

**ANALISIS DATA GRAVITI DAN MAGNET BAGI MENGENAL
STRUKTUR BATUAN DASAR DI KAWASAN DELTA SUNGAI
PAHANG**

Oleh

KHAIRUL ARIFIN BIN MOHD NOH

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi Ijazah
Sarjana Sains**

Mei 2007

789598

rb
f QE48.8
K45
2007

10033

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi kesyukuran kepada Illahi kerana dengan rahmat dan kasih sayang-Nya dapat memberikan saya sedikit waktu dan kekuatan untuk menyiapkan kajian ini. Setinggi-tinggi terima kasih diucapkan kepada En. Mohd Noh Mohamad dan Pn. Sadiyah Lamri, iaitu bapa dan ibu saya serta ahli keluarga kerana berkat doa dan sumbangan serta sokongan moral yang tidak ternilai sepanjang kajian ini dijalankan. Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih kepada penyelia utama kajian ini, Prof. Madya Dr. Mohd Nawawi Mohd Nordin dan penyelia kedua, Prof. Madya Dr. Zuhar Zahir Tuan Harith yang telah banyak memberikan sumbangan serta bimbingan dan tunjuk ajar sehingga kajian ini berjaya.

Ucapan terima kasih juga kepada Dr. Abdul Hadi Abdul Rahman, ketua rancangan Geofizik USM dan semua pensyarah Geofizik termasuk En. Rosli Saad, kerana membantu dan memberi sokongan bagi menjayakan kajian ini. Begitu juga kepada semua staf makmal Geofizik USM, En. Zainul Abidin, En. Saiful Mahathir, En. Yaakub Othman, En. Shahil Ahmad Kosaini dan En Low Weng Leng kerana membantu menjayakan kajian ini. Akhir sekali, ucapan terima kasih ditujukan kepada pihak PETRONAS yang telah memberikan sedikit tajaan, serta rakan-rakan terutamanya En. Mohd Mustakim Rosli dan kepada mana-mana pihak yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam menjayakan kajian ini.

KANDUNGAN

Muka surat

PENGHARGAAN	ii
SENARAI RAJAH	ix
SENARAI JADUAL	xv
SENARAI FOTO	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xix
BAB 1: PENGENALAN	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Pengaruh Struktur Batuan Dasar terhadap Pembentukan Delta	3
1.3 Lokasi Kajian	4
1.4 Geologi Am Kawasan Kajian	6
1.5 Kajian Terdahulu	9
1.6 Cadangan Penyelesaian	12
1.7 Matlamat dan Skop Kajian	13
BAB 2: KONSEP ASAS MEDAN KEUPAYAAN	16
2.1 Pendahuluan	16
2.2 Perhubungan di antara Kaedah Graviti dan Magnet	16
2.3 Tinjauan Graviti	18
2.3.1 Pendahuluan	18
2.3.2 Teori Graviti	19
2.3.3 Variasi Ketumpatan bagi Batuan dan Mineral	21
2.4 Tinjauan Magnet	24
2.4.1 Pendahuluan	24

2.4.2 Teori Magnet	25
2.4.3 Variasi Kerentanan Bahan-bahan Bumi	27
2.4.4 Pemagnetan baki	28
BAB 3: TATACARA PENGUMPULAN DATA	30
3.1 Pendahuluan	30
3.2 Tinjauan Gravitasi	31
3.2.1 Instrumentasi	31
3.2.2 Pengumpulan Data	34
3.2.2.1 Tinjauan pada Mac 2005	34
3.2.2.2 Tinjauan pada Ogos 2005	34
3.2.2.3 Tinjauan pada Mei 2006	34
3.3 Tinjauan Magnet	35
3.3.1 Instrumentasi	35
3.3.2 Pengumpulan Data	39
3.3.2.1 Tinjauan pada Mac 2005	39
3.3.2.2 Tinjauan pada Mei 2006	39
3.4 Teknik Pengambilan Data Lapangan	39
3.5 Pengukuran Elevasi dan Koordinat Lapangan	41
BAB 4: ANALISIS DATA	44
4.1 Pendahuluan	44
4.2 Penurunan Data Gravitasi	44
4.2.1 Pendahuluan	44
4.2.2 Pembetulan Hanyutan	46
4.2.3 Kesan Latitud	48
4.2.4 Kesan Udara-bebas	50

4.2.5 Kesan Bouguer	52
4.2.6 Kesan Terain	53
4.3 Penurunan Data Magnet	54
4.3.1 Pendahuluan	54
4.3.2 Pembetulan Hanyutan	54
4.3.3 Kesan Elevasi dan Latitud	55
4.3.4 Kesan Terain	55
4.4 Pelarasan Normal Data Lapangan	57
4.4.1 Pendahuluan	57
4.4.2 Pelarasan Normal Data Graviti	57
4.4.3 pelarasan Normal Data Magnet	59
4.5 Kesan Luaran Terhadap Nilai Cerapan Magnet	62
BAB 5: PELICINAN DAN PENTAFSIRAN KUALITATIF	64
5.1 Pendahuluan	64
5.2 Pengkonturan Anomali	65
5.3 Pelicinan Anomali	68
5.3.1 Pelicinan Secara Manual	69
5.3.2 Pelicinan Kendalian Komputer	71
5.4 Pentafsiran Kualitatif	75
5.4.1 Kontur Anomali	75
5.4.2 Pemilihan Profil bagi Pentafsiran	78
5.4.3 Pemisahan antara Anomali Rantau dan Anomali Baki	78
5.4.4 Anggaran Kedalaman Jasad Anomali	79
5.4.5 Perbandingan Data Graviti Terhadap Cerapan Terdahulu	87

BAB 6: PERMODELAN DATA DAN PENTAFSIRAN KUANTITATIF	90
6.1 Pendahuluan	90
6.2 Permodelan Lubang Gerudi	92
6.2.1 Pentafsiran Model Lubang Gerudi	94
6.2.2 Perbandingannya dengan Profil Anomali Medan Keupayaan	95
6.2.2.1 Profil P1	95
6.2.2.2 Profil P2	97
6.2.2.3 Profil P3	99
6.3 Permodelan Medan Keupayaan	101
6.3.1 Kawalan Geologi Terhadap Model	101
6.3.2 Permodelan Anomali Gravitasi	102
6.3.2.1 Model Gravitasi P1	103
6.3.2.2 Model Gravitasi P2	104
6.3.2.3 Model Gravitasi P3	104
6.3.2.4 Pentafsiran Model Gravitasi	107
6.3.3 Permodelan Anomali Magnet	108
6.3.3.1 Model Magnet P1	110
6.3.3.2 Model Magnet P2	111
6.3.3.3 Model Magnet P3	111
6.3.3.4 Pentafsiran Model Magnet	114
6.4 Pentafsiran Kuantitatif Model Medan Keupayaan	115
6.5 Model Gravitasi dan Magnet Alternatif (Model Kawalan)	118
6.6 Hubungan Pentafsiran Kualitatif dan Kuantitatif Kajian	123
BAB 7: RUMUSAN DAN CADANGAN	127
7.1 Rumusan	127

7.2 Cadangan	129
RUJUKAN	130
LAMPIRAN A	135
A.1 Data-data Graviti Cerapan	135
A.2 Data-data Magnet Cerapan	151
LAMPIRAN B	158
B.1 Pembetulan Hanyutan	158
B.2 Pembetulan Udara-bebas	161
B.3 Pembetulan Bouguer	163
B.4 Pelarasan Normal	165
LAMPIRAN C	168
C.1 Anomali Cerapan Graviti Terlicin	168
C.1 Anomali Cerapan Magnet Terlicin	170
LAMPIRAN D	172
D.1 Algoritma Talwani bagi Jasad 2-Dimensi	172
D.2 Permodelan Kaedah Hadapan Medan Keupayaan	174
LAMPIRAN E	175
E.1 Ketumpatan dan Kerentanan Batuan	175
E.2 Data Lubang Penggerudian	176
E.3 Perhubungan Lembangan Penyusutan dan Lokasi Kajian	179
E.4 Rekod-rekod Sismik	181
E.4.1 Garis Tinjauan Seismik A	181
E.4.2 Garis Tinjauan Seismik B	182
LAMPIRAN F	183
F.1 Analisa Kesan Luaran Terhadap Nilai Cerapan Magnet	183

F.2 Analisis Gradien Rantau dan Penggunaan Kaedah Separa Lebar	187
LAMPIRAN G	190
G.1 Permodelan Graviti	190
G.2 Permodelan Magnet	197

SENARAI RAJAH

	Tajuk	Muka surat
Rajah 1.1	Taburan batuan granit dan kedudukan domain-domain geologi di Semenanjung Malaysia (peta dilukis semula dan diubahsuai daripada Loke, 1981)	2
Rajah 1.2	Lokasi kawasan tinjauan	5
Rajah 1.3	Peta geologi bagi kawasan tenggara Pahang (Loke, 1981)	8
Rajah 1.4	Model anomali graviti bouguer selepas peta graviti bouguer ARK pada skala 1:500,000 (Geofizik ARK, 1999) (peta dilukis semula dan diubahsuai daripada Liew et. al., 1996)	11
Rajah 2.1	Tarikan graviti g dan komponen menegak g_z pada titik P oleh jisim M	20
Rajah 2.2	Medan magnet total dan komponennya	26
Rajah 3.1	Kedudukan profil-profil tinjauan graviti berserta stesennya serta lokasi stesen asas yang terlibat pada peta topografi di lokasi kajian.	33
Rajah 3.2	Kedudukan profil-profil tinjauan magnetik berserta stesennya serta lokasi stesen asas yang terlibat pada peta topografi di lokasi kajian	36
Rajah 3.3	Contoh bagi pelaksanaan teknik gegelung bagi satu garis tinjauan, di mana Base adalah stesen asas, s adalah stesen ukuran, L adalah turutan langkah pengukuran, G adalah gelung, iaitu G1 dan G2 merupakan fasa 1, dan G3 merupakan fasa 2	40
Rajah 4.1	Asas penurunan elevasi bagi pengukuran graviti	45
Rajah 4.2	Diagram bagi pelaksanaan penurunan data graviti	46
Rajah 4.3	Diagram bagi aplikasi pembetulan hanyutan bagi satu siri hanyutan	48
Rajah 4.4	Konsep bagi kesan latitud	50
Rajah 4.5	Jaringan pelarasan data graviti bagi keseluruhan tinjauan terhadap sistem rujukan antarabangsa	59

Rajah 4.6	Rajah 4.6: Anggaran medan magnetik pada stesen rujukan yang digunakan dalam kajian ini	61
Rajah 4.7	Jaringan pelarasan data magnetik bagi keseluruhan tinjauan terhadap sistem rujukan antarabangsa	61
Rajah 5.1	Anomali graviti (anomali bouguer) bagi lokasi tinjauan dengan kala kontur 1 milligal (anak panah menunjukkan kawasan dominasi gangguan)	66
Rajah 5.2	Anomali magnet bagi lokasi tinjauan dengan kala kontur 50 gamma (anak panah menunjukkan kawasan dominasi gangguan)	67
Rajah 5.3	Kaedah berangka bagi pelicinan melalui kaedah pempurataan beban bergerak dengan nilai $m=7$	70
Rajah 5.4	Mekanisme pelicinan dengan dua pemboleh ubah oleh perisian 'Surfer 8'	72
Rajah 5.5	Kontur anomali graviti terlicin kendalian komputer bagi lokasi tinjauan dengan kontur ketibaan 1 milligal (P1, P2 dan P3 adalah profil terpilih bagi permodelan dan pentafsiran)	73
Rajah 5.6	Kontur anomali magnet terlicin kendalian komputer bagi lokasi tinjauan dengan kontur ketibaan 50 gamma (P1, P2 dan P3 adalah profil terpilih bagi permodelan dan pentafsiran).	74
Rajah 5.7	Kaedah separa-lebar bagi graviti (rajah kiri) dan bagi magnetik-medan mengufuk (rajah kanan)	80
Rajah 5.8	Bagi Profil 1; pemisahan anomali rantau dan anomali baki dengan menggunakan rantau polinomial tertib ke-2 (rajah di atas), dan anggaran kedalaman jasad daripada anomali baki menggunakan kaedah setengah-kedalaman (rajah di bawah). Nota: Anomali cerapan merupakan profil 1 yang telah dipilih daripada kontur cerapan (rujuk sub-bab 5.4.2).	82
Rajah 5.9	Bagi Profil 2; pemisahan anomali rantau dan anomali baki dengan menggunakan rantau polinomial tertib ke-2 (rajah di atas), dan anggaran kedalaman jasad daripada anomali baki menggunakan kaedah setengah-kedalaman (rajah di bawah) Nota: Anomali cerapan merupakan profil 1 yang telah dipilih daripada kontur cerapan (rujuk sub-bab 5.4.2).	83
Rajah 5.10	Bagi Profil 3; pemisahan anomali rantau dan anomali baki dengan menggunakan rantau polinomial tertib ke-2 (rajah di atas), dan anggaran kedalaman jasad daripada anomali	84

baki menggunakan kaedah setengah-kedalaman (rajab di bawah) Nota: Anomali cerapan merupakan profil 1 yang telah dipilih daripada kontur cerapan (rujuk sub-bab 5.4.2).

Rajah 5.11	Kedudukan jasad anomali terhadap profil (tanpa skala)	85
Rajah 5.12	Perbandingan anomali graviti terdahulu dan terkini pada profil yang sama	89
Rajah 6.1	Lokasi Lubang Gerudi di lokasi tinjauan terhadap Profil Permodelan Medan Keupayaan	93
Rajah 6.2	Model 3-dimensi bagi batuan dasar serta anggaran arah pergerakannya berdasarkan data lubang gerudi	93
Rajah 6.3	Anomali medan keupayaan lapangan bagi profil P1 (atas). Model lubang gerudi terhadap profil P1 (bawah)	96
Rajah 6.4	Anomali medan keupayaan lapangan bagi profil P2 (atas). Model lubang gerudi terhadap profil P2 (bawah)	98
Rajah 6.5	Anomali medan keupayaan lapangan bagi profil P3 (atas). Model lubang gerudi terhadap profil P3 (bawah)	100
Rajah 6.6	Model graviti bagi profil P1	105
Rajah 6.7	Model graviti bagi profil P2	106
Rajah 6.8	Model graviti bagi profil P3	106
Rajah 6.9	Model magnet bagi profil P1	112
Rajah 6.10	Model magnet bagi profil P2	113
Rajah 6.11	Model magnet bagi profil P3	113
Rajah 6.12	Kedudukan projeksi Model P1 terhadap Model Kawalan serta stesen cerapan yang terlibat	119
Rajah 6.13	Model graviti bagi garis tinjauan ke-14 sebagai model kawalan	120
Rajah 6.14	Model magnet bagi garis tinjauan ke-8 sebagai model kawalan	121
Rajah 6.15	Mekanisme aktiviti batuan dasar di lokasi tinjauan	126
Rajah B.1.1	Anomali hanyutan graviti bagi Tinjauan Graviti Mac 2005	158
Rajah B.1.2	Anomali hanyutan graviti bagi Tinjauan Graviti Ogos 2005	159

Rajah B.1.3	Anomali hanyutan graviti bagi Tinjauan Graviti Mei 2006	159
Rajah B.1.4	Anomali hanyutan magnet bagi Tinjauan Magnetik Mac 2005	160
Rajah B.1.5	Anomali hanyutan magnet bagi Tinjauan Magnetik Mei 2006	160
Rajah B.2.1	Anomali Udara-bebas bagi Tinjauan Graviti Mac 2005	161
Rajah B.2.2	Anomali Udara-bebas bagi Tinjauan Graviti Ogos 2005	162
Rajah B.2.3	Anomali Udara-bebas bagi Tinjauan Graviti Mei 2006	162
Rajah B.3.1	Anomali Bouguer bagi Tinjauan Graviti Mac 2005	163
Rajah B.3.2	Anomali Bouguer bagi Tinjauan Graviti Ogos 2005	164
Rajah B.3.3	Anomali Bouguer bagi Tinjauan Graviti Mei 2006	164
Rajah B.4.1	Anomali Bouguer selepas pelarasan normal bagi Tinjauan Graviti Mac 2005	165
Rajah B.4.2	Anomali Bouguer selepas pelarasan normal bagi Tinjauan Graviti Ogos 2005	166
Rajah B.4.3	Anomali Bouguer selepas pelarasan normal bagi Tinjauan Graviti Mei 2006	166
Rajah B.4.4	Anomali Hanyutan selepas pelarasan normal bagi Tinjauan Magnet Mac 2005	167
Rajah B.4.5	Anomali Hanyutan selepas pelarasan normal bagi Tinjauan Magnet Mei 2006	167
Rajah C.1.1	Kontur anomali cerapan bagi tinjauan graviti dengan $M=3$	168
Rajah C.1.2	Kontur anomali cerapan bagi tinjauan graviti dengan $M=5$	169
Rajah C.1.3	Kontur anomali cerapan bagi tinjauan graviti dengan $M=7$	169
Rajah C.2.1	Kontur anomali cerapan bagi tinjauan magnet dengan $M=3$	170
Rajah C.2.2	Kontur anomali cerapan bagi tinjauan magnet dengan $M=5$	171
Rajah C.2.3	Kontur anomali cerapan bagi tinjauan magnet dengan $M=7$	171
Rajah D.1	Anggaran poligon bagi satah menegak yang taksimetri Jasad dua dimensi	172

Rajah E.2.1	Lokaliti Lubang Penggerudian (diubahsuai daripada Saffeen Baharuddin, 1992,1993)	176
Rajah E.2.2	Keratan rentas geologi lapisan bawah tanah dari KUH 20 ke KUH 26 (rajah atas) dan KUH 26 ke KUH 14 (rajah bawah) (Saffeen Baharuddin, 1993)	178
Rajah E.2.3	Keratan rentas geologi lapisan bawah tanah merentasi arah utara-selatan (Saffeen Baharuddin, 1992)	178
Rajah E.2.4	Keratan rentas geologi lapisan bawah tanah merentasi arah timur-barat (Saffeen Baharuddin, 1992)	179
Rajah E.3	Kontur kedalaman Lembangan Penyusut dan anggaran pemanjangan lembangan tersebut di lokasi tinjauan dalam kajian ini (diubahsuai daripada ESSO, 1985 dan Tjia, 1994)	180
Rajah E.4.1	Lokaliti garis tinjauan seismik di kawasan kajian	181
Rajah E.4.2	Keratan rentas seismik 2-dimensi bagi garis tinjauan Seismik A	181
Rajah E.4.3	Tafsiran struktur sub permukaan bagi garis tinjauan Seismik A	182
Rajah E.4.4	Keratan rentas seismik 2-dimensi bagi garis tinjauan Seismik B	182
Rajah E.4.5	Tafsiran struktur sub permukaan bagi garis tinjauan Seismik B	182
Rajah F.1.1	Analisa kesan gangguan bagi 'garis tinjauan 1' magnet	183
Rajah F.1.2	Analisa kesan gangguan bagi 'garis tinjauan 2' magnet	184
Rajah F.1.3	Analisa kesan gangguan bagi 'garis tinjauan 3' magnet	184
Rajah F.1.4	Analisa kesan gangguan bagi 'garis tinjauan 4' magnet	185
Rajah F.1.5	Analisa kesan gangguan bagi 'garis tinjauan 5' magnet	185
Rajah F.1.6	Analisa kesan gangguan bagi 'garis tinjauan 6' magnet	186
Rajah F.1.7	Analisa kesan gangguan bagi 'garis tinjauan 7' magnet	186
Rajah F.1.8	Analisa kesan gangguan bagi 'garis tinjauan 8' magnet	187
Rajah F.2.1	Perbandingan di antara gradien rantau linear dan gradien rantau 'polinomial tertib ke-2' bagi profil 1	188

Rajah F.2.2	Perbandingan di antara gradien rantau linear dan gradien rantau 'polinomial tertib ke-2' bagi profil 2	188
Rajah F.2.3	Perbandingan di antara gradien rantau linear dan gradien rantau 'polinomial tertib ke-2' bagi profil 3	189

SENARAI JADUAL

	Tajuk	Muka surat
Jadual 2.1	Perhubungan di antara kaedah graviti dan magnet (diubahsuai daripada Neil Anderson dan Ahmad Ismail, 2005)	17
Jadual 2.2	Ketumpatan bagi kebanyakan batuan dan mineral (diubahsuai daripada Seigel, 2005)	23
Jadual 2.3	Kerentanan bagi pelbagai batuan dan mineral (data daripada http://www.earthsci.unimelb.edu.au)	29
Jadual 5.1	Keputusan perhitungan anggaran kedalaman (z) bagi profil P1, P2 dan P3	85
Jadual 5.2	Perbandingan rekod data graviti terdahulu dan terkini (nilai graviti dalam unit mgal)	88
Jadual 6.1	Pemboleh ubah bagi model graviti profil P1	103
Jadual 6.2	Pemboleh ubah bagi model graviti profil P2	104
Jadual 6.3	Pemboleh ubah bagi model graviti profil P3	105
Jadual 6.4	Pemboleh ubah bagi model magnet profil P1	110
Jadual 6.5	Pemboleh ubah bagi model magnet profil P2	111
Jadual 6.6	Pemboleh ubah bagi model magnet profil P3	112
Jadual 6.7	Pemboleh ubah bagi model graviti kawalan	121
Jadual 6.8	Pemboleh ubah bagi model magnet kawalan	122
Jadual E.1	Nilai ketumpatan dan kerentanan yang dirujuk bagi model graviti dan magnet alternatif	175
Jadual E.2	Maklumat lubang gerudi berdasarkan Saffeen Baharuddin (1992, 1993)	177

SENARAI FOTO

	Tajuk	Muka surat
Foto 3.1	Graviti meter Worden model Scrintex CG-2	32
Foto 3.2	Magnetometer Proton model G-835; a) pengendalian, b) alatan	37
Foto 3.3	Magnetometer Proton model G-856; a) pengendalian, b) konsul	37
Foto 3.4	Meter kerentanan magnetik model Bison 3101	38
Foto 3.5	Mikro-altimeter model MDM-5	42
Foto 3.6	Set peralatan Sistem Penentuan Kedudukan Global model Garmin GPS 12XL	43

ANALISIS DATA GRAVITI DAN MAGNET BAGI MENGENAL STRUKTUR BATUAN DASAR DI KAWASAN DELTA SUNGAI PAHANG

ABSTRAK

Kajian ini adalah bertujuan bagi memodelkan dan menjelaskan struktur geologi, terutamanya batuan dasar melalui analisis medan keupayaan. Bagi tujuan tersebut, dua kaedah medan keupayaan telah digunakan iaitu kaedah graviti dan kaedah magnet. Dalam kajian ini, sebuah lembangan sedimen pesisir pantai telah dipilih sebagai lokasi kajian iaitu Delta Sungai Pahang yang berkedudukan di Pekan Pahang. Kajian ini melibatkan analisis data termasuklah penurunan, pelarasan dan pelicinan data. Dua kaedah pentafsiran terlibat dalam kajian ini iaitu pentafsiran secara kualitatif dan pentafsiran secara kuantitatif. Analisis dalam kajian ini dilakukan secara manual dan secara kendalian komputer dengan bantuan beberapa perisian komputer. Pentafsiran kualitatif adalah dirujuk secara terus berdasarkan peta kontur anomali yang dihasilkan, manakala pentafsiran kuantitatif adalah berdasarkan permodelan data. Hasil daripada pentafsiran secara kualitatif didapati anomali daripada kedua-dua kaedah medan keupayaan menunjukkan korelasi yang baik dengan memberikan bentuk yang serupa pada lokasi yang sama. Melalui pentafsiran kuantitatif, dengan permodelan matematik bersepadu bagi data graviti dan magnet dapat ditafsirkan bahawa lokasi kajian dibentuk oleh aktiviti batuan dasar, terutamanya rejahan basalt dan wujud fenomena metamorfisme sentuh. Kehadiran struktur rejahan basalt adalah seperti yang dijangkakan dalam pentafsiran secara kualitatif. Model daripada data magnet lebih menunjukkan keluasan kawasan rejahan, manakala model graviti lebih kepada lokasi rejahan individu dan penentuan zon metamorfisme sentuh. Pentafsiran keseluruhan

kajian ini adalah dengan penggabungan rekod-rekod data geologi dan geofizik terdahulu.

GRAVITY AND MAGNETIC DATA ANALYSIS TO DETECT THE BASEMENT ROCK STRUCTURE AT SUNGAI PAHANG DELTA AREA

ABSTRACT

The aims of this study are to model and establish a geologic structure, especially basement rock by using potential field analysis. Two potential field methods have been carried out which are the gravity and magnetic methods. In this study, one of the coastal marginal sedimentary basins was chosen as the study site, which is the Sungai Pahang Delta in Pekan, Pahang. The data analyses involved in this study include data reduction, data leveling and data smoothing. Two methods of interpretation were carried out in this study, which are qualitative interpretation and quantitative interpretation. Analysis of the data was carried out manually and by using computer with sophisticated software. The qualitative interpretation is directly based on the anomaly in the contour maps, and the quantitative interpretation is based on data modeling. An outcome from the qualitative interpretation shows a good correlation between both potential field methods by featuring the same character at the same location. From the quantitative interpretation with integrated mathematical modeling of the gravity and magnetic data shows a basement rock especially the basalt intrusion and occurrence of contact metamorphisms phenomenon. The occurrence of basalt intrusion was based from the qualitative interpretations. Model from magnetic data shows the extension of intrusion zone. Whereas, the model from gravity data shows more on a localized intrusion and the detection of metamorphism contact zone. Interpretation of the results from the study was supported by previous geological and geophysical studies.

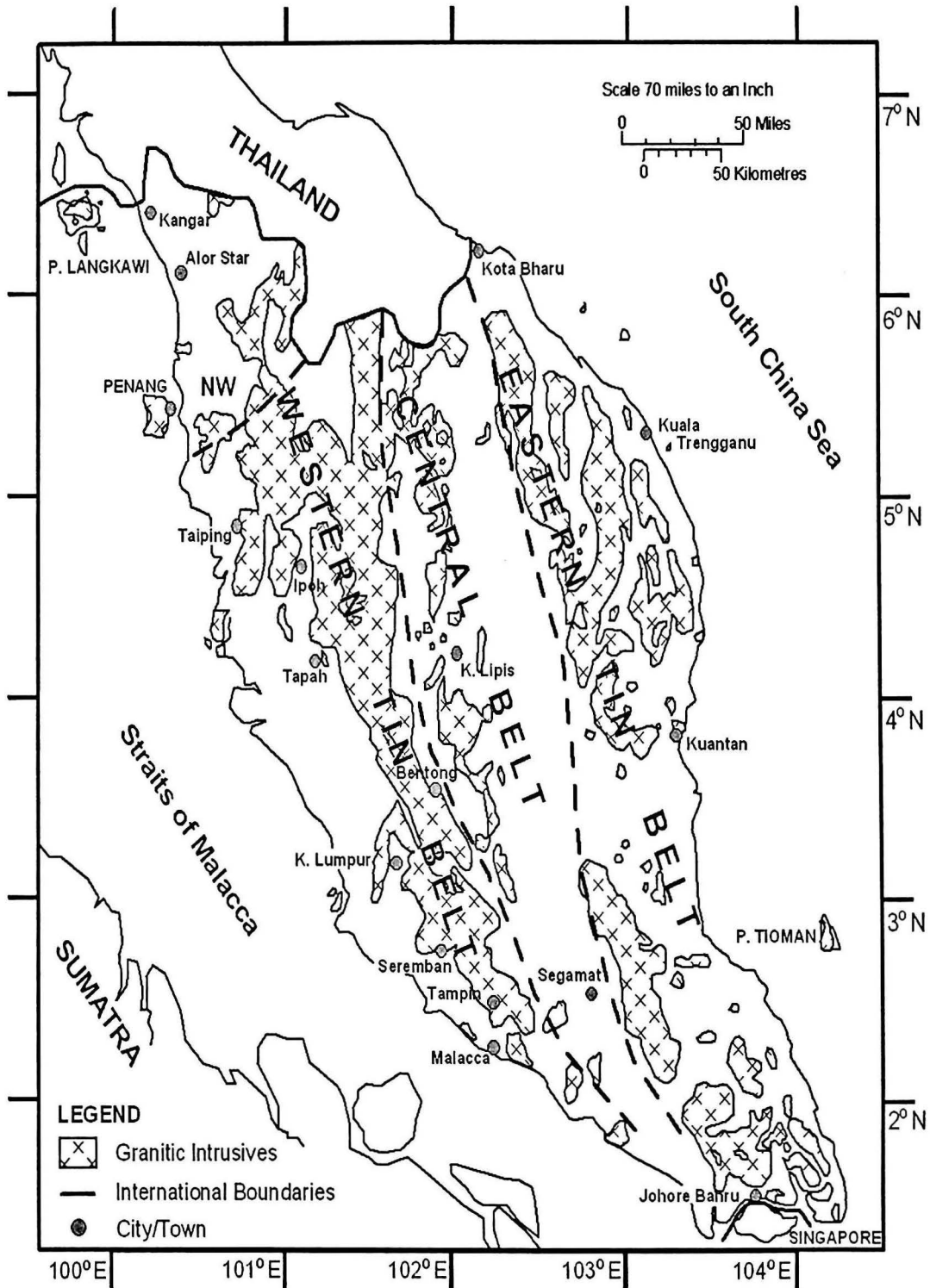
BAB 1: PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Umumnya, Malaysia terletak di atas Pelantar Sunda (Sunda Shelf) yang stabil dan dikelilingi oleh laut yang cetek. Semenanjung Malaysia merupakan sebahagian daripada Perisai Sunda yang terdiri daripada dua blok benua yang besar, iaitu Indosinia dan Mergui (Tjia, 1999). Kedua-dua blok ini pula boleh dikelaskan kepada tiga domain (belt) geologi major yang berkedudukan selari dan satu domain minor yang hampir berserenjang dengan semenanjung. Berdasarkan pengelasan yang dibuat oleh Tjia (1999), domain tersebut dikenali sebagai domain utara-barat, domain barat, domain tengah dan domain timur (Rajah 1.1).

Kebanyakan hasil daripada penerjahan batuan granit ke dalam lapisan-lapisan sedimen telah mengakibatkan kewujudan banjaran-banjaran di Semenanjung Malaysia yang menjurus dalam arah utara-selatan. Kawasan tanah tinggi ini, umumnya adalah tinggi di utara dan semakin rendah ke arah selatan dan terletak di domain tengah. Kewujudan banjaran-banjaran ini adalah berkait rapat dengan penghasilan kebanyakan delta di sepanjang pesisir pantai barat dan timur Semenanjung Malaysia.

Delta merupakan lembangan sedimen pesisir pantai yang biasanya membentuk suatu dataran tanah pamah yang luas, yang terhasil akibat pegenapan di muara sungai bagi suatu jangka masa yang panjang.



Rajah 1.1: Taburan batuan granit dan kedudukan domain-domain geologi di Semenanjung Malaysia (peta dilukis semula dan diubahsuai daripada Loke, 1981)

Pemetaan struktur sub permukaan, terutamanya batuan dasar merupakan aspek penting yang sering dipertimbangkan dalam kajian berkenaan pembentukan delta. Ini kerana ia menyumbang idea dan maklumat berguna dalam pencirian sesuatu lembangan sedimen pesisir pantai, termasuklah bentuk dan formasi lembangan, sejarah penimbunan dan penyusutan sedimen, isostasi dan beban sedimen.

1.2 Pengaruh Struktur Batuan Dasar terhadap Pembentukan Delta

Pembentukan suatu lembangan sedimen pada asas bergantung kepada proses yang berlaku sama ada dari luar mahupun dari dalam, yang mana mempengaruhi pembentukannya dalam jangka masa geologi yang panjang. Terdapat banyak proses yang mengawal atau mempengaruhi formasi dan evolusi pada sesuatu lembangan sedimen, di antaranya termasuklah struktur atas dan bawah kerak, pemanjangan dan pemampatan kerak oleh tarikan dan tegangan pada atas kerak, dan evolusi zon sesar.

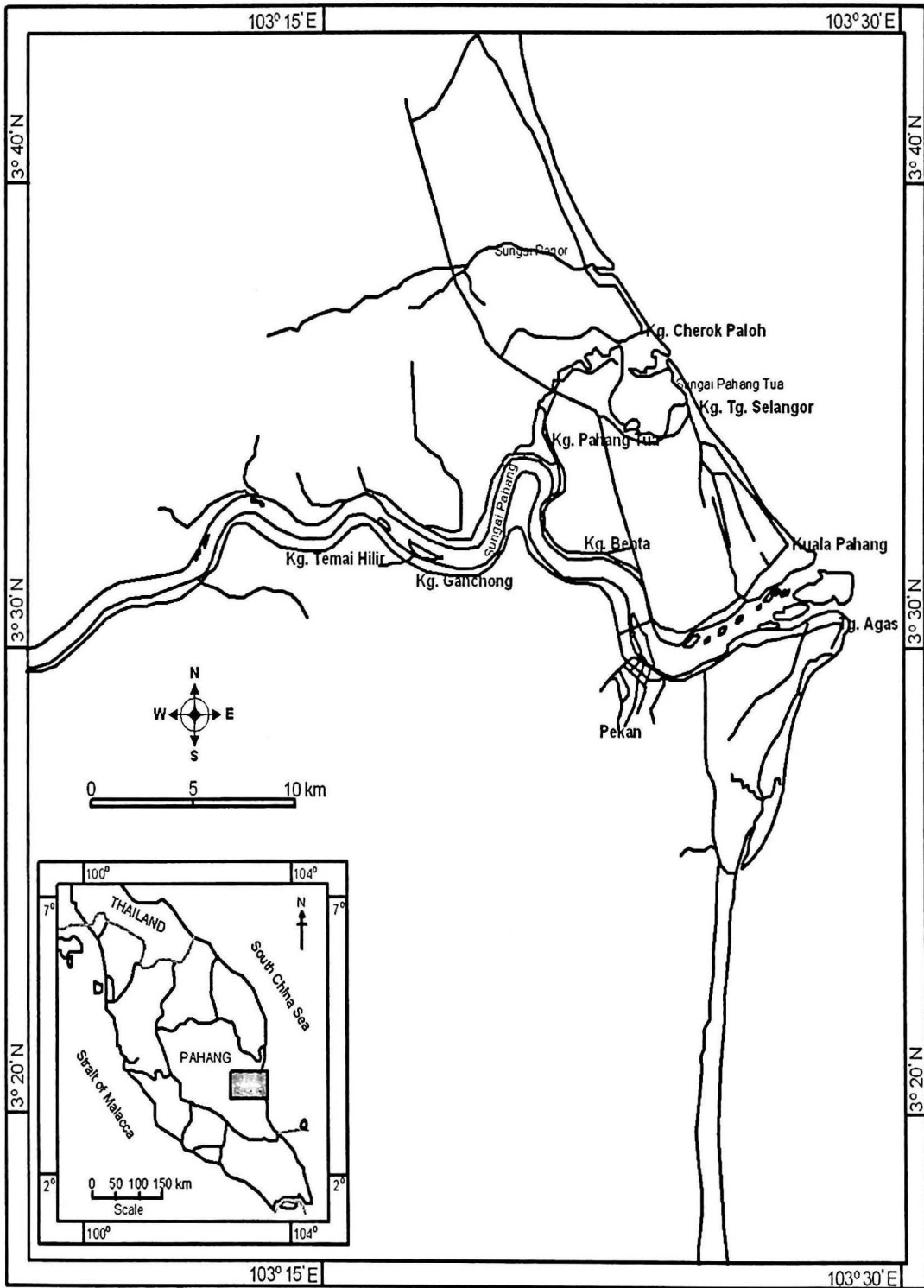
Manakala, batuan dasar pula biasanya merujuk kepada lapisan kerak benua yang tebal dan didominasi oleh batuan tua terutamanya igneus dan metamorf, umumnya dalam bentuk granit. Batuan dasar di kerak boleh mencapai ketebalan 20 hingga 30 batu atau lebih (http://en.wikipedia.org/wiki/Basement_rock). Batuan dasar ini juga dikenali sebagai batu hampar dan ia wujud di bawah lapisan batuan sedimen, dan kadangkala ia menonjol di permukaan.

Keadaan struktur batuan dasar ini memberikan maklumat tentang rekod sejarah geologi lembangan sedimen, seperti sedimentasi, tektonik serta aktiviti batuan dasar. Ia telah banyak dibincangkan oleh pengkaji terdahulu seperti Landes et. al. (1960), Aguilera (1995), P'an (1982), Koning dan Darmono (1984) dan North (1990), Ali (2001,2002).

Dengan adanya liputan data geofizikal yang baik, pencirian geologi suatu lembangan boleh dibuat dan ditafsirkan. Kewujudan perbezaan sifat di antara batu hampar dan batuan sedimen di atasnya membolehkan kajian berkenaan struktur geologi sub-permukaan di kawasan ini dilakukan. Ini kerana, kontras dalam sifat fizikal sesuatu batuan boleh diperihalkan secara matematik dan fizik berdasarkan responsnya seperti ketumpatan oleh graviti, kerentanan oleh magnetik, kerintangan oleh keelektrikan dan sebagainya.

1.3 Lokasi Kajian

Kajian ini merangkumi kawasan di antara latitud 3.294° N hingga 3.747° N dan di antara longitud 103.097° E hingga 103.706° E, yang mana meliputi keseluruhan daerah Pekan, Pahang (Rajah 1.2). Ia merupakan lokasi tinjauan yang strategik di mana hampir keseluruhan daerah Pekan adalah terletak di atas Delta Sungai Pahang. Lokasi ini dipilih kerana kesesuaiannya terhadap kajian yang akan dilakukan, iaitu memetakan struktur sub permukaan batuan dasar bagi suatu lembangan sedimen pesisir pantai.



Rajah 1.2: Lokasi kawasan tinjauan

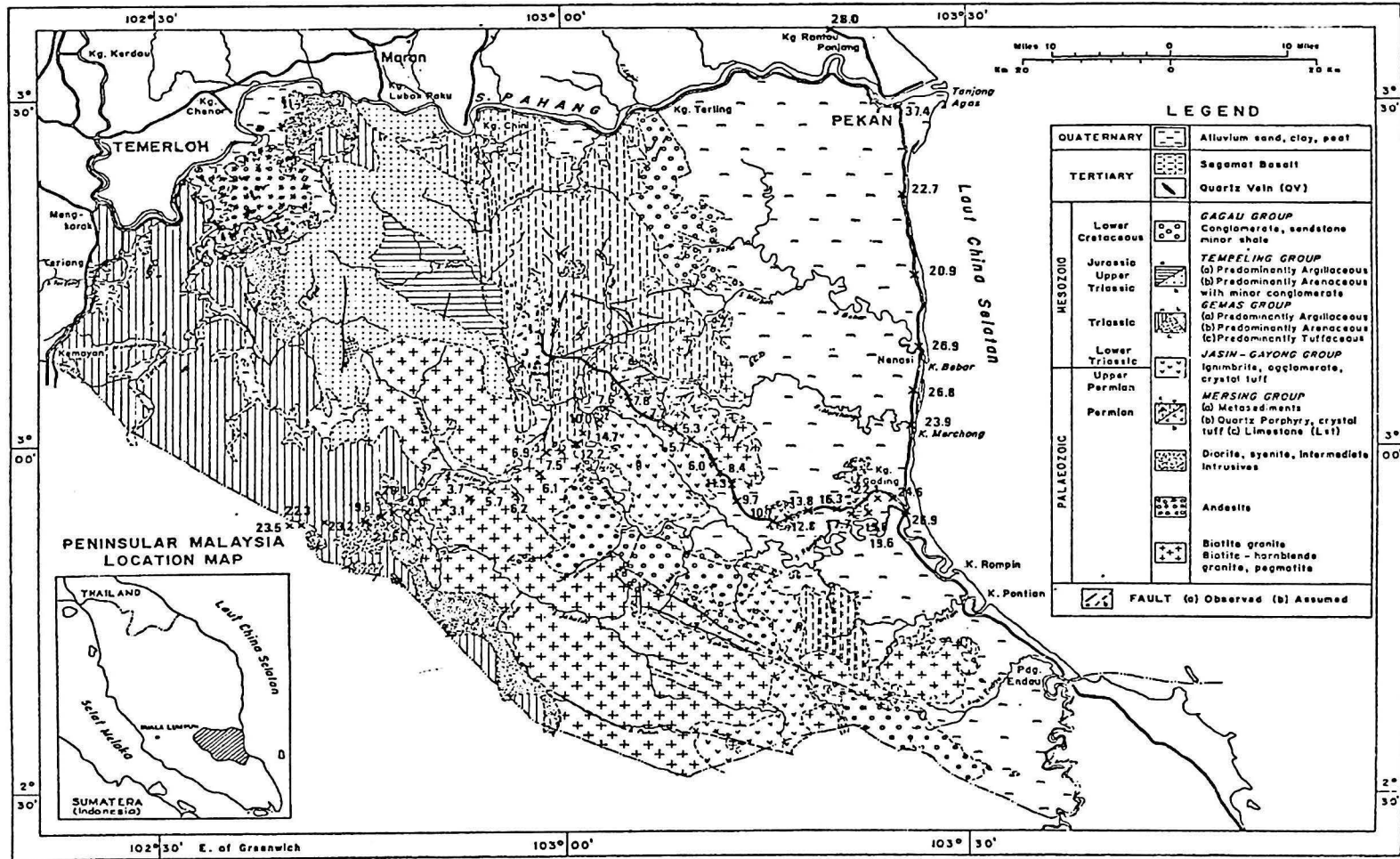
Berdasarkan beberapa kajian geologi dan geofizik terdahulu seperti oleh Saffeen Baharuddin (1992 dan 1993) dan Umar Hamzah et. al. (1995 dan 1998), ia memiliki ciri-ciri sebuah delta yang mempunyai lapisan sedimen aluvial yang tebal dan di dasari oleh batu hampar dari jenis igneus dan metamorfik. Walau bagaimanapun, keseluruhan struktur serta kedalaman batuan dasarnya masih belum dapat dijelaskan dan dipastikan sehingga ke hari ini. Hal yang sama juga berlaku pada saiz ketebalan sedimennya. Maklumat-maklumat ini adalah amat berguna bagi mengesani sejarah pembentukan dan formasi kawasan ini.

1.4 Geologi Am Kawasan Kajian

Umumnya, kawasan Pekan didominasi oleh endapan Aluvial Kuaternar (Rajah 1.3). Komposisi sedimennya diendapkan ketika era kuaternar dan terdiri daripada variasi fasis pasir, kerikil, lumpur, lempung dan bahan-bahan karbonat, cangkerang dan gambut. Berdasarkan kajian oleh Umar Hamzah et. al. (1998), endapan tersebut terdiri dari lempung berusia Holocen dan sedimen sungai berusia Pleistosen. Serta wujud sesar-sesar normal berjenis listrik dan curam yang terbentuk pada lapisan Pleistosen yang disebabkan oleh permukaan granit yang tidak seragam dan mampatan kerbenda sedimen yang terpendap di atasnya. Hal ini dibuktikan lagi oleh Ali (2001), di mana lembangan Delta Sungai Pahang mencerun ke timur dan dipengaruhi oleh kehadiran sesar yang terdapat di dasar lembangan. Kewujudan sesar-sesar ini adalah ekoran daripada aktiviti rejahan granit pada akhir Cretaceous, iaitu ketika fasa penting berlakunya aktiviti sesar di Semenanjung Malaysia. Hal ini telah dibincangkan dengan lebih oleh Harun (2002).

Batuan dasarnya terdiri daripada batuan metamorf dan granit yang berusia Paleozoik dan Mesozoik (Zaid, 2005). Melalui pemerhatian terhadap data lubang gerudi oleh Saffeen Baharuddin (1992 dan 1993), didapati batuan granit yang mendominasi kawasan Pekan merupakan batuan granit terluluhawa. Berdasarkan rekod tersebut juga, bahagian utara kawasan kajian didominasi oleh batuan granit dan di sebelah selatan didominasi oleh batuan metasedimen. Kebanyakan batuan metasedimen ini adalah berkemposisi argilit dan arenit kecuali di bahagian utara kawasan kajian di mana ianya terdiri daripada batuan granatoid seperti yang didokumenkan oleh Mohamad et. al. (2001).

Melalui kajian oleh Fitch (1952) bagi kawasan sekitar Kuantan (di utara Pekan), ketika era Cretaceous, batuan granit mengintrusi ke dalam bahagian strata Karboniferus Bawah dan dasar batuan berusia Triassic (Siri Arenaceous). Umumnya granit tersebut terdiri daripada porfiritik dan granit biotit dengan saiz butir sederhana dan kebanyakan sentuhan intrusi granit dengan batuan lain dilindungi oleh basalt. Beliau juga mengesahkan bahawa wujudnya dolorit dan basalt di Kuantan. Di mana ketika era Karboniferus Bawah, magma yang gagal sampai ke permukaan dan terkonsolidat di dalam fisur granit membentuk daik dolorit, manakala magma yang berjaya merentasi fisur granit serta batuan sedimen dan sampai ke permukaan membentuk basalt.



Rajah 1.3: Peta geologi bagi kawasan tenggara Pahang (Loke, 1981)

Merujuk kepada Haile et. al. (1983), magma basalt mempunyai komposisi yang terdiri daripada basalt olivin beralkali, basanit dan olivin nefelinit. Berdasarkan Macdonald (1970), basalt di Kuantan lebih merupakan suatu tonjolan bagi jasad basalt beralkali Akhir Cenozoik di kawasan benua yang mana ia memanjang merentasi Thailand, Laos, Kampuchea dan Vietnam.

1.5 Kajian Terdahulu

Berdasarkan rekod terdahulu, beberapa penyelidikan berkaitan geofizik dan geologi telah dikelolakan di kawasan sekitar Pekan, Pahang. Tinjauan pantulan seismik cetek dan pemetaan seismik di kawasan Pekan telah dilakukan pada tahun 1995 dan 1998 merujuk daripada Umar Hamzah et. al. (1995 dan 1998). Berdasarkan oleh Saffeen Baharuddin (1992 dan 1993), terdapat juga beberapa kajian berkenaan hidrogeologi dan air tanah melalui aplikasi lubang gerudi oleh Jabatan Penyiasatan Kaji Bumi Malaysia di kawasan ini.

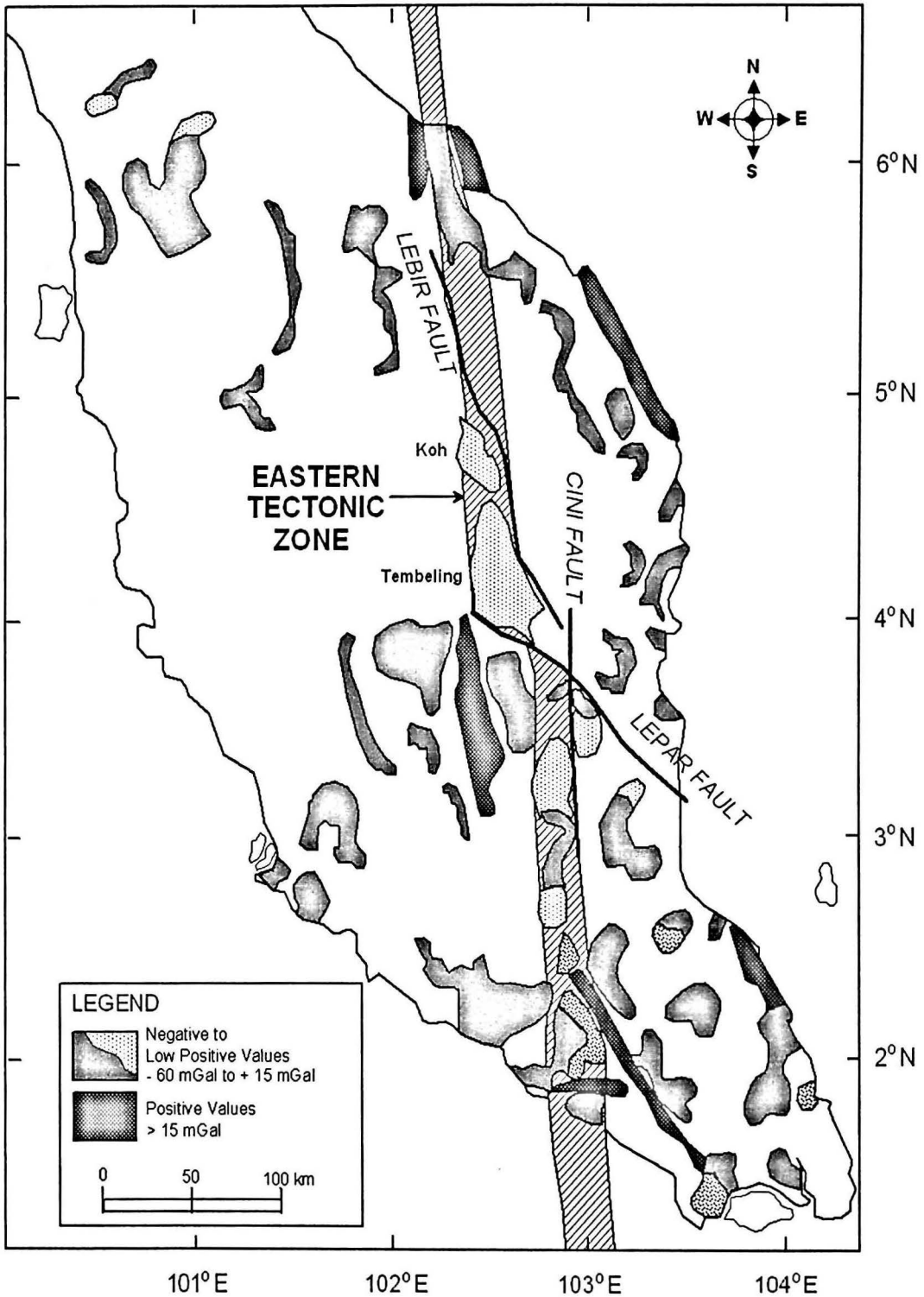
Melalui Ali (2001, 2002), beliau telah menemukan beberapa hasil kajian terhadap evolusi Delta Sungai Pahang. Di antaranya ialah, jujukan sedimen delta, pengaruh aras laut terhadap jujukan sedimennya ketika awal Holosen serta keluasan, bentuk dan kecerunan delta berdasarkan data-data lubang gerudi dan seismos. Manakala Harun (2002), pula telah berjaya mengaitkan pembetulan lembangan-lembangan sedimen di Semenanjung Malaysia dengan aktiviti vulkanik ketika akhir Cretaceous.

Manakala berdasarkan daripada Loke (1981) dan Loke et. al (1983), suatu tinjauan graviti meliputi Semenanjung Malaysia di antara latitud 2° dan 4° telah dilaksanakan bagi tujuan penyelidikan terhadap struktur kerak. Kajian tersebut juga melibatkan penggunaan rekod data graviti dan magnet terdahulu seperti oleh Ryall (1982) dan, Agos dan Paton (1958, 1960).

Dalam tahun 2005 dan 2006, beberapa eksplorasi geofizik yang dikelolakan oleh Program Geofizik, Universiti Sains Malaysia telah dilakukan di kawasan yang sama dengan melibatkan penggunaan pelbagai kaedah tinjauan. Pelbagai kaedah geofizik terlibat, iaitu graviti, magnet, pembiasan seismik, resistiviti dan radar penembusan bumi (GPR), serta beberapa kajian berkaitan geologi. Eksplorasi geofizik ini juga melibatkan sebahagian daripada kajian graviti oleh Zaid (2005) dan Chee (2006).

Sementara itu, terdapat juga tinjauan graviti telah dilakukan melintasi kawasan Semenanjung Malaysia iaitu di antara Kuantan dan Kuala Selangor oleh Ryall (1982). Tinjauan seperti ini juga telah banyak dibincangkan oleh pengkaji terdahulu di antaranya, Arafin et .al (1986) bagi tinjauan graviti merentasi kawasan di antara Kuantan-Kelantan, serta Burley dan Jamaludin (1990), bagi tinjauan graviti di kawasan utara Semenanjung.

Perkembangan industri minyak melalui syarikat seperti PETRONAS telah menyumbang kepada pertambahan maklumat geofizikal dan geologikal berguna di Semenanjung Malaysia, sama ada di darat mahupun di laut, dan ini termasuklah dalam pengukuran anomali graviti (Rajah 1.4).



Rajah 1.4: Model anomali graviti bouguer selepas peta graviti bouguer ARK pada skala 1:500,000 (Geofizik ARK, 1999). (peta dilukis semula dan diubahsuai daripada Liew et. al., 1996)

1.6 Cadangan Penyelesaian

Kebiasaannya, maklumat-maklumat berkaitan struktur geologi sesuatu tempat boleh dianggarkan melalui data-data daripada lubang gerudi. Tetapi, kaedah ini adalah tidak mencukupi bagi menentukan keseluruhan struktur geologi yang merangkumi suatu kawasan yang amat luas. Ini kerana kosnya yang tinggi serta operasinya yang memakan masa yang panjang.

Memandangkan keadaan geografi dan cuaca serta iklim di Malaysia, purata kedalaman batu hampar adalah melebihi 30 meter (Suntharalingam, 1983). Oleh yang demikian, teknik geofizik adalah kaedah yang lebih sesuai diaplikasikan dalam menyelesaikan permasalahan ini. Melalui kaedah ini, penggunaan lubang gerudi dapat dihadkan, kos dan masa dapat dikurangkan, serta operasinya juga sesuai dilaksanakan pada sebarang keadaan di permukaan bumi. Dua kaedah digunakan dalam kajian ini, iaitu kaedah Graviti dan kaedah Magnet. Kedua-dua kaedah ini merupakan kaedah Medan Keupayaan yang mempunyai persamaan yang baik, iaitu sensitif terhadap sebarang perubahan yang berlaku dalam medan bumi.

Kaedah Graviti melibatkan penganalisan terhadap perubahan kecil yang berlaku dalam medan graviti yang diukur pada permukaan. Ini kerana, perubahan yang kecil (gangguan) dalam medan graviti pada lokasi yang berbeza di permukaan bumi adalah disebabkan oleh sebarang perubahan dalam penghasilan jisim dalam kerak bumi. Justeru itu, sebarang proses geologi yang melibatkan perubahan jisim akan menyebabkan perubahan dalam ketumpatan batuan, yang mana akan memberikan implikasi terhadap keamatan

graviti. Oleh sebab kontras ketumpatan dalam batuan sedimen adalah sangat rendah dalam menghasilkan anomali graviti dan pengukuran yang diambil pula adalah lebih dipengaruhi oleh tarikan jisim yang berada di dasar (terutamanya batu hampar), maka kaedah Graviti adalah yang paling sesuai. Contoh bagi penggunaan teknik ini dalam menentukan bentuk dan kedalaman sesuatu lembangan boleh diperolehi dalam West (1992).

Kaedah Magnet pula menekankan tentang perubahan kecil yang berlaku dalam medan magnet yang diukur pada permukaan. Ini kerana, perubahan yang kecil (gangguan) dalam medan magnet pada lokasi yang berbeza di permukaan bumi adalah disebabkan oleh sebarang perubahan dalam pemagnetan (pengkutuban) batuan. Kebanyakan batuan sedimen adalah hampir tidak bermagnet, tetapi batu hampar yang ditindihnya terutamanya batuan igneus biasanya agak bermagnet. Selain itu, ketidakhomogenan dalam komposisi batu hampar atau struktur pada permukaannya juga akan menyebabkan variasi dalam medan magnet. Justeru itu, kaedah ini juga sesuai digunakan.

1.7 Matlamat dan Skop Kajian

Objektif utama kajian ini dilakukan adalah untuk memodelkan dan menjelaskan struktur geologi terutamanya batuan dasar di kawasan tinjauan melalui analisis medan keupayaan. Analisis akan dilakukan meliputi beberapa fasa sebelum ia boleh dimodel dan ditafsirkan. Analisis terhadap data yang diperolehi dan anomali yang terhasil adalah bertujuan bagi mendapatkan keputusan yang baik dan bebas dari dipengaruhi oleh sebarang kesan yang

boleh menyebabkan gangguan pada medan yang diukur. Analisis ini melibatkan aspek penurunan, pelarasan serta pelicinan data. Seterusnya, pentafsiran secara kualitatif dilakukan bagi mengesan punca dan bentuk anomali, kedudukan zon beranomali serta kesan penyingkiran hingar. Disamping itu, pemisahan di antara anomali baki bagi graviti dan magnetik juga akan dilakukan, bertujuan menganggar kedalaman jasad anomali dan mencirikan bentuk anomali tempatan.

Pentafsiran secara kuantitatif pula melibatkan penentuan dan pemetaan struktur geologi tempatan bagi kawasan yang ditinjau melalui kaedah permodelan. Pentafsiran dilakukan dengan menggunakan model 2 dimensi (2-D) bagi model-model graviti dan magnet, manakala model 3 dimensi (3-D) bagi model lubang gerudi. Ia berfungsi bagi menentukan struktur, bentuk, kedalaman, panjang, ketumpatan, serta lain-lain sifat geologi yang menghasilkan anomali, terutamanya struktur batuan dasar. Di samping itu, kewujudan dan ketebalan lapisan aluvium kuarterner yang terbentuk di sekitar kawasan tinjauan akan dipertimbangkan.

Perlu diketahui bahawa, data graviti dan magnet yang terlibat dalam kajian ini adalah berdasarkan data-data yang telah dicerap ketika eksplorasi Program Geofizik, Universiti Sains Malaysia pada tahun 2005 dan 2006 di kawasan Pekan. Ini termasuklah data graviti yang digunakan oleh Chee (2006). Manakala data graviti oleh Zaid (2005) telah dicerap semula dalam kajian ini. Penggunaan data-data cerapan terdahulu dalam kajian ini diterangkan lagi dalam bab 3.

Rekod-rekod geofizikal terdahulu di kawasan tersebut juga akan digunakan sebagai idea dan kawalan bagi tujuan permodelan, terutamanya data daripada lubang gerudi. Beberapa aspek lain juga akan dipertimbangkan bagi sebarang kemungkinan yang wujud seperti kehadiran anomali graviti ganjil di lokasi kajian yang pernah dicerap oleh Loke (1981), kehadiran rejahan basalt dan pertalian di antara struktur geologi kawasan tinjauan dengan Lembangan Penyu, terutamanya berkaitan pemanjangan lembangan tersebut di daratan dan pengaruhnya terhadap aktiviti batuan dasar di kawasan tinjauan.

BAB 2 : KONSEP ASAS MEDAN KEUPAYAAN

2.1 Pendahuluan

Kaedah medan keupayaan boleh ditafsirkan sebagai suatu medan yang mana mematuhi persamaan pembezaan yang dikenali sebagai Persamaan Laplace. Gambaran medan keupayaan ini adalah merujuk kepada perihal matematik bagi kewujudan daya dari sesuatu medan tersebut. Daya graviti dan daya magnet dikenali sebagai daya konservatif. Daya ini boleh dihuraikan secara matematik iaitu dengan menggunakan suatu skala mudah yang dikenali sebagai keupayaan. Medan graviti dan medan magnetik merupakan vektor bagi suatu medan keupayaan. Kebanyakan eksplorasi bagi tinjauan graviti adalah melibatkan pentafsiran terhadap komponen menegak pada medan graviti, manakala tinjauan magnet pula melibatkan penghuraian terhadap jumlah skala keamatan bagi medan magnet. Kedua-dua kaedah medan keupayaan ini merupakan kaedah yang tidak membinasakan dan ia lebih kepada suatu teknik penderiaan jauh yang sememangnya ekonomik. Kaedah ini biasanya digunakan untuk mendapatkan maklumat dan memberikan gambaran yang lebih jelas terhadap geologi sub-permukaan bumi terutamanya dalam eksplorasi minyak dan gas, pengenapan mineral serta pencirian batuan dasar.

2.2 Perhubungan di antara Kaedah Graviti dan Magnet

Persamaan dan perbezaan bagi kedua-dua kaedah keupayaan ini bergantung kepada bagaimana ia dicirikan (Jadual 2.1). Pada asasnya, parameter ukuran, sifat dan kesesuaian tapak bagi tinjauan menunjukkan perbezaan bagi kedua-dua kaedah geofizik ini.

Jadual 2.1: Perhubungan di antara kaedah graviti dan magnet (diubahsuai daripada Neil Anderson dan Ahmad Ismail, 2005)

	Graviti	Magnet
Parameter Ukuran	Variasi ruang dalam kekuatan medan graviti bumi	Variasi ruang dalam kekuatan medan geomagnet bumi
Perihal Fizikal	Isipadu ketumpatan	Kerentanan magnetik dan pemagnetan baki
Perihal Fizikal Model (Aplikasi Geoteknikal)	Model menunjukkan variasi ruang dalam ketumpatan sub-permukaan	Model menunjukkan variasi ruang dalam kerentanan magnetik sub-permukaan
Jenis Permodelan Lapangan (Aplikasi Geoteknikal)	Profil geologi atau peta (lokasi ruang kosong, variasi kedalaman batu hampar, dan sebagainya)	Profil geologi atau peta (lokasi sesar, variasi kedalaman batu hampar dan sebagainya).
Resolusi Ruang dan Definisi Sasaran	<i>rendah - sederhana</i> . Resolusi ruang dan definisi sasaran adalah berfungsi bagi kebanyakan alatan canggih dan perisian songsangan, pensampelan ruang ketibaan, magnitud hingar, sasaran kedalaman, kontras ketumpatan dan permodelan secara luaran. Data biasanya ditafsirkan secara kuantitatif.	<i>rendah - tinggi</i> . Resolusi ruang dan definisi sasaran adalah berfungsi bagi kebanyakan alatan canggih dan mod pemplotan, pensampelan ruang ketibaan, magnitud hingar, sasaran kedalaman dan kerentanan magnetik, kontras kerentanan magnetik dan permodelan secara luaran. Data biasanya ditafsirkan secara kualitatif.
Keadaan Lapangan (Kelebihan)	Mengesan ruang kosong terisi udara yang bersaiz sederhana hingga besar dalam sub-permukaan dengan baik. Peralatan tidak perlu disentuh pada permukaan.	Mengesan ferromagnetik dan bahan-bahan berferromagnetik dalam sub-permukaan dengan baik. Pengumpulan data, pemprosesan dan pentafsiran secara relatifnya berulang dan tidak mahal. Peralatan tidak perlu disentuh pada permukaan.
Keadaan Lapangan (Kelemahan)	Pengumpulan data dan pemprosesan agak perlahan dan mahal. Umumnya, rendah hingga sederhana dalam memberikan resolusi ruang dan definisi sasaran. Dipengaruhi ketidakseragaman permukaan dan topografi sub-permukaan serta keheterogenan sub-permukaan boleh melenyapkan tanda-tanda kewujudan sasaran.	Pentafsiran biasanya lebih berbentuk kualitatif berbanding secara kuantitatif. Umumnya, memberikan resolusi ruang dan definisi sasaran yang rendah. Tidak sesuai bagi mengesan ruang kosong yang terisi udara.

Walau bagaimanapun, ia menunjukkan persamaan yang baik dalam aplikasi geoteknikal, penghuraian berkenaan resolusi ruang dan pentafsiran bagi sesuatu sasaran. Data yang diperoleh melalui kedua-dua kaedah ini adalah serupa iaitu menghasilkan keputusan yang merupakan anomali yang terdiri dari frekuensi dan amplitud atau keamatan. Penggunaan dan faedah dari kedua-dua kaedah ini walau bagaimanapun sangat bergantung kepada prominan yang relatif terhadap kontras sifat fizikal yang terlibat dalam pelbagai situasi geologi (Sharma, 1986).

2.3 Tinjauan Graviti

2.3.1 Pendahuluan

Penyelidikan berkenaan kejadian graviti telah bermula sejak kurun ke-17 oleh Johannes Kepler dan Galileo. Mereka telah menerangkan tentang pergerakan planet dan jatuhan jasad dengan pecutan halaju yang seragam. Dalam setengah kurun kemudian, Sir Issac Newton (1643 – 1727) meneruskan penyelidikan dan menghasilkan 'Hukum Kegravitian Semesta' yang mana digunakan sehingga kini. Kepelbagaian geologi memberikan kesan terhadap medan graviti bumi. Kesan ini boleh diketahui melalui keputusan anomali graviti. Anomali ini boleh diperoleh dengan melakukan sedikit pelarasan dan perbandingan di antara nilai graviti yang diukur dengan nilai graviti normal tertentu berdasarkan keserataan dan putaran bumi. Dengan kata lain, perkataan anomali adalah merujuk kepada sesuatu perubahan daripada normal dan ia memberikan idea tentang struktur bagi bumi.

Sebarang perubahan lateral dalam penghasilan jisim di dalam kerak bumi boleh menyebabkan perubahan kecil atau gangguan dalam medan graviti bumi dari suatu titik ke titik yang lain pada permukaan bumi. Kaedah graviti adalah berdasarkan pada pengukuran terhadap kepelbagaian kecil dalam medan graviti pada permukaan (Nettleton, 1976). Oleh itu, sekiranya sesuatu pergerakan melibatkan perubahan ketumpatan batuan, maka ia akan memberikan keputusan yang tidak seragam dalam penghasilan jisim dan seterusnya menyebabkan kewujudan variasi dalam keamatan graviti. Variasi bagi ketumpatan sesuatu batuan adalah dipengaruhi oleh komposisi dan keporosan batuan tersebut. Oleh sebab variasi dalam graviti adalah agak kecil jika dibandingkan dengan nilai graviti mutlak bumi, maka suatu alat yang sensitif digunakan bagi mengukur nilai relatif bagi graviti dan ia dikenali sebagai graviti meter.

2.3.2 Teori Graviti

Tarikan di antara kesemua jisim merupakan satu daya asas yang semula jadi. Daya tarikan ini dikenali sebagai daya graviti. Berdasarkan Hukum Newton bagi graviti, daya graviti di antara sebarang dua titik jisim adalah diberikan oleh

$$F = \frac{GM_1M_2}{r^2}$$

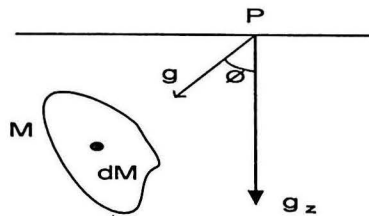
di mana, G adalah $6.673 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ (pemalar Kegravitian Semesta), M_1 dan M_2 merupakan dua jisim dalam kilogram (kg), dan r adalah jarak di antara dua jisim titik dalam meter (m). Daya ini bertindak dalam arah yang menghubungkan kedua-dua jisim tersebut. Maka, pecutan (g) bagi jisim M_1 diberikan oleh

$$g = \frac{F}{M_1} = \frac{GM_2}{r^2} \text{ ms}^{-2}$$

Jisim M merupakan objek yang terdiri daripada hasil darab isi padu (V) dengan ketumpatan bagi objek tersebut. Dalam pengukuran nilai graviti bumi, terdapat dua perkara penting berkenaan keupayaan dan tarikan graviti yang harus difahami, iaitu medan graviti dan kesan graviti. Medan graviti mempunyai satu arah dan ia merupakan suatu sistem rujukan berorientasi. Oleh kerana jasad anomali bertindak dalam pelbagai arah terhadap komponen menegaknya, maka alat pengukuran yang telah dilaras dalam medan graviti hanya boleh bertindakbalas terhadap komponen medan terganggu iaitu dalam arah komponen menegak. Komponen menegak ini dikenali sebagai kesan graviti, iaitu perubahan dalam keamatan medan graviti yang disebabkan oleh jisim tempatan. Justeru itu, faktor yang penting dalam pengukuran graviti ialah komponen tarikan graviti menegak g_z dan ini diberikan oleh persamaan berikut

$$g_z = G \int_M \frac{dM}{r^2} \cos\phi = G \int_V \frac{\rho}{r^2} \cos\phi dV$$

di mana dM ialah jisim unsur isipadu berketumpatan ρ , dengan jarak r dari titik P (Rajah 2.1). Maka, pengukuran terhadap kepelbagaian lokasi bagi tarikan graviti bumi ini boleh menyumbang maklumat yang berguna tentang geologi sub-permukaan.



Rajah 2.1: Tarikan graviti g dan komponen menegak g_z pada titik P oleh jisim M

Model ini adalah munasabah terhadap bumi. Pada asasnya bumi adalah berbentuk sfera, dengan sedikit keserataan (0.335%) di kutub, serta mempunyai jejari purata 6368 km dan jisim purata 5.98×10^{24} kg. Dengan memasukkan nilai ini pada persamaan pecutan, maka nilai purata bagi pecutan graviti yang diperoleh adalah sekitar 9.78 ms^{-2} , pada permukaan bumi. Nilai ini menurun di khatulistiwa iaitu kira-kira 9.78 ms^{-2} dan meningkat di kutub iaitu sekitar 9.83 ms^{-2} . Ini berdasarkan nilai jejari bumi pada kedua-dua tempat tersebut, di mana jarak purata bumi adalah lebih jauh di khatulistiwa berbanding di kutub.

Unit pecutan yang digunakan bagi pengukuran graviti adalah unit graviti (g.u). Penggunaan pelbagai unit pengukuran bagi mengukur graviti adalah amat meluas, tetapi unit galileo (Gal) merupakan unit yang biasa digunakan, di mana

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cms}^2 = 1,000 \text{ milligal}, \text{ dan } 1 \text{ mGal} = 10 \text{ unit graviti}$$

2.3.3 Variasi Ketumpatan bagi Batuan dan Mineral

Perhubungan yang mudah boleh digunakan bagi menganggarkan variasi dalam ketumpatan batuan dan mineral bumi berdasarkan perubahan geologi tempatannya. Walau bagaimanapun, nilai ketumpatan (purata) sebenar lebih sesuai digunakan kerana ia berupaya menghapuskan kesan tarikan yang disebabkan oleh ciri-ciri yang terdapat di permukaan bumi. Komposisi dan keporosan merupakan faktor utama yang mengawal variasi dalam ketumpatan batuan dan mineral. Dominannya bagi batuan metamorf dan igneus, ketumpatan meningkat dengan kedalaman iaitu berdasarkan proses pepadatan, manakala keberkesanan penyimenan mengawal ketumpatan bagi

batuan sedimen. Ketumpatan batuan dan mineral tersingkap di kawasan kajian ini boleh dianggarkan dengan membuat pengukuran di makmal. Umumnya, ketumpatan bagi pelbagai batuan dan mineral bumi ditunjukkan dalam Jadual 2.2.

Diketahui bahawa variasi relatif bagi ketumpatan adalah agak kecil, iaitu sekitar 0.8 gcm^{-3} serta terdapat beberapa pertindihan nilai ukuran ketumpatan bagi sesetengah batuan. Keadaan ini wujud disebabkan pengukuran makmal menghadapi beberapa masalah pada sampel, di mana sampel yang diukur mungkin sudah mengalami proses luluhawa serta kedudukannya yang pada aras yang berbeza dari permukaan ketika ia diambil. Maka ia memungkinkan bahawa nilai ketumpatan yang diperoleh tidak mewakili ketumpatan keseluruhan batuan kawasan yang dikaji.

Perbezaan yang kecil dalam variasi ketumpatan batuan ini menggambarkan bahawa, pecutan graviti menjadi sangat kecil dan sukar untuk dikesan. Justeru itu, pengetahuan tentang ketumpatan sahaja tidak memadai bagi menentukan jenis sesuatu batuan. Umumnya, unit ukuran bagi menentukan ketumpatan adalah tan per meter padu (tm^{-3}), atau boleh dipermudahkan sebagai gram per sentimeter padu (gcm^{-3}). Nilai ini bersetuju dengan unit SI, iaitu kilogram per meter padu (kgm^{-3}). Penggunaan unit ini sangat berguna dalam menghubungkan di antara isipadu dan jisim dengan lebih jelas. Ketumpatan bagi kebanyakan batuan dan mineral di Malaysia adalah seperti dalam lampiran E.

Jadual 2.2: Ketumpatan bagi kebanyakan batuan dan mineral (diubahsuai daripada Seigel, 2005)

Batuan / Mineral	Julat gcm ⁻³	Purata gcm ⁻³	Batuan / Mineral	Julat gcm ⁻³	Purata gcm ⁻³
Sedimen (basah)					
Overburden		1.92	Ilmenit	4.30 - 5.00	4.67
Tanah	1.20 - 2.40	1.92	Pirolusit	4.70 - 5.00	4.82
Clay	1.63 - 2.60	2.21	Magnetit	4.90 - 5.20	5.12
Kelikir	1.70 - 2.40	2	Franklinit	5.00 - 5.22	5.12
Pasir	1.70 - 2.30	2	Hematit	4.90 - 5.30	5.18
Batu Pasir	1.61 - 2.76	2.35	Kuprit	5.70 - 6.15	5.92
Syal	1.77 - 3.20	2.4	Kasiterit	6.80 - 7.10	6.92
Batu Kapur	1.93 - 2.90	2.55	Wolframit	7.10 - 7.50	7.32
Dolomit	2.28 - 2.90	2.7			
Batuan Sedimen (purata)		2.5	Sulfida, Arsenik		
			Sfalerit	3.50 - 4.00	3.75
			Malachit	3.90 - 4.03	4.00
Batuan Igneus					
Rhyolit	2.35 - 2.70	2.52	Chalcopirit	4.10 - 4.30	4.20
Andesit	2.40 - 2.80	2.61	Stannit	4.30 - 4.52	4.40
Granit	2.50 - 2.81	2.64	Stibnit	4.50 - 4.60	4.60
Granodiorit	2.67 - 2.79	2.73	Pirotit	4.50 - 4.80	4.65
Porfiri	2.60 - 2.89	2.74	Molibdenit	4.40 - 4.80	4.70
Kuarzadiorit	2.62 - 2.96	2.79	Marcasit	4.70 - 4.90	4.85
Diorit	2.72 - 2.99	2.85	Pirit	4.90 - 5.20	5.00
Lava	2.80 - 3.00	2.9	Bornit	4.90 - 5.40	5.10
Diabas	2.50 - 3.20	2.91	Chalcocit	5.50 - 5.80	5.65
Basalt	2.70 - 3.30	2.99	Kobalt	5.80 - 6.30	6.10
Gabbro	2.70 - 3.50	3.03	Arsenopirit	5.90 - 6.20	6.10
Peridotit	2.78 - 3.37	3.15	Bismuththinit	6.50 - 6.70	6.57
Igneus (berasid)	2.30 - 3.11	2.61	Galena	7.40 - 7.60	7.50
Igneus (umum)	2.09 - 3.17	2.79	Cinnabar	8.00 - 8.20	8.10
Batuan Metamorf					
Kuarzit	2.50 - 2.70	2.6	Mineral bukan Metalik		
Syis	2.39 - 2.90	2.64	Petroleum	0.60 - 0.90	
Graywack	2.60 - 2.70	2.65	Ais	0.88 - 0.92	
Marmar	2.60 - 2.90	2.75	Air Laut	1.01 - 1.05	
Serpentin	2.40 - 3.10	2.78	Lignit	1.10 - 1.25	1.19
Slat	2.70 - 2.90	2.79	Arang Batu (lembut)	1.20 - 1.50	1.32
Gneis	2.59 - 3.00	2.8	Anthracit	1.34 - 1.80	1.50
Amfibolit	2.90 - 3.04	2.96	Kapur	1.53 - 2.60	2.01
Eclogit	3.20 - 3.54	3.37	Grafit	1.90 - 2.30	2.15
Metamorfik	2.40 - 3.10	2.74	Garam Batu	2.10 - 2.60	2.22
			Gypsum	2.20 - 2.60	2.35
			Kaolinit	2.20 - 2.63	2.53
Mineral Metalik					
Oksida, Karbonat					
Bauksit	2.30 - 2.55	2.45	Orthoclas	2.50 - 2.60	
Limonit	3.50 - 4.00	3.78	Kuarza	2.50 - 2.70	2.65
Siderit	3.70 - 3.90	3.83	Kalsit	2.60 - 2.70	
Rutil	4.18 - 4.30	4.25	Anhidrit	2.29 - 3.00	2.93
Mangan	4.20 - 4.40	4.32	Biotit	2.70 - 3.20	2.92
Kromit	4.30 - 4.60	4.36	Magnesit	2.90 - 3.12	3.03
			Fluorit	3.01 - 3.25	3.14
			Barit	4.30 - 4.70	4.47

2.4 Tinjauan Magnet

2.4.1 Pendahuluan

Pada tahun 1600, Sir William Gilbert telah menerbitkan karya saintifik pertama yang berkaitan tentang medan magnet bumi bertajuk *De Magnete* dan beliau menjelaskan bahawa medan magnet bumi mempunyai orientasi tertentu pada setiap titik di atas muka bumi. Ketika pertengahan abad ke-19, Karl Frederick Gauss telah bersetuju dengan penemuan oleh Sir William Gilbert dan membuktikan bahawa pengukuran magnet pada permukaan bumi bukanlah disebabkan oleh sumber dari luar bumi tetapi lebih kepada sumber di dalamnya. Dalam tahun 1870, Thalen telah berjaya mencipta sebuah alat yang dapat mengukur daya mengufuk, daya menegak dan sudut deklinasi magnet yang dikenali sebagai Magnetometer. Magnetometer yang digunakan sehingga kini merupakan magnetometer telah mengalami pembaikan dan pengubahsuaian selaras dengan perkembangan ilmu sains.

Secara umumnya, penggunaan kaedah ini dalam prospek geofizik biasanya digunakan sebagai perbandingan atau kaedah gandingan dengan kaedah graviti. Kaedah ini adalah berdasarkan pengukuran terhadap perubahan kecil pada medan magnet yang disebabkan oleh sebarang perubahan dalam batuan bermagnet dan ketidakhomogenan pada batuan dasar sama ada di permukaan atau dalam komposisinya. Tujuan utama tinjauan magnet adalah untuk mengesan batuan atau mineral yang mengandungi bahan-bahan bermagnet, yang mana kewujudannya menyebabkan gangguan atau anomali pada keamatan medan magnet bumi (Grant dan West, 1965). Biasanya, penentuan kedalaman batuan dasar dan

ketebalan sedimen yang wujud merupakan keputusan yang penting. Kebanyakan batuan sedimen adalah tidak bersifat magnet, tetapi di bawahnya iaitu batuan igneus atau batuan dasar biasanya lebih bersifat magnet (Nettleton, 1976). Dalam eksplorasi geofizik, kaedah magnet ini merupakan kaedah yang terawal digunakan berbanding dengan kaedah geofizik yang lain. Kaedah ini adalah antara kaedah yang mudah dilakukan dengan kos pelaksanaannya yang murah. Justeru itu, sehingga kini ia masih lagi merupakan kaedah geofizik yang sering digunakan. Walau bagaimanapun, ia juga mempunyai kelemahan iaitu kurang keunikan dalam pentafsiran ukurannya sama seperti kaedah graviti.

2.4.2 Teori Magnet

Sebarang perbincangan berkenaan magnetisme adalah kompleks kerana notasi fizikal bagi medan magnetik yang tidak piawai. Walau bagaimanapun, dengan adanya 'sistem cgs' maka daya di antara kutub berdasarkan Hukum Coulomb digunakan untuk menerangkan konsep asas dalam medan magnet. Coulomb menjelaskan bahawa daya di antara dua kutub adalah berkadar songsang terhadap kuasa dua jarak, manakala daya yang bertindak di antara kutub tersebut mempunyai kekuatan kutub P_1 dan P_2 serta dipisahkan oleh jarak r iaitu

$$F_m \propto \frac{P_1 P_2}{r^2} \quad \text{atau} \quad F_m = \frac{1}{\mu} \frac{P_1 P_2}{r^2}$$

di mana, μ adalah keterlapan magnet dan setiap kutub memiliki kekuatan dalam unit ampere meter (Amp-m). Dalam kes ini, kutub dirujuk sebagai unit kutub. Kekuatan medan magnet, H diungkapkan sebagai daya per unit kekuatan kutub yang dihasilkan oleh kutub magnet, P_1 . Maka, H adalah lebih