

**SULIT**

---



Second Semester Examination  
2017/2018 Academic Session

May/June 2018

**EAG443 – Rock Engineering and Tunnelling Technology  
(Kejuruteraan Batuan dan Teknologi Terowongan)**

Duration : 2 hours  
(Masa : 2 jam)

---

Please check that this examination paper consists of **FOURTEEN (14)** pages of printed material including appendix before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **EMPAT BELAS (14)** muka surat yang bercetak termasuk lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

**Instructions** : This paper contains **FIVE (5)** questions. Answer **FOUR (4)** questions.

**Arahan** : Kertas ini mengandungi **LIMA (5)** soalan. Jawab **EMPAT (4)** soalan.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunapakai.]*

...2/-

**SULIT**

1. (a). A circular tunnel with 6.2 m diameter will be excavated using tunnel boring machine at the proposed East Coast Rail Link (ECRL) tunnel under the overburden depth of 1050 m. Based on the detailed site investigation carried out, the uniaxial compressive strength of the rock mass is 120 MPa and the tensile strength is 10.5 MPa. The unit weight of the granitic rock is 26.5 kN/m<sup>3</sup> and the in-situ stress state ratio,  $K_0$  is 0.37.

*Terowong berbentuk bulat dengan diameter 6.2 m akan dikorek dengan menggunakan mesin korek terowong di terowong Rangkaian Keretapi Pantai Timur yang dicadangkan dibawah kedalaman tanggungan atas, 1050 m. Berdasarkan kepada penyiasatan tapak yang terperinci, kekuatan mampatan ekapaksi batuan, 120 MPa dan kekuatan tegangan, 10.5 MPa. Berat unit batuan granit, 26.5 kN/m<sup>3</sup> dan nisbah keadaan tegasan in situ,  $K_0 = 0.37$*

- (i). Determine the tangential stress, at the tunnel crown and sidewalls using the Kirsch's equation.

*Tentukan tegasan mentangen pada puncak dan dinding tepi terowong dengan menggunakan persamaan Kirsch.*

[8 marks/markah]

- (ii). Based on the criteria given in **Table 1**, evaluate whether there is any possibility of rock overstressing to occur at the excavated tunnel section.

*Berdasarkan kepada kriteria yang diberikan di **Jadual 1**, nilaikan samaada wujud kemungkinan berlakunya redakan batuan pada keratan terowong yang dikorek.*

**Table 1/Jadual1**

Rock stress phenomenon / <i>Fenomena tegasan batuan</i>	$\sigma_c/\sigma_1$
Low stress near surface / <i>Tegasan rendah dekat permukaan</i>	>200
Medium stress / <i>Tegasan sederhana</i>	200-10
High stress / <i>Tegasan tinggi</i>	10-5
Mild rockburst / <i>Redakan batuan ringan</i>	5-2.5
Heavy rockburst / <i>Redakan batuan berat</i>	<2.5

[6 marks/markah]

- (b). The initial part of the East Coast Rail Link Tunnel Project (ECRL) is being excavated in a blocky rock mass using the New Austrian Tunnelling Method (NATM). From the geological mapping carried out to the tunnel face after excavation, an excavation disturbed zone (EDZ) which has loosened to the expected depth of approximately 0.75 m and can fall into the tunnel under the gravity is identified.

*Bahagian permulaan Projek Terowong Rangkaian Keretapi Pantai Timur (ECRL) sedang dikorek di dalam batuan berbongkah menggunakan Kaedah Penerowongan Baru Austrian (NATM). Daripada pemetaan geologi yang dijalankan pada muka terowong selepas pengorekan, zon pengorekan terganggu (EDZ) yang telah renggang kepada kedalaman anggaran 0.75 m dan boleh terjatuh ke dalam terowong dibawah pengaruh graviti telah dikenalpasti.*

- (i). Determine the support pressure required at the tunnel crown to stabilize the loose block in the EDZ. Given the unit weight of the rock,  $\gamma$ , 26.5 kN/m<sup>3</sup>.

*Tentukan tekanan sokongan diperlukan pada puncak terowong untuk menstabilkan bongkah yang renggang pada EDZ. Diberikan berat tentu batu,  $\gamma$ , 26.5 kN/m<sup>3</sup>.*

[5 marks/markah]

- (ii). If the loose EDZ need to be stabilized using rockbolts as a supporting method for the tunnel roof, calculate the area of the roof which each of the bolt will support. Given the working capacity of the each bolt,  $T$ , 165 kN.

*Jika EDZ yang renggang perlu distabilkan menggunakan bolt batuan sebagai kaedah sokongan untuk bumbung terowong, kirakan luas permukaan bumbung yang akan disokong oleh setiap bolt. Diberi, kapasiti kerja bagi setiap bolt,  $T$ , 165 kN.*

[6 marks/markah]

2. (a). A tunnel face mapping for a NATM tunnel section obtained from the East Coast Rail Link Tunnel Project (ECRL) is given in **Figure 1**. The overburden depth of the tunnel is less than 50 m with the ratio of horizontal to vertical stress is nearly 1. From the geological description obtained through the tunnel face mapping, the rock mass is strong, fine to very fine grained slightly weathered to fresh granite with 2 dominant and 1 random joint sets. The groundwater condition is characterized by low water seepage from the tunnel crown with less than 1.2 l/m. As a tunnel geologist working for this project,

*Pemetaan permukaan terowong bagi seksyen terowong NATM yang diperolehi daripada projek Terowong Rangkaian Keretapi Pantai Timur (ECRL) diberikan di **Rajah 1**. Kedalaman tanggungan atas terowong tersebut adalah kurang daripada 50 m dengan nisbah tegasan mendatar kepada menegak menghampiri 1. Daripada deskripsi geologi yang diperolehi melalui pemetaan permukaan terowong, batuan tersebut adalah kuat, granit segar kepada sedikit terluluhawa berbutir halus kepada sangat halus dengan 2 set kekar dominan dan 1 set kekar rawak. Keadaan airbumi diperincikan dengan resapan air yang rendah daripada puncak terowong dengan kurang daripada 1.2 l/m. Sebagai jurutera terowong yang bekerja untuk projek tersebut,*

- (i). Propose a suitable rock mass classification system that can be used to quantitatively assess the rock mass condition surrounding the tunnel excavation and justify your selection.

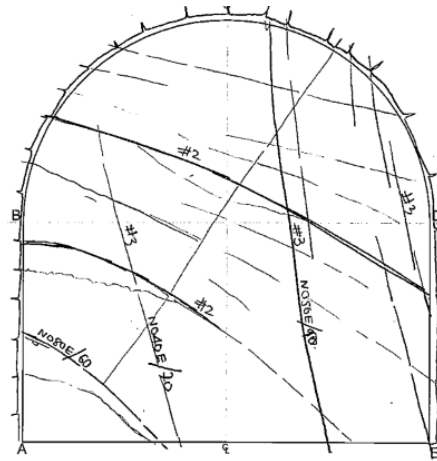
*Cadangkan sistem pengelasan batuan yang sesuai dan dapat digunakan untuk menilai secara kuantitatif keadaan batuan sekeliling penggalian terowong dan nyatakan kewajaran pemilihan yang dibuat.*

[4 marks/markah]

- (ii). Based on the rock mass classification system selected in (i), describe each of the parameters involved in the classification system.

*Berdasarkan kepada sistem pengelasan batuan yang dipilih di (i), terangkan setiap parameter yang terlibat di dalam sistem pengelasan tersebut.*

[8 marks/markah]



**Figure 1 / Rajah 1**

- (b). A tunnel face from the East Coast Rail Link Tunnel Project (ECRL) is rated using the Q Classification System. From the information on the tunnel face mapping obtained, RQD is 68%; the joint set number is 4; joint roughness number is 4; joint alteration number is 2; and joint water reduction is 1 and the stress reduction factor is 2.5.

*Permukaan terowong untuk Projek Terowong Rangkaian Keretapi Pantai Timur (ECRL) ditaraf menggunakan Sistem Pengkelasan Q. Daripada maklumat pemetaan permukaan terowong yang diperolehi, RQD, 68%; nombor set kekar, 4; nombor kekasaran kekar, 4; nombor perubahan kekar, 2; pengurangan air kekar, 1 dan faktor pengurangan tegasan, 2.5.*

- (i). Write the equation for the Q Classification System and explain the meaning of each quotient from the equation.

*Tulis persamaan bagi sistem pengkelasan Q dan jelaskan maksud setiap hasil bahagi daripada persamaan tersebut.*

[9 marks/markah]

- (ii). Determine the Q value from the information of the tunnel face mapping obtained.

*Tentukan nilai Q daripada maklumat pemetaan permukaan terowong yang diperolehi.*

[4 marks/markah]

3. (a) Planes of discontinuity determine the strength, deformability, hydraulic properties and the general behaviour of the rock masses. The discontinuities make the rock mass anisotropic, which makes it very difficult to evaluate the mechanical and hydraulic behaviour of the rock mass in the context of engineering works. Explain **TWO (2)** main characteristics and geometric parameters of the rock mass and how these parameters will affect the engineering project or structure involving rock mass.

*Satah ketakselajaran menentukan kekuatan, ketercacatbentukan, sifat-sifat hidraulik dan kelakuan umum batuan. Ketakselajaran ini menjadikan batuan tak isotropi, dan menyebabkan sukar untuk menilai kelakuan mekanik dan hidraulik batuan di dalam konteks kerja-kerja kejuruteraan. Jelaskan **DUA (2)** ciri utama dan parameter geometri batuan dan bagaimana parameter tersebut akan memberi kesan kepada projek atau struktur kejuruteraan melibatkan batuan.*

[4 marks/markah]

- (b) A dam foundation for Hulu Terengganu Hydropower Project needs to be improved through curtain grouting to reduce the possibility of unnecessary seepage during the dam operation. From the Lugeon Test carried out between two primary grout holes at 5 meter distance subjected to 5 m head difference, it has been identified that the bedrock has an isotropic Lugeon value of 5 Lu. Based on the information given, calculate the time taken for the water to move between the two holes.

...8/-

*Asas empangan untuk Projek Hidrokuasa Hulu Terengganu perlu diperbaiki melalui penurapan tabir bagi mengurangkan kemungkinan resapan takperlu semasa operasi empangan tersebut. Daripada Ujian Lugeon yang dijalankan diantara 2 lubang tabir primer pada jarak 5 m dibawah perbezaan turus 5 m, didapati yang batuan tersebut mempunyai nilai Lugeon isotropik, 5 Lu. Berdasarkan kepada maklumat yang diberikan, kirakan masa yang diperlukan bagi air untuk bergerak di antara 2 lubang tersebut.*

[6 marks/markah]

- (c) A cross-section through a rock slope is shown in **Figure 2**. The rock is impermeable with a unit weight of  $25 \text{ kN/m}^3$  and the fractures AC and DE have an aperture of 1 mm. To reduce the pore water pressure in fractures AC and DE, a drainage gallery at E was constructed where the pore pressure at that point was reduced to atmospheric pressure. Assuming conditions of heavy rainfall, evaluate the effectiveness of the drainage gallery at E by determining the pore pressure at B. Given, atmospheric pressure, 0 MPa, kinematic viscosity of water,  $\nu$ ,  $1.0035 \times 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$  and unit weight of water,  $\gamma_w$   $9.81 \text{ kN/m}^3$ .

*Keratan rentas cerun batuan ditunjukkan dalam **Rajah 2**. Batuan tersebut adalah tidak telap dengan berat unit  $25 \text{ kN/m}^3$  dan rekahan AC dan DE mempunyai bukaan 1 mm. Untuk mengurangkan tekanan air liang pada rekahan AC dan DE, sebuah galeri saliran dibina dimana tekanan liang pada titik tersebut dikurangkan kepada tekanan atmosfera. Dengan mengandaikan keadaan hujan lebat, nilaikan keberkesanan galeri saliran yang dibina di E dengan menentukan tekanan liang pada titik B. Diberi tekanan atmosfera, 0 MPa, kelikatan kinematik air  $\nu$ ,  $1.0035 \times 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$  dan berat unit air  $\gamma_w$ ,  $9.81 \text{ kN/m}^3$ .*

[15 marks/markah]



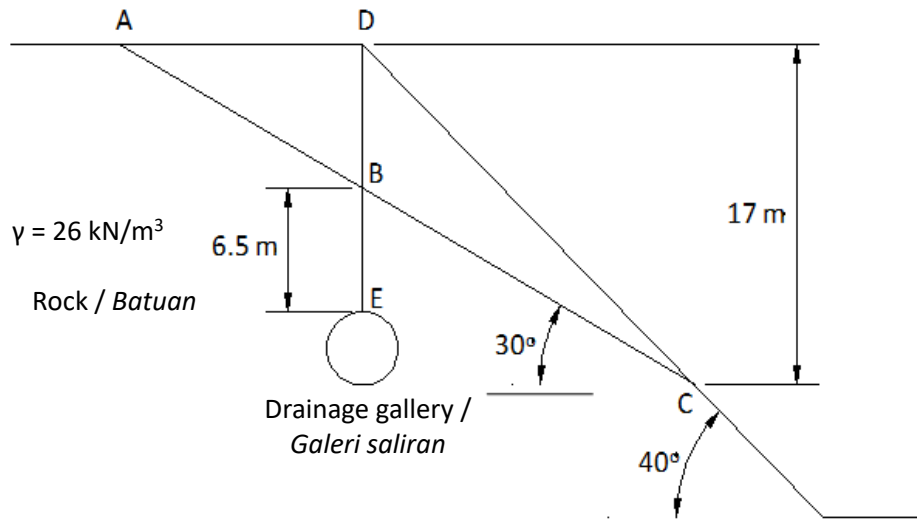


Figure 2/Rajah 2

4. (a) Estimation of bid prices for hard rock TBM drives needs to incorporate the variability factor of project duration. The project duration depends mainly on the TBM advance rates and penetration rate, which are difficult to estimate. The advance rate may be estimated from the knowledge about the penetration rate and the TBM utilization in a given set of geologic conditions. In relation to the tunnel boring machine in hard rock, describe the meaning of;

*Anggaran harga bida bagi dorongan TBM batuan keras perlu memasukkan faktor kepelbagaian tempoh projek. Tempoh projek bergantung kepada kadar lajukan dan kadar penembusan yang agak sukar untuk diramalkan. Kadar lajukan mungkin boleh dianggarkan daripada pengetahuan berkaitan kadar penembusan dan penggunaan TBM pada sesuatu keadaan geologi tertentu. Berhubung kait dengan mesin pengorek terowong di dalam batuan keras, perihalkan maksud;*

- (i). Penetration rate  
Kadar penembusan

[2 marks/markah]

...10/-

- (ii). Advance rate  
Kadar lajukan

[2 marks/markah]

- (iii). Utilization factor  
Faktor penggunaan

[2 marks/markah]

- (b) Majority of TBM excavated in rocks lies between the good and poor lines as shown in **Figure 3** developed by Nick Barton in 1999. From **Figure 3**, it is clearly shown that, the utilization factor, U as represented by the lines decreases with time. Explain in details, **THREE (3)** reasons why such conditions occurred in most of the tunnelling project that utilize TBM.

Majoriti pengorekan TBM di dalam batuan terletak diantara garisan baik dan lemah seperti ditunjukkan di **Rajah 3** yang dihasilkan oleh Nick Barton pada tahun 1999. Daripada **Rajah 3**, adalah jelas bahawa, faktor penggunaan, U yang diwakili oleh garisan, menurun dengan masa. Jelaskan secara terperinci, **TIGA (3)** sebab utama mengapa keadaan sebegitu berlaku pada kebanyakan projek terowongan yang menggunakan TBM.

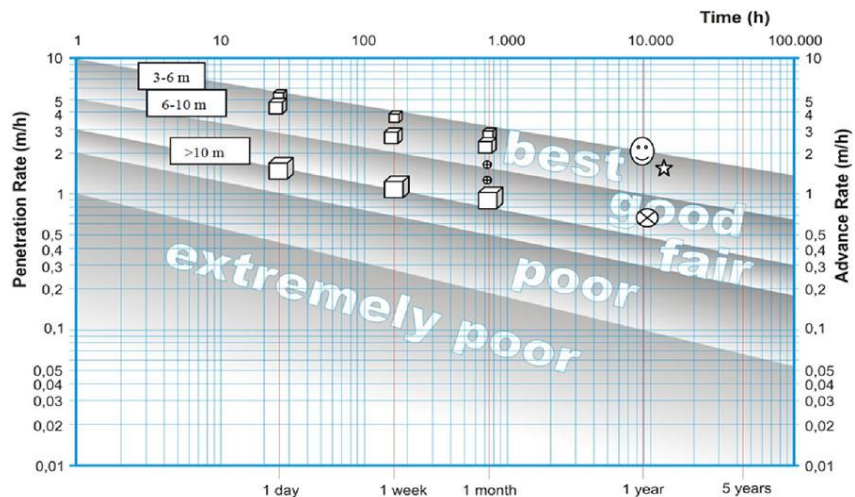


Figure 3 / Rajah 3

[9 marks/markah]

...11/-

- (c). A hard rock Tunnel Boring Machine (TBM) with 5.2 m in diameter will be used in the East Coast Rail Link Tunnel (ECRL) to break and excavate the tunnel in granite by exerting a torque and thrust to the tunnel face.

*Mesin korek terowong (TBM) batuan keras dengan diameter 5.2 m akan digunakan di Projek Rangkaian Keretapi Pantai Timur (ECRL) untuk memecahkan dan mengorek terowong di dalam batuan granit dengan mengenakan kilasan dan tujah kepada permukaan terowong.*

- (i). As a Tunnel engineer in charge of the TBM operation, calculate the specific energy needed to break the rock for the case where the TBM used has four 550 V electric motors providing the torque to drive the cutting head. Each motor utilize 10 A during free rotation and 110 A when the head is in work to cut the rock. Neglect the thrust effect and take the excavation rate as 3.2 m/h.

*Sebagai jurutera terowong yang bertanggungjawab terhadap operasi TBM, kirakan tenaga spesifik yang diperlukan untuk memecahkan batuan untuk kes dimana TBM tersebut menggunakan empat motor elektrik 550 V yang membekalkan kilasan untuk menggerakkan kepala pemotong. Setiap motor menggunakan 10 A semasa putaran bebas dan 110 A semasa kepala pemotong tersebut bekerja untuk memotong batuan. Abaikan kesan tujah dan ambil kira kadar pengorekan, 3.2 m/h.*

[5 marks/markah]

- (ii). For the same information as given in (i) and with addition of thrust effect of 2.5 MN, calculate the specific energy required to break the granite. Given the excavation rate, 3.6 m/h.

*Bagi maklumat yang sama seperti diberikan di (i) dan dengan penambahan kesan tujah 2.5 MN, kirakan tenaga spesifik yang diperlukan untuk memecahkan granit tersebut. Diberi, kadar pengorekan, 3.6 m/h.*

[5 marks/markah]

5. A joint with angle of friction of  $35^\circ$  dips  $50^\circ$  in the direction of N30W. A rock block weighing 200 MN rests on the joint. The slope arrangement allows the block to slide when Factor of Safety is less than 1.0. An empty stereonet is given in **Appendix**.

*Suatu kekar dengan sudut geseran  $35^\circ$  menjunam  $50^\circ$  pada arah N30W. Suatu bongkah batuan seberat 200 MN berada di atas kekar tersebut. Keadaan cerun membolehkan bongkah menggelongsor jika Faktor Keselamatan kurang daripada 1.0. Stereonet kosong diberi di **Lampiran**.*

- (a). On a stereographic projection, plot the force vector representing the weight of the block. On the same projection, plot the joint normal and the small circle around it representing the safe area should the resultant force associated with the block be plotted within the circle.

*Pada suatu unjuran stereograf, plotkan vektor daya yang mewakili berat bongkah tersebut. Pada unjuran stereograf yang sama, plotkan pugak kekar dan bulatan kecil disekelilingnya yang menunjukkan kawasan selamat jika paduan daya yang berkaitan dengan bongkah terplot didalamnya.*

[5 marks/markah]

- (b). Should a horizontal bolt be used to stabilize the block with Factor of Safety of 1.0 against sliding, determine its orientation and required tension.

*Sekiranya suatu bolt mendatar digunakan bagi menstabilkan bongkah dengan Faktor Keselamatan 1.0 daripada tergelongsor, tentukan arahnya dan tegangan yang diperlukan.*

[5 marks/markah]

- (c). Should a horizontal bolt be used to stabilize the block with Factor of Safety of 2.0 against sliding, determine its orientation and required tension.

*Sekiranya suatu bolt mendatar digunakan bagi menstabilkan bungkah dengan Faktor Keselamatan 2.0 daripada tergelongsor, tentukan arahnya dan tegangan yang diperlukan.*

[5 marks/markah]

- (d). The length of bolt material required depends on its installation orientation in the field. Determine the installation orientation of the bolt for minimum length for the above case.

*Panjang bolt diperlukan bergantung kepada arah pemasangan di lapangan. Tentukan arah pemasangan bolt agar panjangnya paling minimum bagi kes di atas.*

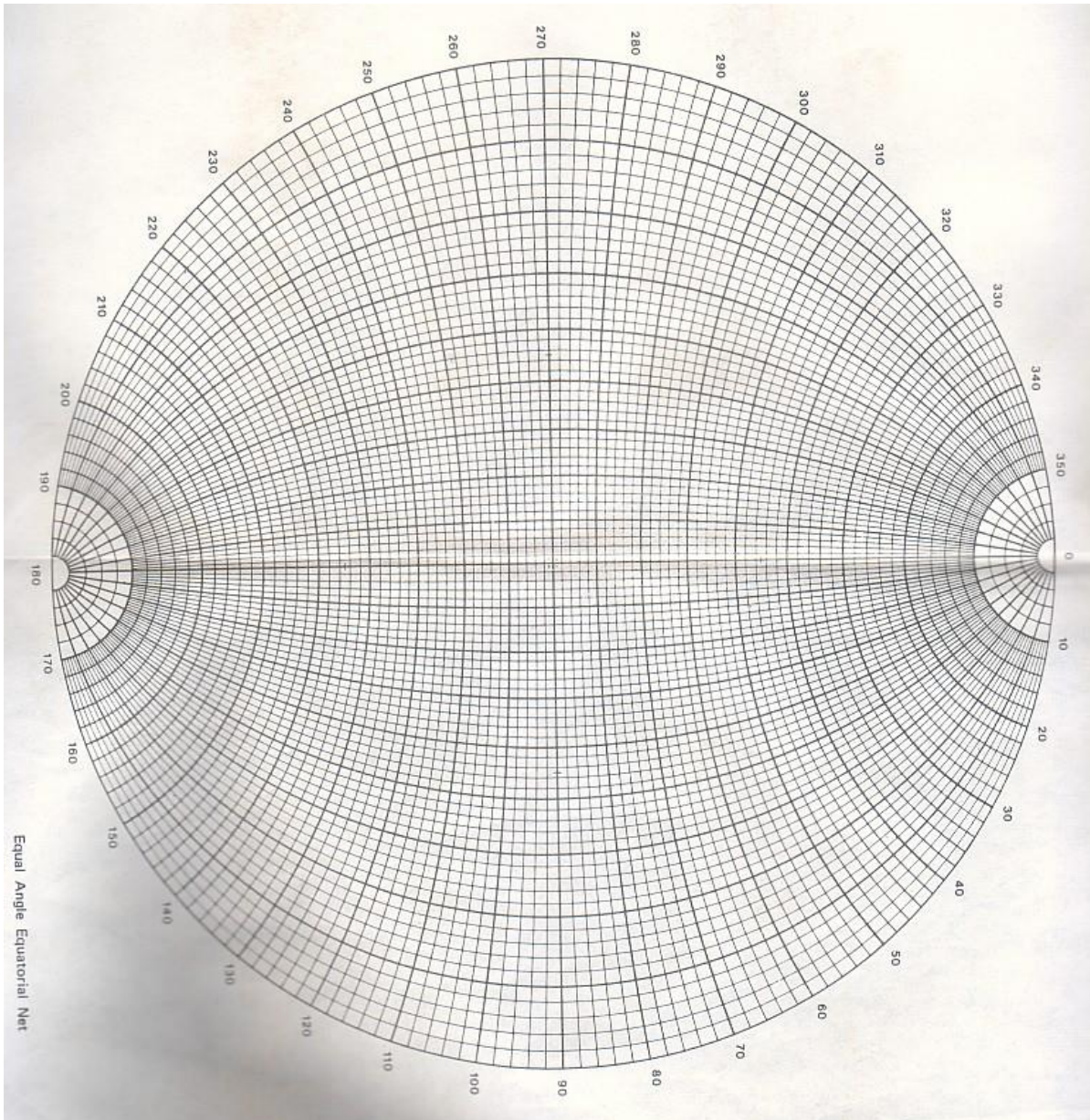
[5 marks/markah]

- (e). If a ground acceleration amounting to 0.1 g occurs towards S, therefore the inertial force on the block is directed towards N, after the bolt in (c) was put in place determine the Factor of Safety against sliding at the time the ground acceleration takes place.

*Jika pecutan bumi 0.1 g berlaku pada arah O S, oleh itu daya inerti ke atas bungkah menghala ke arah N, selepas bolt di soalan (c) di atas dipasang, tentukan Faktor Keselamatan daripada gelongsoran semasa berlakunya pecutan bumi tersebut.*

[5 marks/markah]

**APPENDIX/LAMPIRAN**



-oooOooo-