanah kepada pesongan cerucuk tergerak '*contiguous*'.
- Menentukan kesan kedudukan aras air bumi dan modulus elastik tanah kepada momen lentur cerucuk tergerak '*contiguous*'.
- Menentukan keberkesanan cerucuk tergerak '*contiguous*' bagi satu kajian kes.

Skop kajian ini melibatkan pertimbangan umum dalam merekabentuk tembok penahan cerucuk '*contiguous*' tergerak dengan mengkaji satu kes penggunaan sistem penahan tersebut. Jenis tembok penahan cerucuk '*contiguous*' tergerak yang dipilih ialah jenis julur (*cantilever*). Kajian kes yang digunakan hanya untuk menunjukkan penggunaan cerucuk '*contiguous*' tergerak sebagai struktur penahan bagi kerja-kerja pengorekan.

Dari segi keberkesanan tembok, kriteria yang digunakan ialah pesongan tembok

dalam tempoh pembinaan dan perkhidmatannya dalam jangka masa panjang. Kriteria tersebut dipilih kerana pesongan merupakan parameter yang paling kritikal dalam menentukan keberkesanan sesebuah tembok penahan. Program komputer digunakan untuk membantu menganalisis serta membuat ramalan pesongan yang akan berlaku bagi satu kes kajian di Mukim Sungai Buloh. Perbandingan antara hasil simulasi dan data sebenar dari tapak kajian kes telah dibuat bagi menilai keberkesanan cerucuk tersebut sebagai tembok penahan.

3. SIMULASI KAJIAN KES

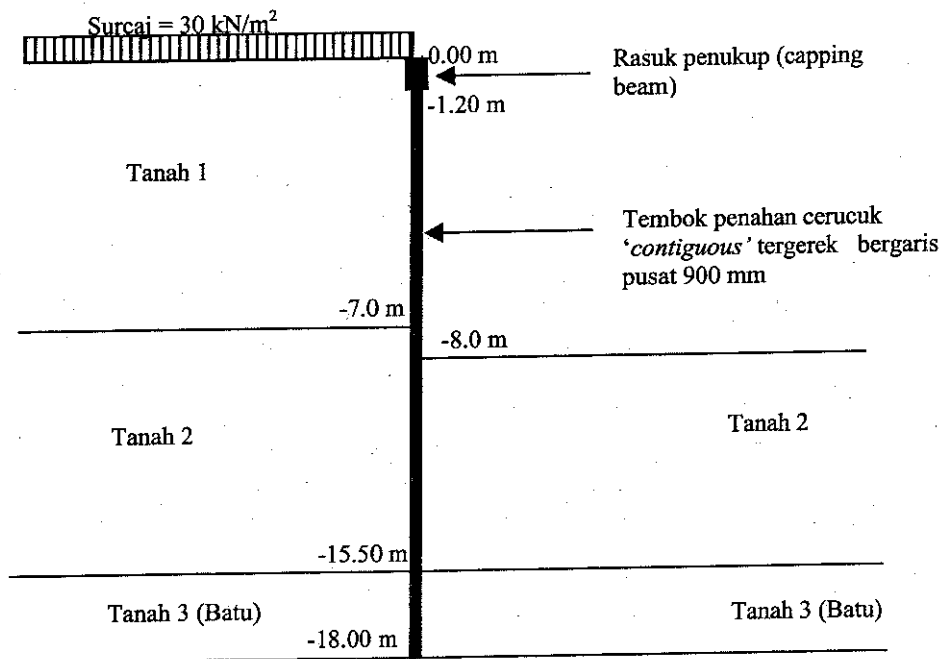
3.1 Tapak Kajian

Dalam kajian ini, dinding cerucuk '*contiguous*' tergerak yang dikaji merupakan sebahagian daripada dinding penahan di pembangunan bercampur di sebuah kawasan di Mukim Sungai Buloh, Petaling Jaya, Selangor Darul Ehsan. Pembangunan ini terdiri daripada kompleks membeli belah yang diintegrasikan dengan blok pejabat berbagai tingkat serta dua blok kondominium. Oleh kerana aras tingkat bawah pembangunan ini adalah lebih rendah daripada aras yang sedia ada sebelum pembangunan, kerja pengorekan tanah tidak dapat dielakkan.

Untuk menahan tanah pada bahagian barat, utara dan sebahagian timur tapak, satu sistem penahan yang baik perlu dibina. Keperluan sistem penahan menjadi lebih kritikal lagi kerana di luar sempadan barat tapak merupakan lebuh raya Damansara-Puchong (LDP) dan di utara merupakan Lebuh raya SPRINT. Sebarang pergerakan tanah di tapak akan memberi kesan kepada dua lebuh raya utama tersebut. PC-Geo Management Sdn Bhd, syarikat perunding geoteknik bagi projek tersebut telah mencadangkan penggunaan cerucuk '*contiguous*' tergerak sebagai sistem penahan. Kelebihannya ialah cerucuk tergerak juga digunakan sebagai sistem asas cerucuk di tapak. Hal ini memudahkan kerja kontraktor dan menjimatkan masa dan kos.

3.2 Geometri dan Data Input Simulasi

Geometri tembok dimodelkan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.1 dan parameter tanah yang berkaitan adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3.1. Selain itu, untuk modulus elastik tanah, E , yang perlu dimasukkan dalam program FREW, dua set parameter telah digunakan yang masing-masing dikenali sebagai parameter terburuk dan parameter purata.. Nilainya diperolehi daripada hubungan empirikal antara nilai N_{SPT} tanah dan modulus elastik tanah. Untuk parameter terburuk, hubungan $E = 1600 N_{SPT}$ digunakan manakala $E = 2000 N_{SPT}$ digunakan untuk parameter purata. Hubungan ini adalah yang dicadangkan oleh pihak perunding geoteknikal projek ini, PC- Geo Management Sdn Bhd berdasarkan maklumat laporan penyiasatan tapak yang telah dilakukan pada tahun 1996. Penggunaan dua set parameter ini untuk menentukan tahap pengaruh modulus elastik tanah terhadap kelakuan tembok cerucuk 'contiguous' tersebut.

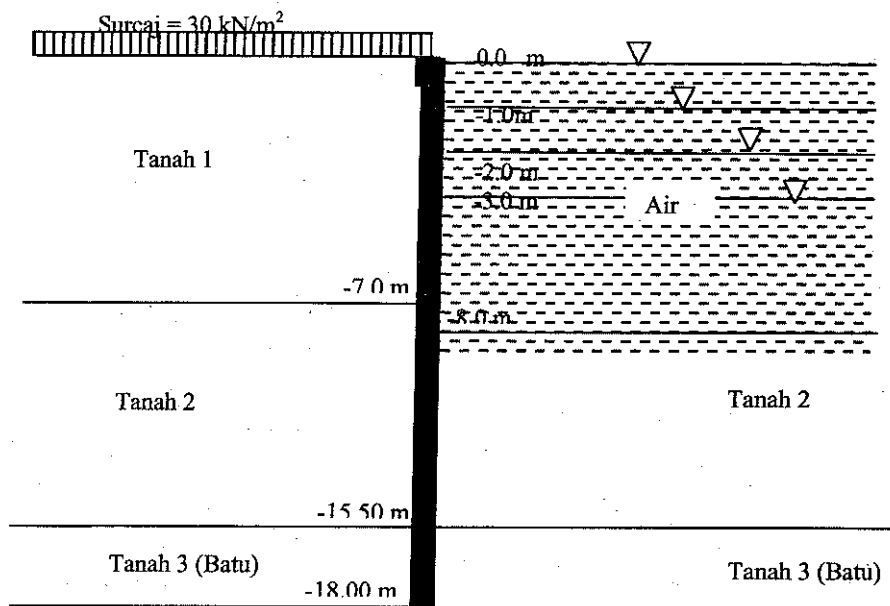


Rajah 3.1 : Geometri tembok penahan dan profil tanah bagi peringkat korekan 5.

Jadual 3.1 : Jadual menunjukkan parameter tanah untuk lapisan tanah pada tembok penahan.

Lapisan	c' (kN/m ²)	ϕ'	γ (kN/m ³)	K_0	K_a	K_p	Catatan	Nilai N
1	0	29°	17	0.50	0.29	4.50	PASIR berkeleodak	15
2	5	32°	18	0.44	0.25	5.90	PASIR berkeleodak	28
3	40	45°	22	0.30	0.17	5.88	Batu granit	80

Simulasi kajian kes ini telah dilakukan bagi lima peringkat pengorekan, iaitu, peringkat 1 (korekan sedalam 2 m), peringkat 2 (korekan sedalam 4 m), peringkat 3 (korekan sedalam 6 m), peringkat 4 (korekan bertingkat antara 7–8 m), dan peringkat 5 (korekan muktamad sedalam 8 m – Rajah 3.1).



Rajah 3.2 : Kedudukan aras air bumi yang berbeza sebagai parameter simulasi bagi mengkaji kesannya terhadap pesongan dan momen lentur bagi cerucuk 'contiguous' tersebut.

Di samping itu, paras air bumi dianggap sebagai taburan hidrostatik dengan ketinggian 0.0 m hingga -3.0 m di bawah paras tanah pada bahagian tanah yang ditahan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.2. Ini bertujuan untuk melihat kesan perubahan paras air bumi terhadap pesongan dan momen lentur.

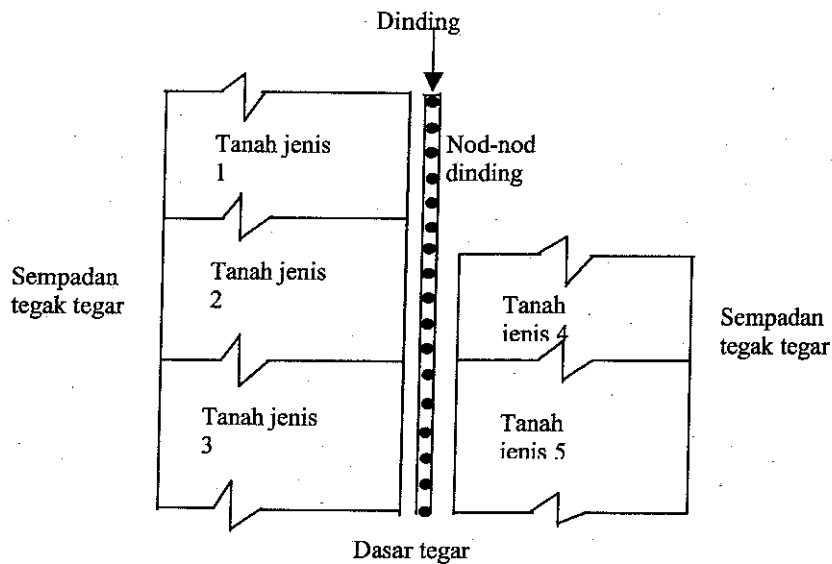
Pesongan dan momen lentur tersebut merupakan sifat yang paling kritikal dalam rekabentuk tembok penahan. Pesongan perlu dipastikan supaya tidak berlebihan semasa tempoh perkhidmatan tembok kerana pesongan yang berlebihan akan menyebabkan tegasan lentur yang berlebihan dalam tembok. Pesongan yang berlebihan juga boleh menyebabkan kegagalan dan keruntuhan tembok. Nilai momen lentur adalah penting untuk merekabentuk tetulang keluli dalam tembok penahan dan dalam kes ini tetulang dalam cerucuk '*contiguous*' tergerak. Sebagai rumusan, taburan nilai momen lentur akan menentukan kuantiti dan susunan tetulang dalam sesuatu cerucuk atau tembok penahan.

3.3 Perisian Komputer FREW

FREW (*Flexible Retaining Walls*) adalah satu program yang menganalisis struktur penahan tanah yang kenyal (*flexible*) seperti cerucuk keping, dinding gegendang dan cerucuk tergerak berterusan. Program ini membolehkan pengguna mengkaji perubahan bentuk (*deformations*) struktur dalam turutan proses pembinaan yang tertentu. Turutan ini biasanya melibatkan pembinaan dinding yang diikuti dengan satu siri aktiviti seperti memasukkan atau mengeluarkan penyokong tupang (*struts*) atau sauh tanah (*ground anchor*), perubahan atau kepelbagaian aras tanah dan tekanan air serta aplikasi tanah surcaj. Geometri dinding diwakilkan dengan sebilangan nod-nod (rujuk Rajah 3.3). Kedudukan nod-nod ini adalah diwakili oleh aras tanah.

Program ini dapat mengira daya dalam tupang atau sauh, tekanan tanah, pesongan

(*displacements*), momen lentur dan daya ricih semasa pembinaan. program ini telah dikalibrasikan dengan program-program unsur terhingga (*finite element*) yang lain seperti SAFE dari OASYS dan ICFEP dari Imperial College, London dalam kedua-dua keadaan beban khidmat dan muktamad.

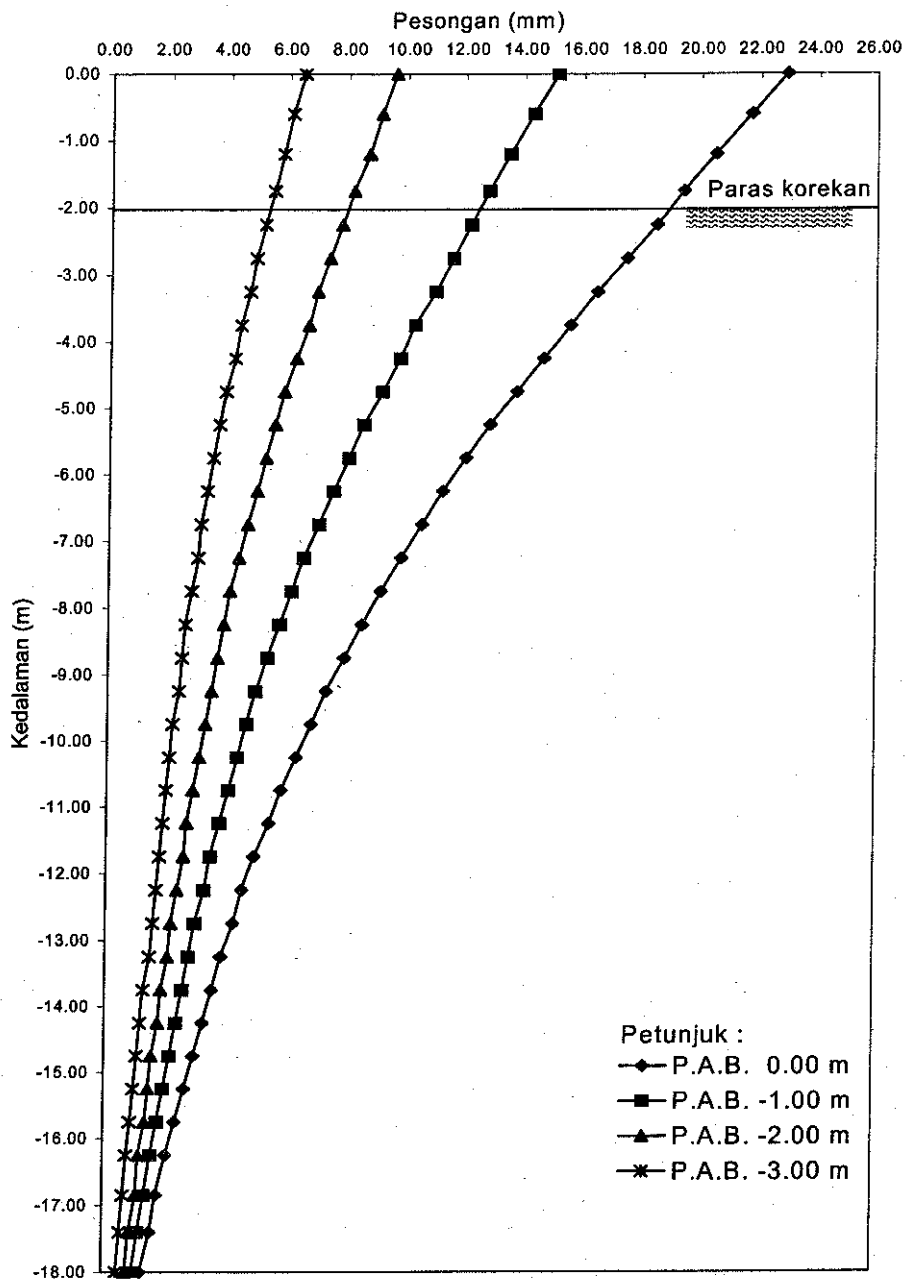


Rajah 3.3: Perwakilan berangka bagi perisisan FREW.

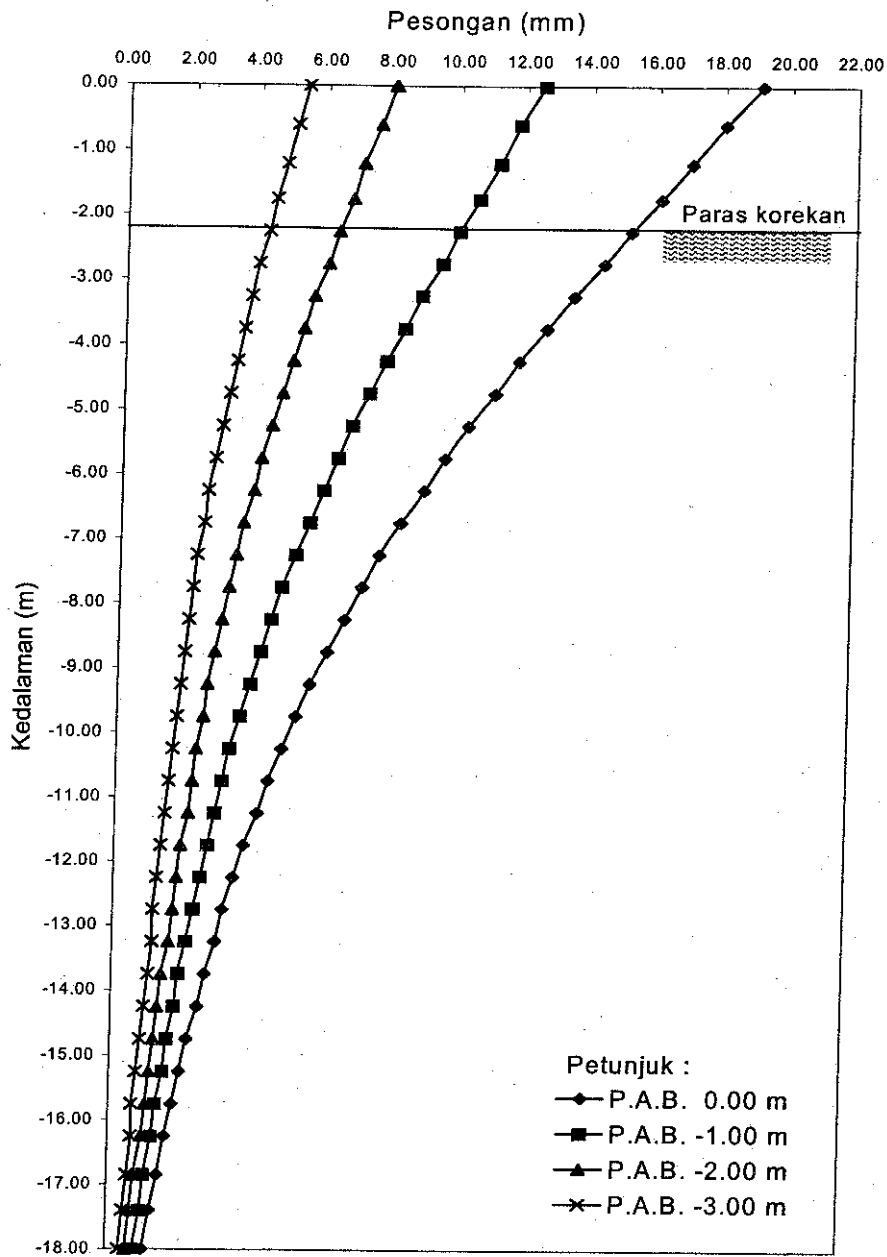
4. KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1 Kesan Aras Air Bumi dan Modulus Elastik Tanah Kepada Pesongan

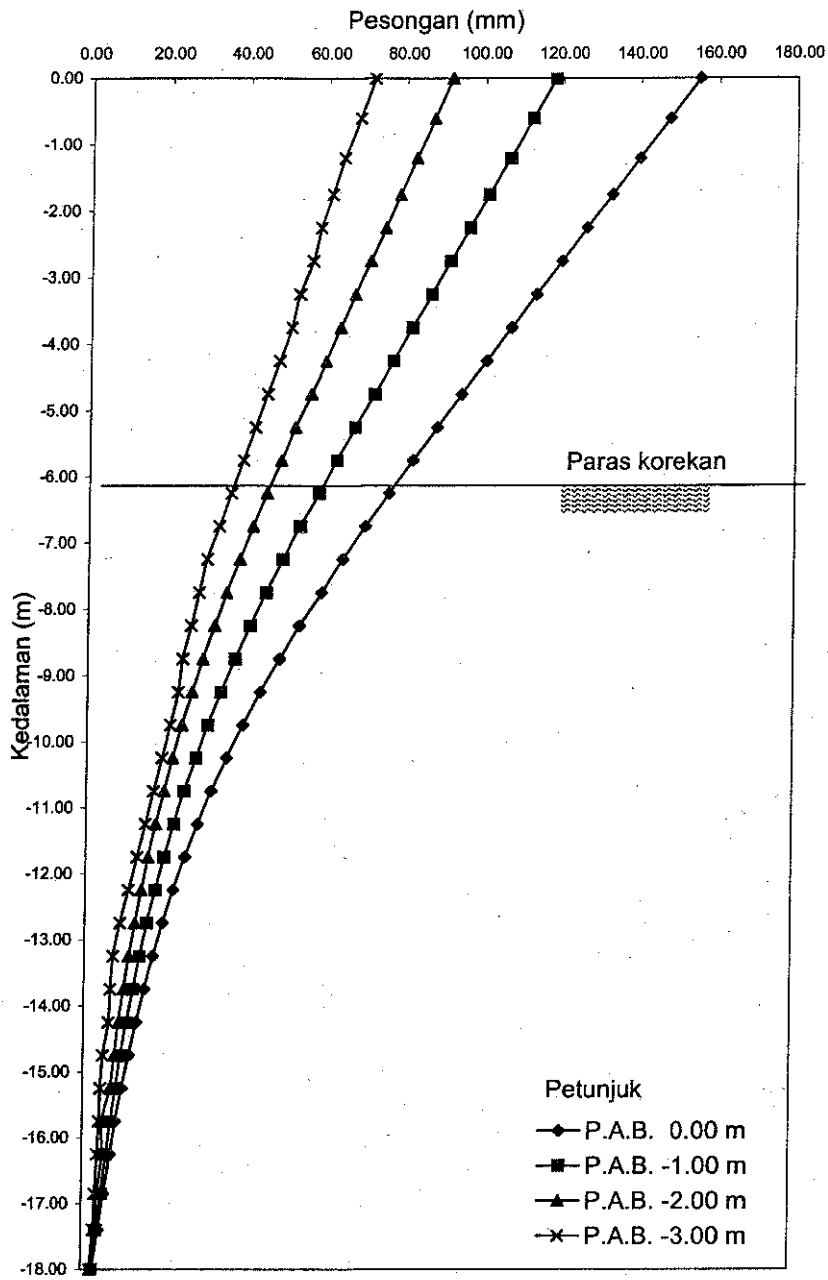
Daripada analisis FREW, dapat diperhatikan bahawa pesongan tembok dipengaruhi oleh paras air bumi pada bahagian tanah yang ditahan. Kelakuan ini jelas ditunjukkan dalam Rajah 4.1 hingga Rajah 4.6. Semakin tinggi paras air bumi, maka semakin besar pesongan tembok. Perkara ini jelas ditunjukkan di dalam Rajah 4.7.



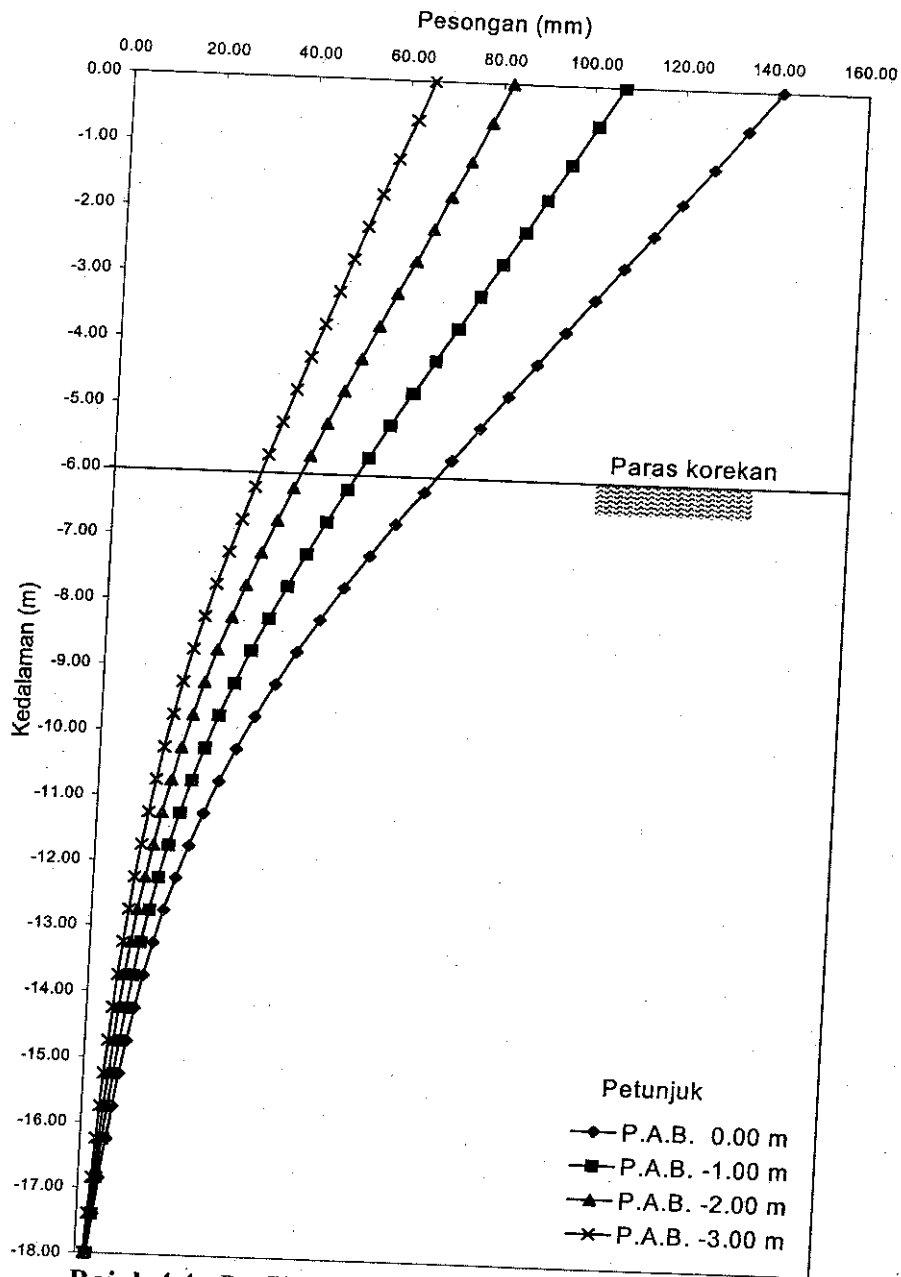
Rajah 4.1: Profil pesongan untuk peringkat pengorekan 1 ($E = 1600 N_{SPT}$) hasil simulasi perisian FREW.



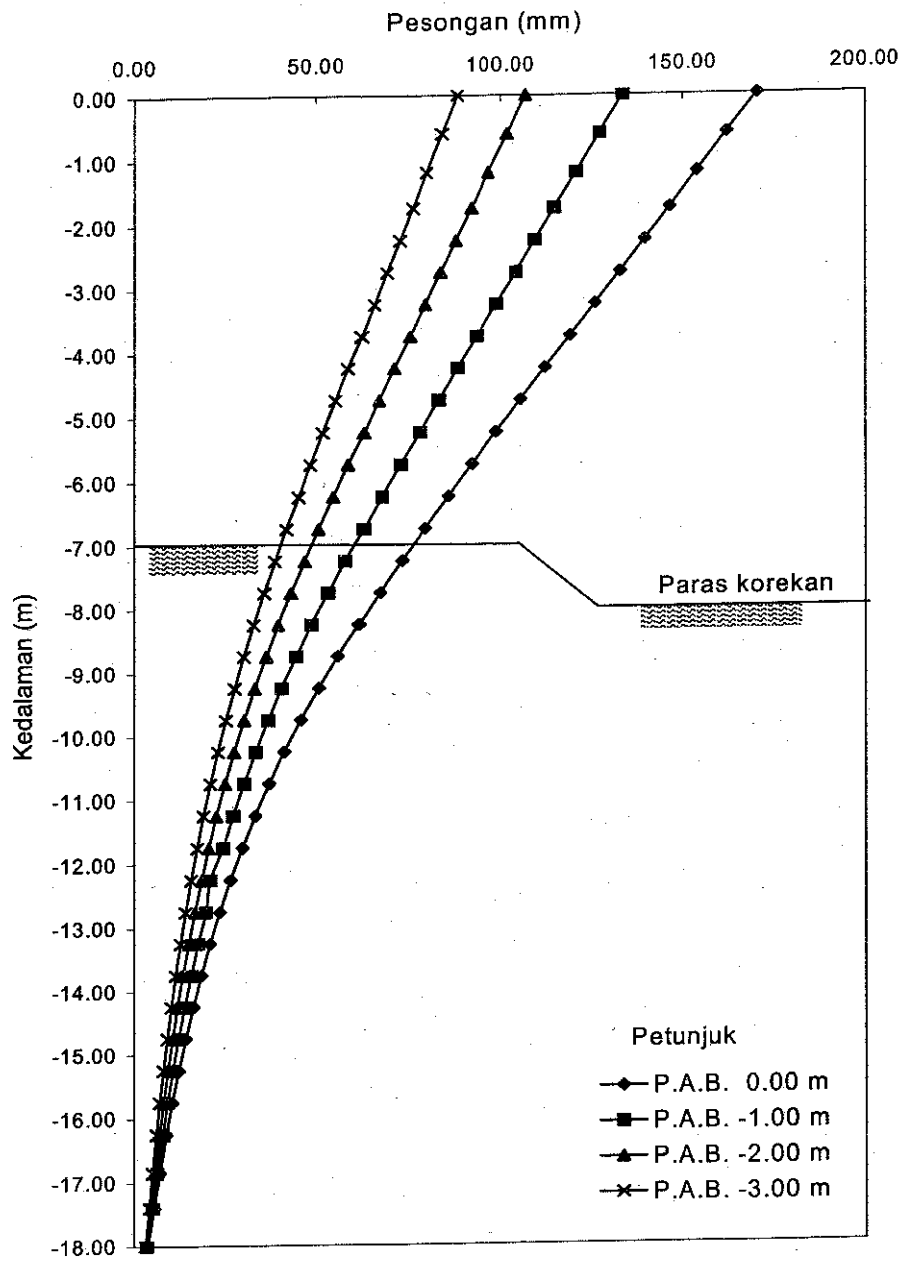
Rajah 4.2: Profil pesongan untuk peringkat pengorekan 1 ($E = 2000 N_{SPT}$) hasil simulasi perisian FREW.



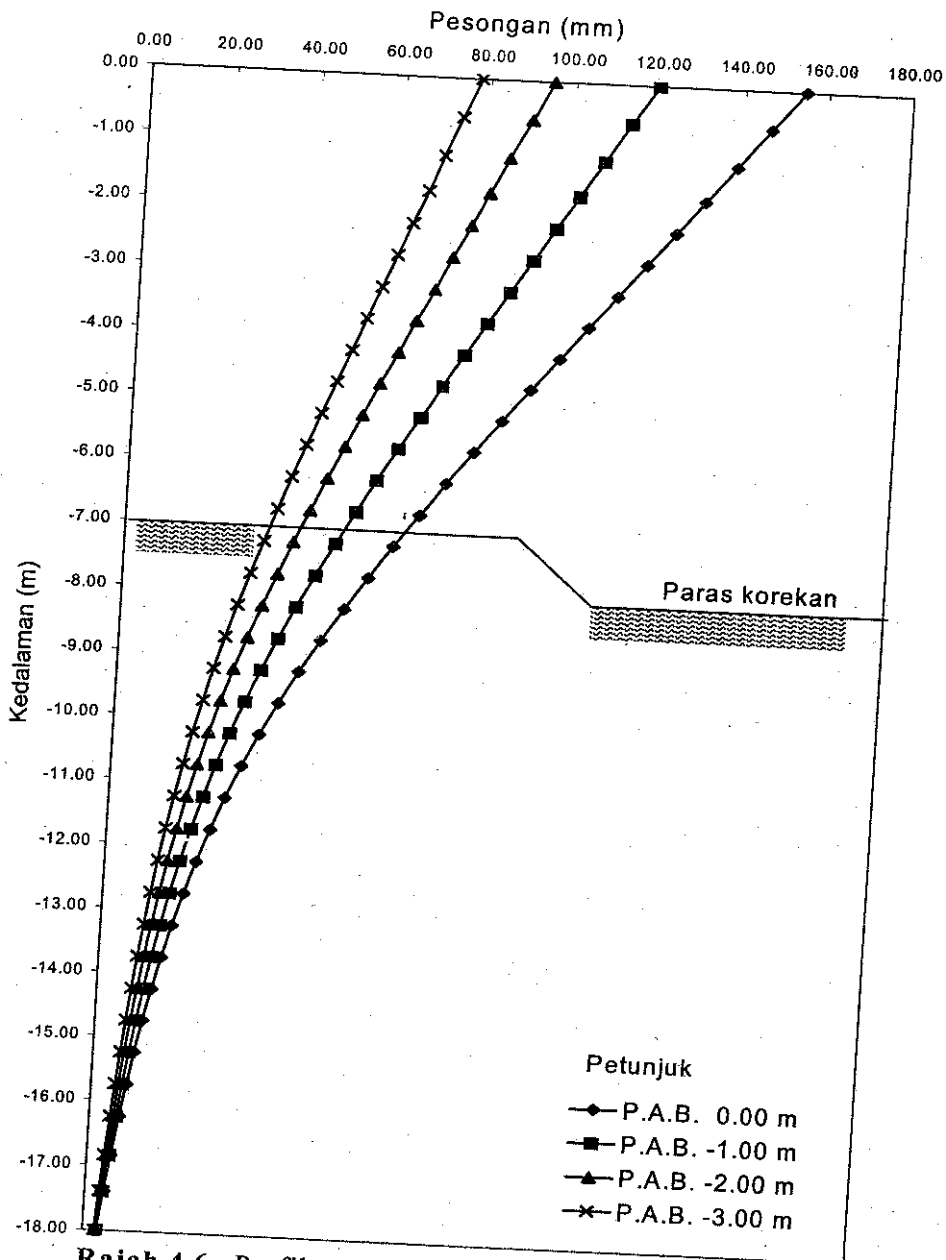
Rajah 4.3: Profil pesongan untuk peringkat pengorekan 3 ($E = 1600 N_{SPT}$) hasil simulasi perisian FREW.



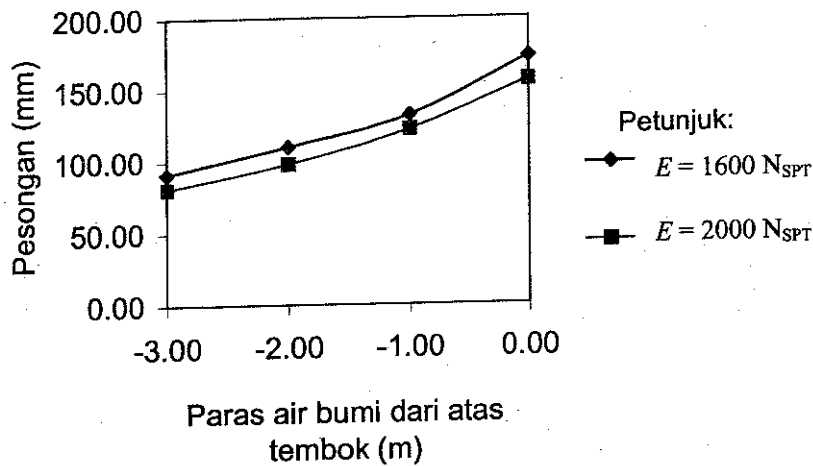
Rajah 4.4: Profil pesongan untuk peringkat pengorekan 3 ($E = 2000 N_{SPT}$) hasil simulasi perisian FREW.



Rajah 4.5: Profil pesongan untuk peringkat pengorekan 4 ($E = 16000 N_{SPT}$) hasil simulasi perisian FREW.



Rajah 4.6: Profil pesongan untuk peringkat pengorekan 4 ($E = 2000 N_{SPT}$) hasil simulasi perisian FREW.



Rajah 4.7 : Hubungan antara aras air bumi dan pesongan maksimum tembok cerucuk 'contiguous' tersebut bagi dua set modulus elastik E , iaitu parameter terburuk ($E = 1600 N_{SPT}$) dan parameter purata ($E = 2000 N_{SPT}$).

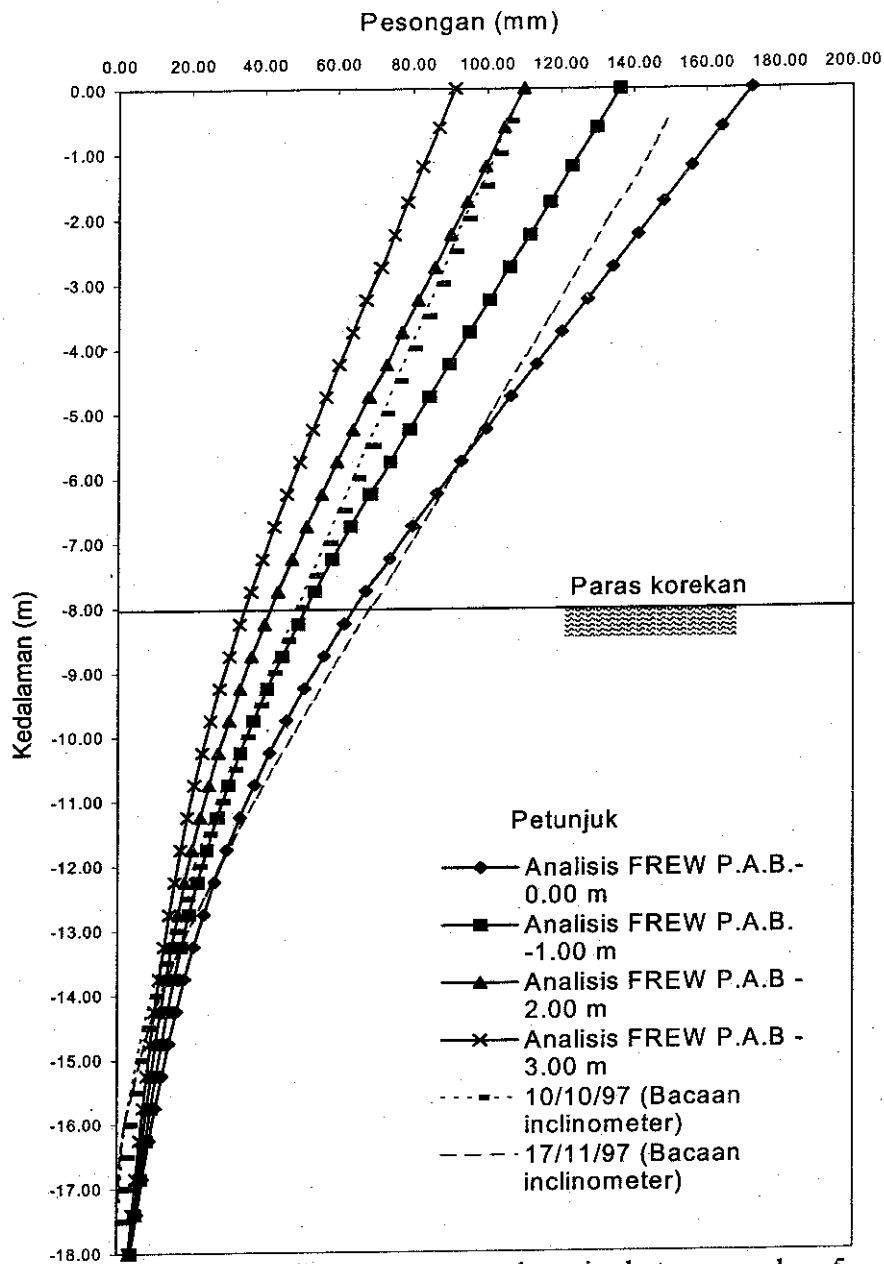
Rajah 4.7 menunjukkan bagi kenaikan 1 m aras air bumi, ia menyebabkan tembok mengalami pesongan tambahan berjumlah daripada 20 mm hingga 42.5 mm. Ini adalah bersamaan dengan 20 % hingga 30 % berbanding dengan nilai pesongan pada keadaan aras air bumi sebelumnya. Sebagai contoh, untuk parameter terburuk ($E = 1600 N_{SPT}$), kenaikan aras air bumi dari -1.00 m kepada 0.00 m akan menyebabkan pesongan bertambah dari 132 mm hingga 172.5 mm iaitu bersamaan dengan pertambahan sebanyak 31 %. Oleh itu, aras air bumi harus diberi perhatian dalam proses reka bentuk sesuatu tembok penahan supaya tidak menyebabkan pesongan yang berlebihan terhadap tembok tersebut.

Selain kedudukan aras air bumi, modulus elastik tanah, E , juga memainkan peranan dalam mempengaruhi pesongan tembok. Tanah yang lebih lemah akan

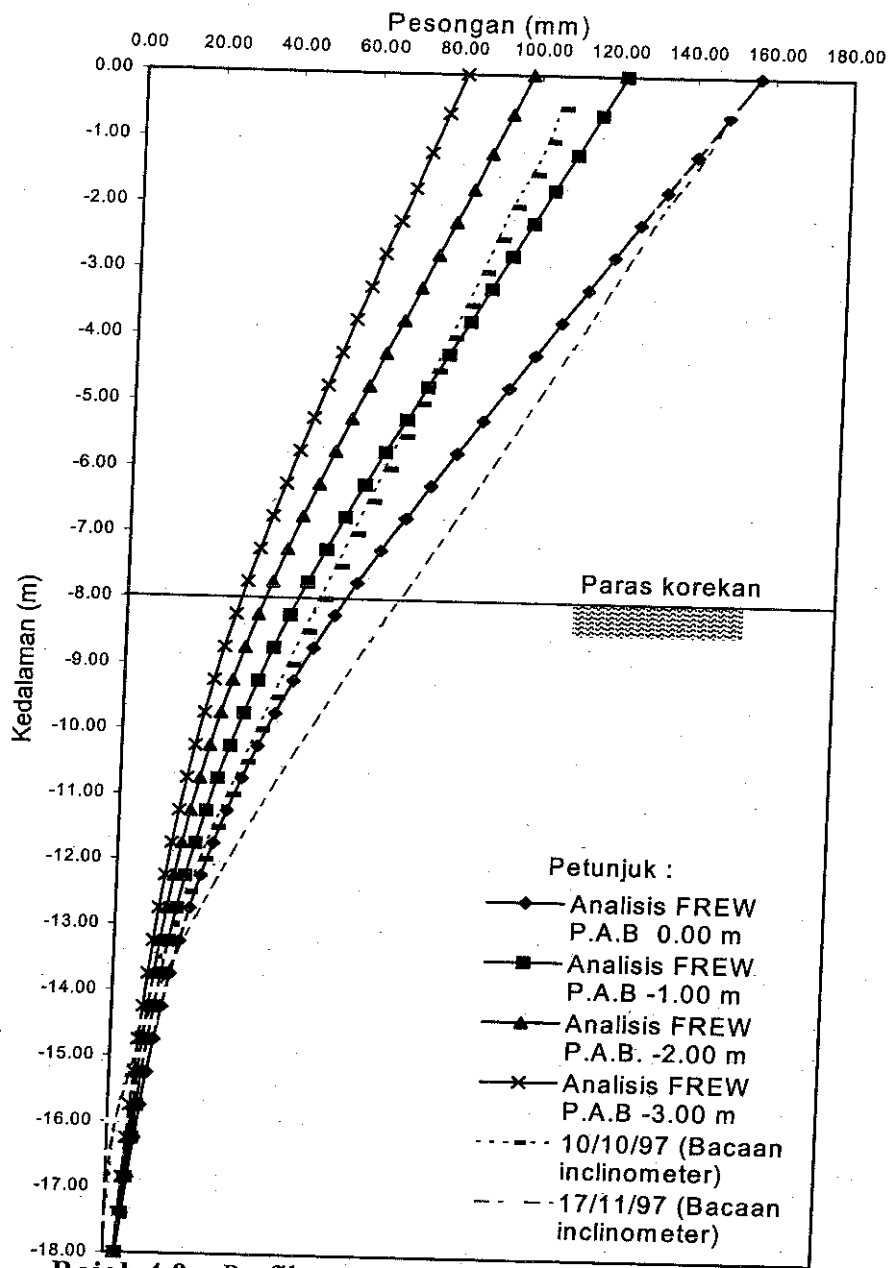
menghasilkan pesongan yang lebih besar. Walau bagaimanapun, kesannya adalah tidak sebegitu ketara berbanding dengan kesan perubahan aras air bumi terhadap pesongan sesuatu tembok penahan. Keadaan ini jelas diperhatikan dalam Rajah 4.7 dengan membandingkan magnitud pesongan yang disebabkan oleh dua set modulus elastik tanah tersebut. Perbezaan nilai pesongan tembok bagi dua nilai modulus elastik tersebut ialah lebih kurang purata 10 %-15 % sahaja.

Hasil analisis FREW seterusnya telah dibandingkan dengan data pesongan daripada bacaan 'inclinometer' di lapangan bagi kawasan tapak kajian. Bacaan-bacaan tersebut itu hanya dibandingkan dengan hasil analisis FREW bagi peringkat pengorekan 5 sahaja kerana peringkat 5 mewakili keadaan selepas proses pengorekan berperingkat selesai. Dua set bacaan bacaan dari 'inclinometer' telah dibandingkan dengan hasil analisis FREW. Set pertama diambil pada 10-10-1997, iaitu dua hari selepas pengorekan selesai. Set kedua diambil pada masa sebulan selepas itu, iaitu pada 17-11-1997.

Rajah 4.8 dan Rajah 4.9 menunjukkan bentuk pesongan tembok adalah sama seperti keputusan analisis FREW yang mana pesongan yang kecil terhasil pada bahagian bawah tembok manakala pesongan maksimum berlaku pada bahagian paling atas tembok. Pesongan berbentuk ini sememangnya merupakan sifat tembok penahan jalur (*cantilever retaining wall*). Ini adalah kerana magnitud daya yang tidak seimbang adalah paling besar pada bahagian atas tembok. Pada bahagian bawah tembok terutamanya bahagian yang terbenam dalam tanah, magnitud pesongan adalah lebih kecil kerana terdapat tanah pada kedua-dua belah bahagian yang ditahan dan bahagian yang menahan. Maka, daya yang tidak seimbang adalah lebih kecil berbanding dengan bahagian atas tembok.



Rajah 4.8: Profil pesongan untuk peringkat pengorekan 5 ($E = 1600 N_{SPT}$) hasil simulasi perisian FREW berbanding dengan bacaan 'inclinometer' di tapak.



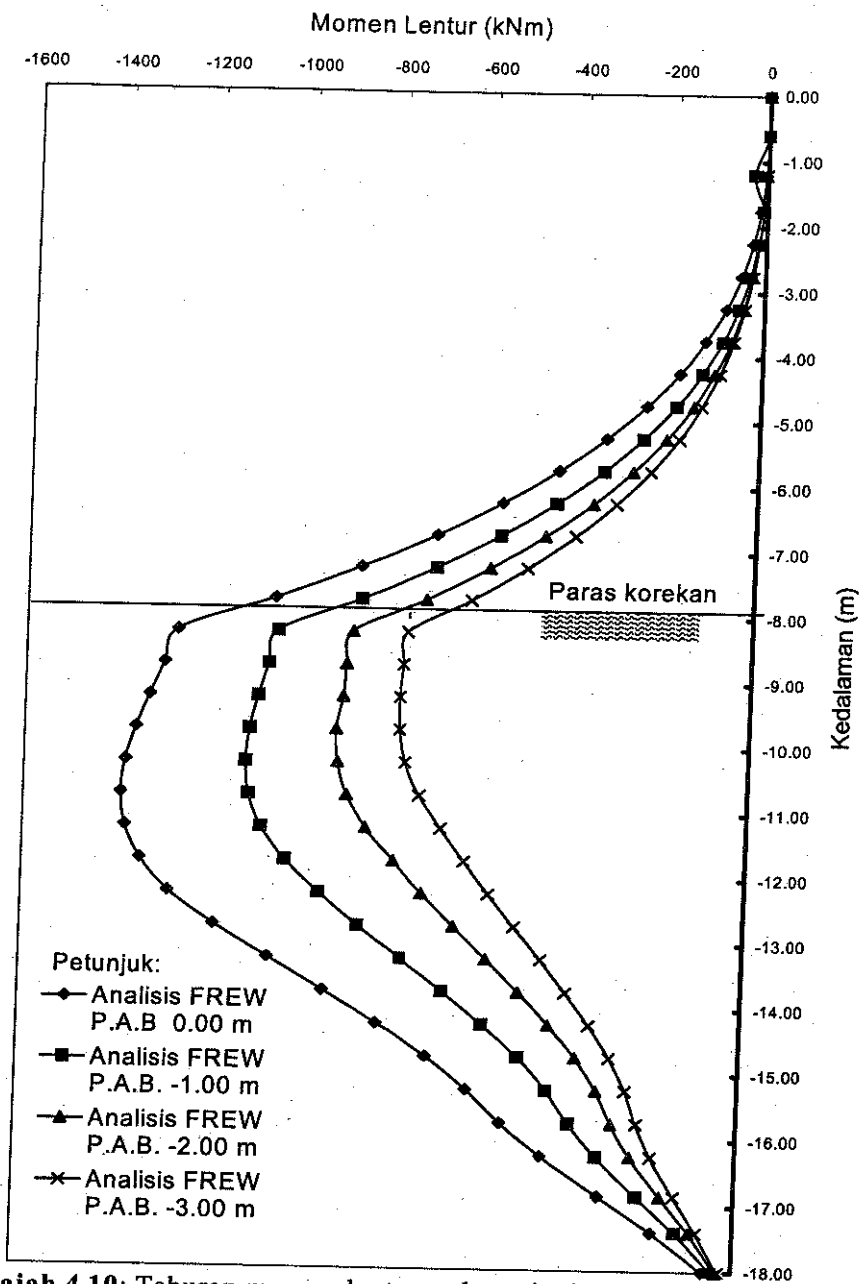
Rajah 4.9 : Profil pesongan untuk peringkat pengorekan 5 ($E = 2000 N_{SPT}$) hasil simulasi perisian FREW berbanding dengan bacaan 'inclinometer' di tapak.

Nilai pesongan maksimum, bagi parameter terburuk ($E = 16000 N_{SPT}$), bagi kedudukan aras air bumi pada 0.00 m dan -1.00 m, yang diperolehi dalam analisis FREW berbeza dengan bacaan sebenar 'inclinometer' (17-11-1997) dalam lingkungan 10-13 %. Jadual 4.1 menunjukkan nilai-nilai peratusan bezaan antara hasil analisis FREW dan bacaan 'inclinometer' di lapangan. Perbezaan hasil analisis FREW dengan bacaan 'inclinometer' pada 10-10-1997 adalah jauh lebih besar untuk julat aras air bumi yang sama. Ini kerana 10-10-1997 hanya 3 hari selepas tarikh pengorekan selesai. Oleh itu, bacaan data pada 10-10-1997 mewakili keadaan jangka masa pendek (*short term condition*). Manakala, analisis FREW untuk peringkat terakhir (peringkat 5) adalah untuk keadaan jangka panjang (*long term condition*). Dalam erti kata lain, bacaan 'inclinometer' pada 17-11-1997 boleh diguna sebagai mewakili keadaan jangka masa panjang.

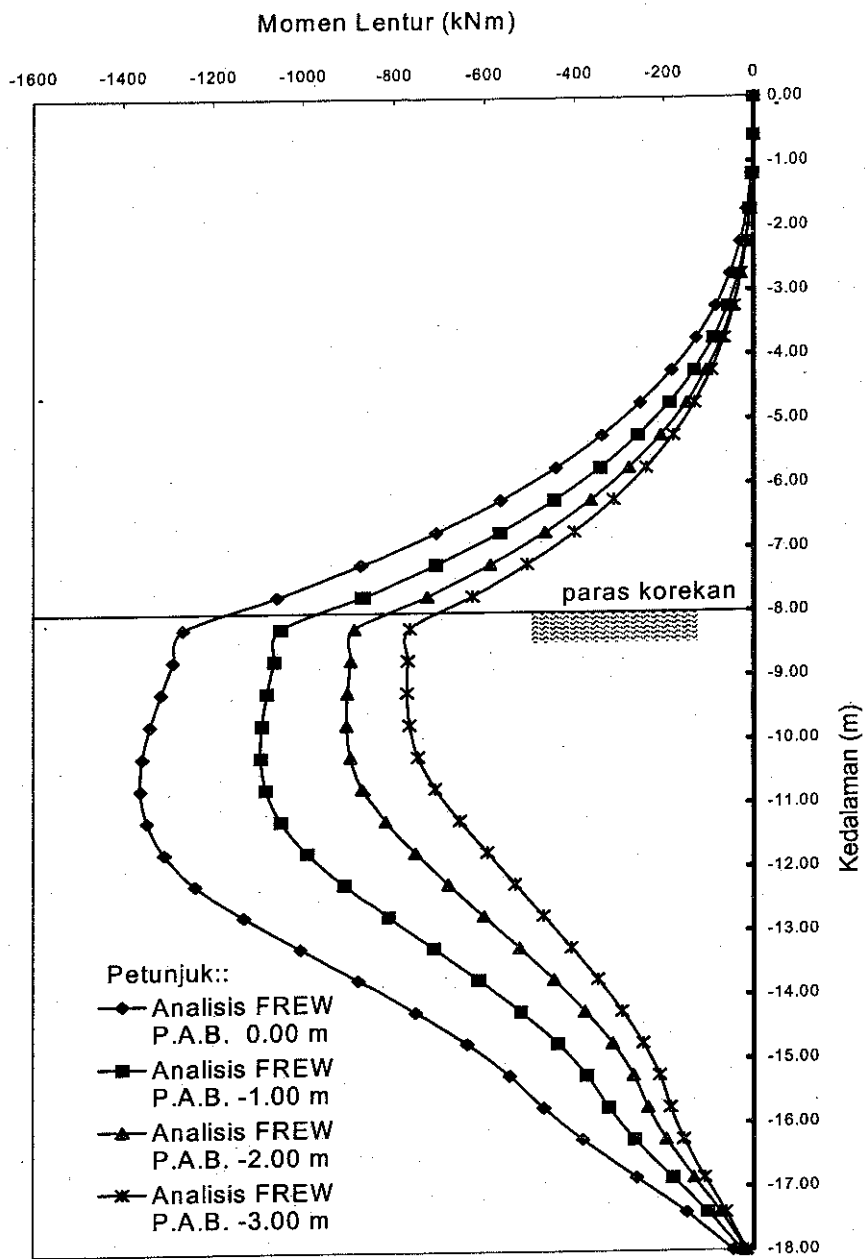
Jadual 4.1 : Jadual menunjukkan peratus perbezaan antara pesongan maksimum oleh analisis FREW dan bacaan 'inclinometer'.

Aras air bumi (m)	% perbezaan			
	Parameter terburuk		Parameter purata	
	10-10-1997	17-11-1997	10-10-1997	17-11-1997
0.00	-56.08	-10.13	-41.06	0.47
-1.00	-23.29	13.01	-10.27	22.20
-2.00	0.48	29.78	11.60	37.63
-3.00	17.40	41.72	27.00	48.49

Ralat yang besar bagi perbandingan yang ditunjukkan dalam Jadual 4.1 juga mungkin disebabkan oleh pemilihan data nilai modulus elastik tanah, E (iaitu, $E = 1600 N_{SPT}$ dan $E = 2000 N_{SPT}$) yang tidak mewakili sifat keelastikan tanah yang sebenar di tapak.



Rajah 4.10: Taburan momen lentur pada peringkat pengorekan 5 bagi modulus elastik terburuk, $E = 1600 N_{SPT}$, hasil daripada simulasi perisian FREW.

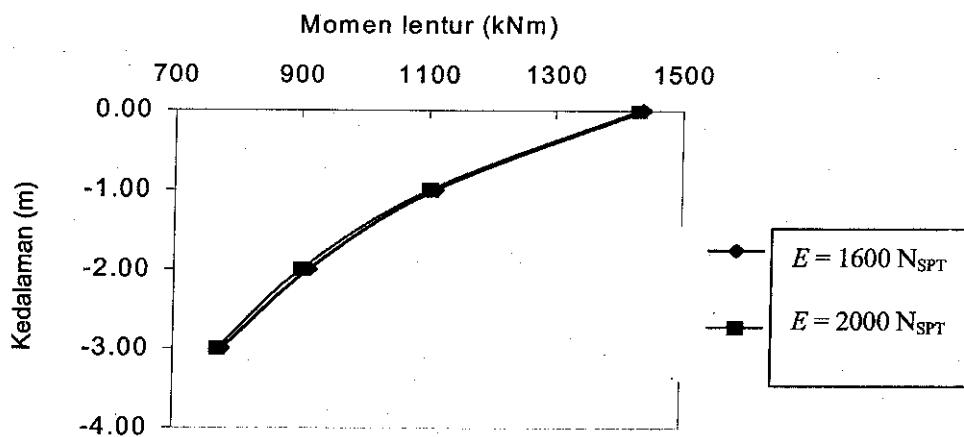


Rajah 4.11: Taburan momen lentur pada peringkat pengorekan 5 bagi modulus elastik purata, $E = 2000 N_{SPT}$, hasil daripada simulasi perisian FREW.

4.2 Kesan Aras Air Bumi dan Modulus Elastik Tanah Kepada Momen Lentur

Daripada analisis FREW, bentuk taburan momen lentur adalah seperti dalam Rajah 4.10 dan Rajah 4.11, masing-masing untuk parameter terburuk dan parameter purata. Taburan menunjukkan nilai momen lentur maksimum adalah berada pada bahagian lebih kurang satu pertiga di bawah aras korekan. Ini adalah merupakan sifat tembok julur seperti yang dinyatakan oleh Padfield & Mair (1983). Taburan ini adalah mirip kepada taburan momen sebuah rasuk julur yang diikat tegar pada penyokong. Nilai maksimum rasuk adalah pada penyokong (bahagian yang baru menusuk ke dalam tanah dalam tembok julur).

Nilai momen lentur maksimum adalah sangat dipengaruhi oleh paras air bumi. Setiap pertambahan 1 m paras air bumi akan menyebabkan pertambahan momen lentur dalam lingkungan 100 hingga 350 kNm. Ini adalah bersamaan dengan lebih kurang 15 hingga 30 % berbanding dengan nilai asal.



Rajah 4.12: Kesan perubahan modulus elastik, E , terhadap momen lentur tembok bagi berbagai kedudukan aras air bumi.

Rajah 4.12 menunjukkan kesan perubahan modulus elastik terhadap nilai momen lentur adalah sangat kecil. Ini jelas ditunjukkan oleh dua lengkung yang mewakili dua parameter modulus elastik adalah hampir bertindih di antara satu sama lain. Jelasnya, momen lentur dalam tembok adalah lebih dipengaruhi oleh aras air bumi.

4.3 Keberkesanan Cerucuk Tergerek Bersebelahan Bagi Kes Kajian Sebagai Tembok Penahan

Bagi menentukan keberkesanan cerucuk tergerak bersebelahan sebagai tembok penahan, penentuan faktor keselamatan terhadap kegagalan tembok cerucuk tersebut telah dilakukan. Tiga kaedah telah digunakan; kaedah Burland-Potts (1981) dan kaedah momen yang mana kedua-duanya merupakan formula berdasarkan keseimbangan momen, dan satu kaedah empirik iaitu berdasarkan kepada faktor penusukan.

Jadual 4.2: Perbandingan nilai faktor keselamatan tembok penahan kes kajian bagi tiga kaedah untuk berbagai kedudukan aras air bumi.

Aras air bumi (m)	Faktor keselamatan		
	Penusukan	Burland-Potts (1981)	Momen
0.00	1.169	1.010	1.028
-1.00	1.263	1.169	1.173
-2.00	1.351	1.255	1.255
-3.00	1.438	1.401	1.391

Keputusan dalam Jadual 4.2 menunjukkan tembok cerucuk tersebut menghampiri keadaan genting, iaitu $F \approx 1.0$, apabila ruang korekan dipenuhi air (iaitu aras air

bumi pada 0 m). Ini menunjukkan bahawa kenaikan aras air bumi akan menyebabkan faktor keselamatan tembok menurun. Ini adalah kerana tekanan air liang yang bertindak ke atas tembok akan menyumbang kepada daya dan momen yang besar yang boleh menumbangkan tembok. Oleh itu, kesan kedudukan aras air bumi amatlah penting dalam reka bentuk tembok penahan.

Dalam analisis perbandingan faktor keselamatan, kedua-dua kaedah Burland-Potts (1981) dan kaedah jumlah momen memberikan nilai yang hampir sama. Ini kerana kedua-dua kaedah itu adalah berdasarkan keseimbangan momen. Manakala kaedah penusukan pula merupakan satu kaedah empirik. Maka, hasilnya adalah berbeza dengan dua kaedah yang terdahulu.

5. KESIMPULAN KAJIAN

Secara amnya, objektif utama kajian ini ialah menentukan kesan aras air bumi dan modulus elastik terhadap kelakuan dan kebolekerjaan cerucuk tergerak bersebelahan sebagai tembok penahan. Secara ringkas, kesimpulan kajian ini ialah seperti berikut:

1. Aras air bumi dikenalpasti sebagai faktor yang sangat mempengaruhi kelakuan tembok penahan cerucuk '*contiguous*' tergerak. Kenaikan 1 m paras air bumi akan menyebabkan tembok mengalami pesongan tambahan sebanyak dari 20 mm hingga 42.5 mm. Ini adalah bersamaan dengan 20 % hingga 30 % berbanding nilai asal. Nilai momen lentur maksimum juga dipengaruhi oleh aras air bumi. Setiap pertambahan 1 m paras air bumi akan menyebabkan pertambahan momen lentur dalam lingkungan 100 hingga 350 kNm. Ini adalah bersamaan dengan lebih kurang 15 hingga 30 % berbanding dengan nilai asal.
2. Modulus elastik tanah juga dikenal pasti sebagai parameter yang mempengaruhi kelakuan tembok. Tanah yang tidak kukuh akan

menyebabkan tanah mengalami pesongan dan momen lentur yang lebih tinggi. Walau bagaimanapun, kesannya tidak sebesar pengaruh kedudukan aras air bumi. Bezaan nilai momen lentur bagi berbagai nilai modulus elastik telah didapati sangat kecil berbanding dengan bezaan nilai momen lentur bagi berbagai keadaan kedudukan aras air bumi.

3. Penggunaan cerucuk tergekek bersebelahan adalah satu alternatif yang baik dan berkesan sebagai sistem penahan. Kajian kes ini menunjukkan bahawa tembok tersebut masih boleh berfungsi walaupun mengalami pesongan hampir kepada 150 mm. Ia juga dapat menanggung momen lentur yang melebihi 1000 kNm.

RUJUKAN

- Burland, J. B. , Potts, D. M. & Walsh, N. M. (1981), "The Overall Stability of Free and Propped Embedded Cantilever Retaining Walls", Ground Engineering Vol 14, 1981, Essex, Foundation Publications Ltd, ms 28-37.
- Burland, J. B. , Potts, D. M. (1983), " A Parametric Study of Free And Embedded Cantilever Retaining Walls", Supplementary Report 813, Transport and Road Research Laboratory, London.
- Das, B. M. (1999), "Principles of Foundation Engineering", 4th Edition. Pacific Grove, U.S.A. Brooks/ Cole Publishing Company, 862 ms.
- Fleming, W. G. K, Weltman, A. J., Randolph, M. F. and Elson, W. K. (1992), "Piling Engineering" 2nd Edition. London, U.K. Blackie Academic & Professional, 390 ms.
- Ooi, H. B. & Yap, L. P. (1983). "Soil Retaining Structures-Design & Construction Practice In Malaysia". Confrence On Key Issues In Foundation Enginnering.
- Padfield, C. J. & Mair, R. J. (1983), " Design of Retaining Walls Embedded In Stiff Clay", Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) Report 104.
- Tomlinson, M. J. (1986). "Foundation Design and Constuction" 5th Edition. Essex,U.K. Longman Group.