

**KESAN KEDALAMAN DAN TEMPOH MASA  
BANJIR TERHADAP KEUTUHAN SUBGRED  
JALAN RAYA BERDASARKAN PERISTIWA  
BANJIR SEBENAR**

**MUHD SHAHRIL NIZAM BIN ISMAIL**

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**2021**

**KESAN KEDALAMAN DAN TEMPOH MASA  
BANJIR TERHADAP KEUTUHAN SUBGRED  
JALAN RAYA BERDASARKAN PERISTIWA  
BANJIR SEBENAR**

oleh

**MUHD SHAHRIL NIZAM BIN ISMAIL**

**Tesis yang diserahkan untuk  
memenuhi keperluan bagi  
Ijazah Doktor Falsafah**

**April 2021**

## PENGHARGAAN

Mulanya, saya ingin memanjatkan kesyukuran kepada Allah SWT. kerana dengan kurnia dan izin-Nya memberi saya petunjuk, kekuatan dan kesabaran dalam menyiapkan kajian saya ini. Dengan berkat ilmu yang diperoleh ini, dapatlah saya menyumbangkan sesuatu yang manfaat kepada masyarakat dan negara bagi tempoh masa yang akan datang. Saya ingin menzahirkan rasa penghargaan dan jutaan terima kasih kepada penyelia utama saya iaitu Prof. Madya Ir. Dr Abdul Naser Abdul Ghani dalam membimbing saya dan memberi tunjuk ajar kepada saya selama saya dalam proses menyiapkan tesis ini. Tidak lupa juga, kepada penyelia kedua iaitu Dr. Faizal Bin Baharum dalam memberi tunjuk ajar dan galakan secara langsung dan tidak langsung. Tanpa usaha dan bimbingan mereka berkemungkinan tesis ini tidak akan diselesaikan secara bertulis.

Saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada isteri saya yang tercinta iaitu Nurul Munirah Binti Ahmad Mazuki yang sentiasa menyokong dan memberi motivasi kepada saya sepanjang pengajian saya. Sepanjang berada di USM, saya menghargai sokongan dan perkongsian ilmu yang telah diberikan oleh para kakitangan di Pusat Pengajian Perumahan, Bangunan dan Perancangan (PPPBP) khususnya staf-staf yang berada di Makmal Ukur dan Tanah. Akhir sekali, setinggi-tinggi terima kasih kepada ibu bapa saya yang memberi semangat dan restu untuk saya meneruskan pengajian ini. Sekian terima kasih.

## ISI KANDUNGAN

<b>PENGHARGAAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ISI KANDUNGAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>SENARAI JADUAL .....</b>	<b>viii</b>
<b>SENARAI RAJAH.....</b>	<b>x</b>
<b>SENARAI SIMBOL.....</b>	<b>xv</b>
<b>SENARAI SINGKATAN.....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB 1 PENGENALAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Kajian .....	1
1.2 Penyataan Masalah.....	3
1.3 Persoalan Kajian.....	5
1.4 Matlamat dan Objektif Kajian.....	5
1.5 Skop Kajian.....	6
1.6 Susunan Bab.....	8
<b>BAB 2 KAJIAN LITERATUR.....</b>	<b>10</b>
2.1 Pengenalan .....	10
2.2 Persekitaran Iklim dan Cuaca di Malaysia .....	10
2.2.1 Perubahan Iklim dan Cuaca.....	15
2.3 Peristiwa Banjir di Malaysia.....	17
2.3.1 Jenis-Jenis Banjir.....	21
2.3.2 Ciri-Ciri Banjir.....	22
2.4 Infrastruktur Jalan Raya.....	25
2.4.1 Kategori dan Klasifikasi Jalan Raya.....	26

2.4.2	Turapan Jalan Raya.....	28
	2.4.2 (a) Lapisan turapan fleksibel.....	31
	2.4.2 (b) Kod amalan Pembinaan Lapisan Jalan Raya.....	33
2.5	Kesan Banjir ke atas Infrastruktur Jalan Raya.....	32
2.5.1	Kajian Perintis : Peristiwa Banjir di Kedah .....	37
2.6	Jenis-Jenis tanah.....	41
2.7	Tanah Subgred .....	44
2.7.1	Permasalahan Tanah Subgred .....	46
2.7.2	Prestasi Tanah Subgred .....	47
2.7.3	Kelakuan Tanah Subgred Tidak Tepu.....	51
	2.7.3 (a) Konsep Sedutan Tanah.....	56
	2.7.3 (b) Keluk Ciri Air - Tanah.....	56
2.7.4	Kekuatan Tanah Subgred Pengaruh Kandungan Lembapan dan Sedutan dalam Tanah Pada Tingkah Laku Subgred .....	57
2.7.5	Tingkah laku Tanah Subgred Tidak Tepu Dalam Proses Kitaran Pengeringan dan Pembasahan.....	58
2.8	Model Simulasi Banjir.....	58
2.9	Eksperimen Ujian Tanah .....	60
2.9.1	Penggredan .....	62
2.9.2	Graviti Tentu .....	64
2.9.3	Had Atterberg .....	65
2.9.5	Pemadatan .....	67
2.9.6	Nisbah Galas California (NGC) .....	69
2.10	Rumusan dan Hala Tuju Kajian.....	75
	<b>BAB 3 METODOLOGI KAJIAN .....</b>	<b>76</b>
3.1	Pengenalan .....	76
3.1.1	Rangka Kerja Kajian.....	77

3.1.2	Lakaran Peta Jalan Raya.....	79
3.2	Kelengkapan dan Bahan Kajian.....	79
3.2.1	Tanah Subgred.....	80
3.3	Program Ujian Makmal.....	83
3.3.1	Kandungan Lembapan.....	84
3.3.1 (a)	Ujian kandungan lembapan luaran.....	85
3.3.2	Penggredan .....	86
3.3.3	Had Atterberg.....	87
3.3.4	Graviti Tentu.....	89
3.3.5	Pemadatan Tanah.....	90
3.3.6	Ujian Kimia.....	91
3.3.6 (a)	Kandungan Organik.....	91
3.3.6 (b)	Ujian pH tanah.....	92
3.4	Model Fizikal Simulasi Banjir.....	93
3.4.1	Penyediaan Sampel.....	100
3.4.2	Penentuan Jumlah Pemberat.....	102
3.4.3	Penentuan Senario Peristiwa Banjir.....	108
3.4.4	Prosedur Model Fizikal Simulasi Banjir.....	144
3.4.5	Pengujian Kekuatan Tanah Subgred.....	125
3.4.5 (a)	Pengubahsuaian Komponen.....	127
3.5	Penyediaan Prosedur : Model Fizikal Simulasi Banjir.....	130
3.6	Data Analisis.....	133
3.6.1	Kaedah Analisis bagi Data Peristiwa Banjir Sebenar.....	133
3.6.2	Kaedah Analisis bagi Data Keutuhan Subgred.....	134
	<b>BAB 4 DATA PERISTIWA BANJIR SEBENAR.....</b>	<b>135</b>
4.1	Kaedah Analisis.....	135

4.2	Klasifikasi Ciri- Ciri Banjir Terhadap Jalan Raya.....	136
4.2.1	Tempoh Masa Banjir.....	139
4.2.2	Kedalaman Banjir.....	141
4.2.3	Kekerapan Banjir.....	143
4.2.4	Peta Kawasan Banjir.....	148
4.3	Pengelasan Data Banjir berulang Bagi Model Fizikal Simulasi Banjir.....	155
<b>BAB 5 PROGRAM UJIAN MAKMAL.....</b>		<b>158</b>
5.1	Pengenalan.....	158
5.2	Penentuan Sifat-Sifat Tanah.....	158
5.2.1	Pengiraan Analisis Saiz Zarah.....	160
5.2.2	Ujian Pepadatan <i>Proctor</i> .....	164
5.2.3	Ujian Kandungan Lembapan Luaran.....	166
5.2.4	Ujian Kandungan Organik.....	167
5.3	Model Fizikal Simulasi Banjir.....	168
5.4	Banjir Tidak Berulang .....	169
5.4.1	Hubung kait Kandungan Lembapan dengan Banjir Tidak Berulang .....	173
5.5	Banjir Berulang .....	174
5.5.1	Banjir Berulang Selepas 10 Hari.....	175
5.5.1 (a)	Banjir Berulang Pertama.....	175
5.5.1 (b)	Banjir Berulang Kedua.....	179
5.5.1 (c)	Hubung kait Kandungan Lembapan dengan Banjir Berulang.....	182
5.5.2	Banjir Berulang selepas 20 Hari.....	183
5.5.2 (a)	Banjir Berulang Pertama.....	183
5.5.2 (b)	Banjir Berulang Kedua.....	186
5.5.3	Perbandingan dengan Kajian-Kajian Lepas.....	189

5.5.4	Perbandingan Kemerosotan Subgred bagi Tempoh Masa Banjir Berlaku di antara 10 dan 20 Hari.....	193
-------	---	-----

**BAB 6 KESIMPULAN DAN SUMBANGAN KAJIAN .....196**

6.1	Kesimpulan Kajian .....	196
6.2	Sumbangan Kajian.....	198
6.3	Kajian Masa Hadapan.....	199

**RUJUKAN .....200**

**LAMPIRAN**

**SEMINAR DAN PENERBITAN**



## SENARAI JADUAL

### Muka surat

Jadual 2.1	Jenis Musim yang berlaku di Malaysia.....	12
Jadual 2.2	Jenis struktur turapan berdasarkan kategori subgred.....	25
Jadual 2.3	Kawasan banjir di Negeri Kedah dari tahun 2012 hingga 2015.....	39
Jadual 2.4	Saiz zarah bagi setiap jenis tanah.....	42
Jadual 2.5	Pengelasan sistem bersepadu bagi kegunaan tanah.....	44
Jadual 2.6	Kaedah menentukan kekuatan subgred di Malaysia.....	49
Jadual 2.7	Nilai yang piawai bagi nisbah lompong untuk pelbagai jenis tanah....	53
Jadual 2.8	Jenis ujian-ujian bagi menguji tanah.....	61
Jadual 2.9	Graviti tentu bagi jenis tanah.....	65
Jadual 2.10	Tanah yang dikelaskan mengikut keplastikan.....	67
Jadual 2.11	Klasifikasi tanah dan kegunaan berdasarkan ujian NGC.....	70
Jadual 3.1	Perbandingan klasifikasi tanah yang diluluskan oleh JKR.....	83
Jadual 3.2	Konsep struktur turapan jalan raya berdasarkan kategori trafik.....	97
Jadual 3.3	Nilai ketumpatan bahan berdasarkan lapisan struktur turapan.....	103
Jadual 3.4	Senarai jumlah pemberat bagi setiap bagi kedalaman banjir.....	105
Jadual 3.5	Jumlah berat keseluruhan struktur turapan kategori T3.....	107
Jadual 3.6	Jumlah pemberat keseluruhan untuk MSB.....	107
Jadual 3.7	Perubahan kandungan lembapan berdasarkan bilangan hari.....	110
Jadual 3.8	Jumlah keseluruhan sampel yang dijalankan dalam ujian MSB.....	121
Jadual 3.9	Pengujian sampel bagi MSB untuk sampel tidak berlaku banjir.....	122
Jadual 3.10	Pengujian sampel bagi MSB untuk sampel banjir tidak berulang.....	122
Jadual 3.11	Pengujian sampel MSB untuk sampel banjir berulang pertama.....	123
Jadual 3.12	Pengujian sampel MSB untuk sampel banjir berulang kedua.....	124

Jadual 3.13	Hubungan daya dan penembusan.....	126
Jadual 4.1	Perincian deskriptif statistik bagi tempoh masa banjir kilat dan banjir monsun.....	141
Jadual 4.2	Perincian deskriptif statistik bagi kedalaman banjir kilat dan banjir monsun.....	143
Jadual 4.3	Keputusan ujian-t bagi pengelasan banjir berulang.....	145
Jadual 4.4	Perincian deskriptif statistik bagi banjir berulang pertama dan banjir berulang kedua.....	148
Jadual 5.1	Ciri-ciri pengawalan pada tanah sampel tanah.....	159
Jadual 5.2	Taburan saiz zarah bagi sampel tanah yang diuji.....	161
Jadual 5.3	Ujian Pempadatan <i>Proctor</i> yang telah dijalankan.....	164
Jadual 5.4	Nilai ujian kandungan organik.....	167

## SENARAI RAJAH

### Muka surat

Rajah 2.1	Corak Angin Monsun : (a) Barat Daya dan (b) Timur laut.....	14
Rajah 2.2	Panjang jalan raya dari tahun 1987 sehingga 2017.....	26
Rajah 2.3	Pembahagian pembangunan jalan persekutuan mengikut jenis pada tahun 2016.....	27
Rajah 2.4	Corak pengagihan beban turapan fleksibel.....	30
Rajah 2.5	Perbezaan agihan beban antara struktur turapan.....	31
Rajah 2.6	Struktur lapisan turapan untuk jalan utama.....	32
Rajah 2.7	Jenis-jenis kerosakan yang berlaku pada infrastruktur jalan raya akibat daripada fenomena banjir.....	36
Rajah 2.8	Peta lokasi kejadian banjir yang berlaku di Negeri Kedah dari tahun 2012 hingga 2015.....	38
Rajah 2.9	Kerosakan jalan yang berlaku akibat banjir di Kedah pada tahun 2012 – 2015 : (a) Jalan Kampung (b) Jalan Napoh (c) Jalan Pusat Pembiakan Ikan (d) Jalan Tanjung Koding.....	40
Rajah 2.10	Fasa-fasa tanah.....	51
Rajah 2.11	Klasifikasi bagi bahagian tanah tepu dan tanah tidak tepu.....	52
Rajah 2.12	Perbezaan diantara tanah tepu dan tanah tak tepu dalam asas mekanik tanah berdasarkan keadaan tegasan.....	52
Rajah 2.13	Faktor yang menyumbang kepada pelbagai keadaan kelembapan pada struktur turapan.....	55

Rajah 2.14	Jenis penyediaan sampel untuk ujian NGC.....	72
Rajah 2.15	Perbandingan keluk kaedah statik dan kaedah dinamik.....	74
Rajah 3.1	Carta aliran metodologi kajian.....	78
Rajah 3.2	Sampel tanah untuk ujian makmal.....	81
Rajah 3.3	Sampel tanah yang direndam untuk ujian kandungan lembapan.....	85
Rajah 3.4	Ujian kandungan lembapan luaran dijalankan.....	86
Rajah 3.5	Mesin pengetar mekanikal.....	87
Rajah 3.6	Fasa- fasa perubahan tanah.....	88
Rajah 3.7	Ujian meter tusuk kon.....	89
Rajah 3.8	Peralatan ujian pemadatan proctor (a) peralatan (b) ujian sedang dijalankan.....	91
Rajah 3.9	Carta aliran prosedur MSB bagi banjir tidak berulang.....	98
Rajah 3.10	Carta aliran prosedur MSB bagi banjir berulang.....	99
Rajah 3.11	Sampel tanah dimampatkan menggunakan kaedah mampatan statik.....	100
Rajah 3.12	Contoh tipikal struktur turapan jalan raya.....	103
Rajah 3.13	Pemberat yang digunakan untuk MSB.....	108
Rajah 3.14	Struktur sokongan pemberat yang telah diubahsuai untuk MSB :(a) pandangan atas lukisan 3D, (b) gambar asal.....	114
Rajah 3.15	Bekas yang digunakan MSB.....	115
Rajah 3.16	Penyediaan sampel untuk MSB bagi banjir tidak berulang (a) dan (b) memastikan penyesuaian peralatan (c) penggunaan penimbang air untuk keseimbangan (d) Model simulasi banjir sedang dijalankan.....	117
Rajah 3.17	Ilustrasi keratan rentas bagi MSB .....	118
Rajah 3.18	Ujian MSB untuk sampel banjir berulang (a) simulasi	

	banjir berdasarkan parameter yang ditetapkan (b) kuantiti air di keluarkan dari bekas sebagai simulasi air telah surut.....	120
Rajah 3.19	Tempoh masa bagi banjir akan berulang kembali (a) simulasi banjir telah surut (b) pemberat dikurangkan sebagai simulasi banjir telah surut.....	120
Rajah 3.20	Sampel tanah yang telah diuji (a) bahagian bawah sampel (b) bahagian atas sampel.....	126
Rajah 3.21	Penggunaan sel beban untuk ujian (a) sel beban 10 N (b) sel beban 50 N .....	127
Rajah 3.22	Aksesori tambahan untuk ujian NGC (a) Data pengelogg NTB PCB-300 (b) LVDT 50 mm.....	128
Rajah 3.23	Mesin mampatan diubahsuai untuk ujian NGC (a) aturan susun atur data pengelogg dan aksesori (b) gambar asal.....	129
Rajah 3.24	Carta aliran penambahbaikan prosedur bagi MSB.....	132
Rajah 4.1	Peratusan peristiwa banjir berlaku dari tahun 1991 hingga 2014.....	137
Rajah 4.2	Tempoh masa bagi banjir kilat.....	140
Rajah 4.3	Tempoh masa bagi banjir monsun.....	140
Rajah 4.4	Kedalaman banjir bagi banjir monsun dan banjir kilat.....	142
Rajah 4.5	Pengelasan jumlah banjir berulang bagi setiap bulan.....	144
Rajah 4.6	Kedalaman banjir bagi banjir berulang.....	146
Rajah 4.7	Tempoh masa ketika banjir berulang berlaku.....	147
Rajah 4.8	Peta banjir kilat	150
Rajah 4.9	Peta banjir monsun.....	152
Rajah 4.10	Peta banjir berulang.....	154
Rajah 4.11	Kedalaman banjir berulang dalam tempoh sebulan.....	156

Rajah 4.12	Tempoh masa banjir berulang dalam tempoh sebulan.....	156
Rajah 4.13	Tempoh masa banjir berulang yang berlaku kembali dalam tempoh sebulan.....	157
Rajah 5.1	Graf taburan saiz zarah bagi sampel yang dikaji.....	161
Rajah 5.2	Graf perincian had penggredan untuk bahan jenis F bagi sampel kajian.....	163
Rajah 5.3	Keluk pemadatan <i>proctor</i> ubahsuai bagi sampel tanah yang diuji.....	165
Rajah 5.4	Peratusan kandungan lembapan bagi ujian kandungan lembapan luaran.....	167
Rajah 5.4	Perbandingan nilai $MSB_T$ dengan kandungan lembapan untuk sampel banjir tidak berulang (bahagian atas sampel) .....	172
Rajah 5.6	Perbandingan nilai $MSB_B$ dengan kandungan lembapan untuk sampel banjir tidak berulang pada (bahagian bawah sampel) .....	172
Rajah 5.7	Hubung kait antara kandungan lembapan dengan nilai $MSB$ bagi banjir tidak berulang.....	174
Rajah 5.8	Perbandingan had penggredan bagi sampel tanah kajian dengan sampel tanah daripada kajian lepas.....	177
Rajah 5.9	Perbandingan nilai $MSB_T$ dengan kandungan lembapan 14.5% bagi banjir berulang pertama (bahagian atas sampel) .....	177
Rajah 5.10	Perbandingan nilai $MSB_B$ dengan kandungan lembapan 14.5 % bagi banjir berulang pertama (bahagian bawah sampel) .....	179
Rajah 5.11	Perbandingan nilai $MSB_T$ dengan kandungan lembapan	

	14.5% bagi banjir berulang kedua (bahagian atas sampel) .....	181
Rajah 5.12	Perbandingan nilai $MSB_B$ dengan kandungan lembapan 14.5% bagi banjir berulang kedua (bahagian bawah sampel) .....	181
Rajah 5.13	Hubungan kait peratusan nilai MSB dengan kandungan lembapan untuk banjir berulang.....	182
Rajah 5.14	Perbandingan nilai $MSB_T$ dengan kandungan lembapan 11.2% bagi banjir berulang pertama (bahagian atas sampel) .....	185
Rajah 5.16	Perbandingan nilai $MSB_B$ dengan kandungan lembapan 11.2 % bagi banjir berulang pertama (bahagian bawah sampel) .....	185
Rajah 5.16	Perbandingan nilai $MSB_T$ dengan kandungan lembapan 11.2% bagi banjir berulang kedua (bahagian atas sampel) .....	188
Rajah 5.17	Perbandingan nilai $MSB_B$ dengan kandungan lembapan 11.2% bagi banjir berulang kedua (bahagian bawah sampel) .....	189
Rajah 5.18	Perbandingan nilai MSB di antara 10 dengan 20 hari banjir berlaku bagi banjir berulang pertama.....	195
Rajah 5.19	Perbandingan nilai MSB di antara 10 dengan 20 hari banjir berlaku bagi banjir berulang kedua.....	195

## SENARAI SIMBOL

cm	Sentimeter
°C	Darjah celcius
Cc	Pekali Kelengkungan
Cu	Pekali Keseragaman
g	Gram
Gs	Graviti tentu
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
m	Meter
mm	Milimeter
M <sub>R</sub>	Modulus Kebingkisan
N	Newton
R	Nilai Rintangan
µm	Micrometer



## SENARAI SINGKATAN

ATJ	Arahan Teknik Jalan
AR5	Laporan Penilaian Kelima
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
BS	British Standard
ESAL	Equivalent Single Axle Load
JKR	Jabatan Kerja Raya
JPS	Jabatan Pengaliran dan Saliran
LVDT	Linear Variable Displacement Transducer
LLM	Lembaga Lebuhraya Malaysia
MSB	Model Fizikal Simulasi Banjir
MSB <sub>T</sub>	Model Fizikal Simulasi Banjir (bahagian atas sampel)
MSB <sub>B</sub>	Model Fizikal Simulasi Banjir (bahagian bawah sampel)
MSB <sub>U</sub>	Model Fizikal Simulasi Banjir (sampel tidak direndam)
JPS	Jabatan Pengaliran dan Saliran
MS	Malaysia Standard
NGC <sub>sw</sub>	Nilai Peratusan Nisbah Galas California bagi Sampel Tanah SW
PPPBP	Pusat Pengajian Perumahan, Bangunan dan Perancangan
PBT	Pihak Berkuasa Tempatan
REAM	Pertubuhan Kejuruteraan Jalan Malaysia
SPJ	Spesifikasi Kerja Jalan
USCS	Unified Soil Classification System

**KESAN KEDALAMAN DAN TEMPOH MASA BANJIR TERHADAP  
KEUTUHAN SUBGRED JALAN RAYA BERDASARKAN PERISTIWA  
BANJIR SEBENAR**

**ABSTRAK**

Kerosakan jalan raya akibat banjir boleh memberi kesan kepada perbelanjaan yang besar untuk pemulihan dan penyelenggaraan selepas berlakunya bencana banjir. Apabila banjir berlaku, subgred jalan raya adalah lapisan yang paling mudah terdedah kepada kesan banjir kerana ia berada di bahagian bawah struktur jalan raya. Kajian ini bertujuan untuk mengenal pasti ciri-ciri banjir dan menganggar kandungan lembapan bagi jalan raya yang ditenggelami banjir. Ia merangkumi klasifikasi bagi kedalaman banjir, tempoh masa banjir dan banjir berulang berdasarkan peristiwa banjir sebenar dari tahun 1991 sehingga 2014 yang berlaku di jalan raya seluruh Malaysia. Klasifikasi ini digunakan bagi membina *rig* simulasi banjir untuk mengkaji variasi kandungan lembapan dalam subgred tanah berdasarkan kedalaman, tempoh masa dan kekerapan banjir. Kajian ini mendedahkan bahawa kedalaman banjir yang berlaku di jalan raya boleh diklasifikasikan kepada 0.3 m, 0.6 m dan 1.0 m bagi pelbagai kategori banjir. Kajian ini juga mendedahkan kemerosotan subgred bagi banjir berulang pertama dan banjir berulang kedua adalah melebihi 50% berdasarkan kedalaman dan tempoh masa tertentu. Walau bagaimanapun kesan kemerosotan subgred banjir berulang kedua adalah lebih signifikan daripada banjir berulang pertama. Terdapat hubungan yang kuat di antara kandungan kelembapan dan kekuatan subgred dengan koefisien korelasi  $R^2$  untuk banjir tidak berulang ialah 0.80 manakala bagi banjir berulang ialah 0.79. Kajian ini juga berjaya membangunkan prosedur Model fizikal Simulasi Banjir (MSB) untuk pengujian tanah bagi kawasan berisiko banjir.

# **EFFECT OF FLOODING DEPTH AND DURATION ON THE INTEGRITY OF ROAD SUBGRADE BASED ON ACTUAL FLOODING EVENTS**

## **ABSTRACT**

Road damages due to flooding could result in huge expenditures for the post-flooding rehabilitation and maintenance. When flooding occurred, road subgrade is the most prone to the flood effect because it is at the lower level of road structure. The purpose of this study is to identify the flooding characteristics and to estimate moisture contents of inundated roads. It includes the classification of flood water level, flood duration, and repeated flooding based on actual flooding events between 1991- 2014 in Malaysia. The classification was then used to construct flood simulation rig to study the variation in moisture content of subgrade soils based on depth, duration and recurrence of flooding. The study revealed that the historical flood depths could be grouped into 0.3 m, 0.6 m and 1.0 m depths categories. The rate of deterioration in subgrade strength for the first and second flooding events was found to exceed 50 % depending on the different depth and duration. However the subgrade deterioration of the second flood events is more significant than the first flood events. This study also revealed that there is a strong relationship between moisture content and subgrade strength. A linear relationship exists between moisture content and subgrade strength with a coefficient of correlation on the unrepeated flood and repeated flood,  $R^2$  is 0.80 and 0.79 respectively. This study has also developed a special procedure for CBR testing of soils from flood prone areas.

# **BAB 1**

## **PENGENALAN**

### **1.1 Latar Belakang Kajian**

Bencana banjir yang berlaku kadangkala merupakan fenomena alam semula jadi yang tidak dapat dielakkan. Kedudukan geografi Malaysia yang berada di kawasan tropika biasanya menerima hujan yang tinggi merupakan salah satu faktor penyumbang terbesar bencana banjir berlaku di Malaysia. Tambahan pula, cuaca di Malaysia dibezakan dengan empat musim yang berbeza iaitu Monsun Timur Laut, Monsun Barat Daya dan dua monsun peralihan jangka pendek (MetMalaysia, 2019). Fenomena banjir ini secara tidak langsung memberi impak yang besar terhadap infrastruktur jalan raya dan masyarakat setempat amnya. Oleh itu, apabila infrastruktur jalan raya tidak dapat digunakan maka, pelbagai kesan banjir dapat dilihat contohnya aliran trafik terganggu seterusnya peningkatan kesesakan lalu lintas boleh berlaku (Hossain & Davies, 2004).

Ia seterusnya boleh menyebabkan keperluan peruntukan dan belanjawan yang sangat tinggi bagi menampung keseluruhan kos pembinaan dan penyelenggaraan infrastruktur jalan raya terutamanya bagi negara membangun seperti Malaysia (Okoye, Aniagolu, & Iloeje, 2015; S. M. H. Shah, Mustaffa, & Yusof, 2017). Fenomena banjir juga akan memberi kesan pada keutuhan subgred daripada segi kemampuan untuk menyokong lapisan struktur turapan yang sedia ada. Kebiasaannya, diketahui bahawa kegagalan turapan untuk menampung beban adalah kerana kemerosotan kekuatan subgred (Lu, Tighe, & Xie, 2018).

Selain itu, banyak kajian - kajian lepas berkaitan kerosakan kekuatan subgred telah dilakukan oleh penyelidik lepas (Choudhary & Joshi, 2014; Ghani, Roslan, & Hamid, 2016; Lakshmi, Subramanian, Lalithambikhai, Vela, & Ashni, 2016). Namun begitu, tidak banyak diketahui bagaimana subgred bertindak balas terhadap keadaan banjir yang berbeza terutamanya berdasarkan ciri-ciri banjir daripada peristiwa banjir yang sebenar. Bagi pembinaan jalan raya di Malaysia, perancangan dan keseragaman dalam mereka bentuk turapan jalan raya untuk semua kelas trafik adalah merujuk kepada *Manual on Flexible Pavement Design* (ATJ 5/85: 2013) manakala ujian yang berkaitan dengan tanah subgred menggunakan prosedur Malaysia Standard (MS 1056: 2013). Ujian ini adalah berkaitan pengujian sumber tanah subgred sebelum proses pembinaan jalan raya dijalankan.

Dalam tahun-tahun yang akan datang, kesan rumah hijau yang berlaku dijangka menyebabkan peningkatan suhu dunia. Keadaan ini tentunya memberi kesan kepada perubahan iklim yang boleh menyebabkan keadaan menjadi tidak menentu dan lebih mencabar kepada persekitaran amnya (Pregolato, Ford, Wilkinson, & Dawson, 2017). Impak perubahan iklim terhadap kelestarian dalam reka bentuk dan pembinaan jalan raya merupakan satu cabaran di masa hadapan (Rattanachot, Wang, Chong, & Suwansawas, 2015). Banjir juga merupakan salah satu akibat daripada perubahan iklim yang sedang dan bakal berlaku. Justeru itu, kajian ini akan mengambil kira ciri-ciri banjir yang berlaku berdasarkan peristiwa sebenar bagi penyediaan penambahbaikan prosedur yang sedia ada dalam proses reka bentuk pembinaan jalan raya.

## **1.2 Penyataan Masalah**

Fenomena Banjir boleh dikategorikan sebagai bencana alam yang berlaku dalam satu tempoh tertentu yang boleh mengakibatkan kerosakan yang besar terhadap infrastruktur antaranya infrastruktur jalan raya. Kerosakan jalan raya akibat peristiwa banjir telah menjadi fenomena biasa yang menyebabkan perbelanjaan yang besar untuk proses pemulihan selepas banjir. Pihak Kerajaan Malaysia telah membelanjakan RM 660 juta untuk infrastruktur jalan raya sepanjang tahun 2015 akibat banjir yang berlaku di Semenanjung Malaysia (Sinarharian, 2015).

Memandangkan kos yang tinggi untuk penyelenggaraan dan pembinaan jalan raya perlu ditanggung oleh pihak kerajaan maka satu kaedah yang terbaik adalah perlu untuk mengekalkan keutuhan struktur turapan jalan raya. Menurut Kordi, Endut, and Baharom (2010) antara salah satu faktor kerosakan turapan jalan raya adalah disebabkan oleh faktor cuaca seperti hujan lebat yang seterusnya boleh menyebabkan berlakunya bencana banjir di sesuatu tempat. Selain itu, menurut Ghani et al. (2016) apabila fenomena banjir terjadi, maka berlakunya perkembangan tanah subgred akibat tanah tersebut berada di dalam air untuk tempoh masa tertentu (peningkatan kandungan lembapan) dan apabila banjir surut (pengurangan kandungan lembapan), tanah subgred akan mula mengecut dan air yang berlebihan akan mengalir ke struktur lapisan paling bawah pada asas jalan raya yang akan melemahkan struktur turapan terutamanya bagi peristiwa banjir berulang yang boleh terjadi beberapa kali dalam tempoh masa sebulan.

Seterusnya, tanah akan menjadi lemah menyebabkan pengurangan keupayaan galas beban tanah tersebut. Pada dasarnya, reka bentuk struktur turapan jalan raya adalah berdasarkan kepada kekuatan tanah yang dipadatkan yang dikenali sebagai subgred atau asas jalan raya.

Secara umumnya, antara faktor utama kerosakan lapisan turapan konvensional adalah apabila terdedah kepada kandungan lembapan pada suatu tempoh tertentu. Prosedur reka bentuk dan pembinaan tanpa pengawalan teliti dan juga lebih muatan yang dibawa oleh kenderaan pengangkut juga turut menyumbang kepada kegagalan struktur turapan. Ujian Nisbah Galas California (NGC) merupakan salah satu ujian yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan potensi bagi tanah subgred dan ia merupakan kaedah menilai kualiti relatif bagi tanah subgred sebelum digunakan untuk proses pembinaan dan reka bentuk lapisan turapan jalan raya. Prosedur ujian NGC yang digunakan adalah berdasarkan prosedur MS 1056: 2013, bahagian 4. Walau bagaimanapun, prosedur itu tidak memberi penekanan secara langsung kepada ciri-ciri banjir yang kerap berlaku terhadap infrastruktur jalan raya di Malaysia dalam menjalankan aturan kerja bagi ujian tersebut.

Kesimpulannya, berdasarkan prosedur yang sedia ada bermula daripada penyediaan sampel hingga rendaman sampel untuk ujian Nisbah Galas California (NGC) didapati ia kurang memberi penekanan kepada kriteria perubahan iklim semasa dan penekanan pada ciri-ciri banjir yang sebenar (fenomena banjir itu terjadi) seperti tempoh masa banjir, kedalaman banjir dan kekerapan banjir dan juga tiada dalam aturan khusus prosedur untuk menguji keadaan tanah subgred pada kawasan yang berisiko banjir.

Oleh itu, kajian ini sangat perlu bagi membangunkan satu prosedur ujian khusus untuk menguji kekuatan subgred tanah bagi kawasan yang berisiko banjir melibatkan ciri-ciri banjir bagi mendapat gambaran situasi sebenar keadaan subgred tanah yang diuji ketika banjir berlaku.

### **1.3 Persoalan Kajian**

Kajian ini dijalankan untuk menjawab persoalan kajian berdasarkan isu yang telah diringkaskan sebelum ini. Maka persoalan kajian adalah seperti berikut:

- i. Apakah jenis-jenis banjir yang berlaku yang memberi kesan kepada jalan raya?
- ii. Bagaimanakah kandungan lembapan boleh dipengaruhi oleh tempoh masa dan kedalaman subgred yang ditenggelami banjir?
- iii. Adakah subgred yang tenggelam berulang kali mempercepatkan kemerosotan kekuatan subgred?
- iv. Apakah prosedur yang sesuai untuk pengujian tanah di kawasan berisiko banjir akibat perubahan iklim semasa?

### **1.4 Matlamat dan Objektif Kajian**

Matlamat kajian ini adalah untuk membuat penilaian dan menyediakan maklumat kesan tenggelam akibat banjir pada tanah subgred bagi jalan raya berdasarkan parameter yang akan dikaji. Oleh yang demikian, perkara ini secara tidak langsung



dapat membuat anggaran potensi kerosakan subgred berdasarkan perubahan iklim semasa. Objektif yang lebih khusus dalam kajian ini adalah seperti berikut:

- i. Untuk **mengkaji** ciri-ciri banjir yang berlaku terhadap jalan raya.
- ii. Bagi **menentukan** tahap perubahan kandungan lembapan dalam subgred pada tempoh masa, kedalaman dan kekerapan yang berlainan.
- iii. Bagi **menilai** sama ada kesan banjir berulang boleh mempercepatkan kemerosotan asas jalan raya.
- iv. Bagi **membangunkan** prosedur Model Fizikal Simulasi Banjir (MSB) terhadap subgred yang terdedah kepada kawasan yang berisiko banjir.

### 1.5 Skop Kajian

Kajian ini memfokuskan pada peristiwa banjir yang berlaku di jalan raya yang memberi kesan kepada perubahan kandungan lembapan dan kekuatan subgred. Selain itu, kajian ini hanya memberi tumpuan kepada jenis struktur jalan raya yang dibina berdasarkan kaedah konvensional tapak berbutir (*conventional flexible granular base*) sahaja. Hal ini demikian kerana kekurangan data sekunder bagi peristiwa banjir yang sebenar yang berlaku di jalan raya bagi pelbagai lokasi di Malaysia. Oleh itu, penyelidik hanya memfokuskan kepada data yang boleh diperolehi dan lengkap sahaja. Tambahan pula, kekangan masa dan guna tenaga dalam menjalankan kajian ini menyebabkan penyelidik hanya memfokuskan kepada satu jenis struktur turapan iaitu turapan konvensional berdasarkan parameter yang telah dikaji sahaja.

Penilaian ini berdasarkan data peristiwa banjir yang sebenar melalui parameter yang dikaji iaitu kedalaman banjir dengan merangkumi pelbagai tahap kedalaman

banjir yang memberi kesan terhadap tanah subgred semasa banjir berlaku. Selain itu, parameter bagi kekerapan banjir dilihat dari dua aspek iaitu banjir tidak berulang dan banjir berulang yang boleh dibahagikan kepada dua bahagian iaitu banjir berulang pertama dan banjir berulang yang kedua yang boleh mempengaruhi kekuatan asas subgred.

Seterusnya, tempoh masa banjir adalah berkaitan tempoh berlakunya banjir di jalan raya melibatkan pelbagai jenis banjir iaitu banjir kilat, banjir monsun dan banjir pasang-surut. Selain itu, kajian ini hanya menggunakan sumber dari kuari tanah yang diluluskan oleh Jabatan Kerja Raya (JKR) sahaja dan bagi semua ujian di makmal hanya menggunakan satu sumber jenis tanah sahaja. Sampel tanah yang digunakan ialah tanah berpasir terged dengan baik (SW). Eksperimen ujian tanah ini termasuk kajian terhadap ciri-ciri kejuruteraan, fizikal pada tanah dan ujian komposisi kimia. Ciri-ciri fizikal pada tanah seperti ujian graviti tentu, Penggredan (analisis ayakan) dan had Atterberg (had cecair dan had plastik) juga akan dilaksanakan manakala ciri-ciri kejuruteraan tanah pula meliputi ujian pepadatan tanah dan ujian kekuatan tanah yang dilakukan ke atas sampel yang direndam (sampel berlaku banjir) dan sampel yang tidak direndam (sampel yang tidak berlaku banjir). Selain itu, ujian komposisi kimia merangkumi ujian kandungan organik dan ujian pH tanah.

Semua ujian yang dijalankan di makmal merujuk pada Malaysia Standard MS 1056: 2013. Ujian simulasi banjir pula dilakukan bagi mengkaji hubung kait antara ketiga-tiga parameter di atas untuk mencapai objektif kajian yang telah ditetapkan. Akhir sekali, semua kerja dan ujian eksperimen dijalankan di Makmal Ukur dan Tanah di Pusat Pengajian Perumahan, Bangunan dan Perancangan, Universiti Sains Malaysia.

## 1.6 Susunan Bab

Tesis ini disusun dalam enam bab dan bahagian lampiran kesemuanya iaitu:

**Bab pertama** memberi gambaran keseluruhan latar belakang kajian dan pernyataan masalah. Seterusnya diikuti dengan persoalan kajian, objektif kajian dan skop kajian juga dihuraikan dengan lebih lanjut dalam bab ini.

**Bab kedua** berkenaan ulasan kajian literatur yang berkaitan dengan peristiwa banjir yang berlaku laku di Malaysia merangkumi kajian perintis yang dijalankan di negeri Kedah Darul Aman. Kajian-kajian lepas yang berkaitan dengan kerosakan subgred akibat bencana banjir dan berkaitan eksperimen ujian tanah yang akan dijalankan.

**Bab ketiga** menerangkan tentang perancangan eksperimen ujian tanah yang akan dijalankan di makmal dan penerangan berkaitan reka bentuk ujian Model Simulasi Banjir (MSB) dihuraikan dengan lebih terperinci. Selain itu, bab ini juga menjelaskan kaedah-kaedah yang digunakan bagi analisis data - data pemboleh ubah yang dikaji dalam kajian ini. Hasil dapatan daripada kaedah metodologi yang dirancang dalam kajian dikumpulkan dan dibincangkan dalam bab keempat dan bab lima.

**Bab empat** ini menghuraikan berkaitan data peristiwa banjir sebenar dari tahun 1991 sehingga 2014 sebagai data sekunder bagi analisis kajian yang berbentuk deskriptif.

**Bab kelima** terdapat pengumpulan hasil dapatan menerusi eksperimen ujian tanah yang dijalankan di Makmal Tanah dan Ukur. Kedua-dua bab empat dan lima adalah berkaitan antara satu sama lain dalam menghuraikan hasil dapatan kajian.

**Bab keenam** membuat kesimpulan yang menyeluruh berdasarkan hasil dapatan kajian berkaitan eksperimen ujian tanah yang dijalankan. Cadangan masa hadapan, sumbangan kajian dan kekangan kajian yang dihadapi sepanjang tempoh kajian dijalankan juga dijelaskan dalam bab ini dan bahagian **lampiran** mengandungi prosedur kerja makmal berdasarkan penambahbaikan yang telah dibuat daripada kajian yang telah dijalankan

## **BAB 2**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.1 Pengenalan**

Bab ini secara umumnya membincangkan tentang persekitaran iklim dan cuaca yang boleh mempengaruhi fenomena banjir berlaku. Ia juga menerangkan kesan banjir pada infrastruktur jalan raya khususnya tanah subgred. Selain itu, bab ini juga membuat ulasan secara umum tentang eksperimen ujian tanah yang biasa dijalankan berkaitan penentuan kekuatan subgred tanah berdasarkan sorotan kepada penulisan dan kajian-kajian yang lepas. Bab ini juga mengenal pasti lompang yang wujud dan seterusnya merangka kerangka yang diperlukan dalam kajian ini.

#### **2.2 Persekitaran Iklim dan Cuaca di Malaysia**

Pada dasarnya Malaysia ialah sebuah negara pesisir pantai dan terletak di kawasan khatulistiwa dengan jumlah kawasan seluas ialah 329,750 kilometer persegi dan Semenanjung Malaysia terletak antara garis lintang  $1.5^{\circ}$  N dan  $7^{\circ}$  U manakala longitud  $99.5^{\circ}$  U dan  $104^{\circ}$  E manakala negeri Sabah dan Sarawak pula terletak di antara latitud  $1^{\circ}$  U dan  $6.5^{\circ}$  U dan longitud  $108.5^{\circ}$  T dan  $120^{\circ}$  T (UNFCC, 2018). Ia terdiri daripada dua kawasan utama yang dipisahkan oleh Laut China Selatan.

Malaysia juga dikelilingi oleh garisan pantai sepanjang 4800 km dan pengagihan hujan yang berlaku di pengaruhi oleh topografi setempat dan angin monsun (Yatim et al., 2013). Kedua-dua kawasan ini membentuk landskap geografi serupa, iaitu mempunyai kawasan yang berbukit serta kawasan hutan yang tebal (Lim & Samah, 2004). Malaysia juga tergolong dalam kumpulan negara yang membangun dengan peningkatan dari semua sektor dalam pembangunan dan penyumbangan kepada perkembangan pembangunan infrastruktur setempat. Ciri-ciri iklim di Malaysia pula mempunyai suhu yang seragam, kelembapan yang tinggi dan intensiti hujan yang tinggi. Iklim di Malaysia juga jarang sekali mempunyai suatu tempoh tiada pancaran cahaya matahari kecuali pada musim Monsun Timur Laut dan Monsun Barat Daya. Keadaan arah angin di Malaysia sentiasa lemah dan berubah-ubah pada amnya, tetapi terdapat perubahan tempoh dalam corak tiupan angin yang akan membezakan empat musim di Malaysia iaitu Monsun Timur Laut, Monsun Barat Daya dan musim peralihan monsun yang lebih pendek seperti yang diterangkan dalam jadual 2.1 (DID, 2009; MetMalaysia, 2019). Corak curahan hujan di Malaysia banyak dipengaruhi oleh musim iaitu Monsun Timur Laut, Monsun Barat Daya dan tempoh peralihan monsun (Gasim, Toriman, & Abdullahi, 2014).

Menurut MetMalaysia (2019) corak tiupan angin bermusim akan menentukan sifat topografi tempatan bagi corak taburan hujan di Malaysia dan semasa Monsun Timur Laut, kawasan yang terdedah seperti kawasan pantai timur Semenanjung Malaysia, kawasan barat Sarawak dan kawasan pantai timur laut Sabah akan mengalami tempoh hujan yang lebat manakala Khalid and Shafiai (2015) menyatakan kedudukan Malaysia di kawasan beriklim tropika secara lazimnya menerima intensiti hujan yang tinggi dan purata curahan hujan yang berlaku di Malaysia adalah di antara 2500 mm setahun dan seterusnya boleh menyebabkan risiko berlakunya banjir juga tinggi.

Jadual 2.1 : Jenis Musim yang berlaku di Malaysia (MetMalaysia, 2019)

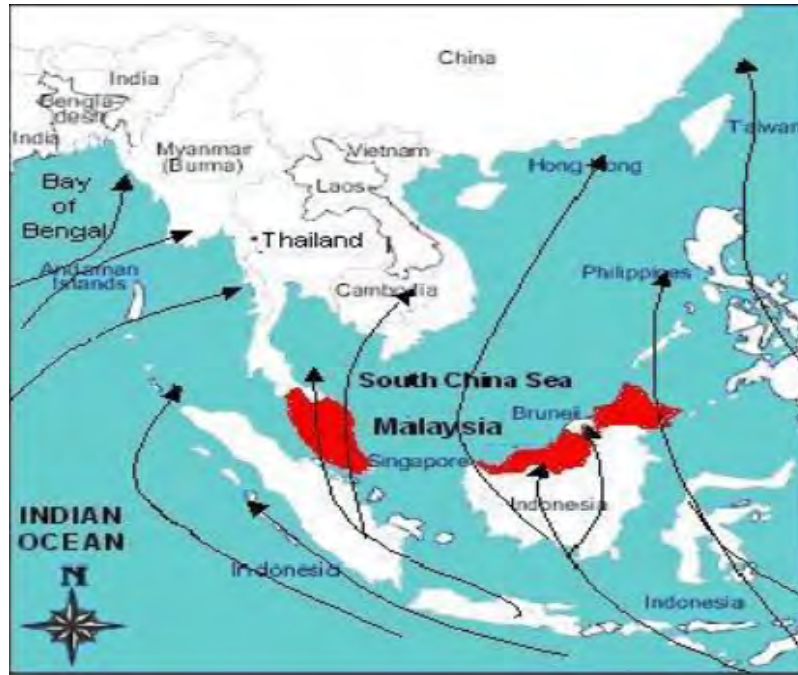
<b>Musim</b>	<b>Keterangan</b>
<b>Monsun Timur Laut</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bermula pada bulan November hingga Mac</li> <li>• Angin lazim dari arah timur laut</li> <li>• Kelajuan angin 10-30 knot</li> <li>• Musim yang lembap</li> </ul>
<b>Monsun Barat Daya</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bermula pada bulan Mei hingga September</li> <li>• Angin lazim dari arah barat daya</li> <li>• Kelajuan angin kurang dari 15 knot</li> <li>• Musim yang relatif kering, kecuali Sabah</li> </ul>
<b>Tempoh Peralihan Monsun</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bermula pada hujung bulan Mac hingga awal Mei dan Oktober hingga pertengahan November</li> <li>• Angin adalah lemah dari pelbagai arah</li> <li>• Kerap berlaku ribut petir pada waktu petang</li> </ul>

Malaysia merupakan antara negara yang menerima hujan yang paling banyak di dunia dengan suhu antara 26 °C hingga 32 °C di seluruh kawasan di Malaysia (DID, 2009). Julat suhu harian adalah besar iaitu 5 °C hingga 10 °C bagi kawasan berhampiran dengan pantai dan 8 °C hingga 12 °C di kawasan pedalaman. Terdapat perubahan suhu yang jelas semasa musim monsun di kawasan bagi Semenanjung Malaysia untuk kawasan pantai timur pada bulan April dan Mei menunjukkan suhu purata bulanan adalah paling tinggi sementara bulan Disember dan Januari pula menunjukkan suhu purata bulannya paling rendah (MetMalaysia, 2019). Berdasarkan Rajah 2.1 di bawah menunjukkan corak angin Monsun Timur Laut dan Monsun Barat Daya.

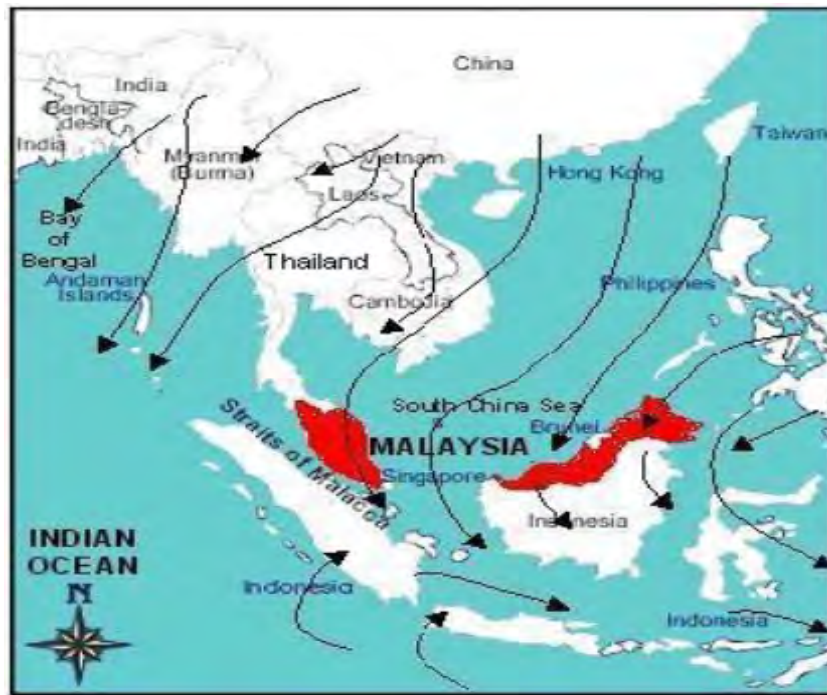
Sebaliknya, corak hujan yang berlaku di Malaysia dipengaruhi oleh Monsun Timur Laut dan Monsun Barat Daya (Mohamad, Hashim, Aiyub, & Toriman, 2012). Menurut Jabatan Pengaliran dan Saliran Malaysia, kawasan yang terdedah kepada bencana banjir dianggarkan seluas 29800 km<sup>2</sup> atau 9% daripada jumlah keseluruhan kawasan Semenanjung Malaysia termasuk Sabah dan Sarawak, terdapat sejumlah 189 lembangan sungai yang mengalir terus ke Laut China Selatan dan Selat Melaka dan 85 lembangan sungai daripadanya terdedah kepada banjir berulang iaitu 89 lembangan sungai di Semenanjung Malaysia, 78 lembangan sungai di Sabah dan dan 22 lembangan sungai di Sarawak (DID, 2009)(Hassan, 2009).

Intensiti hujan yang tinggi di Malaysia di pengaruhi oleh kedudukan geografinya yang terletak di antara lautan pasifik dan lautan india yang boleh mempengaruhi perubahan cuaca (Othman, Ash'aari, & Mohamad, 2015). Menurut Suri, Ahmad, Yahaya, Mokhtar, and Halim (2014) berlaku peningkatan intensiti hujan sebanyak 17% dari tahun 2000 sehingga tahun 2007 berbanding intensiti hujan pada tahun lewat 1970-an. Hal ini demikian kerana kesan perubahan iklim dan cuaca yang berlaku menyebabkan peningkatan yang mendadak dalam intensiti hujan yang berlaku.





(a)



(b)

Rajah 2.1 : Corak angin: (a) monsun barat daya (b) monsun timur laut

Sumber : (Mohamad et al., 2012)

### **2.2.1 Perubahan Iklim dan Cuaca**

Perubahan iklim dan cuaca dipengaruhi oleh proses semula jadi bumi atau perubahan antropologi secara berterusan dalam komposisi atmosfera dan penggunaan tanah (WMO, 2019). Secara umumnya, perubahan iklim boleh didefinisikan sebagai aktiviti manusia yang menyebabkan kesan secara langsung dan tidak langsung dalam tempoh masa tertentu berdasarkan perubahan komposisi atmosfera terhadap iklim semula jadi.

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang sentiasa dibahaskan. Peningkatan perubahan pola cuaca ini banyak dipengaruhi oleh sikap dan tindakan manusia melalui pencemaran alam sekitar yang memberi kesan terhadap kenaikan suhu bumi. Peningkatan jumlah gas karbon dioksida yang berlaku menyebabkan berlakunya kesan rumah hijau seterusnya terjadinya perubahan iklim iaitu peningkatan gas karbon dioksida di atmosfera. Proses ini berlaku apabila pelepasan gas karbon dioksida dan metana yang terperangkap di persekitaran atmosfera bumi (Burroughs, 2007; Perlmutter & Rothstein, 2011).

Perubahan ini boleh menyebabkan berlakunya keadaan persekitaran yang lebih ekstrem seperti perubahan musim untuk suatu tempoh masa yang panjang dan kadar kelembapan bumi boleh berubah (Solomon et al., 2007). Sejak 100 tahun yang lalu, suhu di Malaysia telah meningkat sebanyak 1.2 °C menurut IPCC (2014) dan kebiasaannya, suhu di Malaysia adalah di antara 28 °C hingga 34 °C.

Merujuk kepada pola perubahan iklim yang sedia ada, kita dapat simpulkan bahawa terdapat kebarangkalian peningkatan fenomena banjir yang boleh berlaku di seluruh dunia secara amnya dan terutamanya Malaysia. Namun begitu, skala dan tempoh masa peningkatan ini masih tidak jelas dan kesan secara terperinci mengenai pola perubahan iklim juga tidak boleh diukur.

Ini secara tidak langsung memberi implikasi terhadap kehidupan manusia dan pembangunan infrastruktur awam terutamanya jalan raya yang akan dibincangkan dalam fasal seterusnya. Laporan panel kajian kelima (AR5) mengenai perubahan iklim oleh panel - panel antara kerajaan merumuskan tahap kesan pencemaran global diramalkan akan naik pada kadar yang sama dengan tahap perkembangan dan pertumbuhan ekonomi setempat (IPCC, 2014).

Selain itu, Hardleycentre (2019) menjelaskan bahawa walaupun pelbagai cara dilakukan tetapi kesannya tidak dapat dielakkan disebabkan peningkatan karbon dioksida yang semakin meningkat pada setiap tahun. Seterusnya peningkatan paras air laut global telah berubah dari tahun 1993 sehingga pertengahan tahun 2017 iaitu peningkatan sebanyak 82 mm keadaan ini secara tidak langsung akan memberi kesan kepada infrastruktur awam khususnya jalan raya yang dibina berhampiran dengan di pesisir pantai. Hal ini demikian kerana peningkatan paras air laut banyak dipengaruhi oleh fenomena pasang surut air laut mengikut keadaan tertentu yang boleh menyebabkan berlakunya banjir pasang surut dan banjir kilat bagi kawasan tertentu.

Terdapat beberapa kesan perubahan iklim yang telah berlaku pada masa kini antaranya ialah taburan suhu yang luar biasa (Rimi, Rahman, Karmakar, & Hussain, 2009), kejadian hujan lebat yang berterusan yang boleh meningkatkan risiko berlakunya banjir (Jacobson & Galat, 2008; Peralta-Hernandez, Balling Jr, & Barba-Martinez, 2009) dan pencairan ais kutub yang secara tidak langsung akan menyebabkan kenaikan paras air laut (Solomon et al., 2007; Wilby & Perry, 2006).

Kajian yang dijalankan oleh Camerlengo and Somchit (2000) dan Fauchereau, Trzaska, Rouault, and Richard (2003) menghuraikan perubahan pola hujan dipengaruhi oleh fenomena pemanasan global yang kerap berlaku memberi kesan pada pola taburan hujan dan suhu persekitaran. Perubahan yang berlaku dipengaruhi oleh kadar penyejatan yang tidak tetap yang berlaku berdasarkan pergerakan angin yang membawa hujan dan menyebabkan berlakunya bencana banjir di sesuatu kawasan tersebut.

### **2.3 Peristiwa Banjir di Malaysia**

Setiap tahun banjir akan berlaku di Malaysia dan keadaan ini akan mewujudkan pelbagai masalah dan kemusnahan harta benda dan alam sekitar. Banjir boleh didefinisikan sebagai sejumlah kuantiti air yang melimpah keluar dari tebing sungai, tasik atau sistem perparitan disebabkan oleh hujan lebat, pencairan ais, air pasang dan halangan pada saluran (JPS, 2019) manakala Geoscience (2019) mendefinisikan banjir sebagai keadaan sebahagian atau keseluruhan kawasan yang kering yang kemudiannya ditenggelami air banjir daripada air pasang-surut dalam keadaan luar biasa atau lebih air larian permukaan dari mana-mana sumber.

Menurut Burton, Kates, and White (1968) mentakrifkan banjir disebabkan oleh air sungai yang melampaui tebingnya atau satu fenomena kenaikan paras air sungai utama yang melimpahi permukaan daripada kuantiti air yang banyak akibat intensiti hujan yang tinggi melebihi daripada kadar kebiasaan di sesuatu kawasan. Walau bagaimanapun, keadaan ini juga dipengaruhi oleh keadaan geografi setempat seperti kawasan permukaan tanah yang rendah dan sistem saliran bersambung secara terus ke lautan terbuka dan juga kawasan yang mempunyai pengaliran yang sempit akibat mendapan sampah (Jafar, Mapa, & Nordin, 2016; Ward & Trimble, 2004).

Perubahan persekitaran yang berlaku seperti proses pembangunan bandar di kawasan tadahan hujan dan penebangan hutan untuk kegunaan manusia serta pembangunan aktiviti manusia seperti perlombongan juga menyumbang kepada berlakunya banjir (Smith & Ward, 1998; Solomon et al., 2007; Ward & Trimble, 2004).

Dengan kata lainnya, banjir boleh ditakrifkan sebagai bencana alam semula jadi yang memberi kesan kepada kehidupan seharian masyarakat setempat dan pembangunan fizikal setempat disebabkan peningkatan jumlah kuantiti air secara tiba-tiba pada satu kawasan yang mengganggu aktiviti harian.

Merujuk kepada kajian - kajian lepas yang dijalankan berkaitan peristiwa banjir di Malaysia oleh Shafie (2009) mengkaji peristiwa banjir yang berlaku di daerah Kota Tinggi, Johor pada bulan Disember 2006 dan bulan Januari 2007. Peristiwa banjir ini berlaku disebabkan jumlah intensiti hujan yang tinggi dalam tempoh masa empat hari yang melebihi jumlah hujan bulanan. Ini menyebabkan banjir berlaku dengan kedalaman banjir yang tertinggi dicatatkan melebihi paras iaitu 2.3 m dan kedalaman

banjir maksimum ialah 2.75 m. Selain itu, Jabatan Pengaliran dan Saliran melaporkan peristiwa banjir yang berlaku di Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur pada bulan April dan bulan November sekitar tahun 2000 telah mengakibatkan kerosakan hampir kepada satu bilion ringgit dan peristiwa banjir yang terburuk yang pernah direkodkan di Kuala Lumpur adalah pada tahun 1967, 1971 dan 1998 (Hassan, 2009). Kerosakan dan kemusnahan yang berlaku akibat fenomena banjir adalah tidak boleh diramal berdasarkan situasi dan jenis-jenis banjir yang berlaku.

Menurut Blong (2003), Jonkman (2005), Merz, Hall, Disse, and Schumann (2010) dan Tariqur Rahman Bhuiyan, Mohammad Imam Hasan Reza, Er Ah Choy, and Joy Jacqueline Pereira (2018a) menyatakan kerosakan boleh dibahagikan kepada dua bahagian kerosakan langsung dan kerosakan tidak langsung. Kemusnahan infrastruktur awam seperti jalan raya, jambatan dan kawasan perusahaan pertanian adalah tergolong dalam kerosakan langsung manakala kerosakan tidak langsung pula adalah kesan yang dialami oleh sektor perkhidmatan awam tidak dapat beroperasi dengan sempurna, oleh itu boleh berlaku kerugian yang sukar untuk diramal.

### **2.3.1 Jenis-Jenis Banjir**

Terdapat pelbagai tafsiran untuk klasifikasi jenis-jenis banjir yang berlaku terutamanya di Malaysia. Pandangan dan perspektif ini bergantung kepada keadaan dan persekitaran setempat. Secara umumnya, menurut JPS (2019) banjir boleh dikategorikan kepada tiga jenis banjir iaitu banjir bermusim, banjir kilat dan banjir pasang-surut manakala menurut Khan, Shaari, Bahar, Baten, and Nazaruddin (2014) membahagikan banjir hanya kepada dua jenis iaitu iaitu banjir kilat dan banjir monsun. Boleh disimpulkan banjir yang sering melanda Malaysia ialah banjir kilat dan banjir monsun. Walau bagaimanapun dalam kajian ini, penyelidik juga akan mengkaji berkaitan banjir berulang yang akan diulas dengan lebih lanjut. Banjir kilat biasanya berlaku di kawasan pembangunan yang mempunyai sistem saliran yang tidak mampu menampung jumlah kuantiti air hujan yang banyak secara tiba-tiba dan Jabatan Pengaliran dan Saliran Malaysia mendefinisikan banjir kilat ialah banjir yang berlaku kurang dari tempoh masa enam jam dan keterangan tersebut disokong oleh Hashim, Muhamad, Aiyub, and Yahya (2011).

Banjir kilat juga disebabkan oleh beberapa faktor lain antaranya ialah intensiti hujan dan taburan yang sangat tinggi dalam tempoh yang singkat, sistem pengaliran dan saliran yang tersumbat dan air limpahan dari empangan yang mengalir. Persekitaran kawasan yang mempunyai kurang penyusupan air ke dalam tanah merupakan berisiko untuk terjadinya banjir kilat terutamanya di kawasan bandar yang mempunyai kepadatan penduduk yang tinggi. Banjir monsun pula berlaku mengikut musim dan merupakan fenomena banjir yang berlaku setiap tahun di negeri-negeri tertentu contohnya Kelantan, Terengganu dan Kedah di mana kesan kemusnahan fenomena

banjir tersebut adalah lebih teruk daripada banjir kilat kerana berlaku dalam tempoh yang lama dan sukar untuk diramal.

Berdasarkan kajian-kajian lepas berkaitan banjir kilat yang berlaku di Bandaraya Kuala Lumpur yang dijalankan oleh Bhuiyan et al. (2018a) dan Tariqur Rahman Bhuiyan, Mohammad Imam Hasan Reza, Er Ah Choy, and Joy Jacqueline Pereira (2018b) menyatakan bahawa banjir kilat boleh di kelaskan kepada dua faktor utama iaitu banjir kilat disebabkan oleh mendapan dari sungai dan limpahan daripada air larian permukaan daripada saluran seperti longkang. Walau bagaimanapun, intensiti hujan yang tinggi mempengaruhi kedua-dua faktor tersebut. Selain itu, hasil dapatan bagi kajian tersebut merekodkan bahawa banjir kilat yang memberi kesan kepada infrastruktur jalan raya ialah sebanyak 324 kes bagi banjir kilat disebabkan oleh mendapan sungai manakala 106 kes untuk banjir kilat disebabkan limpahan air larian permukaan. Hasil dapatan kajian yang diperoleh adalah selari dengan hasil dapatan daripada penyelidikan menunjukkan terdapat kes banjir kilat yang banyak berlaku di kawasan bandar yang mempunyai kepadatan penduduk yang tinggi.

Sebaliknya, kajian berkaitan banjir monsun yang dijalankan oleh Gasim et al. (2010) dan Shafie (2009) dalam kajian mereka membincangkan berkaitan peristiwa banjir yang berlaku pada bulan Disember 2006 dan Januari 2007 di Johor Darul Takzim. Fenomena banjir yang berlaku akibat daripada ribut telah berlaku dalam dua fasa berasingan pada bulan Disember 2006 dan Januari 2007 dengan jumlah hujan dalam empat hari melebihi dua kali hujan bulanan di beberapa tempat yang berasingan telah mengakibatkan banjir berlaku di kawasan negeri Johor.



### **2.3.2 Ciri - Ciri banjir**

Kerosakan dan kemusnahan yang berlaku akibat bencana banjir secara umumnya bergantung bergantung kepada skala dan ciri-ciri bencana banjir yang berlaku. Pengelasan dalam klasifikasi ciri-ciri banjir dapat membantu dalam mengkategorikan pelbagai jenis dan tahap banjir. ia juga dapat menganggar tahap kerosakan dan bahaya yang berlaku. Menurut Soetanto and Proverbs (2004) dan He et al. (2018) terdapat beberapa kriteria yang boleh ditentukan untuk menggambarkan ciri-ciri banjir yang berlaku antaranya kedalaman air banjir, tempoh masa banjir, kekerapan banjir, kelajuan aliran air banjir dan intensiti banjir berlaku. Namun begitu, dalam kajian ini penyelidik hanya akan mengkaji tiga ciri- ciri banjir sahaja berdasarkan pengumpulan data yang telah dijalankan iaitu kedalaman banjir, tempoh masa banjir dan kekerapan banjir.

Tempoh masa banjir yang berlaku merujuk kepada tempoh masa mulanya berlaku banjir iaitu peningkatan kedalaman air banjir dari permukaan dan proses pengeringan air banjir. Terdapat juga bagi sesetengah keadaan banjir berlaku intensiti banjir yang besar akan mempengaruhi tempoh masa banjir dan ia bergantung kepada keadaan persekitaran setempat untuk proses pengeringan air banjir. Walau bagaimanapun, bagi sesetengah keadaan terdapat juga intensiti air banjir bergerak dari satu kawasan ke kawasan yang lain bergantung kepada keadaan muka bumi Kawasan sekitarnya. Merujuk kepada kajian yang dijalankan oleh Alias et al. (2020) dan Guat and Ming (2020) yang menyatakan bahawa tempoh masa bagi banjir kilat akan surut kebiasaannya dalam tempoh masa enam jam dan bergantung kepada keadaan persekitaran. Secara puratanya, kebanyakan banjir kilat berlaku dalam tempoh masa tiga jam sahaja (NWS, 2019).

Sebaliknya, berdasarkan kajian Muhd Shahril Nizam Ismail, Ghani, and Ghazaly (2019) menjelaskan bagi sesetengah kawasan, banjir kilat boleh melebihi tempoh masa 24 jam, jika aliran lembangan sungai atau sistem saliran berhubung terus dengan laut terbuka. Ini disebabkan oleh faktor pasang surut air laut yang akan mempengaruhi fenomena banjir yang berlaku.

Menurut Muhd Shahril Nizam Ismail et al. (2019) tempoh masa banjir monsun berlaku adalah dalam tempoh dua hari dan bergantung kepada keadaan intensiti hujan pada masa tersebut. Banjir monsun yang berlaku di Malaysia banyak dipengaruhi oleh musim Monsun Barat Daya dan Monsun Timur Laut. Musim Monsun Barat Daya berlaku bermula daripada akhir bulan Mei sehingga September dan Monsun Timur Laut bermula dari bulan November sehingga Mac. Musim Monsun Timur Laut membawa hujan yang lebat, terutamanya bagi negeri-negeri di pantai timur Semenanjung Malaysia seperti Kelantan, Terengganu dan Pahang serta sebahagian kawasan barat Sarawak yang membawa curahan hujan yang maksimum pada bulan November dan Disember (Pour, Harun, & Shahid, 2014). Sementara itu, musim Monsun Barat Daya pula, berlaku di Kedah, Perlis, Perak dan Pulau Pinang.

Kekerapan banjir merujuk kepada kebarangkalian boleh berlaku kembali peristiwa banjir di sesuatu tempat dan kekerapan banjir boleh ditentukan melalui jumlah peristiwa berlaku dalam bulan atau tahun (Hamed & Rao, 2019). Kekerapan banjir ataupun banjir berulang boleh berlaku dalam sela masa sebulan atau lebih dari sebulan bergantung kepada perubahan cuaca setempat (Muhd Shahril Nizam Ismail et al., 2019). Banjir berulang boleh di definisikan sebagai banjir yang berlaku berulang kali dalam masa tempoh masa tertentu dan tempat yang sama.

Tiada pembahagian khusus untuk banjir berulang iaitu ia boleh berlaku dalam fenomena banjir kilat atau banjir monsun. Secara kesimpulannya, perubahan iklim yang mencetuskan pemanasan global boleh mengakibatkan berlaku kejadian banjir yang semakin meningkat dan sukar untuk dijangka.

Berdasarkan kajian yang dijalankan oleh Ying and Ghani (2019) adalah berkaitan dengan peristiwa banjir berulang di Pulau Pinang yang memfokuskan beberapa rangkaian jalan raya dalam tempoh 10 tahun iaitu daripada tahun 2007 sehingga 2016 antaranya Jalan P. Ramlee, Pulau Pinang merekodkan sebanyak 14 kes banjir berulang yang berlaku dari tahun 2014 sehingga 2016. Kajian ini juga merumuskan antara faktor yang menyebabkan berlakunya banjir berulang ialah tempoh masa dan intensiti hujan yang berlaku. Apabila hujan lebat berlaku di sesuatu kawasan, maka risiko banjir boleh berlaku dan ia dipengaruhi oleh faktor lain antaranya ialah sistem pengaliran di sesuatu kawasan tersebut. Intensiti banjir boleh dicirikan oleh kedalaman banjir dan skala banjir yang berlaku pada sesuatu tempat tersebut. Intensiti banjir juga dipengaruhi oleh halaju aliran dan kadar kenaikan air banjir. Kadar kenaikan air banjir dengan cepat akan mengurangkan tempoh persediaan yang diperlukan di lakukan untuk langkah mengurangkan risiko akibat banjir.

## **2.4 Infrastruktur Jalan Raya**

Infrastruktur jalan raya memainkan peranan yang penting dalam sistem perhubungan pengangkutan di seluruh dunia termasuklah Malaysia. Peningkatan pembangunan infrastruktur jalan raya di Malaysia dapat dilihat berkembang dengan pesat dari tahun ke tahun. Perkembangan ini selaras dengan peningkatan pembangunan bagi mengimbangi produktiviti negara, pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan manusia. Penyelenggaraan dan pembaikan infrastruktur jalan raya semasa dan selepas berlakunya peristiwa banjir adalah tanggungjawab pihak berkuasa tempatan (Kenley, Harfield, & Bedggood, 2014).

Keadaan jalan raya yang terjejas akibat peristiwa banjir haruslah dikenal pasti bagi memastikan tindakan dan kaedah yang sesuai untuk menyelenggara jalan raya (Sultana, Chai, Chowdhury, & Martin, 2016). Pembangunan ekonomi yang pesat telah meningkatkan perkembangan pembinaan jalan raya di Malaysia. Peningkatan ini disokong oleh peningkatan pembinaan jalan persekutuan iaitu sebanyak 8.4% manakala bagi pembinaan jalan raya negeri pula ialah 91.6% bagi akhir tahun 2017 (Zain, 2018). Berikut tren menunjukkan perkembangan dan pembangunan jalan raya di Malaysia dapat diringkaskan dalam rajah 2.2.