



LAPORAN PENILAIAN RISIKO BANJIR

NEGERI SELANGOR,
KUALA LUMPUR DAN JOHOR

Disediakan oleh:
Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia
(NAHRIM)



DATA UNJURAN HIDROIKLIM



SENARIO PERUBAHAN IKLIM



BANJIR DARAT & BANJIR PANTAI



PENILAIAN RISIKO BERASASKAN DATA



Disediakan Oleh:

Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM)
Kementerian Peralihan Tenaga dan Transformasi Air (PETRA)
Lot 5377, Jalan Putra Permai,
43300 Seri Kembangan,
Selangor Darul Ehsan.
T:03-89476400

Latar Belakang Penyediaan Laporan:

Laporan ini disediakan oleh NAHRIM susulan cadangan Suruhanjaya Sekuriti Malaysia mengenai keperluan maklumat risiko banjir yang boleh diakses oleh syarikat.

Penafian:

Laporan ini disediakan berdasarkan data dan maklumat yang tersedia semasa penyediaan laporan, termasuk penggunaan data unjuran iklim berasaskan *Assessment Report 5 (AR5)*. Kesahihan penggunaan data dan dapatan analisis dalam laporan ini adalah terhad kepada tempoh dua (2) tahun daripada tarikh laporan ini dikeluarkan, tertakluk kepada ketersediaan data baharu, perubahan metodologi, penambahbaikan model, serta keperluan semakan semula dari semasa ke semasa.

Analisis yang dikemukakan dalam laporan ini adalah bersifat awalan dan bertujuan untuk memberikan gambaran awal terhadap corak, kecenderungan, risiko atau isu yang dinilai berdasarkan skop data yang digunakan. Sehubungan itu, analisis yang lebih terperinci adalah diperlukan bagi menyokong perancangan, reka bentuk, pelaksanaan projek atau pembuatan keputusan yang bersifat muktamad, dengan mengambil kira data tambahan serta input teknikal lain yang berkaitan.

Pihak NAHRIM tidak bertanggungjawab terhadap sebarang kerugian, tuntutan, kerosakan, implikasi teknikal, kewangan, perundangan atau keputusan yang dibuat akibat daripada salah tafsir, salah guna, penggunaan di luar konteks, atau pergantungan sepenuhnya kepada maklumat dan analisis yang terkandung dalam laporan ini tanpa pengesahan lanjut. Pengguna laporan adalah bertanggungjawab untuk mendapatkan nasihat teknikal yang bersesuaian serta menjalankan semakan lanjut sebelum menggunakan dapatan laporan ini bagi tujuan perancangan, pelaksanaan atau pembuatan keputusan rasmi.

Penulis

- Ts. Dr. Mohammad Fikry Abdullah
- Dr Amri Md Shah
- Ts. Dr. Yannie Anak Benson
- Muhammad Hanafi Hamid
- Ts. Naim Shauqi Mohd Noor
- Farhah Nabilah Rosli
- Mohd Farrizie Muhazeli

Penasihat

- Ts. Saiful Bahri Hamzah
- Dr. Suriyani Awang

KANDUNGAN

1. PENGENALAN	9
1.1 Ringkasan Laporan NC4s	12
2. LAPORAN ANALISIS BANJIR DARAT	14
2.1 Analisis Risiko dan Simulasi Hidrologi Banjir Darat	14
2.2 Metodologi dan Parameter Pemodelan	14
2.2.1 Limitasi Analisis	16
2.3 Analisis Keseluruhan Negeri Selangor	17
2.3.1 Lembangan Sungai Klang	18
2.3.2 Lembangan Sungai Selangor	22
2.4 Analisis Keseluruhan Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur	26
2.4.1 Lembangan Sungai Klang (Kuala Lumpur)	27
2.5 Analisis Keseluruhan Johor	31
2.5.1 Lembangan Sungai Batu Pahat	31
2.5.2 Lembangan Sungai Johor	35
2.5.3 Lembangan Sungai Muar	39
2.6 Justifikasi Saintifik Kejadian Hidrologi Ekstrem di bawah RCP 6.0	44
2.6.1 Analisis Mendalam Inundasi Severe Sektor Selangor	44
2.6.2 Analisis Mendalam Inundasi Severe Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur	47
2.6.3 Analisis Mendalam Inundasi Severe Negeri Johor	49
2.7 Kajian Kes Pendedahan Banjir Hospital Swasta Terpilih di Selangor dan Johor	52
2.7.1 Latar Belakang	52
2.7.2 Objektif dan Skop Analisis	53
2.7.3 Batasan Analisis	54
2.7.4 Metodologi Kajian	55
2.7.4.1 Penggunaan Peta Banjir dan Data Lokasi Hospital	55
2.7.5 Dapatan Analisis	56
2.7.5.1 Selangor: Lembangan Sungai Klang	56
2.7.5.1.1 Latar Belakang Banjir di Kawasan Kajian	56
2.7.5.1.2 Peta Kedalaman Banjir dan Lokasi Hospital	58
2.7.5.2 Johor: Lembangan Sungai Batu Pahat	59
2.7.5.2.1 Latar Belakang Banjir di Kawasan Kajian	59
2.7.5.2.2 Peta Kedalaman Banjir dan Lokasi Hospital	60

2.7.6	Penggunaan Analisis oleh Hospital Swasta dan Cadangan Tindakan Jangka Pendek, Sederhana dan Panjang	61
2.7.7	Cadangan Penilaian Lanjutan	65
2.7.8	Rumusan Kajian Kes	65
3.	LAPORAN ANALISIS BANJIR PANTAI	67
3.1	Pengenalan	67
3.1.1	Kajian Unjuran Kenaikan Aras Laut Malaysia	68
3.1.2	Konteks Global Dan Lokal Perubahan Iklim Terhadap Aras Laut	70
3.1.3	Parameter Dan Senario Iklim Dalam Penilaian Risiko	71
3.1.4	Dinamik Aras Laut Dan Pasang Surut Impak Biologi, Fizikal dan Sedimentasi	72
3.2	Sumber Data dan Metodologi	72
3.2.1	Metodologi Pemodelan Statik (<i>Bathtub Model</i>)	73
3.2.2	Aplikasi Sistem Maklumat Geografi (GIS)	73
3.3	Analisis Risiko Banjir Pantai Negeri Selangor	74
3.3.1	Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Selangor 2030	75
3.3.2	Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Selangor 2050	77
3.3.3	Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Selangor 2100	80
3.3.4	Analisis Kerentanan & Cabaran Infrastruktur Serta Ban Pantai Selangor	83
3.4	Analisis Risiko Banjir Pantai Negeri Johor	85
3.4.1	Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2030-Pantai Barat & Selatan	86
3.4.2	Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2050-Pantai Barat & Selatan	87
3.4.3	Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2100-Pantai Barat & Selatan	90
3.4.4	Analisis Kerentanan Pantai Barat Johor (Batu Pahat, Pontian, Muar)	91
3.4.5	Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2030-Pantai Timur	94
3.4.6	Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2050-Pantai Timur	95
3.4.7	Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2100-Pantai Timur	96
3.4.8	Ancaman Monsun Dan Pusuan Ribut di Pantai Timur Johor	97
3.4.9	Kawasan Berisiko Tinggi (Hotspots) di Pantai Timur	98
3.4.10	Langkah Adaptasi Struktur (Hard Engineering)	99
3.4.11	Penyelesaian Berasaskan Alam Semulajadi (Nature-Based Solutions)	100

3.4.12	Pengurusan Persisiran Pantai Bersepadu (ISMP)	100
3.4.13	Cadangan Tindakan:	101
4.	LAPORAN ANALISIS TABURAN HUJAN	103
4.1	Metodologi Analisis Taburan Hujan	103
4.1.1	Sumber Data	104
4.1.2	Data Unjuran Hujan NAHRIM	104
4.1.3	Analisis GIS dan Pemetaan	104
4.2	Analisis Taburan Hujan Monsun Timur Laut (MTL)	106
4.2.1	Analisis Taburan Hujan Negeri Selangor (2026-2027)	106
4.2.2	Analisis Taburan Hujan Negeri Selangor (2027-2028)	110
4.2.3	Analisis Taburan Hujan Negeri Selangor (2030-2031)	114
4.2.4	Analisis Taburan Hujan Negeri Selangor (2050-2051)	118
4.2.5	Analisis Taburan Hujan Johor (2026-2027)	122
4.2.6	Analisis Taburan Hujan Johor (2027-2028)	126
4.2.7	Analisis Taburan Hujan Johor (2030-2031)	130
4.2.8	Analisis Taburan Hujan Johor (2050-2051)	134
4.2.9	Analisis Taburan Hujan Kuala Lumpur (2026-2027)	138
4.2.10	Analisis Taburan Hujan Kuala Lumpur (2027-2028)	142
4.2.11	Analisis Taburan Hujan Kuala Lumpur (2030-2031)	146
4.2.12	Analisis Taburan Hujan Kuala Lumpur (2050-2051)	150
5.	STRATEGI ADAPTASI BANJIR: TINDAKAN DARIPADA NEGARA LUAR (SINGAPURA, THAILAND DAN JEPUN)	154
5.1	Singapura: Pendekatan "Source-Pathway-Receptor" & Tanggungjawab Bersama Swasta	154
5.2	Thailand: Sistem Perlindungan Estet Perindustrian & Prosedur Kilang Kalis Banjir	155
5.3	Belanda: Inovasi Bangunan Terapung (Floating Concepts)	156
5.4	Jepun: Pelan Kesyinambungan Perniagaan (BCP) Berasaskan Risiko Banjir	156
5.5	Tindakan Adaptasi	157
5.5.1	Contoh Tindakan Adaptasi Pelbagai Sektor Korporat	157
5.5.2	Cadangan Tindakan Adaptasi	164
5.6	Hubungkait Strategik Data NAHRIM dalam Pembuatan Keputusan Syarikat	171
6.	RUJUKAN	173

SENARAI RAJAH

Rajah 2-1: Unjuran Luas Kawasan Banjir (Projected Flood Areal Extent) bagi 17 Lembangan Sungai di Semenanjung Malaysia untuk Tempoh Pulangan 100 Tahun (100-Year Return Period)	14
Rajah 2-2: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang Senario RCP 2.618	
Rajah 2-3: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang Senario RCP 4.519	
Rajah 2-4: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang Senario RCP 6.020	
Rajah 2-5: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang Senario RCP 8.521	
Rajah 2-6: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Selangor Senario RCP 2.6	22
Rajah 2-7: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Selangor Senario RCP 4.5	23
Rajah 2-8: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Selangor Senario RCP 6.0	24
Rajah 2-9: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Selangor Senario RCP 8.5	25
Rajah 2-10: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang (Kuala Lumpur) Senario RCP 2.6	27
Rajah 2-11: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang (Kuala Lumpur) Senario RCP 4.5	28
Rajah 2-12: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang (Kuala Lumpur) Senario RCP 6.0	29
Rajah 2-13: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang (Kuala Lumpur) Senario RCP 8.5	30
Rajah 2-14: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Batu Pahat Senario RCP 2.6	32
Rajah 2-15: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Batu Pahat Senario RCP 4.5	33
Rajah 2-16: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Batu Pahat Senario RCP 6.0	34

Rajah 2-17: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Batu Pahat Senario RCP 8.5	35
Rajah 2-18: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Johor Senario RCP 2.4	36
Rajah 2-19: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Johor Senario RCP 4.5	37
Rajah 2-20: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Johor Senario RCP 6.0	38
Rajah 2-21: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Johor Senario RCP 8.5	39
Rajah 2-22: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Muar Senario RCP 2.6	40
Rajah 2-23: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Muar Senario RCP 4.5	41
Rajah 2-24: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Muar Senario RCP 6.0	42
Rajah 2-25: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Muar Senario RCP 8.5	43
Rajah 2-26: Peta Kedalaman Banjir dan Hospital Swasta Terpilih di Lembangan Sungai Klang di bawah Senario RCP 6.0	58
Rajah 2-27: Peta Kedalaman Banjir dan Hospital Swasta Terpilih di Lembangan Sungai Batu Pahat di bawah Senario RCP 6.0	60
Rajah 3-1: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Negeri Selangor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2030.	75
Rajah 3-2: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Negeri Selangor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2050.	77
Rajah 3-3: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Negeri Selangor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2100.	80
Rajah 3-4: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Barat & Selatan Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-	

Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2030. 86

Rajah 3-5: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Barat & Selatan Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2050. 87

Rajah 3-6: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Barat & Selatan Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2100. 90

Rajah 3-7: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Timur Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2030. 94

Rajah 3-8: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Timur Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2050. 95

Rajah 3-9: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Timur Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2100. 96

Rajah 4-1: Proses Analisis GIS Pemetaan Peta 105

Rajah 4-2: Proses Pemetaan bagi Unjuran Hujan bagi Negeri Selangor, Negeri Johor dan Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur. 105

Rajah 4-3: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Selangor pada November 2026 109

Rajah 4-4: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Selangor pada November 2027 113

Rajah 4-5: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Selangor pada November 2030 117

Rajah 4-6: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Selangor pada November 2050 121

Rajah 4-7: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Johor pada Disember 2026 125

Rajah 4-8: Peta Unjuran Hujan Minimum bagi Negeri Johor pada Mac 2028 129

Rajah 4-9: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Johor pada Disember 2030
133

Rajah 4-10: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Johor pada Disember 2050
137

Rajah 4-11: Peta Unjuran Hujan bagi Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur pada
November 2026
141

Rajah 4-12: Peta Unjuran Hujan bagi Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur pada
November 2027
145

Rajah 4-13: Peta Unjuran Hujan bagi Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur pada
November 2030
149

Rajah 4-14: Peta Unjuran Hujan bagi Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur pada
November 2050
153

SENARAI JADUAL

Jadual 1-1: Jumlah Kerugian Banjir di Malaysia 2021-2025 untuk Pelbagai Sektor	10
Jadual 2-1: Sumber Data Analisis Banjir Darat	15
Jadual 2-2: Matriks Klasifikasi Kedalaman Banjir Fluvial dan Taburan Kawasan Terjejas (Negeri Selangor - Senario RCP 6.0)	47
Jadual 2-3: Matriks Klasifikasi Kedalaman Banjir Fluvial dan Taburan Kawasan Terjejas (Kuala Lumpur - Senario RCP 6.0)	49
Jadual 2-4: Matriks Klasifikasi Kedalaman Banjir Fluvial dan Taburan Kawasan Terjejas (Negeri Johor - Senario RCP 6.0)	51
Jadual 2-5: Rekod Kejadian Banjir dan Gangguan Fungsi Hospital di Malaysia	53
Jadual 2-6: Pengelasan Tahap Bahaya Banjir Berdasarkan Kedalaman Banjir	56
Jadual 2-7: Perbandingan Kedalaman Banjir, Tahap Pendedahan dan Potensi Impak Operasi bagi Hospital Terpilih di Selangor	59
Jadual 2-8: Perbandingan Kedalaman Banjir, Tahap Pendedahan dan Potensi Impak Operasi bagi Hospital Terpilih di Johor	61
Jadual 2-9: Penggunaan Analisis oleh Hospital Swasta	61
Jadual 2-10: Cadangan Tindakan Jangka Pendek, Sederhana dan Panjang	63
Jadual 3-1: Perbandingan unjuran global dan tempatan serta impak fizikal kesan kenaikan aras laut	71
Jadual 3-2: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2030	76
Jadual 3-3: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2050	78
Jadual 3-4: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2100	80
Jadual 3-5: Perbandingan Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir bagi RCP 4.5 & RCP 8.5 dan Tahun	84
Jadual 3-6: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2030	86
Jadual 3-7: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2050	88
Jadual 3-8: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2100	90
Jadual 3-9: Perbandingan Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir bagi RCP 4.5 & RCP 8.5 dan Tahun	92

Jadual 3-10: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2030	94
Jadual 3-11: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2050	96
Jadual 3-12: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2100	97
Jadual 3-13: Perbandingan Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir bagi RCP 4.5 & RCP 8.5 dan Tahun	98
Jadual 4-1: Sumber Data Kajian	104
Jadual 4-2: Analisis Bulanan Nov 2026 – Mac 2027 untuk Selangor	108
Jadual 4-3: Analisis Bulanan Nov 2027 – Mac 2028 untuk Selangor	112
Jadual 4-4: Analisis Bulanan Nov 2030 – Mac 2031 untuk Selangor	116
Jadual 4-5: Analisis Bulanan Nov 2050 – Mac 2051 untuk Selangor	120
Jadual 4-6: Analisis Bulanan Nov 2026 – Mac 2027 untuk Johor	124
Jadual 4-7: Analisis Bulanan Nov 2027 – Mac 2028 untuk Johor	128
Jadual 4-8: Analisis Bulanan Nov 2030 – Mac 2031 untuk Johor	132
Jadual 4-9: Analisis Bulanan Nov 2050 – Mac 2051 untuk Johor	136
Jadual 4-10: Analisis Bulanan Nov 2026 – Mac 2027 untuk Kuala Lumpur	140
Jadual 4-11: Analisis Bulanan Nov 2027 – Mac 2028 untuk Kuala Lumpur	144
Jadual 4-12: Analisis Bulanan Nov 2030 – Mac 2031 untuk Kuala Lumpur	148
Jadual 4-13: Analisis Bulanan Nov 2050 – Mac 2051 untuk Kuala Lumpur	151
Jadual 5-1: Ringkasan Perbandingan Adaptasi Antara Negara	157
Jadual 5-2: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Telekomunikasi	158
Jadual 5-3: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Perkilangan	159
Jadual 5-4: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Hartanah, Pembinaan & Pembangunan	160
Jadual 5-5: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Insurans	161
Jadual 5-6: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Perhotelan	162
Jadual 5-7: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Perubatan & Farmaseutikal	163
Jadual 5-8: Cadangan Langkah Adaptasi untuk Syarikat Malaysia	165

Jadual 5-9: Kegunaan Data Unjuran NAHRIM

171

RINGKASAN EKSEKUTIF

Laporan Penilaian Risiko Banjir Negeri Selangor, Kuala Lumpur dan Johor disediakan bagi menilai tahap risiko banjir darat dan banjir pantai berdasarkan data unjuran hidroiklim serta senario perubahan iklim yang dibangunkan oleh Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM). Laporan ini bertujuan untuk menyediakan maklumat awalan berkaitan unjuran banjir darat dan pantai serta taburan hujan kepada Suruhanjaya Sekuriti Malaysia (SC Malaysia).

Objektif laporan ini adalah untuk membantu Syarikat Tersenarai Awam (*Public Listed Companies-PLCs*) dalam mengenal pasti dan memahami risiko banjir berkaitan perubahan iklim bagi tujuan penilaian risiko dan pelaporan kemampanan. Penyediaan laporan awalan ini adalah susulan cadangan SC Malaysia untuk meningkatkan ketersediaan maklumat risiko banjir yang boleh diakses oleh syarikat bagi tujuan penilaian risiko berkaitan iklim dan pelaporan kemampanan. Laporan ini memberi tumpuan kepada Selangor, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur dan Johor sebagai lokasi kajian. Ini bertepatan dengan kepentingan negeri-negeri ini sebagai pusat ekonomi, kewangan, perindustrian dan penempatan utama yang mempunyai tahap pendedahan tinggi terhadap kejadian banjir ekstrem.

Laporan analisis ini menggunakan data unjuran hidroiklim NAHRIM berdasarkan senario *Representative Concentration Pathway (RCP)* daripada *The Fifth Assessment Report (AR5)* yang telah diterbitkan oleh *Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Data yang sama telah digunakan dalam penyediaan laporan *The Fourth National Communication (NC4)* pada tahun 2024 dan *Nationally Determined Contribution (NDC 3.0)* oleh Kerajaan Malaysia kepada UNFCCC pada tahun 2025.

Laporan ini menggunakan pendekatan analisis berdasarkan data saintifik dan unjuran iklim jangka sederhana hingga panjang dengan mengambil kira parameter seperti taburan hujan, intensiti hujan ekstrem, kenaikan paras laut serta trend perubahan cuaca semasa Monsun Timur Laut. Analisis risiko dilaksanakan bagi mengenal pasti kawasan berisiko tinggi untuk banjir darat dan banjir pantai di ketiga-tiga negeri. Penilaian ini turut merangkumi analisis taburan hujan bagi tempoh tahun 2026 hingga 2027 dan taburan hujan pada tahun 2030 dan 2050 bagi beberapa lokasi kritikal yang berpotensi mengalami peningkatan risiko banjir berdasarkan pola hujan monsun.

Laporan ini telah dibahagikan kepada tiga (3) seksyen analisis mengikut tempoh yang berbeza, satu (1) seksyen kajian kes hospital swasta serta satu (1) seksyen berkaitan cadangan langkah adaptasi seperti berikut:

1. Laporan Analisis Banjir Darat (bagi unjuran 2010 hingga 2054)
2. Laporan Analisis Banjir Pantai (untuk unjuran 2030, 2050 dan 2100)
3. Laporan Analisis Taburan Hujan Monsun Timur Laut (untuk unjuran 2026, 2027, 2030 dan 2050)
4. Kajian Kes Hospital Swasta di Selangor dan Johor (rujuk Bab 2.7)
5. Cadangan Langkah Adaptasi

Ringkasan Laporan Analisis Banjir Darat

Bagi tempoh unjuran 2010 hingga 2054, peta unjuran banjir darat untuk Selangor berdasarkan senario RCP 6.0 menunjukkan kemuncak bencana banjir paling kritikal apabila kedua-dua lembangan sungai utama, iaitu Lembangan Sungai Klang dan Sungai Selangor, bakal mengalami banjir tahap Sangat Tinggi (>2.5 meter). Keadaan ini bakal memberi risiko kepada bandar-bandar utama seperti Kapar, Klang, Port Klang, Telok Gong, Shah Alam, dan Taman TTDI Jaya.

Bagi Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur, analisis unjuran simulasi hidrologi bagi Lembangan Sungai Klang menunjukkan trend peningkatan risiko banjir yang ketara, bermula daripada senario pelepasan rendah sehingga ke tahap paling kritikal, sebelum menunjukkan corak mendatar pada senario tertinggi. Senario RCP 6.0 menunjukkan profil bencana yang paling parah (*most severe*) bagi wilayah ibu negara. Akibat isi padu luahan hujan ARI 100 Tahun yang mengatasi kapasiti terowong dan parit induk, pusat Bandar Kuala Lumpur berpotensi untuk menjadi zon banjir berskala Sangat Tinggi (>2.5 meter). Fenomena sekatan hidrostatik (*backflow*) pada fasa ini amat kritikal sehinggakan berupaya merosakkan fasiliti sub-permukaan, stesen kemudahan awam, dan utiliti pencawang elektrik utama yang boleh menjejaskan aktiviti ekonomi secara drastik.

Analisis RCP 6.0 turut mendapati bencana banjir di Johor bakal menjadi kritikal bagi beberapa mukim mengikut daerah di lembangan sungai utama Johor. Di Lembangan Sungai Batu Pahat, mukim Simpang Kiri, Seri Medan, Sri Gading, Linau, Parit Yaani, dan Yong Peng berisiko menghadapi takungan banjir berskala sangat tinggi melebihi 2.5 meter. Manakala Pusat Bandar Kota Tinggi, Kawasan Perindustrian Batu 2, dan pinggiran Ulu Sungai Johor berpotensi menerima limpahan banjir berhalaju tinggi yang sangat ekstrem, sekali gus berisiko memberi kesan kemusnahan kepada infrastruktur sedia ada. Untuk Lembangan Sungai Muar, kawasan pertengahan iaitu Pagoh, Bukit Kepong, dan Lenga bakal mengalami krisis sistemik akibat kesan mampatan (*bottleneck*) di pertengahan dan sekatan graviti (*backwater*) di muara dengan hamparan takungan air melebihi 2.5 meter. Pertembungan luahan air tawar dengan air pasang dari Selat Melaka di kawasan hilir (Kundang, Gerisek, Serom, Jorak, dan Sungai Terap) memaksa aliran memantul ke darat dengan kedalaman melebihi 2.5 meter, sekali gus meningkatkan risiko bahaya di kawasan tersebut secara menyeluruh.

Bagi memudahkan penggunaan maklumat dan peta yang disediakan dalam laporan analisis banjir ini, kajian kes dilakukan untuk menentukan tahap

risiko lokasi 6 buah hospital swasta di Selangor dan Johor. Kajian ini dilakukan untuk menunjukkan tahap risiko lokasi fasiliti tersebut dapat diperoleh berdasarkan pemetaan lokasi fasiliti tersebut secara *overlay* dengan peta yang dibangunkan oleh NAHRIM. Walaubagaimana pun, kajian yang lebih terperinci perlu dilakukan untuk fasiliti-fasiliti tersebut untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas.

Ringkasan Laporan Analisis Banjir Pantai

Analisis bagi banjir pantai menjelang tahun 2030 menunjukkan bahawa peningkatan pelepasan gas rumah hijau di bawah senario RCP 8.5 akan meluaskan kawasan berisiko tenggelam sebanyak 6.7 km² berbanding RCP 4.5, dengan impak paling kritikal tertumpu di Sabak Bernam, Kuala Selangor, dan Klang. Kawasan-kawasan ini lebih berisiko kerana didorong oleh faktor topografi yang sangat landai, yang memudahkan pencerobohan air laut melimpah jauh ke pedalaman melalui sistem sungai, sekali gus membuktikan hubungan kait langsung antara tahap emisi global dengan keluasan kawasan yang bakal ditenggelami air.

Manakala bagi tahun 2050, analisis mendedahkan risiko banjir pantai yang lebih agresif melalui peningkatan garis perimeter sebanyak 15.5 km akibat kesan *backwater* di lembangan sungai utama, yang menyebabkan risiko banjir merebak jauh ke kawasan pedalaman. Kawasan Sabak Bernam dan Kuala Selangor kekal sebagai zon paling berisiko terhadap kemusnahan sektor pertanian kerana topografi rendahnya yang mudah ditenggelami aras laut tinggi senario RCP 8.5, manakala zon perindustrian di sekitar Pelabuhan Klang dan Pulau Indah bakal berdepan ancaman banjir pantai yang kritikal semasa air pasang perbani dengan potensi aras air mencecah 6.1 meter di Stesen pasang surut Kapar. Secara keseluruhannya, data ini menunjukkan bahawa peningkatan aras laut bakal meluaskan kawasan risiko banjir pantai secara signifikan merentasi sektor ekonomi dan geografi utama Selangor menjelang pertengahan abad ini.

Untuk tahun 2100, unjuran menunjukkan peningkatan risiko banjir pantai sebanyak 76.9% yang menuntut peralihan drastik dalam pengurusan zon pantai yang lebih efektif bagi menangani risiko banjir pantai. Kawasan Klang termasuk Pulau Indah dan Pelabuhan Klang dikenal pasti sebagai *hotspots* yang sangat berisiko akibat aras platform yang rendah, manakala pencerobohan air laut di Kuala Selangor dan Sabak Bernam secara langsung terus mengancam kelangsungan sektor pertanian di Sekinchan dan Sungai Besar. Dengan risiko yang turut meluas ke Pulau Carey di Kuala Langat dan pesisir Sepang, strategi adaptasi dan mitigasi yang lebih progresif dan berdaya tahan adalah kritikal daripada pihak yang terlibat bagi mendepani ancaman banjir pantai yang semakin ekstrem di sepanjang koridor ekonomi dan pertanian utama Selangor ini.

Bagi Negeri Johor pula, corak risiko banjir pantai berbeza antara pesisir Pantai Barat dan Selatan dengan Pantai Timur. Pantai Barat dan Selatan, khususnya Batu Pahat, Pontian dan Muar, lebih terdedah kepada inundasi disebabkan topografi yang rendah dan landai serta rangkaian sungai dan saliran yang membolehkan air laut merambat ke daratan. Pantai Timur pula menunjukkan pendedahan yang lebih tertumpu di Mersing dan Kota Tinggi, dengan risiko dipengaruhi oleh ombak besar dan pusuan ribut semasa Monsun Timur Laut. Pada tahun 2030, jumlah kawasan terjejas di seluruh pesisir Johor dianggarkan seluas 847.22 km² bagi kedua-dua senario RCP 4.5 dan RCP 8.5.

Menjelang 2050, keluasan kawasan terjejas meningkat kepada 870.65 km² di bawah RCP 4.5 dan 909.28 km² di bawah RCP 8.5. Nilai bagi RCP 8.5 adalah 4.4% lebih tinggi berbanding RCP 4.5, menunjukkan pengaruh senario pelepasan tinggi semakin ketara selepas 2030. Batu Pahat dan Pontian kekal sebagai zon utama yang terdedah kepada gangguan terhadap kawasan pertanian dan penempatan pesisir. Di Muar, aras laut yang tinggi berpotensi memperlahankan pelepasan air sungai ke laut dan meningkatkan kesan air

balik, manakala kawasan pembangunan ekonomi di sekitar muara Sungai Pulai dan Sungai Skudai turut berhadapan peningkatan risiko banjir pantai.

Risiko menjadi lebih serius menjelang 2100 apabila keluasan kawasan terjejas dianggarkan mencapai 1,039.31 km² bagi RCP 4.5 dan 1,166.40 km² bagi RCP 8.5. Di bawah RCP 8.5, keluasan tersebut meningkat sekitar 28.3% berbanding 2050 dan 37.7% berbanding 2030, dengan perbezaan 127.09 km² berbanding RCP 4.5. Peningkatan ini melibatkan kawasan pertanian dan penempatan pesisir di Batu Pahat dan Pontian, destinasi pelancongan di Kukup, Mersing dan Desaru serta zon ekonomi di Selatan Johor. Oleh itu, unjuran kenaikan aras laut perlu diintegrasikan dalam perancangan guna tanah, penetapan aras platform pembangunan, perlindungan infrastruktur kritikal dan pengurusan persisiran pantai Johor.

Ringkasan Laporan Analisis Unjuran Taburan Hujan

Berdasarkan data unjuran taburan hujan untuk tahun 2026-2027, 2027-2028, 2030-2031 dan 2050-2051 bagi tempoh Monsun Timur Laut (MTL) yang berlaku pada November hingga Mac, analisis menunjukkan hampir 100% keseluruhan negeri Selangor akan menerima taburan hujan melebihi 250 mm pada bulan November hingga Disember. Menjelang Januari, kawasan pedalaman dan tanah tinggi di Timur Selangor iaitu Hulu Selangor, Gombak dan Hulu Langat kekal terdedah kepada unjuran taburan hujan yang luar biasa melebihi 250 mm. Keadaan ini menyebabkan limpahan air selama tiga bulan berturut-turut yang berupaya melemahkan struktur tanah, sekali gus membuka ruang kepada risiko bencana sekunder selain banjir. Kawasan-kawasan seperti Petaling dan Klang kekal terdedah kepada banjir kilat ekoran kekangan kapasiti saluran buatan serta kawasan cerun yang terdedah kepada tanah runtuh. Di kawasan hilir, risiko banjir termenung kekal kritikal sekiranya air larian permukaan bertemu dengan fenomena air pasang laut.

Bagi tempoh yang sama, negeri Johor akan menerima taburan hujan yang agresif pada November dan Disember dengan jumlah hujan melebihi

250 mm mendominasi hampir 100% keluasan negeri merangkumi Mersing, Kota Tinggi, Kluang, Segamat, Johor Bahru, dan Pontian. Kawasan di pesisir timur dan tenggara Johor khususnya di Mersing dan Kota Tinggi akan menerima hujan secara konsisten melebihi 250 mm bagi Januari untuk tempoh yang sama. Kadar resapan tanah yang mencapai tahap tepu kronik akibat hujan tiga bulan berturut-turut mengekalkan risiko banjir kilat dan pergerakan tanah. Walau bagaimanapun, satu anomali cuaca direkodkan pada kitaran 2027-2028 di mana kedua-dua negeri Selangor dan Johor berdepan corak cuaca luar biasa kering yang menuntut peralihan fokus strategik kepada pengurusan risiko penyusutan bekalan air.

Untuk Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur, data taburan hujan mendedahkan ancaman bahaya hujan yang konsisten pada awal MTL. Impak hidrologi ini menjadi sangat kritikal apabila bertembung dengan ciri guna tanah sebagai kawasan tepu bina berkepadatan tinggi yang didominasi oleh permukaan legap (*impervious surface*). Kitaran 2026 dan 2030 pada awal monsun menunjukkan taburan hujan berintensiti tinggi dalam julat 150 mm hingga 250 mm mendominasi beberapa wilayah secara seragam seperti Batu, Setapak, Bandar Kuala Lumpur, Ampang dan Petaling. Untuk unjuran tahun 2050, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur mengekalkan unjuran taburan hujan dalam julat 150 mm hingga 200 mm yang berlarutan selama tiga bulan berturut-turut (November hingga Januari) untuk semua senario pelepasan (RCPs), yang sekali gus memberi potensi kepada insiden banjir akibat bebanan berterusan kepada infrastruktur saluran induk. Status Kuala Lumpur sebagai pusat bandar raya utama mengekalkan risiko tinggi terhadap insiden banjir kilat bandar (*urban flash floods*). Kawasan seperti Pusat Bandar, Cheras, dan Petaling kekal berisiko tinggi sekiranya taburan hujan sederhana atau hujan peralihan berskala pendek bertemu dengan isu kapasiti sistem perparitan konvensional dan kolam takungan sedia ada.

Kesimpulan

Secara keseluruhannya, berdasarkan hasil laporan awalan ini keperluan tindakan mitigasi dan adaptasi yang lebih proaktif mengikut keperluan sektor ekonomi dan kepentingan syarikat perlu diberi penekanan bagi mengurangkan kesan akibat kebarangkalian kejadian banjir yang akan berlaku. Analisis berasaskan data saintifik boleh digunakan dalam penilaian awalan bagi mengurangkan risiko bencana banjir pada masa hadapan merentas pelbagai sektor dan industri di setiap negeri sebagai langkah proaktif.

Adalah dicadangkan, setiap syarikat yang bakal terkesan dengan fenomena banjir ini melaksanakan penilaian awal *climate scenario analyses* yang lebih terperinci dan tertumpu kepada isu dan keperluan tindakan syarikat. Ini adalah penting untuk membantu syarikat mengenal pasti risiko dan tindakan yang perlu diambil secara spesifik mengikut keperluan syarikat bagi tempoh masa panjang.

Selain itu, analisis juga perlu dipanjangkan kepada negeri-negeri lain di mana syarikat-syarikat mempunyai sumbangan pembangunan dan kepentingan ekonomi serta ekonomi serta pelaburan negara seperti Sarawak, Pulau Pinang dan Kedah.

Penilaian Risiko Banjir & Iklim: Panduan Strategik Malaysia

Memberikan gambaran keseluruhan objektif dan skop untuk perancangan adaptasi korporat.

Menilai risiko banjir darat dan pantai di Selangor, Kuala Lumpur, dan Johor berdasarkan data NAHRIM dan IPCC untuk membantu SC dan syarikat korporat memahami impak perubahan iklim.

Objektif Strategik & Data Utama



Skop Analisis & Unjuran Masa



1. PENGENALAN

Malaysia terletak di rantau Asia Tenggara yang mempunyai kerentanan geografi yang amat ketara disebabkan kedudukannya di sepanjang garis khatulistiwa dengan topografi yang didominasi oleh dataran pesisir dan kawasan tadahan air (Sari, 2025), Malaysia mengalami iklim tropika lembap dengan purata hujan tahunan yang tinggi iaitu antara 2,000 mm hingga 4,000 mm setahun. Namun begitu, perubahan iklim telah menyebabkan perubahan ketara terhadap pola suhu dan hujan negara.

Statistik mendedahkan bahawa banjir merupakan bencana alam yang paling dominan di Malaysia, merangkumi 85% daripada keseluruhan bencana alam sejak tahun 2000 (World Bank & BNM, 2024). Dengan kedudukan ke-12 di peringkat global dari segi kekerapan kejadian banjir, adalah kritikal bagi sektor swasta untuk beralih daripada pendekatan reaktif kepada strategi adaptasi yang berstruktur bagi menjamin kelestarian operasi (World Bank & BNM, 2024).

Banjir merupakan antara bencana alam paling kerap berlaku di Malaysia dan memberi kesan besar kepada kehidupan masyarakat, ekonomi negara, keselamatan infrastruktur serta alam sekitar. Dalam beberapa dekad kebelakangan ini, perubahan iklim global telah meningkatkan intensiti hujan lebat, kejadian cuaca ekstrem dan kenaikan aras laut, sekali gus menjadikan risiko banjir di Malaysia semakin serius. Dalam beberapa tahun kebelakangan ini, kejadian banjir besar yang melanda beberapa negeri seperti Selangor, Pahang, Johor, Kelantan dan Terengganu telah menunjukkan bahawa sektor korporat Malaysia juga semakin terdedah kepada risiko berkaitan iklim (*climate-related risks*).

Laporan daripada Jabatan Perangkaan Malaysia (DOSM) – Laporan Khas Impak Banjir di Malaysia bagi tahun 2021 sehingga 2025 menunjukkan kesan banjir memberi impak kewangan kepada semua industri di Malaysia sama ada sektor awam atau swasta. Ini merangkumi kerugian daripada sektor

pertanian, pembuatan, harta benda dan lain-lain lagi. Data daripada Kementerian Ekonomi dan laporan penilaian sektor kewangan oleh Bank Negara Malaysia (BNM) menunjukkan ancaman banjir memberi kesan berangkai kepada kelangsungan syarikat swasta tempatan. Jadual 1-1 menunjukkan statistik kerugian banjir di Malaysia daripada tahun 2021 hingga 2025 daripada DOSM.

Jadual 1-1: Jumlah Kerugian Banjir di Malaysia 2021-2025 untuk Pelbagai Sektor

Sektor/ Industri	2021	2022	2023	2024	2025
Pertanian & Agromakanan	RM90.6	RM154.5	RM120.6	RM185.2	RM52.6
Premis Perniagaan (SME)	RM504.4	RM50.3	RM53.2	RM54.1	RM13.4
Pembuatan & Perindustrian	RM1,000.0	RM8.7	RM10.3	RM1.2	RM0.1
Aset Awam & Infrastruktur	RM2,000.0	RM232.7	RM380.7	RM303.4	RM380.2
Kediaman & Kenderaan*	RM2,500.0	RM176.2	RM190.6	RM389.5	RM190.6
JUMLAH KESELURUHAN (Juta)	RM6,100.0	RM622.4	RM755.4	RM933.4	RM636.9

*Nota: Data dalam nilai RM Juta. Nilai 2026 belum dimuktamadkan sepenuhnya.

NAHRIM juga telah menjalankan beberapa kajian untuk menghasilkan Peta Inundasi Susulan Kenaikan Aras Laut di lokasi-lokasi terpilih di Kedah, Terengganu, Sabah, Sarawak, Selangor, Perak dan Johor menggunakan data *desktop*. Kajian ini bertujuan untuk melihat kesan kenaikan aras laut terhadap kawasan-kawasan yang mempunyai kepadatan penduduk dan sosioekonomi yang tinggi. Di samping itu, kajian ini juga bertujuan untuk menilai impak kenaikan aras laut kepada kawasan pelabuhan dan pertanian seperti Pelabuhan Klang, Batu Pahat dan Pulau Langkawi dan seterusnya mencadangkan langkah-langkah adaptasi yang sesuai bagi lokasi-lokasi yang dijangka terancam.

Kajian kesan peningkatan aras laut yang telah dijalankan di Pelabuhan Klang pula mendapati bahawa impak kerugian jika berlaku kejadian banjir pantai dianggarkan sebanyak RM 1.4 bilion berdasarkan kehilangan kawasan

hutan bakau, kawasan komersial, industri, perumahan dan pertanian (NAHRIM, 2017). Berdasarkan Malaysia Fourth National Communication Report (NC4) 2024 di bawah United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), perubahan iklim telah meningkatkan intensiti hujan ekstrem, kejadian cuaca luar biasa serta kenaikan aras laut yang dijangka memperluaskan kawasan risiko banjir di Malaysia menjelang tahun 2100. Laporan tersebut mengenal pasti sebanyak 5,496 *hotspot* banjir di seluruh negara dan menjangkakan peningkatan kawasan berisiko banjir daripada 6.5% kepada 8.9% menjelang akhir abad ini.

Dalam konteks pasaran modal dan tadbir urus korporat, risiko banjir kini bukan lagi sekadar isu alam sekitar, tetapi telah berkembang menjadi risiko *material* kepada syarikat tersenarai awam, institusi kewangan dan pelabur. Risiko ini memberi implikasi antaranya terhadap:

1. kesinambungan operasi (*business continuity*);
2. kerosakan aset fizikal;
3. gangguan logistik dan rantai bekalan;
4. peningkatan kos insurans;
5. risiko kredit dan pembiayaan;
6. pematuhan ESG (*Environmental, Social and Governance*); serta
7. pendedahan risiko berkaitan iklim kepada pelabur.

Banjir memberi kesan yang besar terhadap operasi syarikat di Malaysia kerana bencana ini boleh menyebabkan kerosakan aset fizikal seperti kilang, gudang, pejabat dan pusat logistik. Apabila berlaku banjir, operasi perniagaan sering terganggu akibat kerosakan mesin, stok simpanan dan sistem utiliti seperti bekalan elektrik serta komunikasi. Selain itu, gangguan terhadap jalan raya, pelabuhan dan sistem pengangkutan turut menjejaskan rantai bekalan dan menyebabkan kelewatan penghantaran bahan mentah serta produk siap. Keadaan ini boleh mengurangkan produktiviti syarikat dan menyebabkan kerugian kewangan yang tinggi.

Daripada sudut kewangan dan pelaburan, banjir meningkatkan kos operasi syarikat melalui perbelanjaan pembaikan aset, tuntutan insurans dan kos pemulihan operasi. Syarikat yang sering terdedah kepada risiko banjir juga mungkin menghadapi peningkatan premium insurans dan kesukaran mendapatkan pembiayaan daripada institusi kewangan. Dalam masa yang sama, pelabur kini semakin memberi perhatian kepada risiko perubahan iklim dan tahap kesiapsiagaan syarikat dalam mengurus bencana alam. Oleh itu, kegagalan syarikat mengurus risiko banjir dengan baik boleh menjejaskan keyakinan pelabur serta memberi kesan kepada prestasi saham dan nilai syarikat di pasaran modal.

Dalam konteks tadbir urus korporat dan ESG (*Environmental, Social and Governance*), banjir menjadi salah satu risiko *material* yang perlu diberi perhatian oleh syarikat tersenarai awam. Syarikat perlu mengenal pasti aset yang berisiko banjir, menyediakan pelan kesinambungan perniagaan serta melaksanakan strategi mitigasi dan adaptasi yang berkesan. Pendekatan ini penting bagi memastikan daya tahan syarikat, melindungi kepentingan pelabur dan memperkukuh kestabilan pasaran modal Malaysia dalam menghadapi cabaran perubahan iklim pada masa hadapan.

1.1 Ringkasan Laporan NC4s

Laporan Malaysia *The Fourth National Communication Report* (NC4) 2024 yang disediakan oleh Kementerian Sumber Asli dan Kelestarian Alam Sekitar Malaysia (NRES) di bawah Konvensyen Rangka Kerja Perubahan Iklim Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu (UNFCCC) menekankan bahawa perubahan iklim memberi impak besar terhadap sistem hidroiklim negara termasuk peningkatan kejadian banjir sungai, banjir kilat dan banjir pesisir pantai.

Perubahan iklim telah berkembang menjadi krisis global yang bersifat *irreversible*, di mana impaknya tidak lagi terhad kepada kemerosotan alam sekitar, malah merangkumi dimensi ekonomi, sosial, dan kestabilan politik (Sari,

2025). Menurut UNFCCC, fenomena ini merujuk kepada perubahan komposisi atmosfera global akibat aktiviti manusia yang melangkaui variabiliti iklim semula jadi (Sari, 2025). IPCC turut menegaskan bahawa emisi gas rumah hijau (GHG) yang tidak terkawal merupakan pamacu utama pemanasan global yang kini mengancam kelangsungan peradaban manusia melalui cuaca ekstrem dan kenaikan paras air laut (Sari, 2025).

Laporan NC4 menyatakan, purata suhu permukaan Malaysia meningkat antara 0.13°C hingga 0.24°C setiap dekad sepanjang 50 tahun lalu. Selain itu, peningkatan suhu atmosfera menyebabkan proses penyejatan berlaku dengan lebih aktif, seterusnya meningkatkan pembentukan awan dan hujan lebat ekstrem. Fenomena ini meningkatkan kebarangkalian kejadian banjir besar, khususnya semasa musim Monsun Timur Laut di Pantai Timur Semenanjung Malaysia.

Malaysia juga berhadapan dengan peningkatan aras laut yang direkodkan antara 2.9 mm hingga 3.2 mm setahun sejak tahun 1986. Kenaikan aras laut ini meningkatkan risiko banjir pesisir pantai dan hakisan pantai di kawasan rendah berhampiran laut.

Key takeaways utama laporan NC4 ini menekankan kerentanan kritikal dalam lima sektor utama—iaitu pengurusan tepian air/pesisir pantai, keterjaminan makanan (pertanian), kesihatan awam, perhutanan (biodiversiti), dan infrastruktur bandar. Bagi menangani ancaman ini, laporan ini menegaskan keperluan pelaburan awal sekurang-kurangnya USD 63.6 juta untuk inisiatif adaptasi nasional melalui Malaysia National Adaptation Plan (MyNAP), di samping mengekalkan komitmen negara untuk mengurangkan pelepasan gas rumah hijau (GHG) sebanyak 45% menjelang 2030 demi membina daya tahan sosioekonomi dan melindungi komuniti rentan.

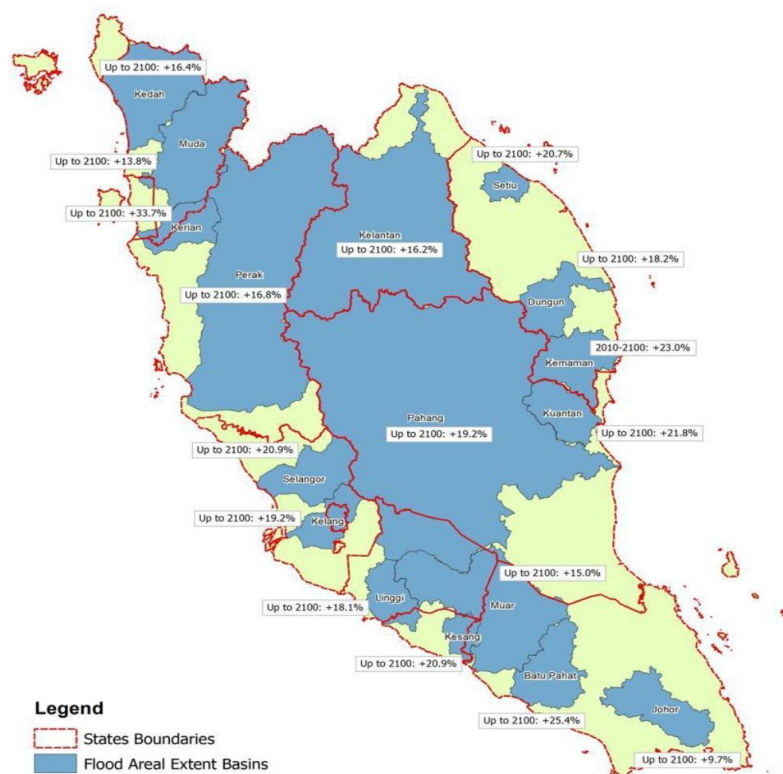
2. LAPORAN ANALISIS BANJIR DARAT

2.1 Analisis Risiko dan Simulasi Hidrologi Banjir Darat

2.2 Metodologi dan Parameter Pemodelan

Untuk penghasilan laporan ini, sumber data yang digunakan untuk banjir darat bagi tujuan pemetaan dan analisis menggunakan data unjuran iklim berdasarkan senario *RCP* daripada *The Fifth Assessment Report (AR5)* yang telah diterbitkan pada tahun 2021. Penggunaan data ini membolehkan penilaian perubahan pola hujan dan potensi kejadian banjir pada masa hadapan dilaksanakan pada skala grid 6 km x 6 km.

Melalui data tersebut juga, NAHRIM telah menghasilkan peta unjuran banjir pada tahun 2024 untuk pelaporan NC4 dan *Nationally Determined Contribution (NDC 3.0) Malaysia 2025*, seperti di Rajah 2-1.



Rajah 2-1: Unjuran Luas Kawasan Banjir (*Projected Flood Areal Extent*) bagi 17 Lembangan Sungai di Semenanjung Malaysia untuk Tempoh Pulangan 100 Tahun (100-Year Return Period)

Menggunakan peta unjuran banjir yang sama, ia telah menjadi peta asas dalam analisis pelaporan banjir darat untuk negeri Selangor, Kuala Lumpur dan Johor. Jadual 2-1, menunjuk ringkasan maklumat sumber data yang digunakan.

Jadual 2-1: Sumber Data Analisis Banjir Darat

Parameter	Jenis Data	Format	Keterangan
Banjir Darat	Peta limpahan banjir	Raster	Data spatial kawasan limpahan banjir
Taburan Hujan	Data hujan bulanan	Excel	Data hujan berdasarkan stesen dan koordinat
Sempadan Pentadbiran	<i>Shapefile</i>	SHP	Sempadan mukim dan daerah
Data Unjuran Iklim	AR5 RCP	Spatial & Statistik	Senario RCP 2.6, 4.5, 6.0 dan 8.5

Pendekatan pemetaan spatial merupakan metodologi utama yang digunakan dalam pelaporan ini dimana, perisian ArcGIS Pro digunakan untuk integrasi pelbagai jenis data geospatial seperti raster, data hujan, *shapefile* sempadan pentadbiran serta analisis interpolasi spatial dijalankan secara sistematik. Untuk pemprosesan data taburan hujan, kaedah interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) digunakan melalui fungsi *geoprocessing* dalam ArcGIS Pro bagi menghasilkan permukaan spatial hujan.

Secara umumnya, kaedah pemetaan spatial ini membantu menghasilkan visualisasi yang lebih jelas terhadap kawasan berisiko tinggi serta hubungan antara peningkatan taburan hujan dengan kejadian banjir darat. Selain itu, penggunaan teknik *geoprocessing* dan analisis spatial di mana hasil analisis ini boleh dijadikan rujukan penting dalam menyediakan pelan adaptasi perubahan iklim, pengurusan risiko banjir, pembangunan infrastruktur serta sokongan kepada proses membuat keputusan untuk syarikat-syarikat yang terkesan merentas semua sektor.

Penilaian risiko banjir darat atau banjir *fluvial* bagi negeri Selangor, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur, dan Johor dilaksanakan secara holistik bagi meneliti unjuran hidrologi jangka masa pertengahan abad, iaitu bagi tempoh tahun 2010 hingga 2054. Parameter utama pemodelan dikonfigurasi berpandukan simulasi Kala Kembali 100 Tahun (*100 Years Average Recurrence Interval, ARI*) untuk mengukur tindak balas profil tadahan air terhadap ancaman taburan hujan ekstrem.

Profil kerentanan rantau ini dinilai merentas empat variasi senario *RCPs*:

- **RCP 2.6:** Senario mitigasi pelepasan karbon tinggi (pelepasan gas rumah hijau pada tahap minimum).
- **RCP 4.5 & RCP 6.0:** Senario pelepasan karbon dan penstabilan cuaca pada tahap sederhana hingga tinggi.
- **RCP 8.5:** Senario pelepasan karbon tinggi tanpa sebarang intervensi mitigasi iklim mutlak (*Business-as-Usual*).

Klasifikasi bahaya inundasi (keterendaman) ditetapkan berdasarkan aras kedalaman banjir (*Flood Depth*) bagi mengukur impak fizikal ke atas infrastruktur dan komuniti:

- **Rendah (*Low Hazard*):** 0.0 – 0.5 meter
- **Sederhana (*Moderate Hazard*):** 0.5 – 1.2 meter
- **Tinggi (*High Hazard*):** 1.2 – 2.5 meter
- **Sangat Tinggi (*Very High Hazard*):** Melebihi 2.5 meter (> 2.5m)

2.2.1 Limitasi Analisis

Meskipun penilaian risiko dan simulasi hidrodinamik banjir darat ini membekalkan representasi makro yang komprehensif terhadap pendedahan ancaman bencana masa hadapan, interpretasi serta aplikasi dapatan kajian ini wajib mengambil kira beberapa kekangan teknikal yang kritikal.

Pembangunan analisis ini mengintegrasikan unjuran hidroiklim berasaskan senario RCP daripada laporan AR5. Secara intrinsik, konfigurasi model iklim terdedah kepada unsur ketidakpastian (*climate model uncertainty*) yang dipicu oleh dinamik atmosfera yang kompleks, variabiliti trajektori emisi gas rumah hijau (GHG) global, serta kekerapan anomali cuaca ekstrem.

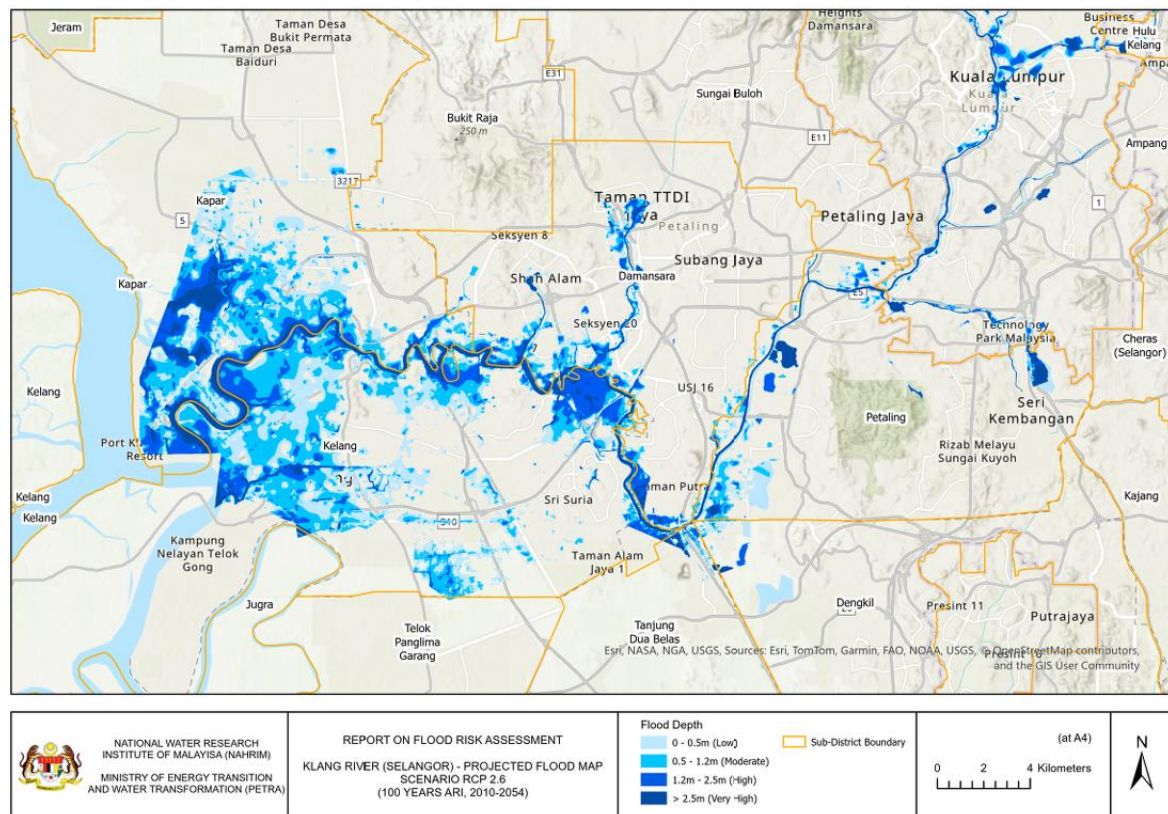
Penghasilan peta unjuran dan indikator kedalaman banjir ini dikhususkan bagi tujuan penilaian profil kerentanan (*vulnerability profiling*) serta visualisasi spatial kawasan titik panas (*hotspots*) sahaja. Sehubungan itu, data spatial inundasi ini tidak boleh dianggap sebagai spesifikasi reka bentuk kejuruteraan mutlak bagi pembinaan infrastruktur hidraulik, jambatan, atau benteng tebatan banjir tanpa pelaksanaan kajian teknikal tapak yang terperinci.

2.3 Analisis Keseluruhan Negeri Selangor

Sistem hidrologi darat negeri Selangor dikawal oleh dua lembangan utama yang mempunyai ciri topografi dan guna tanah yang berbeza, iaitu Lembangan Sungai Klang di bahagian Selatan dan Lembangan Sungai Selangor di bahagian utara. Analisis makro merentas kesemua senario pelepasan memaparkan tindak balas hidrodinamik yang tidak linear.

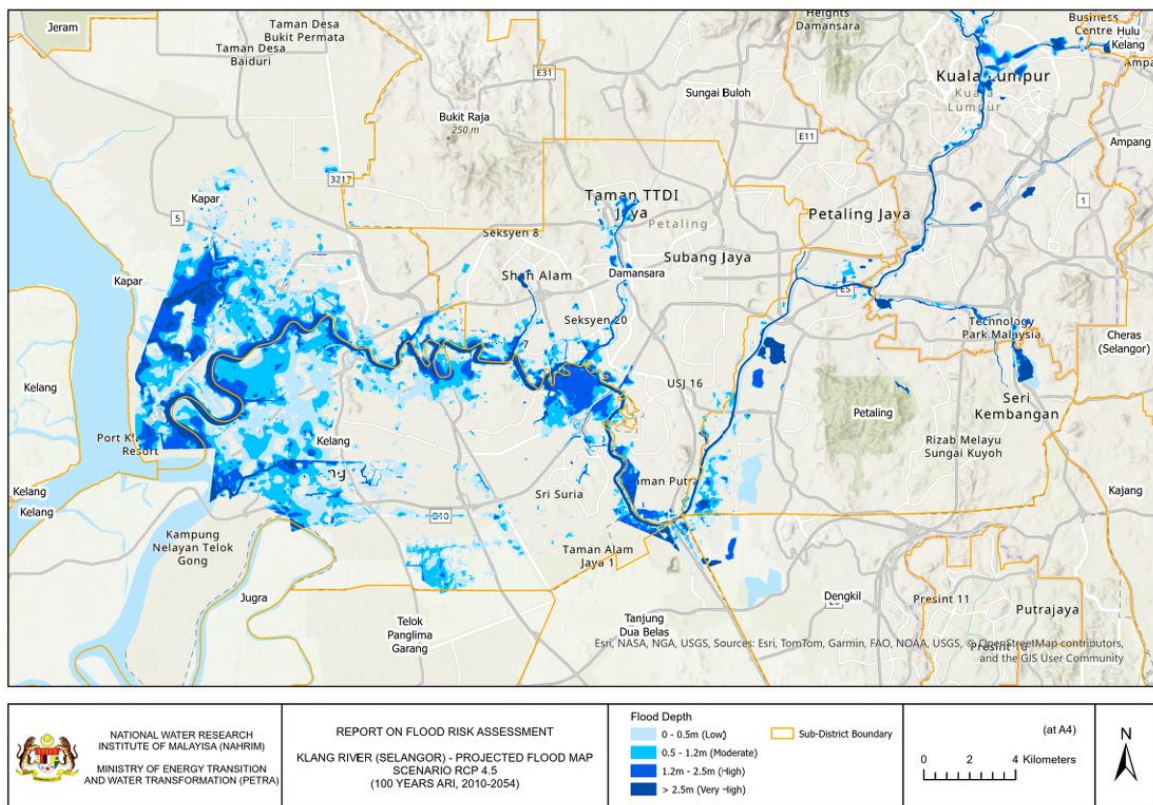
Berbeza dengan pemodelan Kenaikan Aras Laut pesisir pantai yang memuncak secara linear pada RCP 8.5, keamatan curahan hujan *fluvial* dan isipadu luahan puncak (*peak discharge*) dikesan mencatatkan anomali maksimum di bawah fasa senario penstabilan sederhana hingga tinggi (RCP 4.5 dan RCP 6.0) disebabkan faktor ketidakstabilan monsun serantau sebelum lengkung iklim beranjak ke arah kitaran kemarau panjang dalam jangka masa pra-2054.

2.3.1 Lembangan Sungai Klang



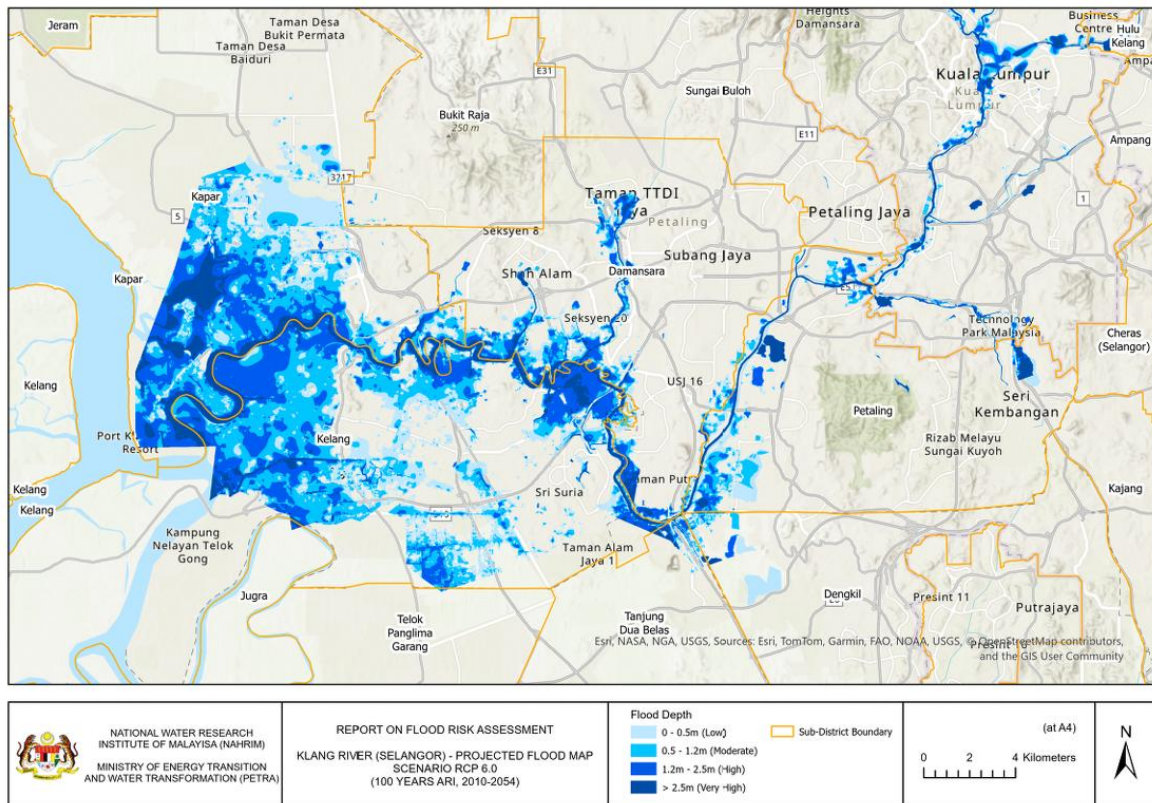
Rajah 2-2: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang Senario RCP 2.6

Merujuk kepada unjuran simulasi Rajah 2-2, tindak balas tadahan di bawah senario pelepasan rendah iaitu RCP 2.6 mengekalkan sebahagian besar luahan di dalam koridor dataran banjir semula jadi (*natural floodplain*). Kawasan hilir bertopografi rendah seperti kawasan Pelabuhan Klang dan Kampung Nelayan Telok Gong mempamerkan formasi awal takungan air bertahap Tinggi (1.2m - 2.5m). Sektor pertengahan seperti Shah Alam dan Subang Jaya kekal berada dalam zon selamat dengan kehadiran impak banjir terpencil bertahap Rendah (0 - 0.5m).



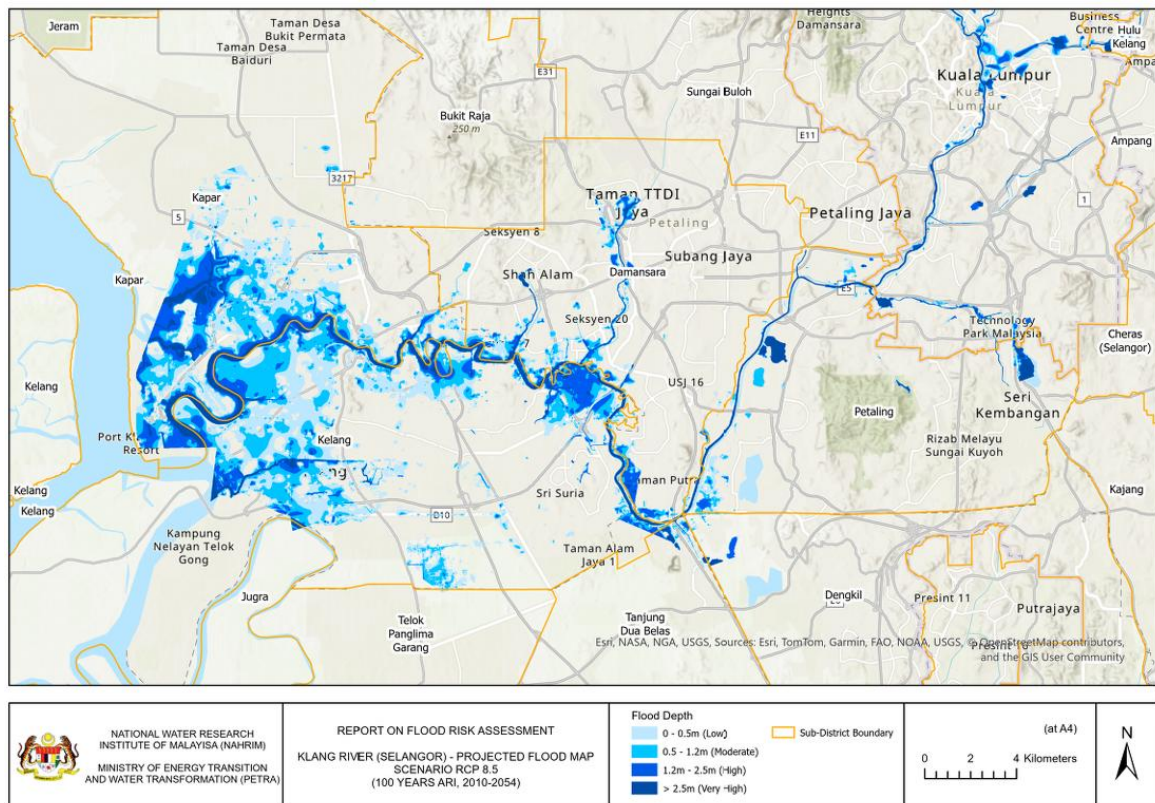
Rajah 2-3: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang Senario RCP 4.5

Berdasarkan visual pemetaan Rajah 2-3 bagi simulasi senario RCP 4.5, berlakunya perluasan perimeter luahan banjir darat secara lateral (mengufuk). Zon inundasi bertahap Sederhana (0.5m - 1.2m) mula menjejaskan grid perbandaran Shah Alam (Seksyen 8 dan Seksyen 20) serta pinggir sub-daerah Kapar dan Kelang. Unjuran ini menandakan fasa tepu awal pada sistem perparitan konvensional.



Rajah 2-4: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang Senario RCP 6.0

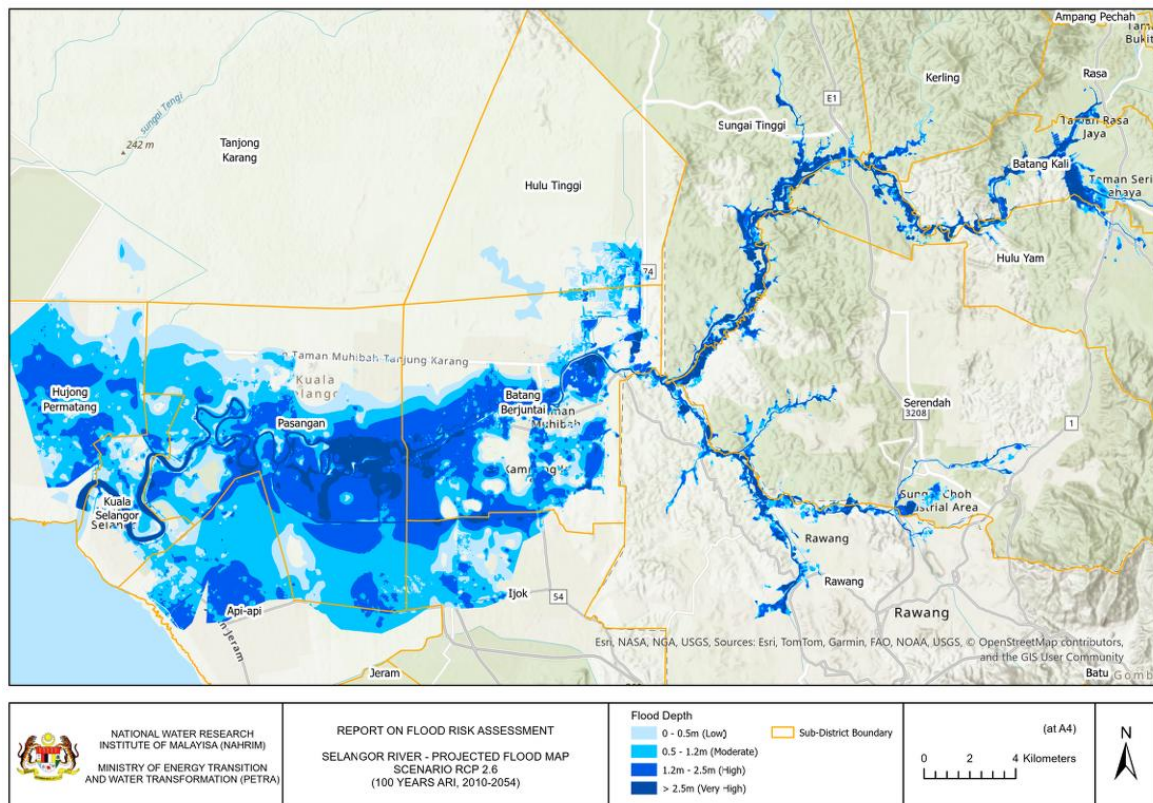
Analisis ke atas Rajah 2-4 mendedahkan titik kemuncak bencana hidrologi (*worst-case envelope*) bagi Lembangan Sungai Klang di kawasan negeri Selangor iaitu di bawah senario RCP 6.0. Jaringan takungan banjir berskala Sangat Tinggi (>2.5m) menguasai keseluruhan grid Kapar, Kelang, Port Klang dan Telok Gong. Sektor perbandaran pertengahan (Shah Alam dan Taman TTDI Jaya) mengalami limpahan keluar tebing total (*overbank flooding*) berkedalaman melebihi 2.5-meter akibat kegagalan sistem saluran bandar untuk menampung air larian permukaan (*surface runoff*).



Rajah 2-5: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang Senario RCP 8.5

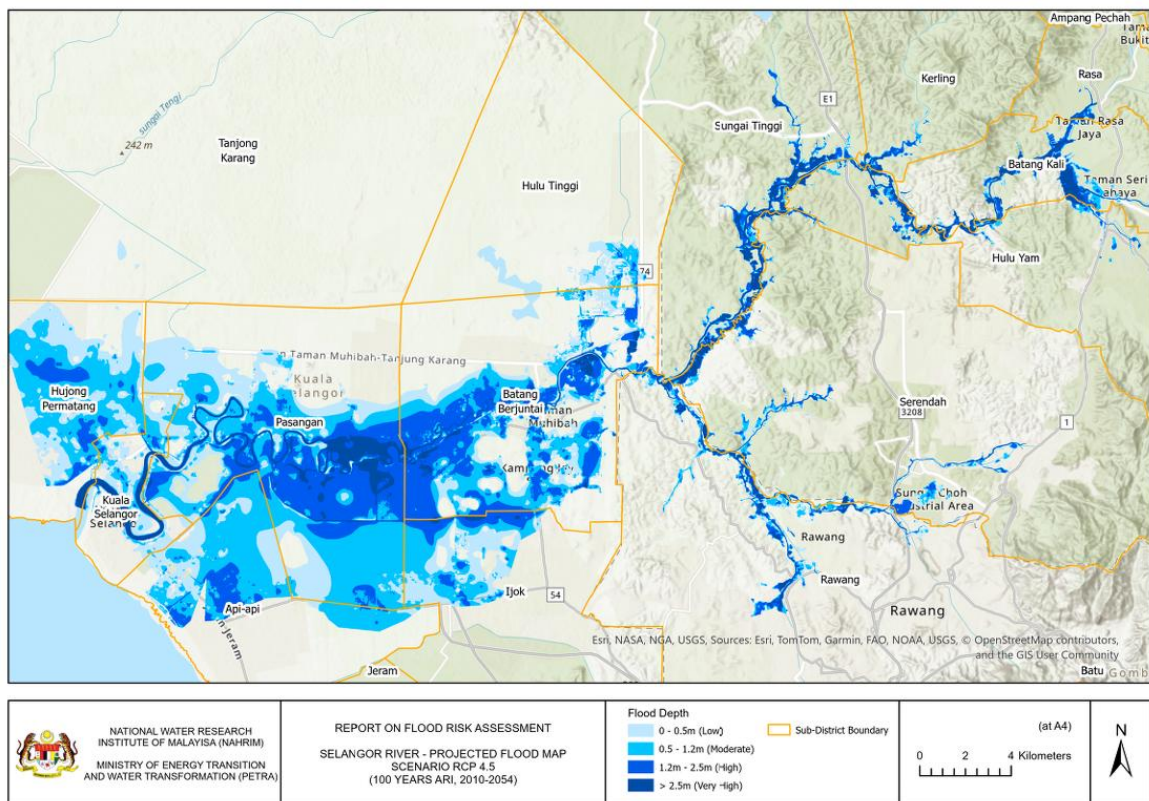
Merujuk kepada unjuran RCP 8.5 pada Rajah 2-5, taburan geometri banjir darat cenderung menstabil atau sedikit mengecil luasan lateralnya di kawasan pertengahan tadahan (*mid-catchment*) berbanding dalam RCP 6.0. Walau bagaimanapun, disebabkan kekangan hidrodinamik estuari, zon hilir industri berat (Kapar dan Pelabuhan Klang) kekal diklasifikasikan di bawah bahaya Sangat Tinggi (>2.5m) dengan unjuran kedalaman takungan yang tinggi.

2.3.2 Lembangan Sungai Selangor



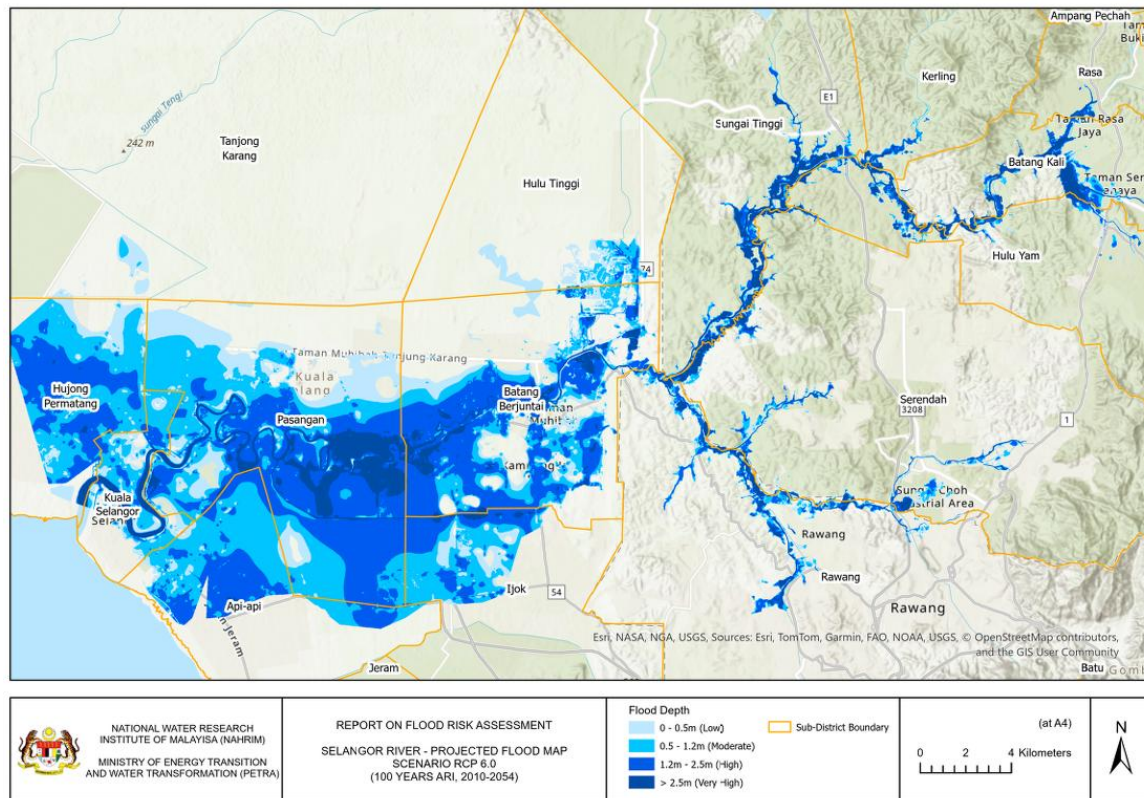
Rajah 2-6: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Selangor Senario RCP 2.6

Berdasarkan rupa bumi hidrologi di dalam Rajah 2-6, limpahan air banjir di bawah unjuran mitigasi tinggi mengalir mengikut jajaran koridor asal sungai secara linear. Dataran hilir yang rata seperti pesisir Kuala Selangor, Api-api, dan Hujung Permatang mencatatkan banjir bertahap Sederhana (0.5m - 1.2m). Di bahagian hulu (Rawang, Serendah, Batang Kali) mempamerkan rintangan jalur inundasi sempit di sepanjang lurah tebing Sungai disebabkan topografi permukaan yang tinggi.



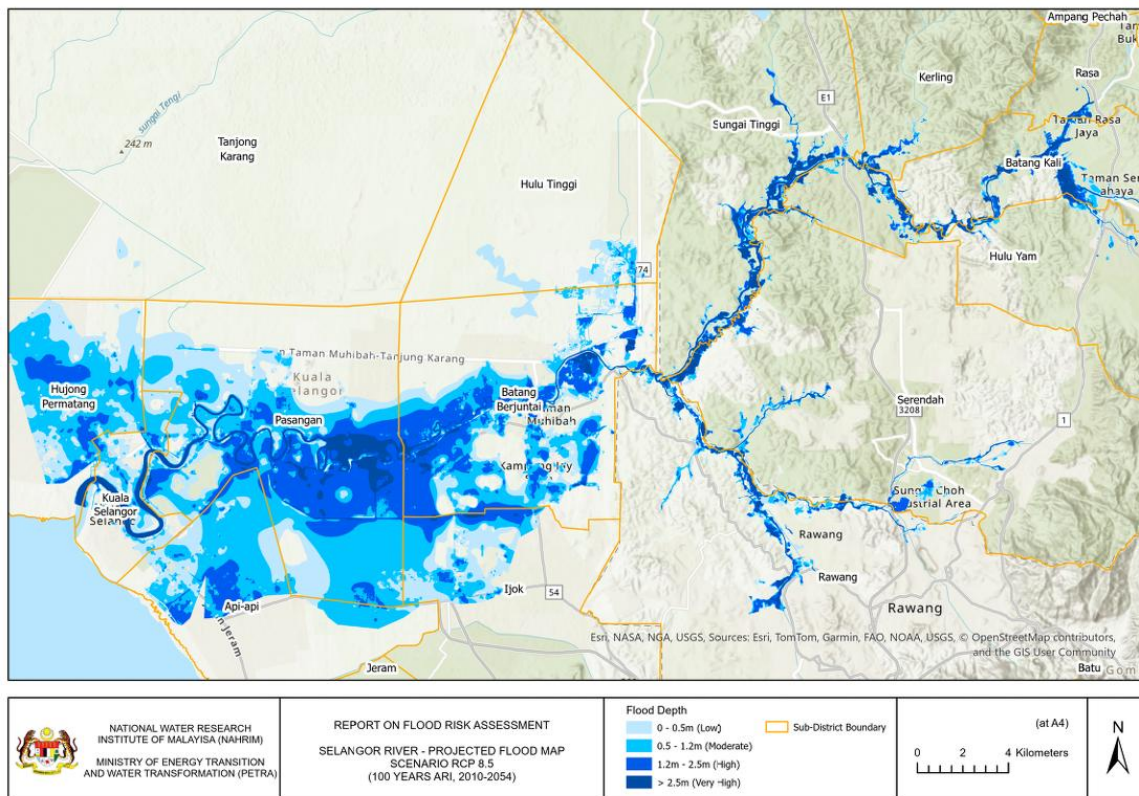
Rajah 2-7: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Selangor Senario RCP 4.5

Mengikut unjuran senario RCP 4.5 merujuk pada Rajah 2-7, isi padu luahan air yang meningkat melepasi had kapasiti tebing dan mula diunjurkan membanjiri kawasan pertanian daratan. Pesisir muara Kuala Selangor, Pasangan dan Api-api mula diliputi zon banjir tahap Tinggi (1.2m - 2.5m). Hab pengeluaran Bestari Jaya (Batang Berjuntai) mempamerkan inondasi berskala Sederhana dan Tinggi di beberapa kawasan.



Rajah 2-8: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Selangor Senario RCP 6.0

Penafsiran Rajah 2-8 mengesahkan unjuran paling severe dan melumpuhkan bagi sistem Sungai Selangor di bawah senario RCP 6.0. Terhasil hamparan banjir lateral berskala besar yang menyambungkan seluruh zon Tanjong Karang, Hujung Permatang, Api-api, Pasangan, hingga ke Kuala Selangor di bawah takungan air Sangat Tinggi (>2.5m). Kawasan industri Batang Berjuntai (Bestari Jaya) dan Ijok diunjurkan tenggelam sepenuhnya (>2.5m). Di hulu (Rawang, Serendah, Batang Kali), takungan >2.5m mengesahkan risiko tinggi banjir kilat berhalaju tinggi dan hakisan runtuh tebing yang boleh mencemarkan muka sawk Loji Rawatan Air (LRA) utama negeri.



Rajah 2-9: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Selangor Senario RCP 8.5

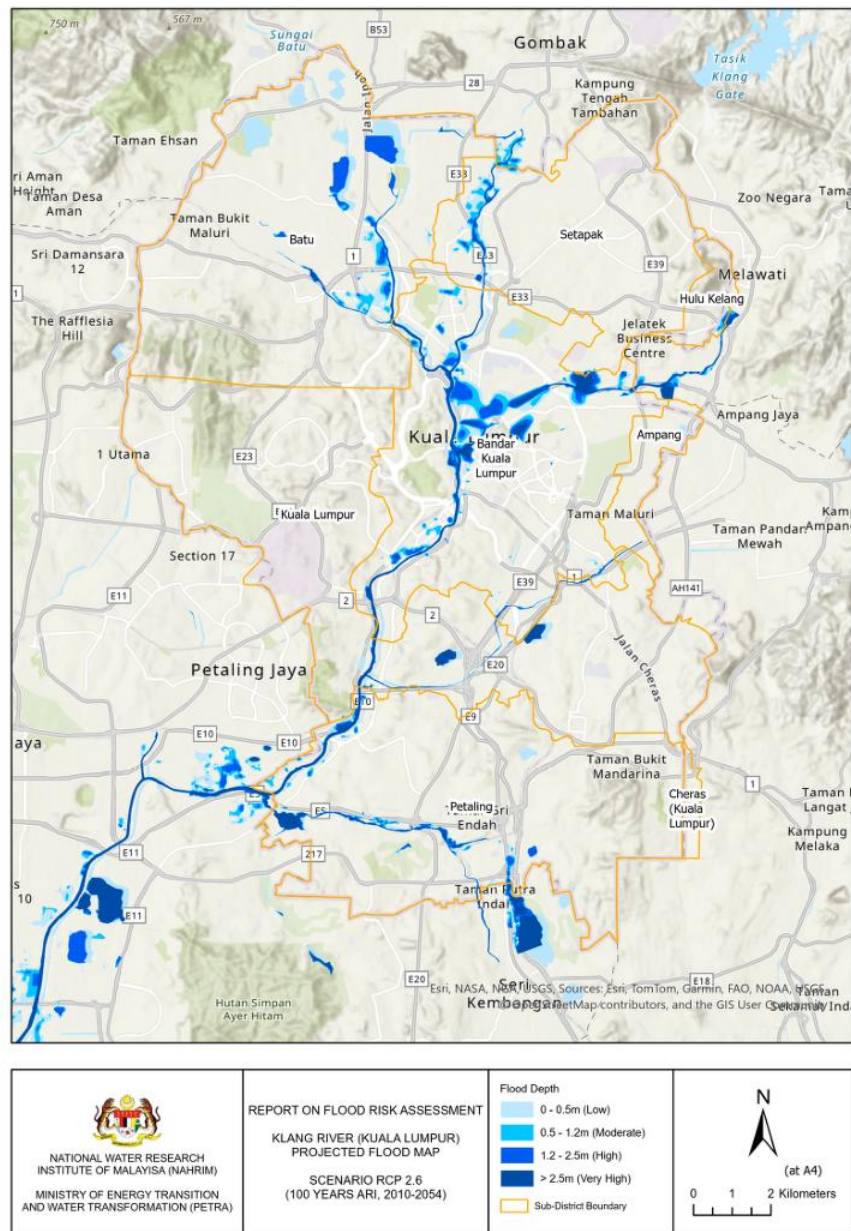
Berdasarkan unjuran senario RCP 8.5 pada Rajah 2-9, taburan banjir *fluvial* masih meluas di dataran agromakanan hilir, namun zon inundasi di sempadan pedalaman (seperti arah Hulu Tinggi dan pinggir Ijok) mempamerkan jajaran grid yang sedikit stabil atau tidak seagresif simulasi hidrologi dalam RCP 6.0. Walau bagaimanapun, koridor utama sepanjang sungai kekal berada pada unjuran parah paras Sangat Tinggi (>2.5m).

2.4 Analisis Keseluruhan Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur

Sebagai pusat pentadbiran, kewangan, dan komersial negara, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur mempunyai profil kerentanan banjir kilat bandar (*urban flash floods*) yang sangat berisiko. Lembangan Sungai Klang di bahagian Kuala Lumpur bertindak sebagai arteri saluran utama yang menerima kemasukan luahan air sungai daripada kawasan tadahan di kawasan Gombak serta rangkaian anak sungai utama seperti Sungai Gombak dan Sungai Batu.

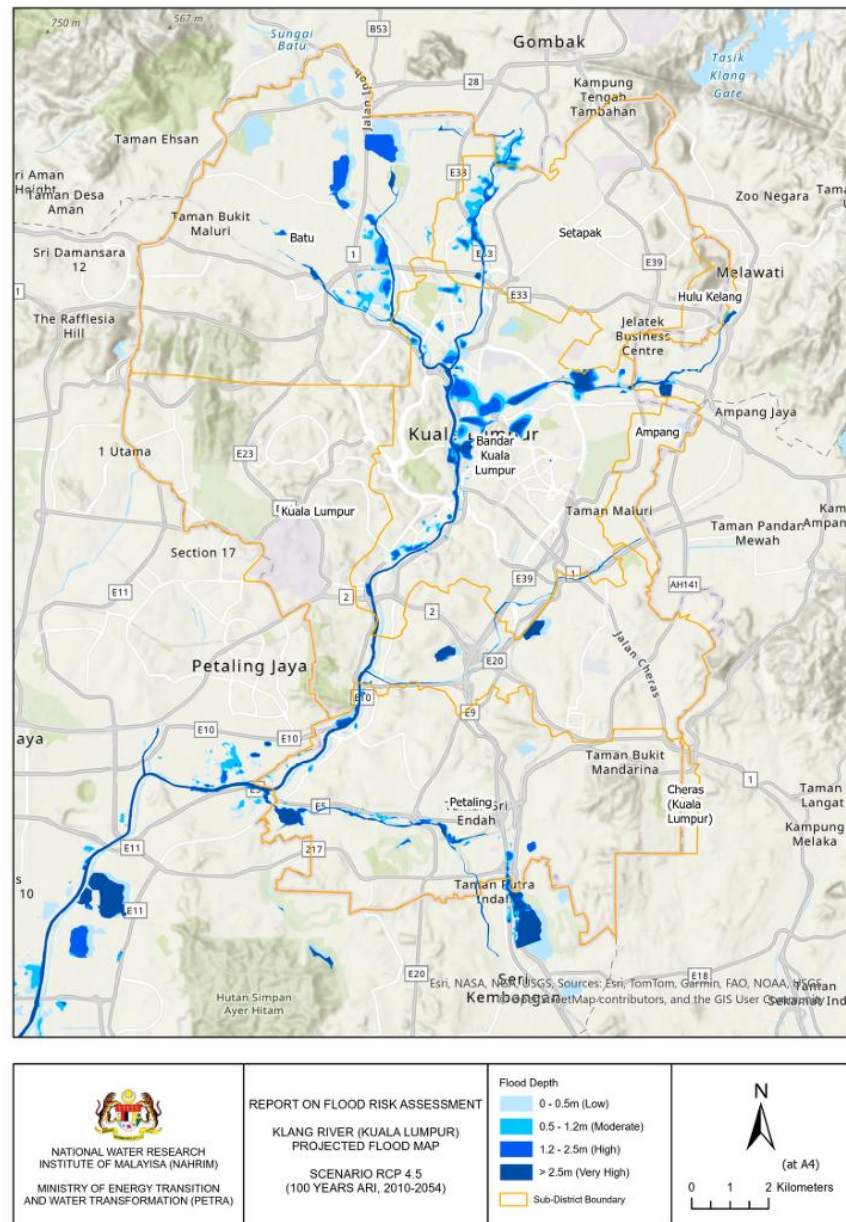
Analisis makro bagi keseluruhan unjuran 100 Tahun ARI (2010-2054) merentas kesemua senario iklim (RCP 2.6 hingga RCP 8.5) mendedahkan mekanik risiko perbandaran di mana litupan permukaan berturap (*impervious surface*) yang tinggi menukarkan isi padu air larian permukaan (*surface runoff*) secara serta-merta tanpa infiltrasi tanah, mewujudkan rintangan aliran balik (*backflow*) akibat kekangan keupayaan lintasan (*conveyance capacity*) tebing konkrit utama.

2.4.1 Lembangan Sungai Klang (Kuala Lumpur)



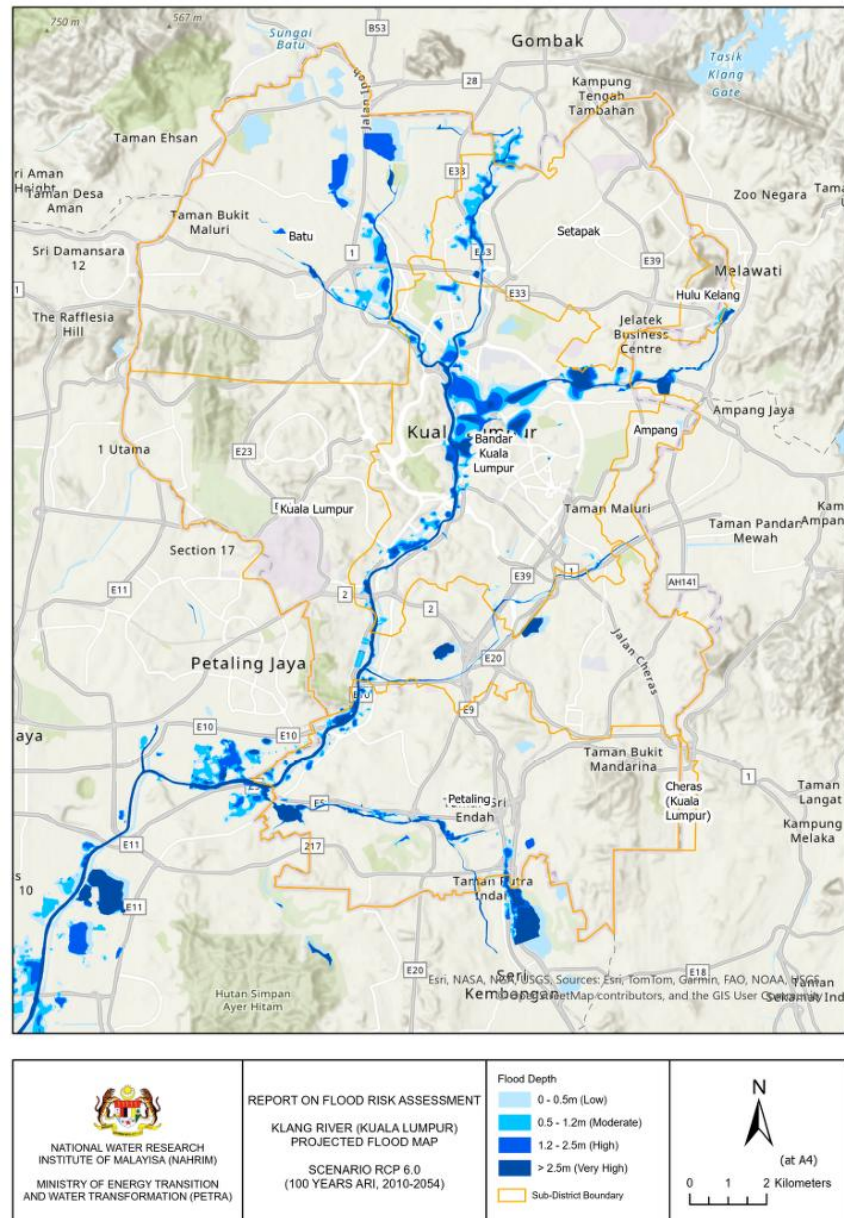
Rajah 2-10: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang (Kuala Lumpur) Senario RCP 2.6

Merujuk kepada unjuran simulasi bagi senario RCP 2.6 pada Rajah 2-10, luahan air banjir berada pada tahap minimum dan terhad di sepanjang dinding penahan tebing konkrit pusat bandar raya. Kawasan komersial teras (Bandar Kuala Lumpur) memaparkan takungan air awal bertahap Sederhana (0.5m - 1.2m) di zon pertembungan anak sungai. Rangkaian Sungai Batu di utara mempamerkan banjir bertahap Sederhana.



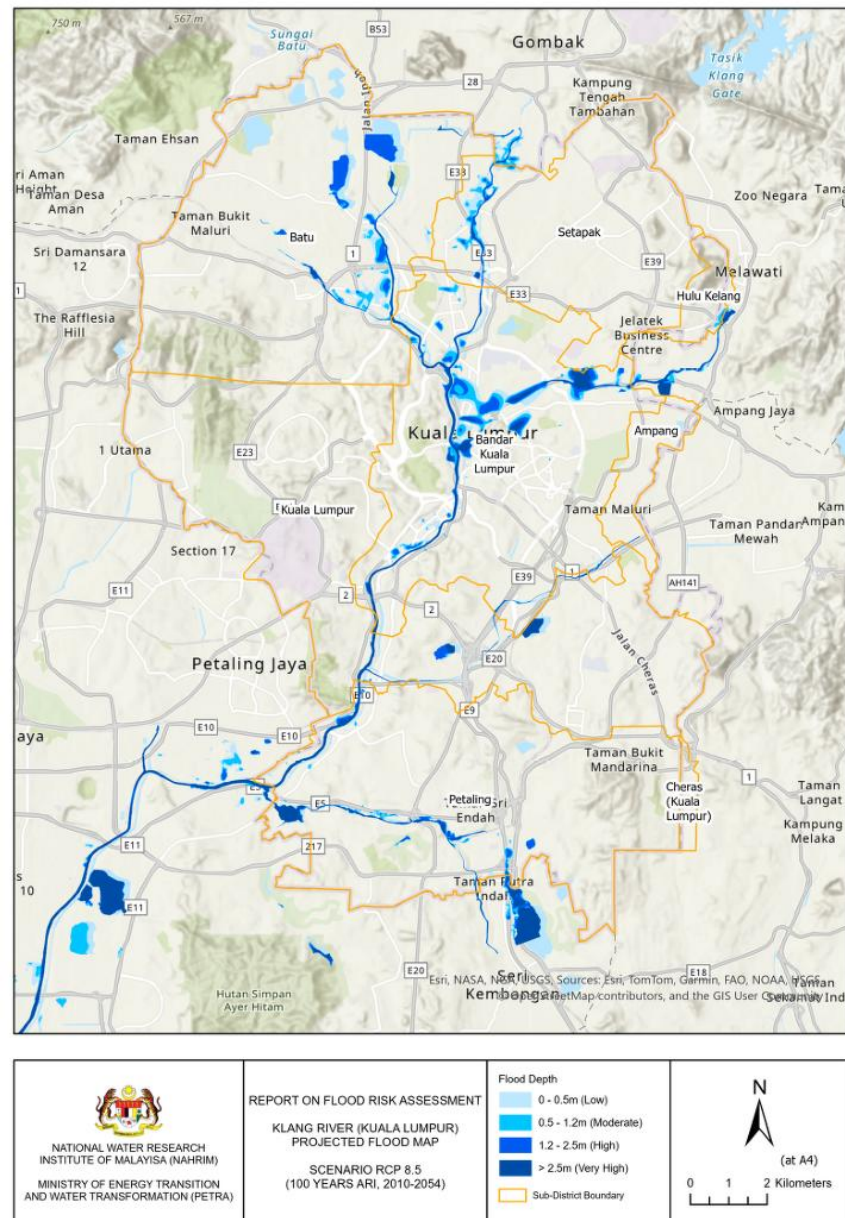
Rajah 2-11: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang (Kuala Lumpur) Senario RCP 4.5

Berdasarkan pemetaan Rajah 2-11 di bawah simulasi senario RCP 4.5, limpahan air mula merebak melepasi rizab parit bandar ke kawasan komersial berkepadatan tinggi. Kawasan Batu mula diliputi warna biru terang (Tinggi, 1.2m - 2.5m). Di sektor selatan, limpahan mula menjejaskan sebahagian koridor pinggir mukim Petaling dengan kedalaman Sederhana.



Rajah 2-12: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang (Kuala Lumpur) Senario RCP 6.0

Melalui perbandingan spatial, peta dalam Rajah 2-12 disahkan sebagai profil bencana paling parah (*most severe*) bagi wilayah ibu negara. Isi padu luahan hujan ARI 100 Tahun mengatasi had keupayaan lintasan terowong dan parit induk perbandaran. Pusat wilayah (Bandar Kuala Lumpur) bertukar menjadi lautan biru gelap berskala Sangat Tinggi (>2.5m) akibat fenomena sekatan hidrostatik (*backflow*) yang akan merosakkan fasiliti sub-permukaan, stesen kemudahan awam, dan utiliti pencawang elektrik utama.



Rajah 2-13: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Klang (Kuala Lumpur) Senario RCP 8.5

Berasaskan data spatial unjuran banjir darat senario RCP 8.5 dalam Rajah 2-13, taburan banjir darat di pusat bandar raya kekal berada pada indikator yang tinggi. Walau bagaimanapun, perluasan lateral ke kawasan penempatan pinggir seperti mukim Petaling mempamerkan jajaran grid biru yang lebih stabil atau terkawal sekiranya dibandingkan dengan intensiti keakutan banjir yang diunjurkan dalam peta severe RCP 6.0.

2.5 Analisis Keseluruhan Johor

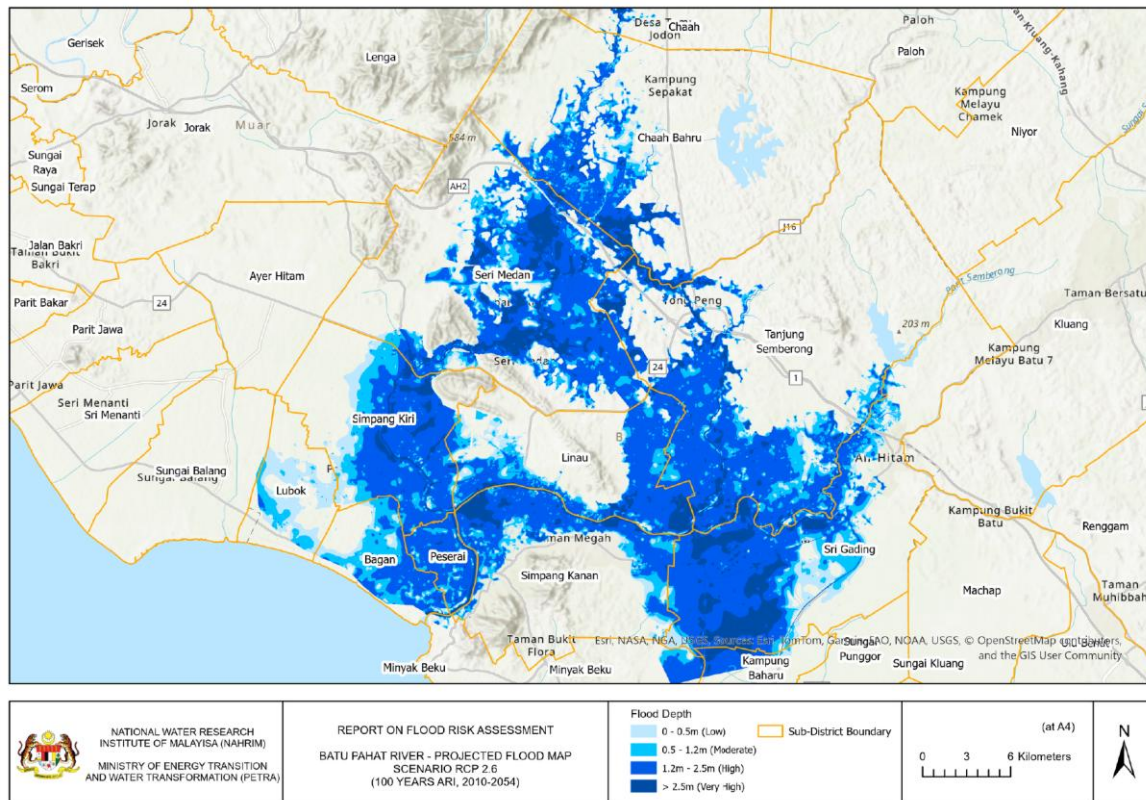
Sistem hidrologi darat Negeri Johor dikawal oleh kepelbagaian topografi dan hidrometeorologi yang berbeza antara koridor pantai barat (menghadap Selat Melaka) dan pesisiran selatan. Penilaian makro merentas kesemua senario pelepasan (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, dan RCP 8.5) bagi tetingkap masa pertengahan abad (2010 hingga 2054) mempamerkan respons aliran yang sangat kompleks. Profil kerentanan wilayah ini membuktikan bahawa impak isi padu luahan puncak (*peak discharge*) berdasarkan Kala Kembali 100 Tahun (*100-Year ARI*) bukan sahaja dipengaruhi oleh keamatan curahan hujan, tetapi bergantung secara kritikal kepada rintangan morfologi dataran rendah, ketiadaan kecerunan hidraulik (*hydraulic gradient*), serta fenomena rintangan hidrostatik di estuari (*backwater effect*).

Secara dinamikanya, pemodelan merentas tiga lembangan utama ini mengesahkan anomali iklim serantau iaitu senario pelepasan tahap tinggi (RCP 6.0) mempamerkan profil bencana yang paling kritikal dan severe. Ketidakstabilan peralihan monsun di bawah profil RCP 6.0 memacu pembentukan perolakan hujan yang ekstrem, memberi impak menjana hidrograf puncak yang melebihi kapasiti lintasan (*conveyance capacity*) sistem saliran buatan dan tebing semula jadi sungai dengan kadar keakutan yang mengatasi unjuran RCP 8.5.

2.5.1 Lembangan Sungai Batu Pahat

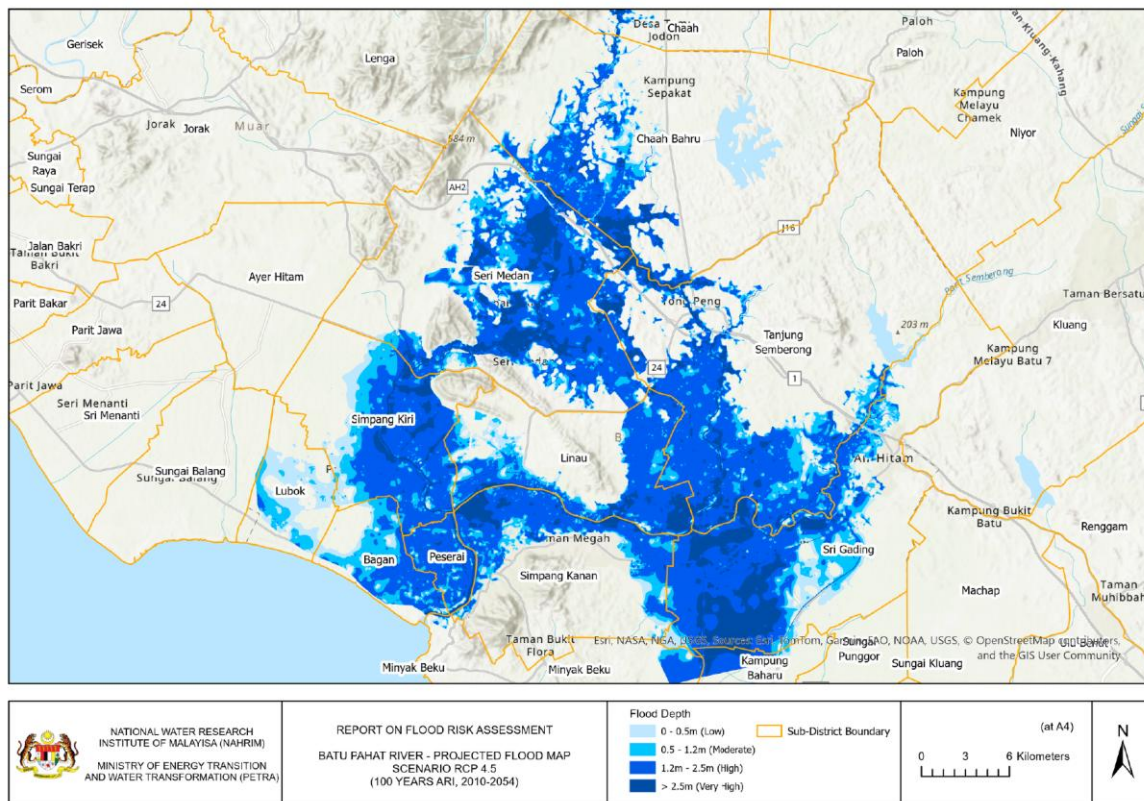
Geomorfologi Lembangan Sungai Batu Pahat dicirikan oleh cerun topografi yang hampir sifar (*gentle to flat contour*) dan didominasi sepenuhnya oleh formasi tanah liat marin lembut (*soft marine clay*). Ciri rupa bumi daratan yang mendatar ini melenyapkan keupayaan pelepasan aliran berasaskan graviti semula jadi (*natural gravitational drainage*). Akibatnya, lembangan ini bertindak sebagai sebuah "mangkuk takungan" raksasa yang memerangkap isi padu luahan dari sub-lembangan Sungai Simpang Kiri dan

Sungai Simpang Kanan, mencetuskan fenomena banjir termenung (*stagnant waterlogging*) yang kronik.



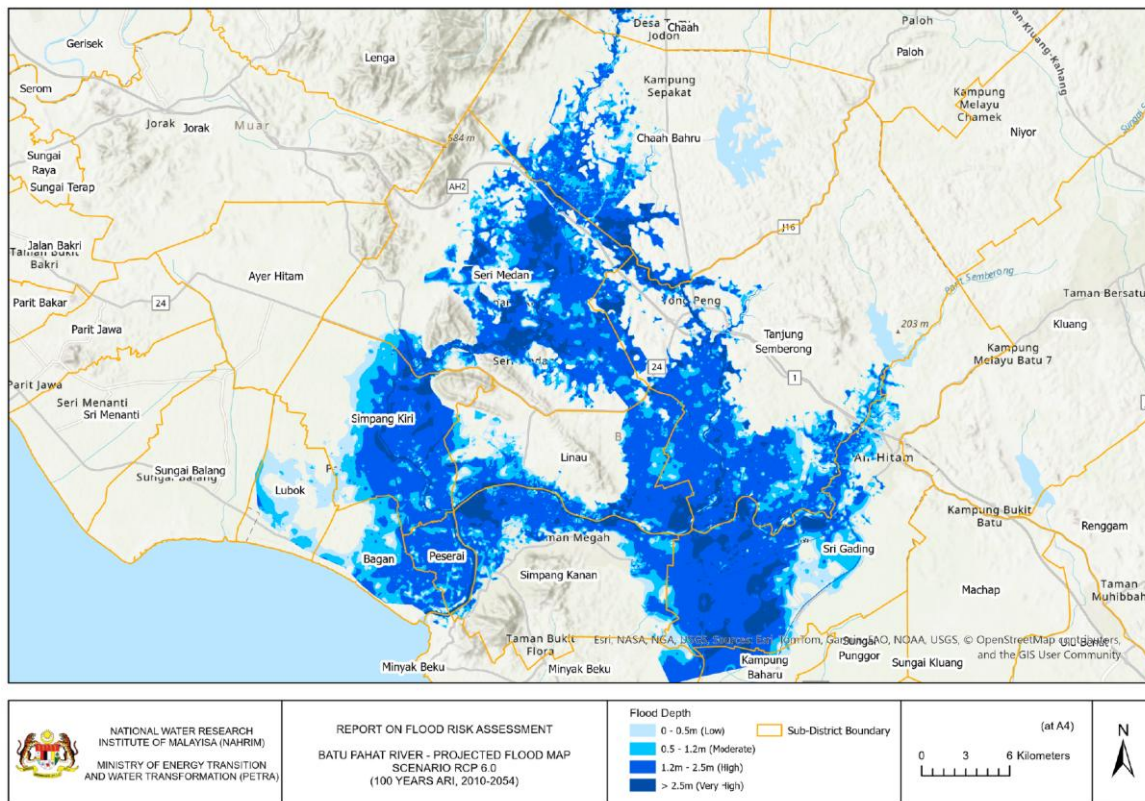
Rajah 2-14: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Batu Pahat Senario RCP 2.6

Merujuk kepada unjuran hidrodinamik Rajah 2-14, tadahan Sungai Batu Pahat mempamerkan had toleransi yang sangat rendah walaupun disimulasikan di bawah parameter mitigasi pelepasan karbon optimum (RCP 2.6). Isipadu larian permukaan (*surface runoff*) mula memecahkan rizab tebing, membentuk takungan air bertahap Tinggi (1.2m - 2.5m) hingga Sangat Tinggi (>2.5m) di dataran rendah pengeluaran agro makanan meliputi Seri Medan, Simpang Kiri, dan struktur perparitan pertanian di Sri Gading dan Parit Yaani. Di sektor perbandaran hilir seperti Peserai dan Bagan, kegagalan pelepasan air ke muara mewujudkan zon tepu bertahap Sederhana (0.5m - 1.2m).



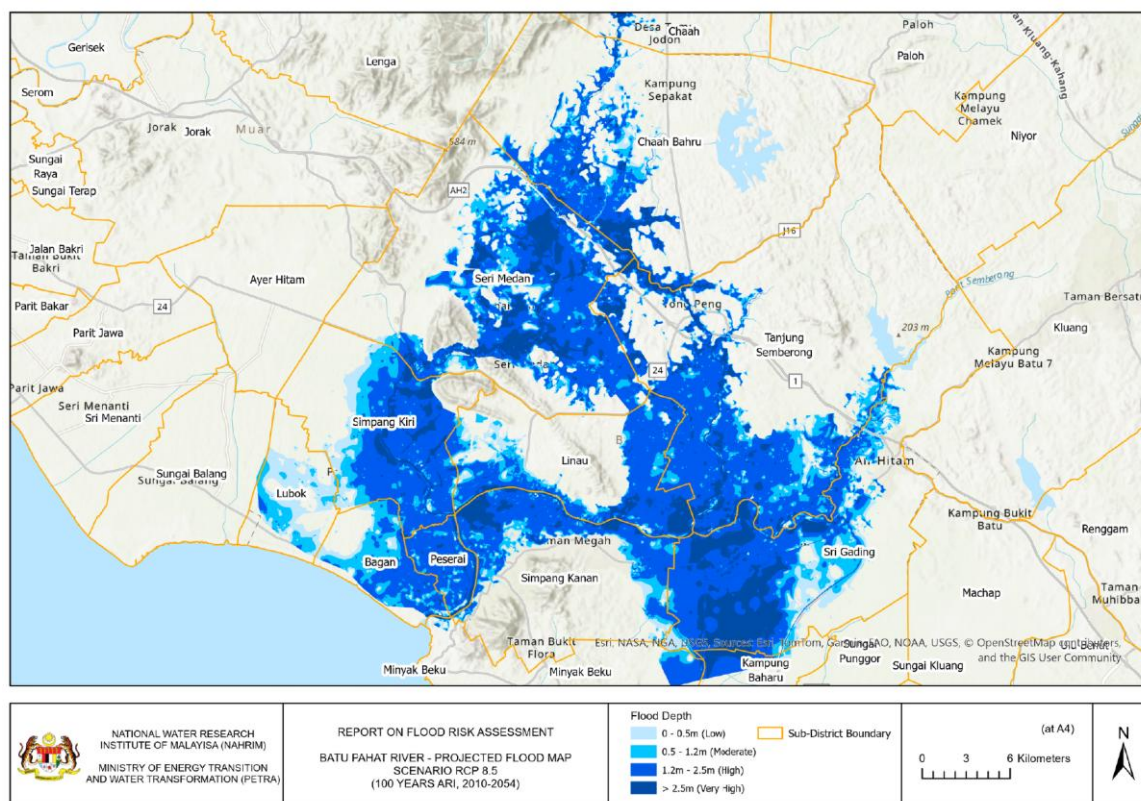
Rajah 2-15: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Batu Pahat Senario RCP 4.5

Berdasarkan simulasi banjir darat dalam Rajah 2-15 (Senario RCP 4.5), keamatan hujan memacu peluasan perimeter inundasi secara lateral (mengufuk) yang mendadak. Grid banjir bertahap Tinggi (1.2m - 2.5m) melepasi sempadan zon penampungan (*buffer zones*) dan merebak membanjiri mukim Linau, pesisir Peserai, Lubok, serta diunjurkan akan melumpuhkan secara total sistem saliran estet perladangan kelapa sawit berskala besar di Seri Medan, Yong Peng, dan Tanjung Semberong.



Rajah 2-16: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Batu Pahat Senario RCP 6.0

Analisis forensik ruang ke atas Rajah 2-16 mendedahkan kemuncak kelumpuhan hidrologi (*worst-case envelope*) bagi Lembangan Sungai Batu Pahat. Tekanan luruan hujan ARI 100 Tahun mencetuskan cantuman dataran banjir (*floodplain connectivity*) berskala makro. Keseluruhan sub-daerah atau mukim pentadbiran dan hab komersial di Simpang Kiri, Seri Medan, Sri Gading, Linau, Parit Yaani, dan Yong Peng diunjurkan akan tenggelam dengan berskala Sangat Tinggi (>2.5m). Ketidadaan cerun hidraulik menghalang penyuraian air, bermakna takungan >2.5m ini akan kekal dalam masa yang lama dan akan memusnahkan kelestarian biologi tanah pertanian.



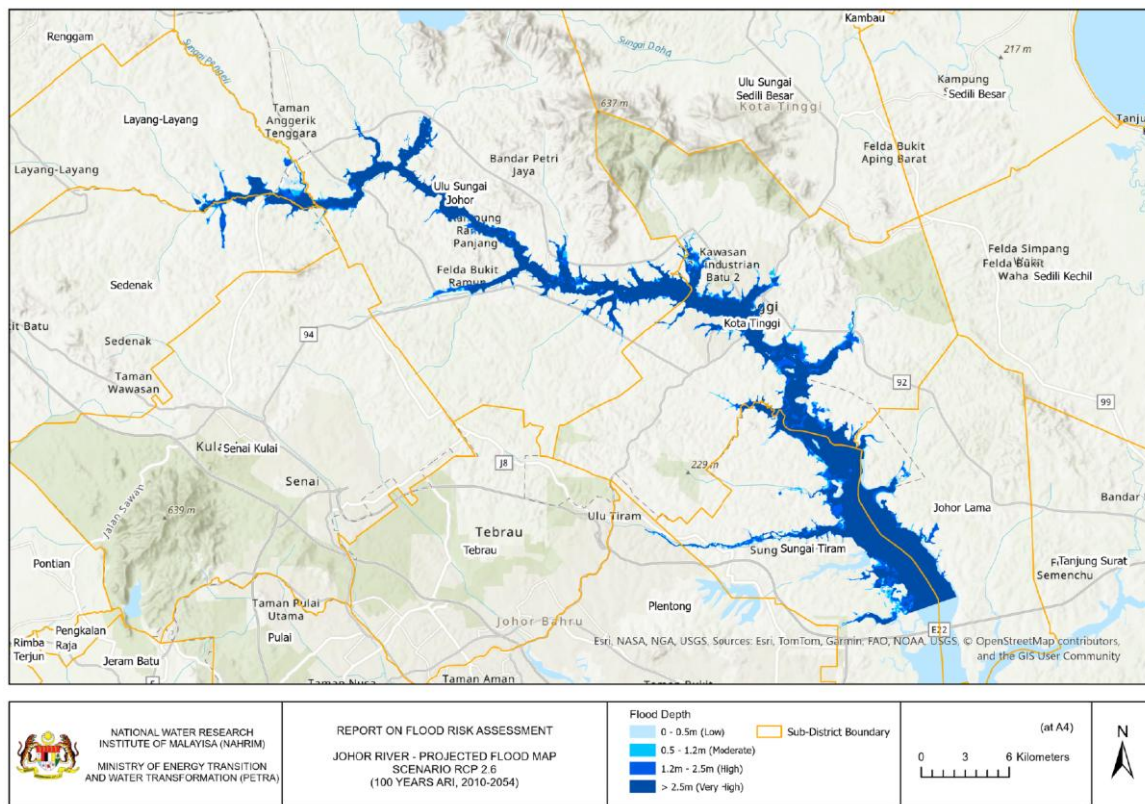
Rajah 2-17: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Batu Pahat Senario RCP 8.5

Pemetaan unjuran RCP 8.5 pada Rajah 2-17 menunjukkan taburan perimeter banjir yang menghampiri corak kemusnahan RCP 6.0, namun dengan sifat resapan lateral yang sedikit berbeza. Sektor hilir dan hab perindustrian Sri Gading, Peserai, serta Simping Kanan terus terperangkap di bawah bahaya Sangat Tinggi (>2.5m) akibat rintangan tekanan pasang surut. Walau bagaimanapun, takungan di beberapa sempadan ulu (arah Machap dan Renggam) menunjukkan pengurangan perluasan perimeter berikutan dominasi kitaran gelombang haba berbanding perolakan monsun dalam model iklim ini.

2.5.2 Lembangan Sungai Johor

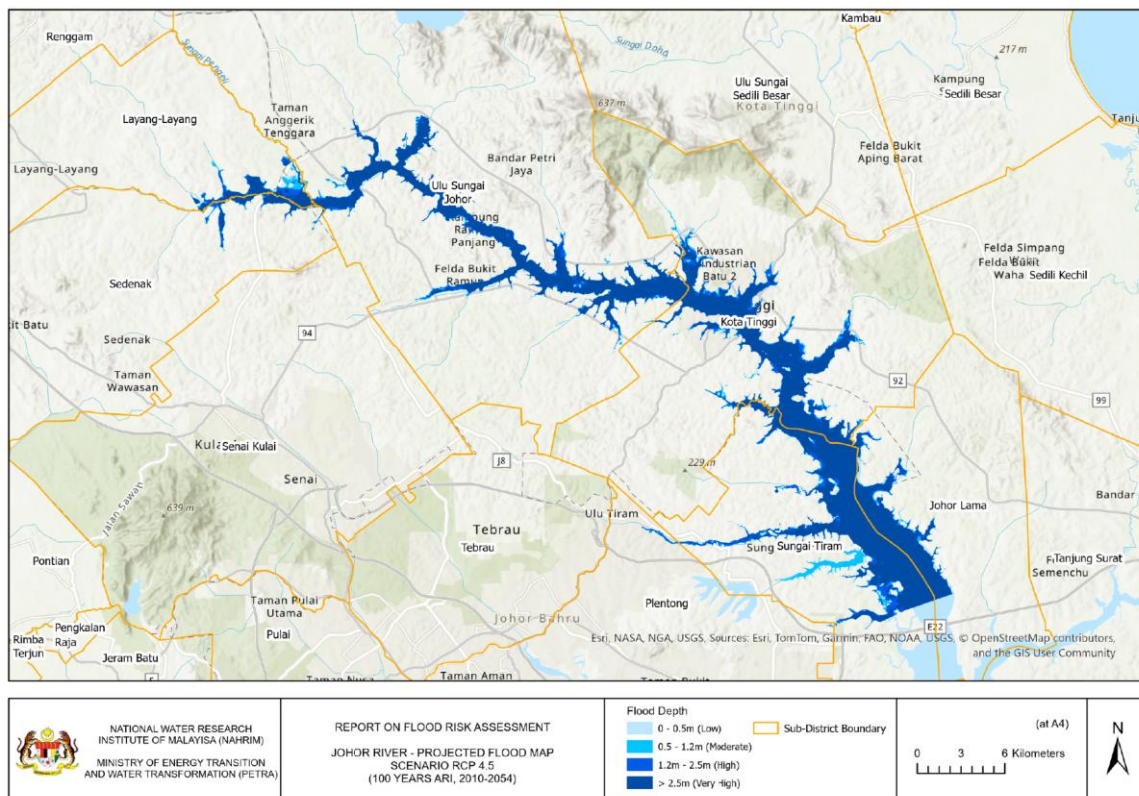
Lembangan Sungai Johor bertindak sebagai koridor keselamatan air nasional dan paksi ekonomi sub-wilayah (Kota Tinggi). Konfigurasi morfologi lembangannya yang berbentuk corong (*funnel-shaped catchment*) bermula dari tanah tinggi yang beralun di utara dan berliku di pertengahan akan

menyebabkan tenaga hidrodinamik arus tertumpu ke arah lembah perbandaran Kota Tinggi.



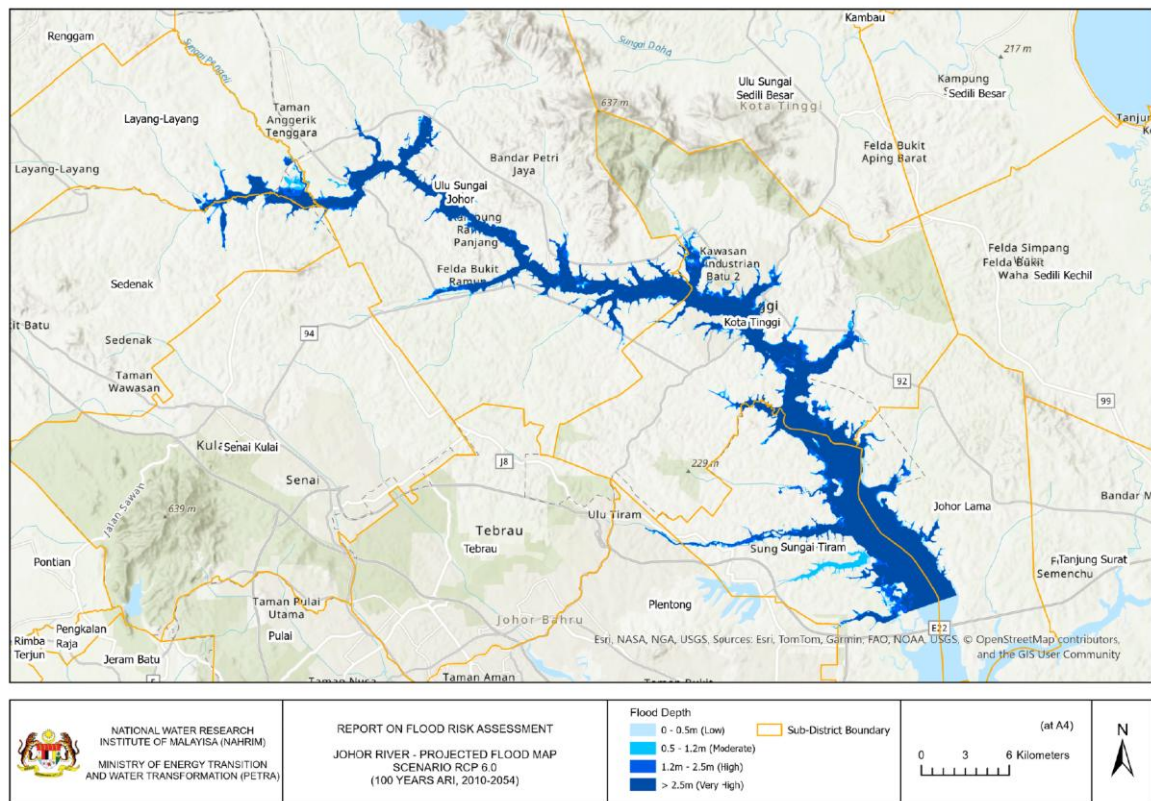
Rajah 2-18: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Johor Senario RCP 2.4

Berdasarkan model hidrodinamik pada Rajah 2-18, luahan luaran (*discharge*) dibawah senario pelepasan karbon rendah sebahagian besarnya masih mampu ditampung oleh rizab koridor sungai. Namun, kesan penyempitan sungai (*river bottleneck*) mula dirasai di titik panas utama iaitu Pusat Bandar Kota Tinggi dan zon hulu Kawasan Perindustrian Batu 2, di mana rintangan takungan berskala Tinggi (1.2m - 2.5m) dikesan. Sektor hulu (Layang-Layang, Sedenak) mencatatkan status terkawal.



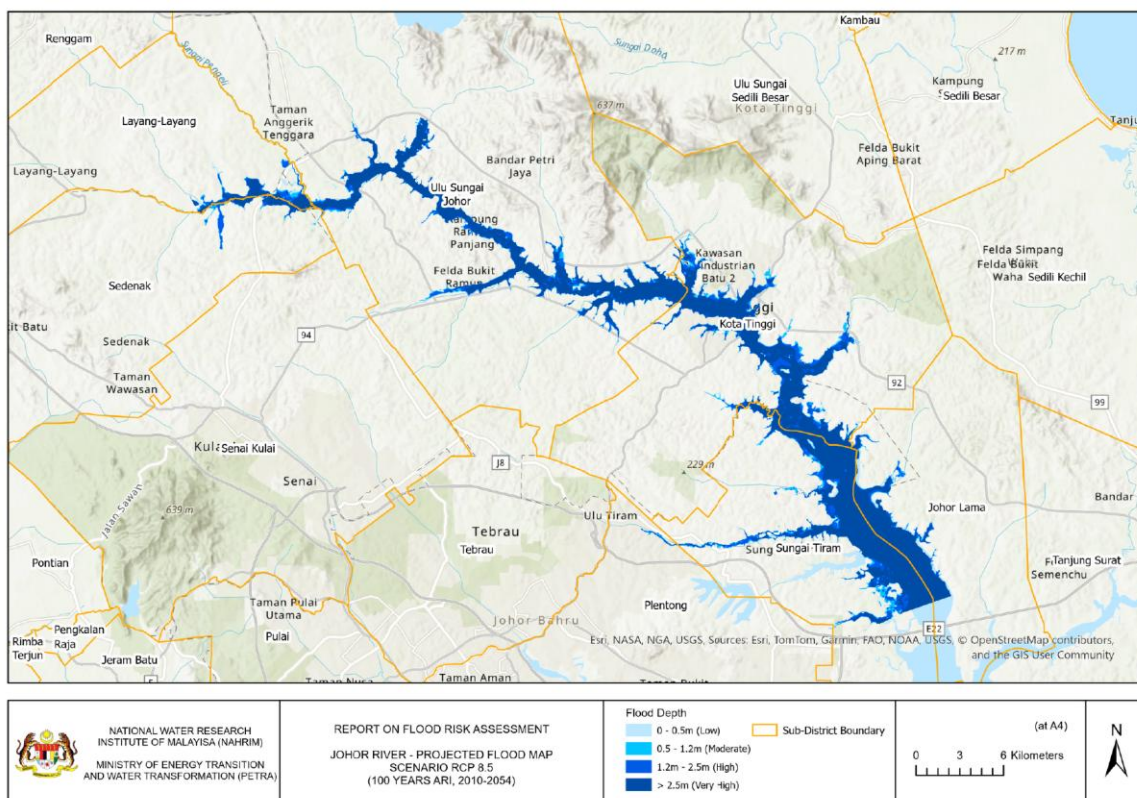
Rajah 2-19: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Johor Senario RCP 4.5

Penilaian visual pada Rajah 2-19 membuktikan peningkatan tekanan hidrostatik di koridor muara. Isi padu air dari hulu yang bertambah mula meluaskan zon inundasi menuju ke selatan. Sektor estuari yang merangkumi Sungai Tiram, Plentong, menghala ke Johor Lama, dan Tanjung Surat mula mempamerkan rebakan banjir bertahap Sederhana (0.5m - 1.2m) hingga Tinggi (1.2m - 2.5m) ekoran pertembungan arus fluvial dengan daya tolakan laut dari Selat Tebrau.



Rajah 2-20: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Johor Senario RCP 6.0

Rajah 2-20 membentangkan profil kemusnahan kinetik yang paling ekstrem. Keamatan curahan hujan menjana keluk hidrograf puncak (*peak hydrograph curve*) yang tajam, menyebabkan limpahan tebing berskala tinggi diunjurkan di Kota Tinggi, Kawasan Perindustrian Batu 2, serta keseluruhan pinggiran Ulu Sungai Johor di bawah takungan Sangat Tinggi (>2.5m). Dinamik utama di sini bukanlah banjir termenung, sebaliknya pergerakan air berhalaju tinggi yang berupaya meruntuhkan tembok konkrit tebing, menghanyutkan infrastruktur jambatan, dan melumpuhkan operasi loji rawatan air di sepanjang lembangan.

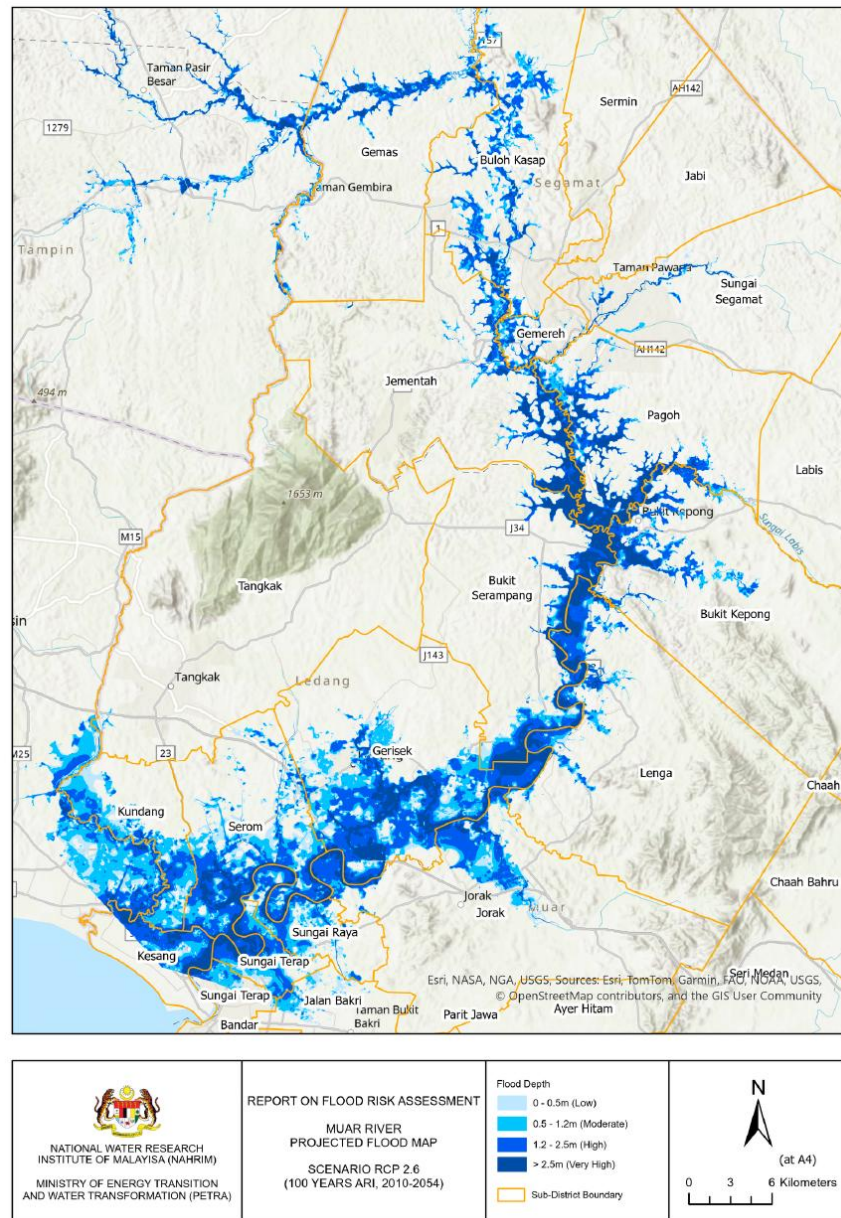


Rajah 2-21: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Johor Senario RCP 8.5

Merujuk kepada Rajah 2-21 di bawah payung unjuran RCP 8.5, anomali hidrologi menumpukan daya pemusnahannya di sektor estuari dan muara sungai. Inundasi berskala Tinggi dan Sangat Tinggi membanjiri koridor petempatan nelayan, akuakultur, dan komersial menghala ke Semenchu, Tanjung Surat, dan Johor Lama secara kronik. Walaupun kedalaman takungan di kawasan hulu (Felda Bukit Ramun) sedikit merosot berbanding krisis RCP 6.0, kerosakan zon pesisir laut diunjurkan bersifat separa kekal.

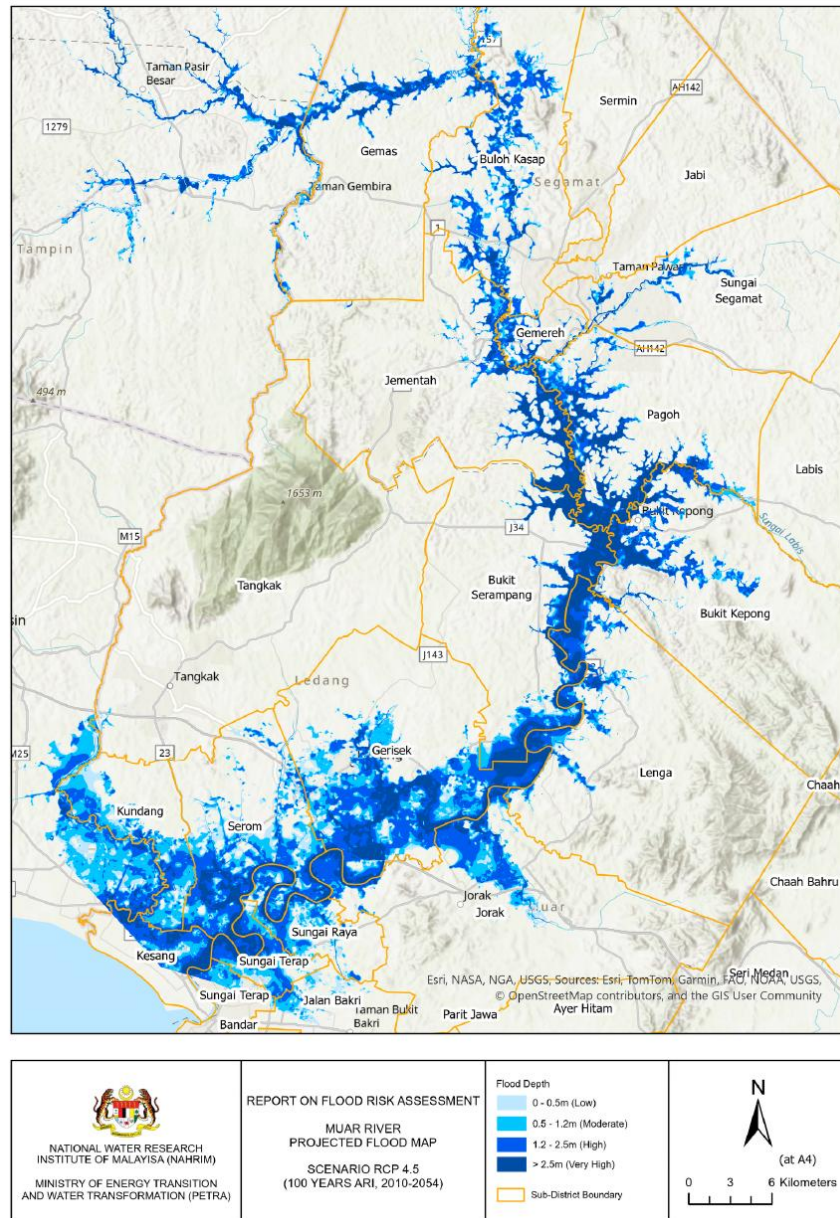
2.5.3 Lembangan Sungai Muar

Lembangan Sungai Muar berfungsi sebagai sistem saliran mega yang menyalurkan luahan air hujan dalam jumlah yang besar dari kawasan tadahan utara Johor (Segamat, Buloh Kasap, Gemas) merentasi wilayah pertengahan sebelum ke Selat Melaka. Profil kerentanan lembangan ini secara teknikalnya didorong oleh kesan mampatan (*bottlenecking*) di mukim pertengahan dan sekatan graviti (*backwater*) di pesisir muara.



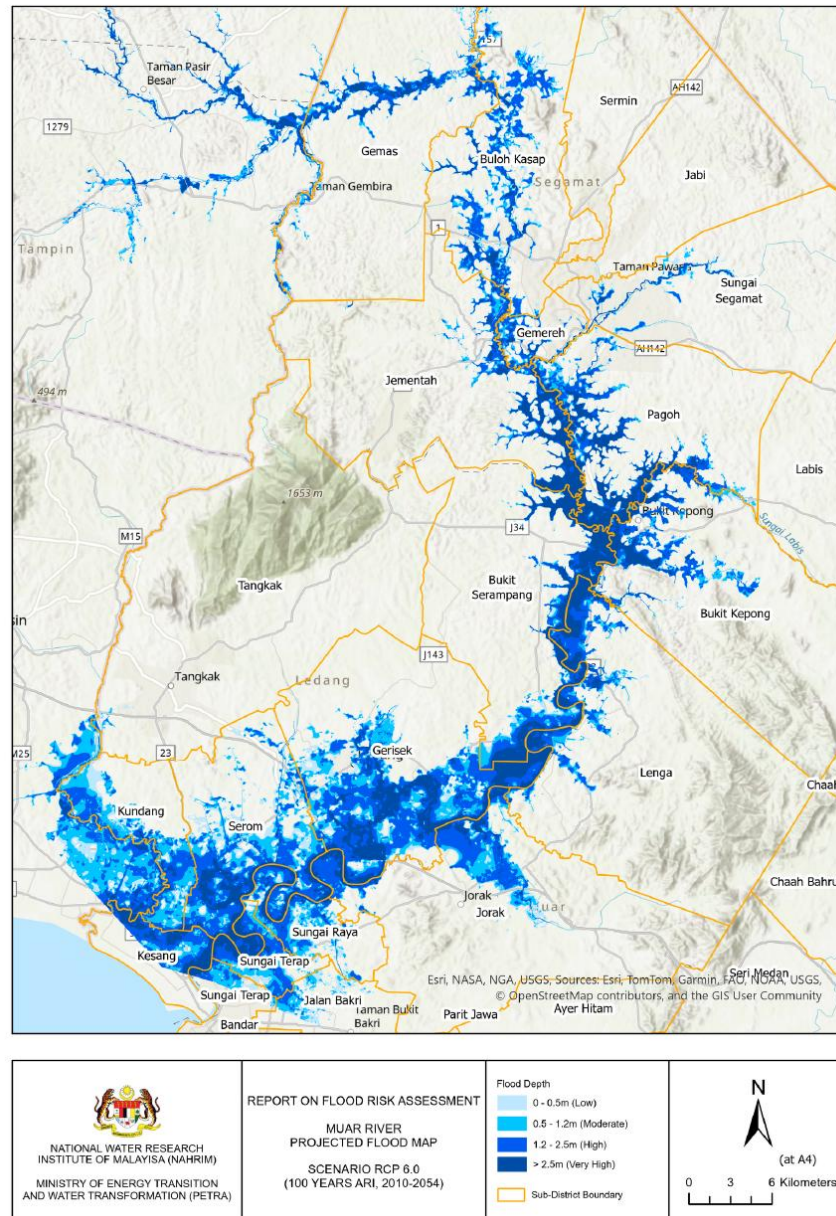
Rajah 2-22: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Muar Senario RCP 2.6

Analisis Rajah 2-22 di bawah mitigasi iklim optimum mendedahkan kelemahan graviti di zon estuari. Limpahan hidrologi tertumpu secara dominan di koridor hilir; di mana kawasan penempatan berstrata rendah meliputi Kundang, Serom, Sungai Raya, Kesang, dan Sungai Terap mula dilitupi zon bahaya biru terang (Tinggi, 1.2m - 2.5m). Kawasan hulu di Segamat dan pertengahan di Pagoh masih beroperasi di dalam kapasiti lintasan (*conveyance capacity*) sistem tebing asal.



Rajah 2-23: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Muar Senario RCP 4.5

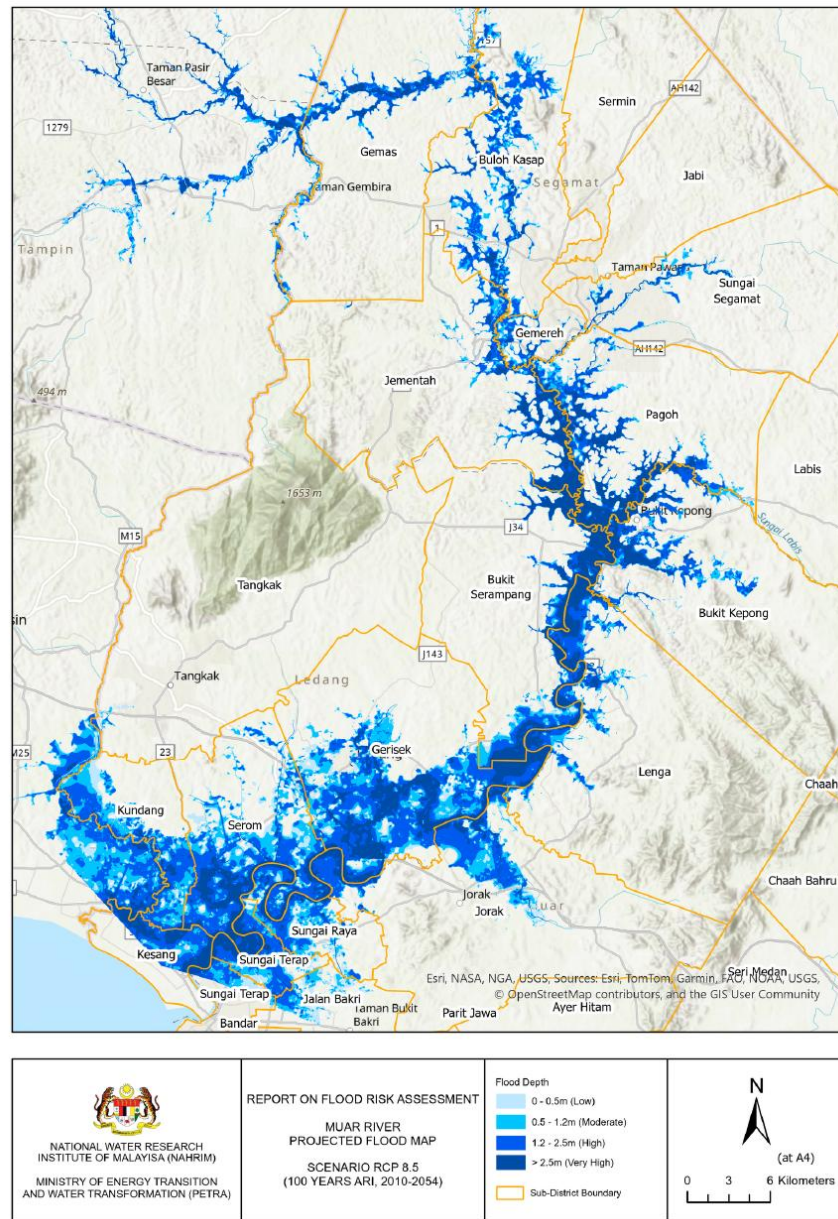
Keamatan pelepasan hidrologi dalam Rajah 2-23 menjana fenomena resapan rentas sempadan ke arah ulu dan pertengahan lembangan. Peningkatan halaju air dari Segamat bertembung dengan penyempitan sungai, menyebabkan kawasan daratan di Bukit Kepong, Pagoh, Lenga, dan Gemereh terpaksa menyerap lebihan isi padu. Grid banjir berskala Sederhana (0.5m - 1.2m) hingga Tinggi (1.2m - 2.5m) terbentuk, mengancam laluan pengangkutan strategik darat utama wilayah tersebut.



Rajah 2-24: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Muar Senario RCP 6.0

Sintesis teknikal ke atas Rajah 2-24 mengesahkan unjuran RCP 6.0 sebagai krisis keruntuhan sistemik sepenuhnya. Isipadu luahan ARI 100 Tahun mengatasi segala unjuran reka bentuk kejuruteraan sedia ada. Sektor pertengahan lembangan meliputi Pagoh, Bukit Keping, dan Lenga dikepung hamparan banjir berskala Sangat Tinggi (>2.5m). Jambatan utama dan jalan raya penghubung diunjurkan akan tenggelam, memisahkan komuniti dari akses luar. Manakala, di kawasan muara hilir (Kundang, Gerisek, Serom, Jorak, Sungai Terap), luahan air tawar bertembung dengan benteng air pasang dari Selat Melaka. Rintangan ini membatalkan kuasa pelepasan graviti sungai,

memaksa aliran memantul ke darat serta mencetuskan zon banjir berkedalaman melangkaui 2.5 meter yang amat berbahaya.



Rajah 2-25: Peta Unjuran Banjir Darat di Lembangan Sg. Muar Senario RCP 8.5

Visualisasi spatial pada Rajah 2-25 bagi unjuran RCP 8.5 mengekalkan status zon muara hilir (Kundang, Serom, Sg. Terap, Kesang) di bawah indikator Sangat Tinggi (>2.5m). Walau bagaimanapun, tahap perluasan cantuman dataran banjir (*floodplain expansion*) di kawasan pertengahan lembangan (Pagoh dan Bukit Kepong) tidak sepadat dan seagresif letusan kinetik yang dipaparkan dalam profil RCP 6.0, mencadangkan anomali keamatan taburan

hujan yang berbeza namun dengan kerosakan hilir yang tetap berpotensi membawa bencana.

2.6 Justifikasi Saintifik Kejadian Hidrologi Ekstrem di bawah RCP 6.0

Satu penemuan penting daripada penganalisan data bersiri jangka masa 2010-2054 membuktikan anomali hidrologi di mana senario RCP 6.0 menjana bencana banjir darat yang jauh lebih teruk (*severe*) berbanding RCP 8.5. Secara meteorologi, model iklim serantau (*downscaled climate models*) mendedahkan bahawa bagi tempoh pra-2050, senario penstabilan tahap tinggi seperti RCP 6.0 mencatatkan indeks ketidakstabilan atmosfera dan anomali kitaran monsun yang paling agresif di pantai barat Semenanjung. Keadaan ini memicu kejadian hujan lebat melampau jangka pendek berskala ARI 100 Tahun yang menghasilkan isi padu larian permukaan puncak yang memberikan impak kegagalan pertahanan tebing, manakala profil RCP 8.5 pada tempoh yang sama lebih menjurus kepada pembentukan gelombang panas dan fasa kemarau panjang yang mengecilkan kadar luahan air larian permukaan bermusim.

2.6.1 Analisis Mendalam Inundasi Severe Sektor Selangor

Melalui sintesis data spatial dan pemodelan hidrodinamik bagi jangka masa 2010-2054 (Kala Kembali 100 Tahun ARI), unjuran senario RCP 6.0 disahkan secara mutlak sebagai profil bencana yang paling parah dan kritikal bagi sistem saliran di Negeri Selangor. Pemodelan iklim serantau membuktikan bahawa intensiti hujan ekstrem dijangka melonjak secara luar biasa di bawah profil RCP 6.0 akibat ketidakstabilan peralihan monsun, menghasilkan luruan hidrograf puncak (*peak hydrograph*) yang melebihi kapasiti reka bentuk tebatan banjir sedia ada.

Kelumpuhan fungsi infrastruktur, kemusnahan ekosistem pertanian, dan ancaman kepada petempatan padat di Selangor diuraikan secara khusus mengikut dua lembangan utama.

2.6.1.1 Lembangan Sungai Klang (Sektor Selangor)

Sistem penyuraian air makro di wilayah perindustrian dan urbanisasi padat Selangor barat diunjurkan mengalami kelumpuhan mekanikal dan graviti yang mutlak.

- Kelumpuhan Total Zon Logistik & Maritim Hilir:** Sektor ekonomi berimpak tinggi dan nadi rantai bekalan logistik negara meliputi Kapar, Kelang, Pelabuhan Klang dan Kampung Nelayan Telok Gong dilitupi secara padat oleh grid biru pekat berskala Sangat Tinggi (>2.5m). Inundasi berskala mega ini memutus sepenuhnya jaringan lebuh raya utama (seperti Lebuhraya Selat Klang E31) serta menenggelamkan struktur fizikal kilang dan armada pergudangan.
- Kegagalan Sistem Perparitan Sektor Pertengahan Bandar (Mid-Catchment):** Aliran *fluvial* mengganas secara lateral (mengufuk) melepasi tebing penahan sungai. Pusat urban berkepadatan tinggi termasuk perbandaran Shah Alam (terutamanya Seksyen 8 dan Seksyen 20) serta Taman TTDI Jaya dan Subang Jaya ditenggelami takungan air bertahap Sangat Tinggi (>2.5m) akibat ketidakmampuan infrastruktur parit perbandaran untuk memindahkan lonjakan isi padu air larian permukaan (*surface runoff*).
- Kesan Arus Balik (Backwater Effect):** Pertembungan luahan puncak dari hulu dengan rintangan hidrostatik di estuari membatalkan pergerakan graviti air buangan secara keseluruhan. Sistem perparitan menjadi lumpuh, memaksa air menolak kembali (*backflow*) membedal dataran komersial secara ganas.

2.6.1.2 Lembangan Sungai Selangor

Bagi Lembangan Sungai Selangor di sektor utara, simulasi RCP 6.0 membawa ancaman kemusnahan berskala rentas-daerah ke atas rantai keselamatan bekalan agromakanan negara serta integriti infrastruktur loji utiliti:

- **Kemusnahan Sektor Agromakanan Hilir (Banjir Termenung Mega):** Sifat topografi dataran hilir yang mendatar merencatkan halaju luahan sungai, memaksa limpahan tebing merebak mengufuk secara ekstensif. Formasi ini menenggelamkan koridor penanaman padi utama secara serentak bermula dari Kuala Selangor, Pasangan, Hujung Permatang, Api-api, sehinggalah menjejaskan secara kritikal zon Tanjong Karang di bawah takungan air Sangat Tinggi (>2.5m). Takungan banjir termenung (*stagnant waterlogging*) ini memusnahkan profil biokimia tanah penanaman secara kekal.
- **Risiko Aliran Berhalaju Tinggi di Sektor Hulu:** Di zon lembah hulu yang diselubungi kontur beralun (Rawang, Serendah, Batang Kali, Hulu Yam), halaju air luahan ARI 100 Tahun akan terhimpit masuk ke dalam koridor sungai yang sempit. Geseran ini menjana letusan aliran berhalaju tinggi (*high-velocity fluvial floods*) yang mencapai kedalaman >2.5m. Arus kinetik pemusnah ini memicu risiko insiden runtuh tebing skala besar dan berpotensi memindahkan kelodak pepejal yang akhirnya menjejaskan fungsi muka sauk (*intakes*) di muka-muka Loji Rawatan Air (LRA) Sungai Selangor.

Bagi memperincikan unjuran impak bencana hidrometeorologi tersebut, Jadual 2-2 berikut membentangkan matriks klasifikasi kedalaman banjir *fluvial* bersama taburan kawasan titik panas (*hotspots*) yang terjejas di bawah senario RCP 6.0 bagi kedua-dua lembangan sungai utama di Negeri Selangor.

Jadual 2-2: Matriks Klasifikasi Kedalaman Banjir Fluvial dan Taburan Kawasan Terjejas (Negeri Selangor - Senario RCP 6.0)

Lembangan Sungai	Klasifikasi Bahaya	Tahap Kedalaman	Analisis Lokasi Titik Panas (<i>Hotspots</i>) Paling Terjejas
Sg. Klang (Sektor Selangor)	Sangat Tinggi	> 2.5 meter	Kelumpuhan total fungsi rantai logistik dan pelabuhan maritim di Kapar, Pelabuhan Klang, Kelang, dan Telok Gong. Kegagalan rintangan kapasiti lintasan memusnahkan infrastruktur sivik di Shah Alam (Seksyen 8, 20), Taman TTDI Jaya, dan Subang Jaya.
Sg. Selangor	Sangat Tinggi	> 2.5 meter	Kemusnahan aset estet dan jelapang padi kebangsaan akibat fenomena takungan banjir termenung merentasi Kuala Selangor, Pasangan, Hujung Permatang, dan Tanjong Karang. Ancaman arus deras pemusnah muka sauk LRA di hulu Rawang dan Batang Kali.

2.6.2 Analisis Mendalam Inundasi Severe Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur

Bagi wilayah ibu negara, unjuran RCP 6.0 mendedahkan profil bahaya yang sangat kritikal akibat pembentukan hidrograf puncak yang tajam di kawasan Segitiga Emas. Kadar ketelapan tanah (*surface permeability*) yang hampir sifar akibat liputan aspal dan konkrit menukarkan isipadu curahan hujan menjadi luruan larian permukaan secara serta-merta, melepasi had kapasiti reka bentuk Terowong SMART dan parit induk perbandaran Dewan Bandaraya Kuala Lumpur (DBKL).

2.6.2.1 Lembangan Sungai Klang (Kuala Lumpur)

Impak daripada unjuran banjir lembangan sungai klang di bawah senario RCP 6.0 terhadap kawasan ibu negara iaitu Kuala Lumpur adalah seperti:

- **Penenggelaman Teras Kewangan Pusat Bandar Raya:** Sektor pusat pentadbiran dan wilayah komersial (Bandar Kuala Lumpur) mengalami limpahan bertahap Sangat Tinggi (>2.5m). Tekanan hidrostatik yang tinggi di dalam saluran utama Sungai Klang menyebabkan air memantul semula (*backflow*) ke rangkaian perparitan sekunder bandar. Lantunan balik ini menenggelamkan premis perniagaan tingkat bawah, memusnahkan fasiliti bilik pelayan, ruang parkir bawah tanah, dan merosakkan rangkaian utiliti pengangkutan rel transit (LRT/MRT) bernilai berbilion ringgit.
- **Kelumpuhan Koridor Sosioekonomi Selatan:** Dinamik limpahan air meluas secara lateral ke arah selatan meliputi Taman Maluri, Jalan Cheras, Taman Bukit Mandarina, hingga ke kawasan Cheras di bawah grid Tinggi (1.2m - 2.5m). Unjuran ketumpatan air ini mengesahkan keperluan prosedur pemindahan komuniti secara mandatori serta mengakibatkan pemutusan total rangkaian mobiliti trafik selatan (Lebuhraya Persekutuan / MRR2).
- **Kerapuhan Koridor Sungai Batu (Utara):** Laluan hulu Sungai Batu mempamerkan takungan banjir berskala Sangat Tinggi (>2.5m) merentasi sepanjang Jalan Ipoh, Taman Ehsan, dan sempadan Gombak. Kerosakan infrastruktur di koridor ini membuktikan bahawa sistem saliran bahagian utara bandar raya akan mengalami penyempitan dan lumpuh terlebih dahulu sebelum kapasiti air tersebut sempat disalurkan untuk memasuki sistem pintasan SMART di pusat bandar.

Jadual 2-3 memperincikan matriks klasifikasi kedalaman banjir *fluvial* beserta taburan kawasan titik panas (*hotspots*) terjejas di bawah senario RCP

6.0 bagi mengukur skala unjuran impak bencana hidrometeorologi di sekitar Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur.

Jadual 2-3: Matriks Klasifikasi Kedalaman Banjir Fluvial dan Taburan Kawasan Terjejas (Kuala Lumpur - Senario RCP 6.0)

Petunjuk Visual Peta	Klasifikasi Bahaya	Tahap Kedalaman	Analisis Lokasi Titik Panas (<i>Hotspots</i>) Paling Terjejas
Biru Gelap	Sangat Tinggi	> 2.5 meter	Kelumpuhan fasiliti bawah tanah dan infrastruktur komersial teras di Pusat Bandar Raya Kuala Lumpur, Jelatek Business Centre, dan limpahan ekstrem di koridor Sungai Batu (Jalan Ipoh/Taman Ehsan).
Biru Terang	Tinggi	1.2m - 2.5 meter	Risiko kemusnahan harta benda residensi berskala tinggi di Setapak, Taman Maluri, Ampang, serta pemutusan akses jaringan pengangkutan koridor Jalan Cheras.

2.6.3 Analisis Mendalam Inundasi Severe Negeri Johor

Topografi daratan Negeri Johor mempamerkan tindak balas hidrodinamik yang amat kompleks dan memusnahkan di bawah unjuran RCP 6.0. Ketiadaan kecerunan daratan (*zero hydraulic gradient*) di pantai barat menukarkan sebahagian besar daerah menjadi zon perangkap air, manakala morfologi sungai berbentuk corong di sektor selatan mencetuskan pergerakan air berhalaju tinggi.

2.6.3.1 Lembangan Sungai Batu Pahat

Sistem penyuraian air makro di wilayah Batu Pahat berhadapan dengan kegagalan mekanikal dan graviti yang mutlak.

- **Kelumpuhan Total Rangkaian Ekonomi:** Keseluruhan hab komersial dan agromakanan yang merangkumi Simpang Kiri, Peserai, Seri Medan, Sri Gading, Linau, dan Parit Yaani tenggelam di bawah selimut grid

biru gelap pada skala Sangat Tinggi (>2.5m). Inundasi berskala mega ini menenggelamkan beratus ribu hektar estet kelapa sawit sepenuhnya.

- **Ancaman Banjir Termenung:** Isu paling kritikal di Batu Pahat bukanlah kelajuan arus, tetapi ketidakupayaan air untuk disuraikan. Limpahan berkedalaman melepasi 2.5 meter ini diunjurkan terperangkap menjadi banjir termenung yang mengambil masa berminggu-minggu untuk surut, menyebabkan kelumpuhan Keluaran Dalam Negara Kasar (KDNK) daerah secara total.

2.6.3.2 Lembangan Sungai Johor

Ancaman severe di Lembangan Sungai Johor di bawah senario RCP 6.0 didorong oleh tenaga kinetik dan halaju arus luahan yang sangat tinggi, diburukkan lagi dengan bentuk morfologi lembangan yang berliku.

- **Penenggelaman Teras Komersial Kota Tinggi:** Pusat Bandar Kota Tinggi yang terletak di kawasan titik lengkung sungai bertindak sebagai pusat penerima momentum arus dari hulu. Lonjakan luahan *fluvial* merobek sistem penahan tebing bandar, menenggelamkan keseluruhan pusat bandar dan Kawasan Perindustrian Batu 2 di bawah takungan Sangat Tinggi (>2.5m). Arus berhalaju tinggi ini berupaya memusnahkan struktur asas bangunan komersial dan menghanyutkan infrastruktur jambatan secara terus.

2.6.3.3 Lembangan Sungai Muar

Sungai Muar bertindak sebagai arteri saluran buangan bagi wilayah utara Johor iaitu Segamat dan mengalami tekanan penyuraian yang sangat ekstrem di bahagian pertengahan lembangan.

- **Kegagalan Kapasiti Sektor Pertengahan:** Isi padu luahan masif dari hulu Segamat merempuh masuk ke zon pertengahan lembangan yang lebih sempit. Akibatnya, aliran memecah keluar secara lateral

mengepung keseluruhan mukim Pagoh, Bukit Kepong, dan Lenga di bawah takungan banjir berskala Sangat Tinggi (>2.5m), memutuskan laluan darat persekutuan sepenuhnya.

- **Kesan Arus Balik:** Di kawasan muara hilir yang merangkumi Kundang, Gerisek, Serom, dan Jorak, luahan air *fluvial* bertembung secara langsung dengan benteng air pasang dari Selat Melaka. Rintangan hidrostatik ini membatalkan kuasa pelepasan graviti sungai, memaksa air melantun ke darat dan mencetuskan zon banjir berkedalaman >2.5m yang kronik.

Perincian mengenai unjuran impak bencana hidro-meteorologi ini dipaparkan dalam Jadual 2-4 melalui matriks klasifikasi kedalaman banjir fluvial dan lokasi titik panas (*hotspots*) terjejas di bawah Senario RCP 6.0 bagi Negeri Johor.

Jadual 2-4: Matriks Klasifikasi Kedalaman Banjir Fluvial dan Taburan Kawasan Terjejas (Negeri Johor - Senario RCP 6.0)

Lembangan Sungai	Klasifikasi Bahaya	Tahap Kedalaman	Analisis Lokasi Titik Panas (<i>Hotspots</i>) Paling Terjejas
Sg. Batu Pahat	Sangat Tinggi	> 2.5 meter	Kelumpuhan total fungsi perbandaran dan agromakanan di Simpang Kiri, Peserai, Seri Medan, Sri Gading, Linau, dan Parit Yaani. Terjadinya dataran banjir termenung (<i>stagnant flood</i>).
Sg. Johor	Sangat Tinggi	> 2.5 meter	Ancaman halaju arus kinetik yang memusnahkan Pusat Bandar Kota Tinggi dan Kawasan Perindustrian Batu 2. Rebakan limpahan melumpuhkan utiliti pesisir estuari di Ulu Sungai Johor dan Johor Lama.

Lembangan Sungai	Klasifikasi Bahaya	Tahap Kedalaman	Analisis Lokasi Titik Panas (<i>Hotspots</i>) Paling Terjejas
Sg. Muar	Sangat Tinggi	> 2.5 meter	Kemusnahan infrastruktur jalan persekutuan akibat <i>bottleneck</i> aliran di Pagoh, Bukit Kepong, dan Lenga. Sekatan pasang surut (<i>backwater</i>) di muara menenggelamkan Kundang, Gerisek, dan Serom secara menyeluruh.

2.7 Kajian Kes Pendedahan Banjir Hospital Swasta Terpilih di Selangor dan Johor

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai penggunaan peta unjuran banjir darat dalam penilaian pendedahan aset, bahagian ini memperincikan kajian kes yang melibatkan hospital swasta terpilih di Selangor dan Johor berdasarkan senario RCP 6.0 bagi tempoh 2010 hingga 2054. Penilaian ini dilakukan dengan membandingkan lokasi setiap hospital dengan kawasan yang dikenal pasti berpotensi terdedah kepada banjir.

2.7.1 Latar Belakang

Fasiliti kesihatan merupakan infrastruktur kritikal yang perlu mengekalkan fungsi klinikal dan kapasiti operasi sepanjang kejadian banjir. Ketahanan sistem kesihatan bukan sahaja bergantung kepada kebolehoperasian fasiliti kesihatan awam, tetapi juga kepada keupayaan rangkaian hospital swasta untuk menyerap peningkatan permintaan, menyokong pemindahan antara fasiliti dan mengagihkan semula kapasiti rawatan apabila berlaku gangguan operasi di fasiliti yang terjejas. Kejadian banjir terdahulu di beberapa hospital di Malaysia menunjukkan bahawa impaknya bukan sahaja melibatkan kemasukan air ke kawasan fasiliti, tetapi turut menjejaskan akses, bekalan utiliti kritikal dan operasi perkhidmatan kesihatan. Jadual 2-5 merumuskan beberapa kejadian banjir di Malaysia dengan memberi tumpuan kepada faktor penyebab dan bentuk gangguan yang dialami oleh fasiliti hospital.

Jadual 2-5: Rekod Kejadian Banjir dan Gangguan Fungsi Hospital di Malaysia

Hospital yang Terjejas	Punca Banjir	Gangguan Utama	Impak Kepada Hospital
Hospital Kuala Krai, Kelantan (2014)	Banjir fluvial akibat hujan berterusan dan limpahan sungai	Akses terputus Bekalan elektrik dan air, serta bahan api terhad	Kesinambungan rawatan kritikal terjejas dan sebahagian pesakit dipindahkan ke hospital lain Perbelanjaan kecemasan bagi generator, diesel, penghantaran bekalan dan pemindahan udara
Hospital Sultanah Aminah, Johor Bahru (2025)	Banjir pluvial akibat hujan lebat melebihi kapasiti saliran	Bangunan Lily dan ruang klinikal dinaiki air	Penggunaan Klinik Pakar Psikiatri dan Kesihatan Mental terganggu sementara Kerosakan kecil serta kos pembersihan dan pemulihan fasiliti

Sumber: Diolah daripada Yusoff et al. (2018), Sathiamurthy et al. (2019), Bernama (2014, 2025), Benjamin (2025) dan NADMA (2025).

Selangor dan Johor dipilih sebagai kawasan kajian untuk menilai pendedahan hospital swasta terhadap risiko banjir masa hadapan dalam dua konteks hidroiklim dan geografi yang berbeza.

2.7.2 Objektif dan Skop Analisis

Analisis ini bertujuan untuk:

- Menyediakan simulasi penggunaan data unjuran hidroiklim NAHRIM berdasarkan dapatan banjir darat yang dilaporkan dalam laporan ini (rujuk muka surat 13).
- Menggunakan peta unjuran banjir NAHRIM untuk mengelaskan tahap pendedahan dan mengenal pasti hospital yang memerlukan penilaian lanjut.

- Menilai kemungkinan implikasi banjir terhadap utiliti, akses, keselamatan pesakit, rantai bekalan dan kesinambungan perkhidmatan.
- Membantu syarikat mengenal pasti keperluan data dan tindakan susulan serta menyediakan maklumat awal bagi penilaian dan pelaporan risiko banjir.

Skop analisis melibatkan:

- Enam hospital swasta terpilih, iaitu tiga hospital di Lembangan Sungai Klang, Selangor, dan tiga hospital di Lembangan Sungai Batu Pahat, Johor.
- Penggunaan peta kedalaman banjir bagi senario RCP 6.0.
- Pengelasan pendedahan fasiliti kesihatan berdasarkan empat kelas kedalaman, iaitu 0 – 0.5 meter, 0.5 – 1.2 meter, 1.2 – 2.5 meter dan melebihi 2.5 meter.
- Perbandingan awal tahap pendedahan antara hospital dan tafsiran tentang kesan yang mungkin berlaku terhadap operasi perkhidmatan kesihatan.

2.7.3 Batasan Analisis

Analisis ini merupakan saringan pendedahan awal dan bukan penilaian risiko banjir yang menyeluruh. Setiap hospital diwakili oleh satu titik koordinat rujukan dan analisis tidak meliputi keseluruhan sempadan kompleks hospital. Oleh itu, hasilnya hanya menggambarkan pendedahan pada titik tersebut dan mungkin tidak mewakili keadaan semua bangunan serta kemudahan dalam kawasan hospital.

Analisis ini tidak menganggarkan kebarangkalian kerosakan, kerugian kewangan atau tahap risiko keseluruhan hospital. Penilaian terperinci memerlukan data khusus tapak, seperti aras lantai bangunan, keadaan saliran, lokasi utiliti dan peralatan kritikal, kesinambungan bekalan penting

serta keupayaan hospital untuk menghadapi gangguan dan memulihkan perkhidmatan.

Pembezaan antara pendedahan dan risiko adalah penting kerana tahap keseriusan gangguan tidak ditentukan oleh kedalaman banjir semata-mata, tetapi turut dipengaruhi oleh kerentanan kemudahan dan keupayaan hospital untuk bertindak balas.

2.7.4 Metodologi Kajian

Analisis ini menggunakan kaedah tindan lapis spatial (*spatial overlay*) untuk menyaring pendedahan enam hospital swasta terpilih terhadap banjir di bawah senario RCP 6.0.

2.7.4.1 Penggunaan Peta Banjir dan Data Lokasi Hospital

Dua jenis data digunakan, iaitu peta kedalaman banjir bagi Lembangan Sungai Klang dan Lembangan Sungai Batu Pahat sebagai lapisan *hazard*, serta koordinat hospital sebagai lapisan lokasi aset. Koordinat tersebut ditindihkan pada peta banjir untuk mengekstrak kelas kedalaman di setiap lokasi dan membandingkan tahap pendedahan antara hospital.

Kaedah *spatial overlay* merupakan antara pendekatan yang digunakan dalam penilaian pendedahan aset dan infrastruktur kritikal terhadap banjir. Sebagai contoh, FEMA (2021) menggabungkan data lokasi kemudahan kritikal dengan data kedalaman banjir untuk menilai risiko dan menentukan tindakan susulan yang diperlukan. Dalam konteks Malaysia, pendekatan berasaskan Sistem Maklumat Geografi (GIS) turut digunakan bersama pemodelan hidraulik bagi pemetaan hazard dan pengenalpastian kawasan terdedah (See et al., 2025).

Proses analisis melibatkan langkah-langkah berikut:

1. Menyediakan dan mengehadkan peta kedalaman banjir kepada Lembangan Sungai Klang dan Lembangan Sungai Batu Pahat.

2. Memasukkan koordinat hospital swasta sebagai titik lokasi.
3. Menindihkan titik hospital dengan peta banjir dan mengekstrak kelas kedalaman pada setiap lokasi.
4. Membandingkan tahap pendedahan antara hospital dan mengenal pasti fasiliti yang memerlukan penilaian lanjut.

Kedalaman banjir dikelaskan kepada empat kelas berdasarkan skema pengelasan bahaya banjir JPS yang diadaptasi daripada Ghazali dan Osman (2019). Kelas kedalaman dan tahap bahaya tersebut diringkaskan dalam Jadual 2-6.

Jadual 2-6: Pengelasan Tahap Bahaya Banjir Berdasarkan Kedalaman Banjir

Tahap bahaya banjir	Kedalaman banjir (m)	Keterangan
Rendah	< 0.5	Awat; air masih cetek dan laluan sekitar hospital mungkin masih boleh digunakan.
Sederhana	0.5 – 1.2	Berbahaya; aras bawah hospital berpotensi dinaiki air dan pemindahan ke tingkat lebih tinggi mungkin diperlukan.
Tinggi	1.2 – 2.5	Bahaya kepada semua (Tahap 1); pemindahan adalah wajib.
Sangat tinggi	> 2.5	Bahaya kepada semua (Tahap 2); pemindahan segera adalah wajib.

Sumber: Diadaptasi daripada Ghazali dan Osman (2019), Jadual 2.2.

2.7.5 Dapatan Analisis

2.7.5.1 Selangor: Lembangan Sungai Klang

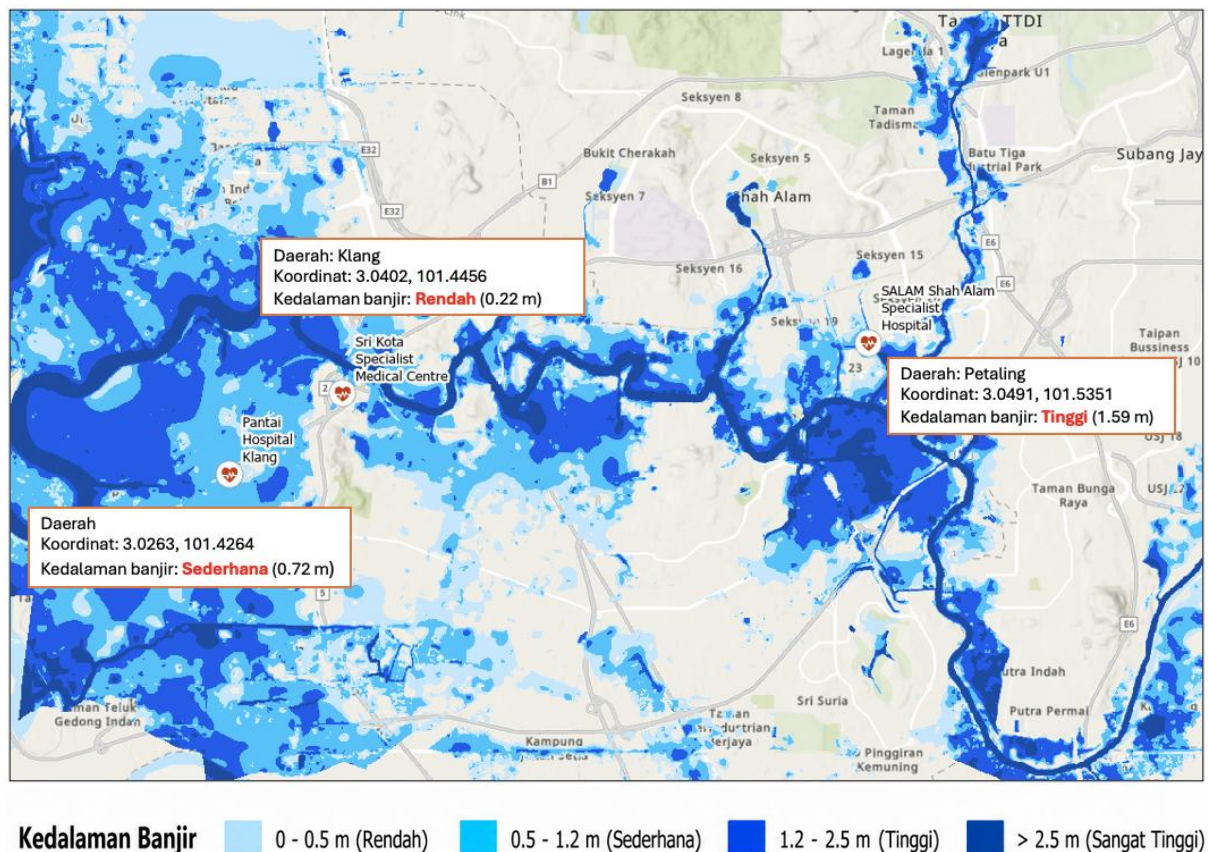
2.7.5.1.1 Latar Belakang Banjir di Kawasan Kajian

Lembangan Sungai Klang merangkumi kawasan bandar yang padat, termasuk kawasan perumahan, komersial, perindustrian dan rangkaian pengangkutan utama. Pemandaran pesat serta pertambahan permukaan

tidak telap air seperti jalan dan bangunan mengurangkan resapan air ke dalam tanah, mempercepat aliran permukaan dan meningkatkan tekanan terhadap sungai serta sistem saliran bandar (Chan, 1996; Muhamad et al., 2021).

Banjir dalam lembangan ini dipengaruhi oleh gabungan hujan lebat, limpahan sungai, topografi kawasan rendah, kapasiti saliran dan perubahan guna tanah. Berdasarkan kajian terdahulu, taburan hujan, elevasi, cerun, kepadatan saliran, jarak dari sungai dan guna tanah dikenal pasti sebagai faktor yang mempengaruhi corak banjir di Shah Alam (Leeonis et al., 2024a; Ahmed et al., 2024). Rekod sejarah dan analisis spatial turut menunjukkan bahawa bahagian selatan Shah Alam berhampiran Sungai Klang merupakan antara kawasan tumpuan banjir (Leeonis et al., 2024a; Ahmed et al., 2024). Di kawasan hilir sekitar Klang, aliran air sungai ke laut boleh menjadi perlahan ketika air pasang. Keadaan ini boleh menyebabkan aliran balik dan peningkatan paras air, khususnya apabila hujan lebat berlaku serentak dengan air pasang (Yasmin et al., 2022).

2.7.5.1.2 Peta Kedalaman Banjir dan Lokasi Hospital



Rajah 2-26: Peta Kedalaman Banjir dan Hospital Swasta Terpilih di Lembangan Sungai Klang di bawah Senario RCP 6.0

Sumber: *Report on Flood Risk Assessment: Klang River (Selangor), Projected Flood Map, Scenario RCP 6.0 (100 Years ARI, 2010–2054).*

Dapatan analisis tindakan lapis bagi tiga hospital terpilih, meliputi lokasi, kedalaman banjir dan kelas pendedahan, diringkaskan dalam Jadual 2-6.

Peta menunjukkan kawasan banjir yang luas di bahagian hilir Sungai Klang dan kawasan pembangunan berdekatan. Corak ini menunjukkan bahawa pendedahan banjir tidak semestinya terhad kepada kawasan berhampiran tebing sungai, tetapi boleh melibatkan kawasan bandar yang lebih luas.

Jadual 2-7: Perbandingan Kedalaman Banjir, Tahap Pendedahan dan Potensi Impak Operasi bagi Hospital Terpilih di Selangor

Hospital	Daerah	Kedalaman Banjir (m) / Kelas Pendedahan
SALAM Shah Alam Specialist Hospital	Petaling	1.59 m / Tinggi
Pantai Hospital Klang	Klang	0.72 m / Sederhana
Sri Kota Specialist Medical Centre	Klang	0.22 m / Rendah

2.7.5.2 Johor: Lembangan Sungai Batu Pahat

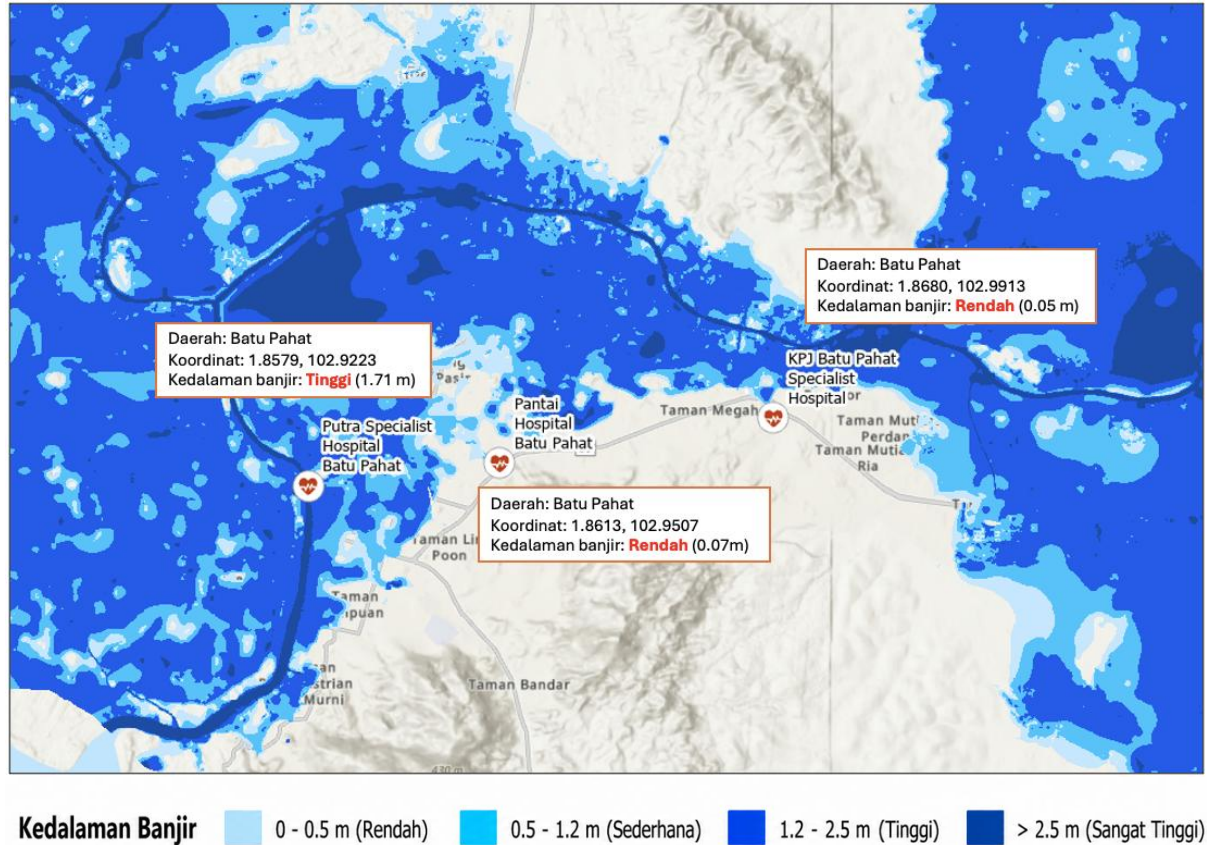
2.7.5.2.1 Latar Belakang Banjir di Kawasan Kajian

Lembangan Sungai Batu Pahat merangkumi kawasan bandar, perumahan, perindustrian dan pertanian yang dihubungkan oleh Sungai Batu Pahat serta anak-anak sungainya, termasuk Sungai Simpang Kiri, Sungai Simpang Kanan, Sungai Bekok dan Sungai Sembrong. Sebahagian besar kawasan pertengahan dan hilir lembangan mempunyai bentuk muka bumi yang rendah dan landai. Keadaan ini menyebabkan air mengalir keluar dengan lebih perlahan dan meningkatkan kemungkinan air bertakung apabila hujan lebat berlaku secara berterusan (Kasmin et al., 2023).

Banjir dalam lembangan ini dipengaruhi oleh gabungan hujan monsun, limpahan sungai, kapasiti saliran, topografi, sifat tanah dan pasang surut. Kajian di Parit Raja menunjukkan bahawa hujan berintensiti tinggi boleh menghasilkan aliran permukaan yang melebihi kapasiti longkang, manakala penyempitan saluran, pertumbuhan tumbuhan dalam longkang dan kadar resapan tanah yang rendah turut menyumbang kepada limpahan air (Wang dan Tan, 2022). Di bahagian pertengahan dan hilir lembangan, kemasukan air pasang boleh memperlahankan pelepasan air ke laut dan memburukkan banjir apabila berlaku serentak dengan hujan lebat (Kasmin et al., 2023).

Kawasan pesisir Batu Pahat juga dikenal pasti terdedah kepada limpahan air pasang dan kesan kenaikan aras laut (Fazly Amri Mohd et al., 2018).

2.7.5.2.2 Peta Kedalaman Banjir dan Lokasi Hospital



Rajah 2-27: Peta Kedalaman Banjir dan Hospital Swasta Terpilih di Lembangan Sungai Batu Pahat di bawah Senario RCP6.0

Sumber: *Report on Flood Risk Assessment, Batu Pahat River - Projected Flood Map, Scenario RCP 6.0 (100 Years ARI, 2010–2054).*

Dapatan analisis tindakan lapis bagi tiga hospital terpilih, meliputi lokasi, kedalaman banjir dan kelas pendedahan, diringkaskan dalam Jadual 2-8.

Peta menunjukkan kawasan banjir yang lebih meluas di bahagian barat kawasan kajian. Walaupun Pantai Hospital Batu Pahat dan KPJ Batu Pahat Specialist Hospital mempunyai tahap bahaya yang lebih rendah, operasi hospital masih boleh terjejas sekiranya jalan akses, utiliti atau kawasan sekitarnya mengalami gangguan.

Jadual 2-8: Perbandingan Kedalaman Banjir, Tahap Pendedahan dan Potensi Impak Operasi bagi Hospital Terpilih di Johor

Hospital	Daerah	Kedalaman Banjir / Kelas Pendedahan
Putra Specialist Hospital Batu Pahat	Batu Pahat	1.71 m / Tinggi
Pantai Hospital Batu Pahat	Batu Pahat	0.07 m / Rendah
KPJ Batu Pahat Specialist Hospital	Batu Pahat	0.05 m / Rendah

2.7.6 Penggunaan Analisis oleh Hospital Swasta dan Cadangan Tindakan Jangka Pendek, Sederhana dan Panjang

Penggunaan analisis dan potensi implikasi terhadap operasi hospital diringkaskan dalam Jadual 2-9, manakala cadangan tindakan mengikut negeri dan hospital bagi jangka pendek, sederhana dan panjang diringkaskan dalam Jadual 2-10.

Jadual 2-9: Penggunaan Analisis oleh Hospital Swasta

Komponen Hospital	Penggunaan Analisis	Kemungkinan Kesan
Bangunan utama dan kawasan rawatan	Mengenal pasti bahagian hospital yang berada dalam kawasan banjir dan kelas kedalaman yang berkaitan	Gangguan rawatan, pemindahan pesakit atau penutupan sementara ruang tertentu
Jabatan kecemasan dan laluan ambulans	Menilai sama ada pintu masuk kecemasan dan laluan ambulans boleh digunakan	Kelewatan menerima, merujuk atau memindahkan pesakit
Bilik elektrik, generator dan pam air	Menentukan sama ada kemudahan sokongan terletak di kawasan yang mudah dinaiki air	Gangguan bekalan elektrik, air dan operasi peralatan perubatan

Komponen Hospital	Penggunaan Analisis	Kemungkinan Kesan
Farmasi, stor dan bekalan perubatan	Mengenal pasti stok yang perlu dipindahkan atau dilindungi	Kerosakan ubat dan kekurangan bahan perubatan penting
Jalan masuk dan tempat letak kenderaan	Menilai kebolehcapaian hospital untuk pesakit, pekerja dan pembekal	Hospital mungkin tidak dapat diakses walaupun bangunan utama tidak dinaiki air
Kawasan sokongan seperti dapur dan dobi	Mengenal pasti kemungkinan gangguan kepada perkhidmatan asas hospital	Gangguan penyediaan makanan, linen bersih dan penjagaan pesakit

Jadual 2-10: Cadangan Tindakan Jangka Pendek, Sederhana dan Panjang

Negeri	Hospital	Kedalaman Banjir	Jangka pendek	Jangka sederhana	Jangka panjang
Selangor	SALAM Shah Alam Specialist Hospital	Tinggi / 1.59 m	Pemeriksaan segera akses, utiliti dan peralatan kritikal; kenal pasti laluan alternatif.	Laksanakan penilaian kerentanan tapak, utiliti dan peralatan kritikal serta tentukan keperluan perlindungan banjir.	Naik taraf perlindungan berdasarkan hasil penilaian dan kukuhkan pelan kesinambungan operasi.
	Pantai Hospital Klang	Sederhana / 0.72 m	Semak akses utama, laluan alternatif, utiliti dan peralatan aras tanah.		
	Sri Kota Specialist Medical Centre	Rendah / 0.22 m	Pantau akses, saliran dan keadaan banjir sekitar hospital.	Semak kesiapsiagaan operasi dan kebergantungan kepada utiliti kritikal.	Kemas kini pelan tindak balas berdasarkan perubahan pendedahan dan data banjir terkini.
Johor	Putra Specialist Hospital Batu Pahat	Tinggi / 1.71 m	Pemeriksaan segera akses, utiliti dan peralatan kritikal; kenal pasti laluan alternatif.	Laksanakan penilaian kerentanan tapak, utiliti dan peralatan kritikal serta tentukan keperluan perlindungan banjir.	Naik taraf perlindungan berdasarkan hasil penilaian dan kukuhkan pelan kesinambungan operasi.

Negeri	Hospital	Kedalaman Banjir	Jangka pendek	Jangka sederhana	Jangka panjang
	Pantai Hospital Batu Pahat	Rendah / 0.07 m	Pantau akses dan keadaan banjir di kawasan sekitar.	Nilai kesiapsiagaan dan potensi fungsi sebagai hospital sokongan sekiranya fasiliti berdekatan terjejas.	Integrasikan fungsi sokongan dalam pelan kesinambungan operasi dan tindak balas banjir.
	KPJ Batu Pahat Specialist Hospital	Rendah / 0.05 m			

2.7.7 Cadangan Penilaian Lanjutan

Berdasarkan pendekatan Hospital Safety Index (WHO, 2015) dan kajian infrastruktur kritikal hospital di Malaysia oleh Janius et al. (2017), analisis lanjut dicadangkan meliputi:

1. Pemetaan pendedahan berdasarkan keseluruhan sempadan tapak dan bangunan hospital, bukan titik koordinat sahaja.
2. Penilaian pendedahan jalan masuk, laluan ambulans dan laluan pemindahan semasa banjir.
3. Pemeriksaan tapak untuk mengesahkan aras lantai, keadaan saliran serta lokasi utiliti dan peralatan kritikal.
4. Penilaian potensi gangguan kepada bekalan elektrik, air, gas perubatan, telekomunikasi dan perkhidmatan kritikal hospital, termasuk ketersediaan sistem sokongan.

Selain peta kedalaman banjir, Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) boleh digunakan untuk menggabungkan beberapa kriteria dalam proses membuat keputusan. Abdullah (2023) menggunakan pendekatan spatial-MCDA bagi menilai lokasi hospital baharu di Kelantan berdasarkan jumlah hujan, guna tanah, jarak dari fasiliti sedia ada dan akses kepada fasiliti.

Bagi analisis ini, MCDA boleh disesuaikan dengan memasukkan kriteria seperti akses jalan, keadaan bangunan, utiliti kritikal, kepentingan perkhidmatan, fasiliti sokongan dan kapasiti adaptasi. Kriteria dan pemberat perlu ditentukan bersama pihak hospital serta pakar berkaitan sebelum digunakan untuk menyusun keutamaan (Abdullah et al., 2021; Abdullah, 2023).

2.7.8 Rumusan Kajian Kes

Analisis terhadap enam hospital swasta di Selangor dan Johor menunjukkan variasi tahap pendedahan banjir. SALAM Shah Alam Specialist Hospital dan Putra Specialist Hospital Batu Pahat menunjukkan tahap

pendedahan tertinggi, diikuti Pantai Hospital Klang, manakala hospital lain menunjukkan tahap pendedahan yang lebih rendah.

Penggunaan data unjuran dan peta kedalaman banjir NAHRIM menyediakan asas bagi pihak korporat melaksanakan analisis senario iklim (*climate scenario analysis*) pada peringkat aset. Analisis ini boleh digunakan untuk mengenal pasti aset yang memerlukan penilaian lanjut, membandingkan pendedahan antara lokasi dan menyokong penentuan keutamaan tindakan adaptasi serta perancangan kesinambungan operasi. Dapatan pada peringkat saringan ini perlu dilengkapi dengan penilaian kerentanan aset dan operasi bagi menentukan tahap risiko secara menyeluruh.

3. LAPORAN ANALISIS BANJIR PANTAI

3.1 Pengenalan

Dunia kini sedang berhadapan dengan krisis perubahan iklim yang manifestasinya paling ketara dapat dilihat melalui peningkatan aras laut dan kekerapan fenomena cuaca ekstrem. Bagi sebuah negara maritim seperti Malaysia, ancaman ini bukan lagi sekadar unjuran tetapi merupakan realiti fizikal yang mengancam integriti wilayah maritim, kelestarian ekonomi, dan keselamatan penduduk di kawasan pesisiran pantai. Laporan ini memfokuskan secara khusus kepada analisis banjir pantai bagi dua negeri yang mempunyai kepentingan ekonomi dan kepadatan penduduk yang kritikal, iaitu Selangor dan Johor. Berdasarkan cerapan data satelit altimetri dan tolok air pasang surut, kadar kenaikan aras laut di perairan Malaysia menunjukkan trend peningkatan yang membimbangkan, dengan unjuran peningkatan aras laut mencecah sehingga 0.71 meter menjelang tahun 2100 bagi Semenanjung Malaysia di bawah senario pelepasan gas rumah hijau yang tinggi (RCP 8.5).

Kajian tempatan oleh NAHRIM (Dunstan et al., 2020) di Sungai Muar juga menunjukkan bahawa peningkatan aras laut (SLR) sebanyak 0.68 meter boleh mengakibatkan air masin menyusup sejauh 6 kilometer ke hulu sungai, sekali gus menjejaskan proses rawatan air tawar dan kestabilan struktur bawah tanah seperti paip dan telaga. Selain penyusupan air masin, kekerapan dan keterukan banjir pantai turut meningkat akibat kombinasi antara SLR dan kejadian ribut ekstrem. Wadey et al. (2017) menunjukkan bahawa walaupun hujan lebat atau pasang surut sederhana, apabila digabungkan dengan kenaikan aras laut, boleh menyebabkan kejadian banjir luar jangka yang lebih kerap. Di Malaysia, kawasan pesisir seperti Kuala Kedah, Klang dan Kota Bharu dilaporkan semakin terdedah kepada banjir pantai berulang, khususnya semasa musim Monsun Timur Laut (Azid et al., 2015). Kajian Haigh et al. (2014) turut menekankan bahawa kawasan tropika menghadapi risiko lebih

tinggi kerana ketumpatan populasi pantai yang tinggi dan infrastruktur saliran yang lemah.

SLR juga memberi kesan buruk kepada sistem saliran pesisir pantai yang kebanyakannya dibina berdasarkan ketinggian laut pada masa lalu. Menurut Wong et al. (2011), peningkatan paras laut (SLR) mengurangkan keupayaan graviti sistem saliran untuk mengalirkan air keluar ke laut, mengakibatkan banjir air hujan menjadi semakin lambat surut. Hal ini diperkuatkan dengan penemuan oleh Roslan et al. (2019) yang mendapati bahawa di beberapa bandar pesisir Malaysia seperti Melaka dan George Town, sistem perparitan konvensional gagal berfungsi secara optimum semasa fenomena pasang tinggi, mewujudkan genangan air berpanjangan. Secara keseluruhan, kesan kumulatif ini membuktikan bahawa SLR bukan sahaja ancaman jangka panjang, tetapi juga mencetuskan kerapuhan fungsi hidrologi dan keselamatan kawasan pesisir dalam jangka masa pendek dan sederhana.

Analisis ini menekankan bahawa risiko banjir pantai tidak hanya berpunca daripada kenaikan aras laut secara statik, tetapi merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor pasang surut perbani (*spring tide*), pusuan ribut (*storm surge*), dan kegagalan struktur perlindungan pantai seperti ban. Di Selangor, tumpuan diberikan kepada daerah bertopografi rendah seperti Klang dan Sabak Bernam yang sering mengalami limpahan air laut, manakala di Johor, perbezaan dinamik antara Selat Melaka di pantai barat dan Laut China Selatan di pantai timur menuntut strategi adaptasi yang berbeza.

3.1.1 Kajian Unjuran Kenaikan Aras Laut Malaysia

Penyelidikan kesan perubahan iklim ke atas peningkatan aras laut oleh NAHRIM dengan kerjasama saintis dari CSIRO ini mengkaji ancaman pemanasan global dan menyediakan metrik unjuran kenaikan paras laut untuk kawasan pinggir pantai Malaysia sehingga tahun 2100. Punca dan rekod sejarah kenaikan paras laut secara amnya disebabkan oleh pemanasan atmosfera yang menyebabkan pengembangan terma lautan

(*ocean thermal expansion*) serta penambahan jisim air daripada ais daratan (*glasier*) yang mencair ke laut. Berdasarkan penganalisan data satelit altimeter dan tolok pasang surut dari tahun 1993 hingga 2015, kadar purata kenaikan paras laut di Malaysia adalah pada 2.8 hingga 3.8 mm setahun, paras yang hampir menyamai purata kenaikan global bagi tempoh yang sama.

Selain itu, paras laut di Malaysia juga sentiasa berubah secara bermusim akibat peralihan angin Monsun Timur Laut dan Monsun Barat Daya, di samping perubahan kitaran iklim antara tahunan seperti *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD). Fenomena El Nino lazimnya menurunkan paras air sedikit, manakala La Nina menaikkan paras air di kawasan Malaysia.

Unjuran Kenaikan Paras Laut Menjelang 2100 Unjuran untuk Malaysia dibangunkan dengan menggunakan model iklim daripada laporan IPCC, yang merangkumi senario laluan kepekatan gas rumah hijau (RCP) yang berbeza. Menjelang penghujung abad ke-21 (tahun 2100), paras laut diunjurkan terus naik bagi ke semua senario:

- Senario Pelepasan Rendah/Mitigasi tinggi (RCP 2.6): Unjuran menunjukkan kenaikan antara 0.38 hingga 0.43 meter.
- Senario Pelepasan Tinggi/"Business-As-Usual" (RCP 8.5): Di bawah senario pelepasan karbon yang sangat tinggi, kenaikan boleh berlanjutan sehingga antara 0.67 hingga 0.74 meter.
- Perbezaan Serantau: Semenanjung Malaysia dijangka mengalami kadar kenaikan paras laut yang lebih rendah (berbeza beberapa sentimeter) berbanding stesen-stesen di pesisir Sabah dan Sarawak. Keseluruhannya, paras laut di sekitar Malaysia diunjurkan naik sedikit lebih perlahan berbanding purata kenaikan global, terutamanya di kawasan Selat Melaka.

Cabaran paras laut ekstrem dan mendapan tanah kesempitan akibat kenaikan purata paras laut ini akan paling drastik dirasai apabila ia berlaku serentak dengan cuaca dan kejadian paras laut ekstrem (*extreme sea levels*). Kejadian ekstrem ini berlaku terutamanya akibat pergabungan air pasang astronomi dengan pusuan ribut (*storm surges*) akibat kelajuan angin yang tinggi serta pukulan ombak. Keadaan ini boleh bertambah parah sekiranya kawasan pinggir pantai tersebut turut berhadapan dengan masalah pemendapan atau penurunan tanah (*land subsidence*), yang mana pengepaman air bawah tanah dan kepadatan sedimen geologi menjadikan daratan perlahan-lahan menurun.

3.1.2 Konteks Global Dan Lokal Perubahan Iklim Terhadap Aras Laut

Perubahan iklim global yang didorong oleh aktiviti antropogenik telah menyebabkan pemanasan lautan dan pencairan litupan ais di kutub, yang secara langsung menyumbang kepada kenaikan aras laut. Data terkini daripada NASA menunjukkan bahawa aras laut global meningkat lebih pantas daripada yang dijangkakan pada tahun 2024, didorong terutamanya oleh pengembangan terma air laut. Di Malaysia, fenomena ini diperhatikan melalui data tolok air pasang surut (*tide gauge*) dan satelit altimetri yang menunjukkan kadar kenaikan antara 2.73 mm hingga 7.00 mm setahun dalam tempoh beberapa dekad kebelakangan ini.

Peningkatan aras laut membawa implikasi besar terhadap kekerapan dan keterukan banjir pantai. Kawasan yang sebelum ini hanya terjejas semasa kejadian air pasang besar yang luar biasa kini menghadapi risiko banjir yang lebih kerap walaupun semasa air pasang normal. Bagi negeri Selangor dan Johor, yang mempunyai kawasan dataran pantai yang luas dan landai, kesan ini akan menjadi lebih buruk apabila digabungkan dengan kejadian hujan lebat berintensiti tinggi yang menyebabkan "*backwater effect*" dalam sistem saliran sungai.

Jadual 3-1: Perbandingan unjuran global dan tempatan serta impak fizikal kesan kenaikan aras laut

Parameter Iklim	Unjuran Global (IPCC AR5)	Unjuran Malaysia (NAHRIM 2100)	Impak Fizikal Utama
Kenaikan Aras Laut (SLR)	0.4 - 0.6 m (Purata)	0.67 - 0.71 m (Semenanjung)	Inundasi kekal, banjir pantai
Suhu Permukaan Laut	Peningkatan 1.5 - 4.0 °C	Peningkatan 1.0 - 2.0 °C	Intensiti ribut meningkat
Kadar Kenaikan Tahunan	3.2 - 3.6 mm/tahun	10.5 - 11.1 mm/tahun	Meningkatkan hakisan pantai
Kekerapan Pasang Perbani	Meningkat secara relatif	Lebih kerap melebihi paras ban	Limpahan air masin ke daratan

Kenaikan aras laut dijangka akan memberi impak ke atas penduduk, infrastruktur dan alam sekitar, di mana 31% penduduk Malaysia tinggal di kawasan pesisiran pantai (dalam radius 5 km dari laut). Oleh itu, perancangan terbaik dalam menghadapi isu peningkatan aras laut adalah kritikal untuk mengurangkan degradasi komponen alam sekitar dan kerugian ekonomi yang besar. Jadual 3-1 menunjukkan perbandingan unjuran global dan tempatan serta impak fizikal kesan kenaikan aras laut.

3.1.3 Parameter Dan Senario Iklim Dalam Penilaian Risiko

Penilaian risiko banjir pantai yang dijalankan oleh NAHRIM menggunakan pemodelan Numerikal yang berasaskan senario iklim daripada laporan IPCC AR5. Senario yang paling kerap digunakan dalam kajian rujukan adalah Laluan Kepekatan Perwakilan (RCP) 8.5, yang mewakili senario pelepasan gas rumah hijau yang tinggi tanpa tindakan mitigasi global yang signifikan.

Penggunaan senario RCP 8.5 adalah penting bagi tujuan perancangan konservatif infrastruktur perlindungan pantai. Dalam senario ini, pemodelan menunjukkan bahawa kadar kenaikan aras laut di Malaysia akan mengalami pecutan (*acceleration*) dalam separuh kedua abad ke-21. Analisis ini juga mengambil kira pembolehubah dinamik seperti pusuan ribut yang disebabkan oleh tekanan atmosfera rendah dan angin kencang semasa monsun, yang boleh meningkatkan aras air laut melebihi paras ramalan pasang surut astronomi.

3.1.4 Dinamik Aras Laut Dan Pasang Surut Impak Biologi, Fizikal dan Sedimentasi

Aras laut di Malaysia dipengaruhi oleh kepelbagaian jenis pasang surut mengikut lokasi geografi. Di sepanjang pantai Johor dan sebahagian Selangor, jenis pasang surut adalah "*Mixed Tide*" (*Pasang Surut Bercampur*) yang menunjukkan ciri-ciri pasang surut harian dan separuh harian pada masa yang berbeza. Pemahaman tentang julat pasang surut (*tidal range*) adalah kritikal kerana kawasan dengan julat pasang surut yang besar biasanya mempunyai arus yang lebih kuat, yang mempengaruhi kadar hakisan benteng pantai. Formula umum yang digunakan dalam menilai kerentanan fizikal pantai (*Physical Coastal Vulnerability Index*) mengintegrasikan faktor-faktor ini secara kuantitatif, di mana pembolehubah merangkumi faktor geologi, geomorfologi, julat pasang surut, kadar hakisan, dan unjuran kenaikan aras laut. Bagi negeri Selangor dan Johor, parameter ini diukur secara spesifik menggunakan data daripada stesen-stesen tolok air pasang surut JUPEM di Pelabuhan Klang, Kukup, Johor Bahru, dan Tanjung Sedeli.

3.2 Sumber Data dan Metodologi

Aktiviti ini melibatkan pengumpulan dan penilaian data-data berikut:

- i. Data Unjuran Kenaikan Aras Laut

- Sumber: Kajian unjuran kesan kenaikan aras laut berdasarkan laporan IPCC AR5, (NAHRIM, 2019)
 - Senario RCP: 4.5 dan 8.5
 - Tempoh unjuran: 2030, 2050 dan 2100
- ii. Data Topografi
- *Digital Elevation Model (DEM)* beresolusi tinggi untuk kawasan pesisir, dihasilkan menggunakan *Interferometric Synthetic Aperture Radar (IFSAR)*

3.2.1 Metodologi Pemodelan Statik (*Bathtub Model*)

Bagi menghasilkan peta risiko yang komprehensif, NAHRIM hanya melihat kepada ketinggian topografi (*static model*) (*bathtub model*) dan mengesahkan hasil model melalui verifikasi tapak dan profiling garis pantai bagi lokasi berisiko tinggi.

i. Prinsip Pemodelan: *Bathtub model* adalah kaedah pemodelan statik yang menggunakan teknik simulasi berdasarkan aras ketinggian permukaan bumi (*Digital Elevation Model, DEM*) untuk mengenal pasti kawasan yang berpotensi ditenggelami air akibat:

- Kenaikan aras laut statik
- Pasang surut ekstrem
- Kombinasi kedua-dua factor

ii. Parameter Pemodelan

- Senario RCP: 4.5 dan 8.5
- Tempoh analisis: 2030, 2050 dan 2100
- Aras pasang surut: *Mean High Water Spring (MHWS)*
- Resolusi DEM: 1-5 meter

3.2.2 Aplikasi Sistem Maklumat Geografi (GIS)

Penggunaan teknologi GIS dan penderiaan jarak jauh (*remote sensing*) membolehkan visualisasi kawasan berisiko dilakukan secara spatial. Peta-peta risiko yang dihasilkan membantu pihak berkuasa tempatan dalam

merancang zon pembangunan masa hadapan dan mengenal pasti kawasan "no-build zones" untuk mengelakkan kerugian harta benda dan nyawa di masa hadapan.

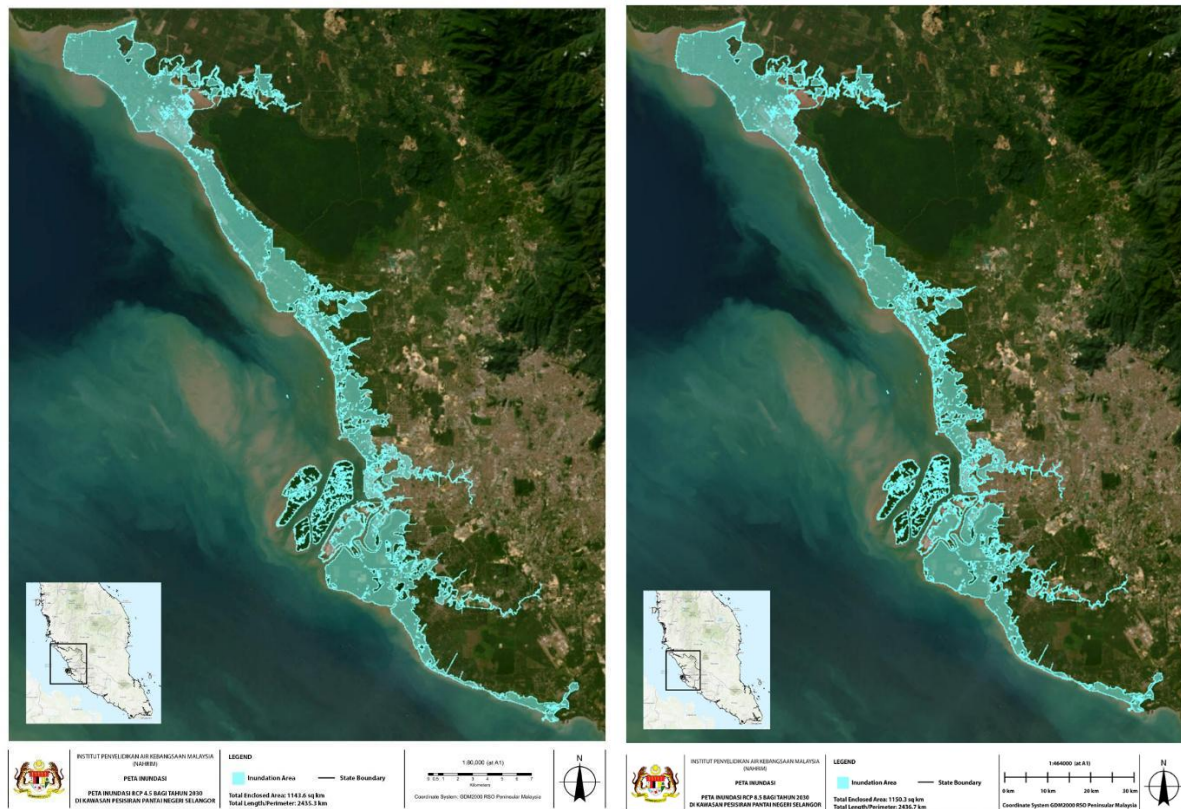
3.2.3 Limitasi Analisis

Penilaian ini mengaplikasikan metodologi pemodelan inundasi statik (bathtub model) dengan mengintegrasikan unjuran hidroiklim serta profil model ketinggian digital permukaan bumi. Walau bagaimanapun, simulasi tersebut mengecualikan pembolehubah dinamik meliputi fenomena pusuan ribut (storm surge), proses degradasi hakisan pantai, evolusi morfologi pesisir pantai, risiko kerosakan ban pantai, serta perubahan corak pembangunan dan guna tanah masa depan. Sehubungan itu, dapatan analisis ini harus ditafsirkan sebagai instrumen penilaian risiko awalan (*screening assessment*) dan tidak boleh dianggap sebagai dokumen spesifikasi reka bentuk kejuruteraan yang bersifat muktamad.

3.3 Analisis Risiko Banjir Pantai Negeri Selangor

Negeri Selangor mempunyai garis pantai sepanjang kira-kira 150 kilometer yang melintasi daerah Sabak Bernam, Kuala Selangor, Klang, Kuala Langat, dan Sepang. Sebahagian besar kawasan ini adalah dataran pantai yang rendah dan sangat terdedah kepada limpahan air laut, terutamanya di kawasan yang tidak dilindungi oleh struktur ban yang mencukupi atau kawasan di mana ban mengalami masalah mendapan.

3.3.1 Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Selangor 2030



Rajah 3-1: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Negeri Selangor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2030.

Berdasarkan kedua-dua imej peta inundasi pada Rajah 3-1, berikut adalah analisis perbandingan antara senario RCP 4.5 dan RCP 8.5 bagi unjuran tahun 2030 untuk pesisiran pantai Negeri Selangor. Senario RCP 4.5 mewakili senario di mana tindakan mitigasi global diambil secara sederhana untuk mengurangkan pelepasan karbon. Aras laut tetap meningkat tetapi pada kadar yang lebih terkawal, manakala bagi senario RCP 8.5 merupakan senario "paling kritikal" atau tanpa tindakan mitigasi yang signifikan. Dalam senario ini, pemanasan lautan berlaku lebih pantas, menyebabkan pengembangan terma air laut yang lebih besar. Perbezaan utama antara kedua-dua peta ini ditunjukkan dalam Jadual 3-2.

Jadual 3-2: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2030

Parameter	Senario (RCP 4.5) Sederhana/Stabil	Senario (RCP 8.5) Tinggi(<i>Business-as-usual</i>)	Perbezaan
Jumlah Kawasan Terjejas 2030	1,143.6 km ²	1,150.3 km ²	6.7 km ²

Walaupun Rajah 3-1 secara visual kedua-dua peta kelihatan hampir serupa kerana perbezaan masa yang singkat (menjelang 2030), analisis data menunjukkan trend peningkatan risiko:

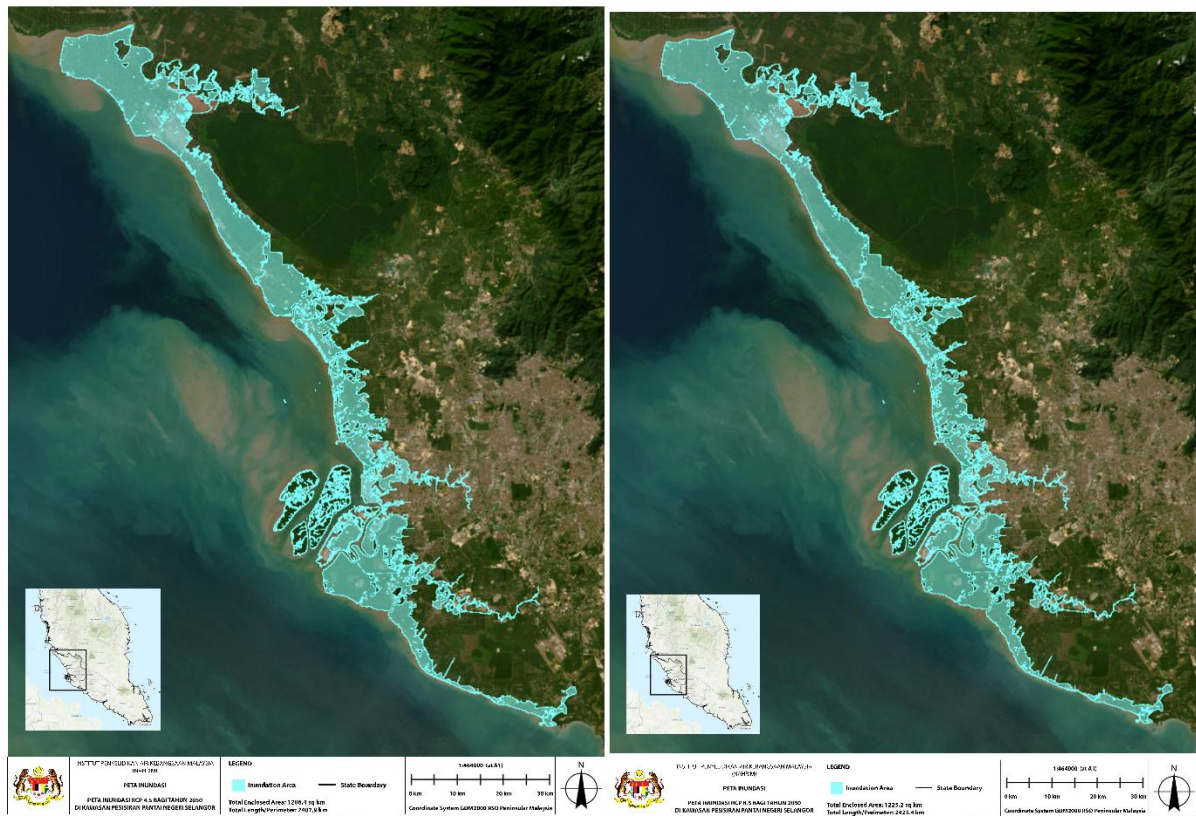
- Peningkatan Keluasan: Senario RCP 8.5 (tinggi) menunjukkan tambahan keluasan sebanyak 6.7 km² kawasan yang berisiko ditenggelami air berbanding RCP 4.5. Ini membuktikan bahawa pelepasan gas rumah hijau yang lebih tinggi memberikan impak langsung kepada pencerobohan air laut ke daratan yang lebih luas.
- Ketegaran Risiko di Kawasan Rendah: Dalam kedua-dua senario, kawasan utara Selangor (Sabak Bernam dan Kuala Selangor) serta kawasan Klang menunjukkan tahap inundasi yang paling kritikal. Ini kerana kawasan tersebut mempunyai topografi yang sangat landai, menyebabkan air laut mudah melimpah jauh ke pedalaman melalui sistem sungai.

Perbezaan antara kedua-dua senario ini biasanya menjadi lebih ketara selepas tahun 2050. Walau bagaimanapun, data 2030 ini menunjukkan bahawa Selangor sudah mula merasai kesan peningkatan aras laut seawal dekad ini dengan keluasan terjejas mencecah 14% daripada keseluruhan saiz negeri.

Data ini memberi amaran bahawa tanpa langkah adaptasi yang kukuh, Selangor akan menghadapi kehilangan daratan yang signifikan. Kawasan perindustrian di Pelabuhan Klang dan jelapang padi di Sekinchan perlu diberi keutamaan dalam pembinaan ban pantai yang lebih tinggi dan stabil untuk menghadapi unjuran RCP 8.5 yang lebih ekstrem.

Peta ini memperkukuhkan keperluan untuk mengintegrasikan unjuran kenaikan aras laut ke dalam Pelan Rancangan Struktur Negeri Selangor 2035 bagi memastikan pembangunan masa hadapan tidak tertumpu di zon berwarna biru tersebut yang berisiko untuk banjir.

3.3.2 Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Selangor 2050



Rajah 3-2: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Negeri Selangor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2050.

Berdasarkan imej peta inundasi pada Rajah 3-2, berikut adalah analisis teknikal dan perbandingan antara senario RCP 4.5 dan RCP 8.5 bagi pesisiran pantai Negeri Selangor (Jadual 3-3). Data statistik pada peta menunjukkan peningkatan kawasan terjejas yang signifikan apabila beralih kepada senario pelepasan tinggi.

Jadual 3-3: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2050

Parameter	Senario (RCP 4.5) Sederhana/Stabil	Senario (RCP 8.5) Tinggi(<i>Business-as-usual</i>)	Perbezaan
Jumlah Kawasan Terjejas 2050	1,206.4 km ²	1,225.2 km ²	18.8 km ²

Apabila dibandingkan dengan unjuran tahun 2030, kawasan terjejas di bawah senario RCP 8.5 meningkat daripada 1,150.3 km² kepada 1,225.2 km². Ini bermakna dalam tempoh 20 tahun (2030-2050), tambahan sebanyak 74.9 km² (7,490 hektar) daratan Selangor diramalkan akan ditenggelami air laut secara berkala atau kekal.

Peta 2050 menunjukkan pencerobohan air laut yang lebih agresif ke kawasan pedalaman berbanding peta 2030:

- **Lembangan Sungai dan Estuari:** Garis perimeter yang meningkat sebanyak 15.5 km menunjukkan air laut menolak masuk lebih jauh ke dalam sistem sungai (seperti Sungai Klang, Sungai Selangor, dan Sungai Langat). Fenomena ini dikenali sebagai *backwater effect*, di mana aras laut yang tinggi menghalang aliran air sungai, menyebabkan banjir di kawasan yang lebih jauh dari pantai.
- **Sabak Bernam dan Kuala Selangor:** Kawasan ini kekal sebagai zon paling rentan. Memandangkan sebahagian besar kawasan ini mempunyai kontur ketinggian kurang daripada 1 meter, peningkatan aras laut sebanyak beberapa sentimeter sahaja dalam senario RCP 8.5 sudah cukup untuk meluaskan kawasan inundasi ke kawasan sawah padi dan ladang kelapa sawit.
- **Zon Perindustrian Klang:** Kawasan Pulau Indah dan sekitar Pelabuhan Klang menunjukkan kepadatan warna biru yang lebih pekat, menandakan risiko banjir pantai yang hampir pasti berlaku semasa air pasang perbani jika ban tidak ditingkatkan. Rekod menunjukkan aras

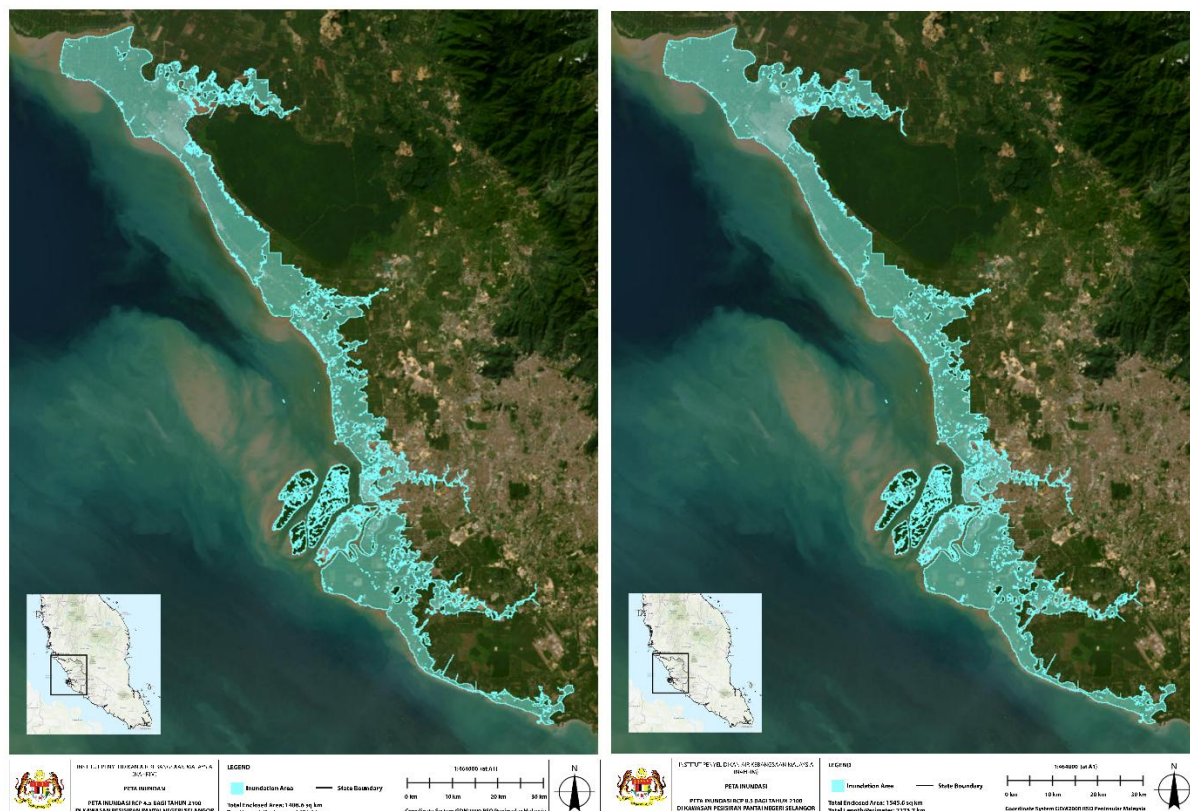
air boleh mencecah sehingga 6.1 meter di Stesen Kapar, mengatasi ramalan astronomi biasa.

Selangor mempunyai dataran rendah seluas kira-kira 8,104 km² menjelang 2050, senario RCP 8.5 meramalkan hampir 15.1% daripada keluasan negeri ini akan berada dalam zon risiko inundasi. Peta 2050 ini memberikan isyarat jelas untuk tindakan adaptasi segera:

1. Penaiktarafan Infrastruktur: Struktur ban pantai sedia ada (sepanjang 156.2 km perlu direka semula untuk menampung aras air tahun 2050, bukan sekadar aras semasa.
2. Zon Penampan Semulajadi: Perlindungan hutan paya bakau di Kuala Selangor dan Sabak Bernam adalah kritikal sebagai benteng semulajadi bagi mengurangkan tenaga ombak dan memperlahankan pencerobohan air masin.
3. Perancangan Guna Tanah: Data ini perlu diintegrasikan ke dalam Rancangan Struktur Negeri Selangor 2035 untuk menghadkan pembangunan baru di kawasan yang ditandakan biru, bagi mengelakkan kerugian aset jangka panjang.

Kesimpulannya, perbezaan 18.8 km² antara RCP 4.5 dan 8.5 bagi tahun 2050 (rujuk Jadual 3-3) mungkin nampak kecil secara angka, tetapi secara fizikal ia melibatkan ribuan hektar kawasan pertanian dan penempatan penduduk yang akan terdedah kepada ancaman kemusnahan fizikal dan ekonomi.

3.3.3 Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Selangor 2100



Rajah 3-3: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Negeri Selangor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2100.

Berdasarkan kedua-dua peta inundasi bagi unjuran tahun 2100 pada Rajah 3-3, berikut adalah analisis perbandingan antara senario RCP 4.5 dan RCP 8.5 bagi pesisiran pantai Negeri Selangor. Tahun 2100 mewakili kemuncak unjuran bagi abad ini, di mana perbezaan antara senario pelepasan karbon yang stabil dan ekstrem menjadi sangat ketara.

Jadual 3-4: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2100

Parameter	Senario (RCP 4.5) Sederhana/Stabil	Senario (RCP 8.5) Tinggi (Business-as-usual)	Perbezaan
Jumlah Kawasan Terjejas 2100	1,408.6 km ²	1,545.6 km ²	137 km ²

Terdapat peningkatan keluasan drastik dalam senario RCP 8.5, keluasan kawasan yang terjejas mencecah 1,545.6 km². Memandangkan keluasan keseluruhan Selangor adalah kira-kira 8,104 km², ini bermakna hampir 19.1% atau kira-kira satu per lima daripada wilayah negeri Selangor diramalkan akan berada di bawah paras air atau terdedah kepada banjir pantai yang ekstrem menjelang akhir abad ini.

Walaupun keluasan kawasan meningkat dalam RCP 8.5, perimeternya mencatatkan penurunan berbanding RCP 4.5. Secara teknikal, ini menunjukkan bahawa tompokan-tompokan banjir kecil yang terpisah pada tahun-tahun sebelumnya kini telah bercantum menjadi satu kawasan limpahan yang besar dan berterusan. Ini menandakan tahap inundasi yang sangat dalam dan menyeluruh, di mana sempadan antara daratan dan laut menjadi semakin kabur.

Warna biru pada peta RCP 8.5 menunjukkan pencerobohan air laut yang sangat jauh ke pedalaman melalui lembangan sungai utama seperti Sungai Klang, Sungai Langat, dan Sungai Selangor. Kawasan seperti Klang, Kuala Selangor, dan Sabak Bernam hampir keseluruhannya dilitupi warna biru, menunjukkan risiko kehilangan daratan yang kekal jika tiada struktur pertahanan mega dibina.

Unjuran Kenaikan Aras Laut menjelang 2100, NAHRIM meramalkan kenaikan aras laut di Semenanjung Malaysia boleh mencecah sehingga 0.71 meter di bawah senario RCP 8.5. Peta ini menggambarkan secara spatial kesan fizikal daripada kenaikan tersebut yang digabungkan dengan pengaruh pasang surut. Kawasan terjejas seluas 1,545.6 km² ini merangkumi zon ekonomi paling kritikal di Malaysia, termasuk infrastruktur pelabuhan di Pelabuhan Klang serta kawasan jelapang padi utama di utara Selangor. Pencerobohan air masin ini bukan sahaja menyebabkan banjir, tetapi juga kerosakan kekal kepada kualiti tanah pertanian.

Peningkatan risiko inundasi sebanyak 76.9% menjelang 2100 (berbanding tahap asas) menuntut anjakan paradigma dalam pengurusan zon pantai, daripada sekadar membina ban tanah kepada pembinaan struktur pelindung keras (hard engineering) seperti *seawall* dan *barrage* yang lebih tinggi, serta pemerkasaan penyelesaian berasaskan alam semulajadi (NBS) seperti hutan bakau. Secara visual, kawasan berwarna biru muda menunjukkan daratan yang berisiko ditenggelami air laut atau mengalami risiko banjir pantai yang kerap:

- Daerah Klang: Peta menunjukkan inundasi yang sangat ketara di kawasan pelabuhan dan pulau-pulau sekitarnya. Ini selari dengan data bahawa kawasan seperti Pulau Indah, Telok Gong, Pandamaran, dan Pelabuhan Klang adalah titik panas yang sangat rentan kerana mempunyai aras platform yang rendah.
- Kuala Selangor & Sabak Bernam: Kawasan utara Selangor menunjukkan pencerobohan air yang jauh ke dalam daratan. Ini mengancam kawasan pertanian utama seperti sawah padi di Sekinchan dan Sungai Besar yang bertopografi landai.
- Kuala Langat & Sepang: Kawasan seperti Pulau Carey dan pesisir pantai berhampiran muara Sungai Langat turut menunjukkan risiko inundasi yang tinggi.

Peta ini berfungsi sebagai Sistem Amaran Awal bagi perancang bandar dan pembuat dasar untuk mengelakkan pembangunan baru di zon risiko tinggi dan merangka strategi pertahanan pantai yang lebih kukuh. Daerah Klang merupakan kawasan paling kritikal di Selangor disebabkan oleh kepadatan pembangunan industri dan infrastruktur pelabuhan utama negara. Kawasan seperti Pulau Indah, Telok Gong, dan Pandamaran sering melaporkan kejadian banjir pantai semasa air pasang besar.

Analisis menunjukkan bahawa aras air laut semasa fenomena air pasang perbani di Stesen Janakuasa Kapar pernah mencecah 6.1 meter, iaitu 0.3 meter lebih tinggi daripada ramalan asal, yang mengakibatkan limpahan

serius ke kawasan daratan. Kuala Selangor dan Sabak Bernam menunjukkan risiko banjir pantai memberi kesan langsung kepada sektor pertanian, khususnya sawah padi di Sekinchan dan Sungai Besar. Limpahan air masin ke dalam sistem saliran pertanian boleh menyebabkan kemerosotan hasil tanaman dan kerosakan struktur tanah dalam jangka masa panjang.

3.3.4 Analisis Kerentanan & Cabaran Infrastruktur Serta Ban Pantai Selangor

Sebahagian besar pesisiran pantai Selangor dilindungi oleh ban pantai (*coastal bunds*) yang bertindak sebagai benteng perlindungan. Walau bagaimanapun, banyak daripada struktur ini dibina beberapa dekad yang lalu dan tidak direka untuk menampung unjuran kenaikan aras laut masa hadapan. Selain itu, masalah mendapan tanah (*land subsidence*) di sesetengah kawasan pantai Selangor memburukkan lagi kesan kenaikan aras laut relatif, di mana daratan seolah-olah "tenggelam" lebih pantas berbanding kenaikan air laut itu sendiri.

Pihak Kerajaan Negeri Selangor melalui Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) Malaysia telah mengenal pasti keperluan untuk menaik taraf benteng pantai di lokasi kritikal seperti Pantai Tanah Baru di Sabak Bernam, di mana projek menaik taraf benteng pantai sedang dalam pelaksanaan dengan kos melebihi RM 2.4 juta bagi fasa tertentu. Selain itu, penggunaan pintu air automatik dan sistem pemantauan berasaskan komputer sedang diperkenalkan untuk meningkatkan kecekapan pengoperasian sistem tebatan banjir pantai.

Negeri Selangor kini berada di barisan hadapan dalam menghadapi krisis SLR yang didorong oleh perubahan iklim global. Sebagai pusat ekonomi dan kepadatan penduduk tertinggi di Malaysia, pencerobohan air laut ke daratan bukan lagi sekadar ancaman alam sekitar, tetapi merupakan risiko kedaulatan ekonomi. Laporan ini memberikan tumpuan khusus kepada Selangor dengan membedah data inundasi bagi tahun 2030, 2050, dan 2100 di bawah senario pelepasan gas rumah hijau sederhana (RCP 4.5) dan tinggi (RCP 8.5). Analisis menunjukkan bahawa sehingga 19.1% daripada keluasan

wilayah Selangor diunjurkan terjejas menjelang tahun 2100, dengan anggaran kerugian ekonomi di kawasan kritikal seperti Pelabuhan Klang mencecah RM1.4 bilion. Berdasarkan analisis spatial terhadap peta inundasi yang dihasilkan oleh NAHRIM, terdapat trend peningkatan risiko yang memecut (*accelerating*) seiring dengan peningkatan masa dan keamatan senario RCP.

Jadual 3-5 membentangkan analisis risiko banjir pantai di Negeri Selangor dengan menumpukan kepada perbandingan impak antara tahun 2030, 2050, dan 2100 di bawah dua senario iklim, iaitu RCP 4.5 dan RCP 8.5. Hasil analisis menunjukkan bahawa Selangor sedang menuju ke arah krisis kehilangan daratan yang serius, di mana pecutan inundasi dikesan berlaku secara mendadak selepas tahun 2050. Menjelang 2100, senario terburuk (RCP 8.5) meramalkan kawasan terjejas seluas 1,545.6 km², yang merangkumi kira-kira 19% daripada keseluruhan keluasan negeri.

Jadual 3-5: Perbandingan Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir bagi RCP 4.5 & RCP 8.5 dan Tahun

No	Senario Iklim	Tahun	Jumlah Kawasan Terjejas (km ²)	Perbezaan Keluasan kawasan terjejas (km ²)
1	RCP 4.5	2030	1,143.6	-
		2050	1,206.4	62.8
		2100	1,408.6	202.2
2	RCP 8.5	2030	1150.3	-
		2050	1,225.2	74.9
		2100	1,545.6	320.4

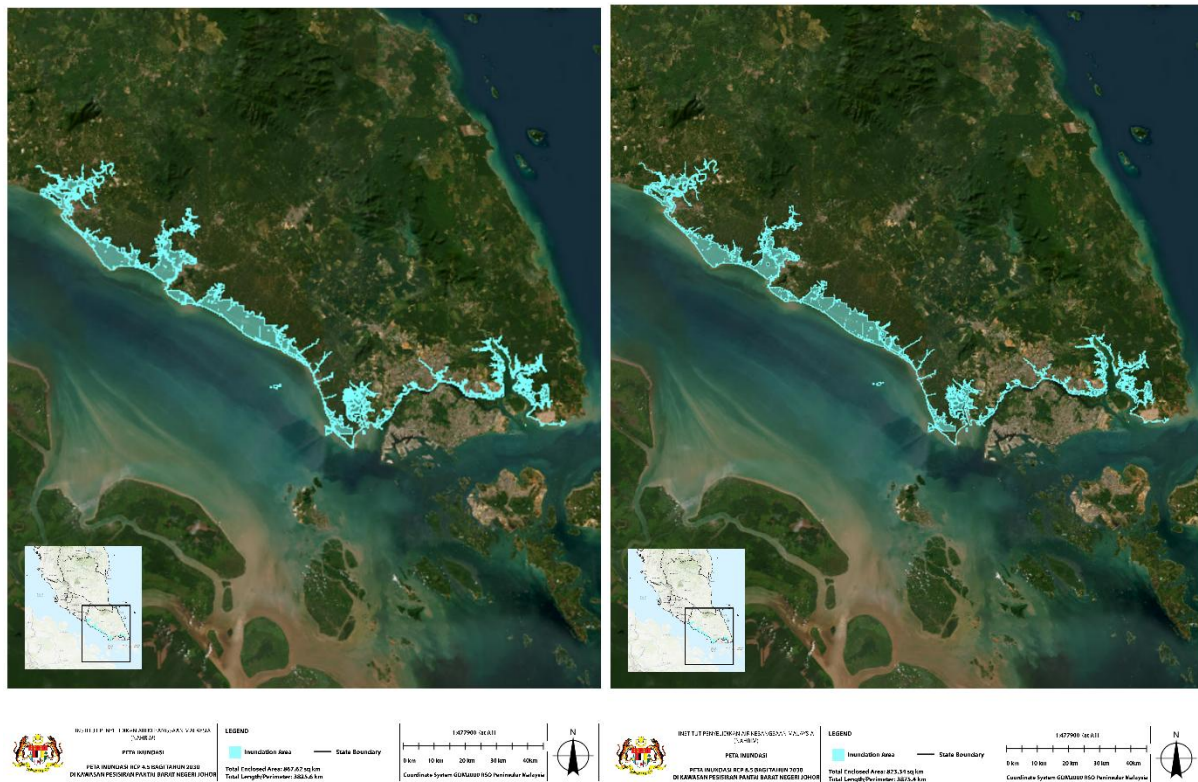
Analisis menunjukkan peninggian aras laut tidak berlaku secara linear tetapi memecut. Bagi senario RCP 8.5, peningkatan kawasan terjejas antara tempoh tahun 2050-2100 adalah 320.4 km², 4.3 kali ganda lebih besar berbanding peningkatan antara tahun 2030-2050 iaitu sebanyak 74.9 km².

Pada tahun 2030, perbezaan antara RCP 4.5 dan 8.5 hanyalah 6.7 km². Walau bagaimanapun, jurang ini melebar secara drastik kepada 137.0 km² menjelang tahun 2100. Ini membuktikan bahawa kegagalan mitigasi karbon global akan memberikan impak fizikal yang jauh lebih ekstrem kepada Selangor di akhir abad ini. Penambahan kawasan terjejas sebanyak 320.4 km² (RCP 8.5) dalam separuh kedua abad ke-21 menandakan banyak kawasan yang dahulunya dianggap selamat akan mula mengalami banjir pantai kekal.

3.4 Analisis Risiko Banjir Pantai Negeri Johor

Johor mempunyai profil risiko yang unik kerana ia berhadapan dengan dua sistem lautan yang berbeza. Pantai barat Johor (Selat Melaka) dicirikan oleh pantai berlumpur dan hutan bakau yang luas, manakala pantai timur (Laut China Selatan) mempunyai pantai berpasir yang lebih terdedah kepada tenaga ombak yang tinggi semasa Monsun Timur Laut.

3.4.1 Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2030-Pantai Barat & Selatan



Rajah 3-4: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Barat & Selatan Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2030.

Jadual 3-6: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2030

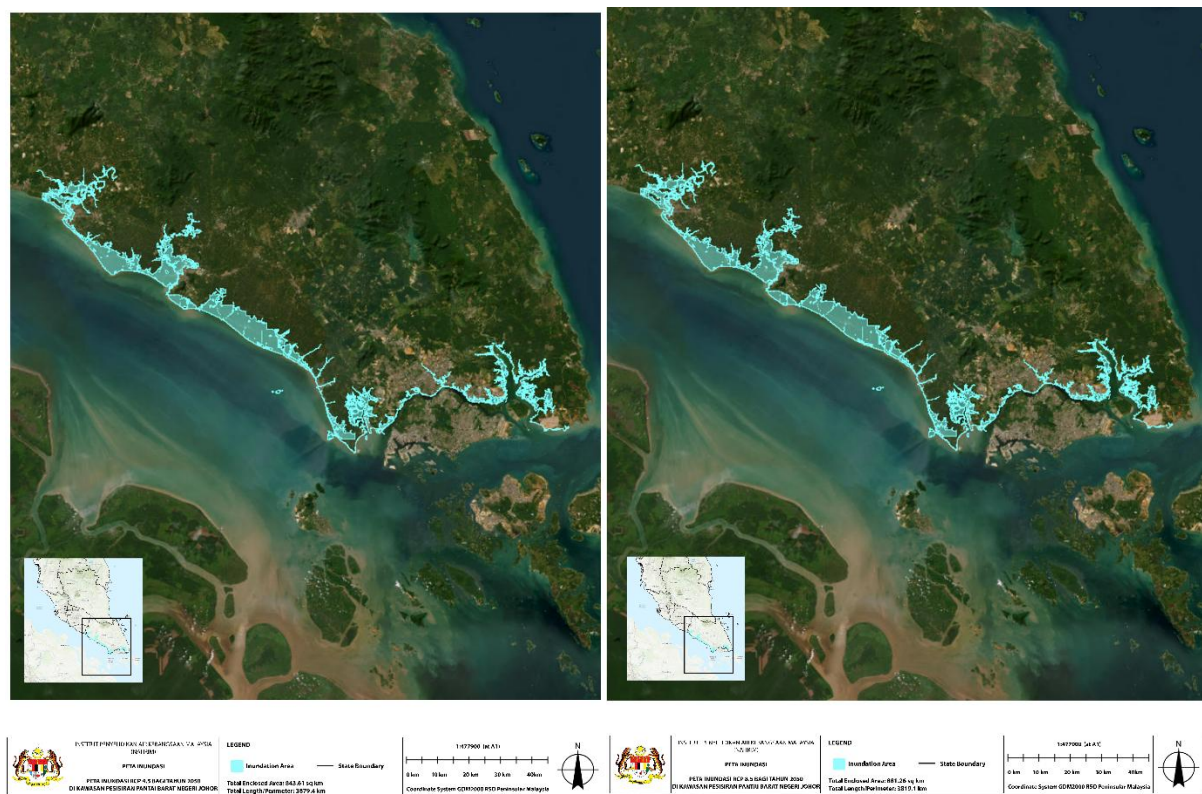
Parameter	Senario (RCP 4.5) Sederhana/Stabil	Senario (RCP 8.5) Tinggi (<i>Business-as-usual</i>)	Perbezaan
Jumlah Kawasan Terjejas 2030	867.62 km ²	823.34 km ²	44.28 km ²

Secara spatial, peta pada Rajah 3-4 mengenal pasti kawasan kritikal yang terdedah kepada inundasi pantai. Daerah Batu Pahat (Minyak Beku, Semerah, & Rengit) mempunyai topografi yang sangat landai dengan tanah berselut (*soft marine clay*). Batu Pahat diunjurkan menghadapi risiko kehilangan kawasan pembangunan yang paling kritikal di Malaysia sekiranya aras laut terus meningkat. Daerah Pontian (Kukup & Benut) adalah kawasan

penempatan atas air dan pusat pelancongan di Kukup sangat terdedah kepada limpahan air pasang besar yang kini berlaku lebih kerap.

Bagi Daerah Muar (Sg. Sarang Buaya) pula, aras air laut yang tinggi menghalang aliran air sungai keluar, menyebabkan risiko banjir termenung (*stagnant flood*) di kawasan hulu sungai. Kawasan muara Sungai Pulai dan Sungai Skudai di Selatan Johor (Johor Bahru & Zon Ekonomi Khas Johor-Singapura -JS-SEZ) menunjukkan risiko banjir pantai yang meluas ke daratan, yang berpotensi menjejaskan zon pembangunan ekonomi masa hadapan JS-SEZ.

3.4.2 Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2050-Pantai Barat & Selatan



Rajah 3-5: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Barat & Selatan Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2050.

Analisis Jumlah Kawasan Terjejas 2050 pada Rajah 3-5 menunjukkan peningkatan risiko inundasi yang ketara apabila beralih kepada senario pelepasan karbon tinggi. Terdapat tambahan kawasan sebanyak 37.65 km²

kawasan daratan yang diunjurkan akan ditenggelami air laut secara berkala atau kekal dalam senario RCP 8.5 berbanding RCP 4.5 (rujuk Jadual 3-7).

Jadual 3-7: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2050

Parameter	Senario (RCP 4.5) Sederhana/Stabil	Senario (RCP 8.5) Tinggi(Business-as-usual)	Perbezaan
Jumlah Kawasan Terjejas 2050	843.61 km ²	881.26 km ²	37.65 km ²

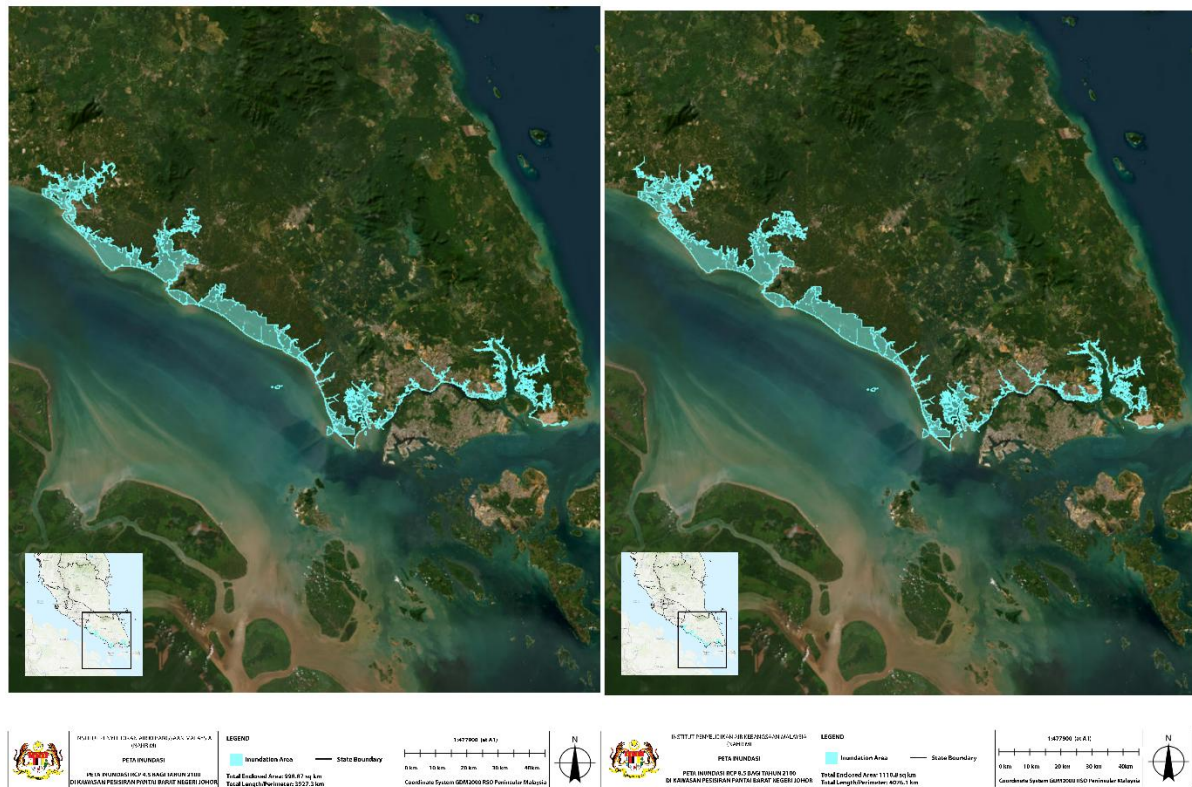
Daerah Batu Pahat (Minyak Beku, Semerah & Rengit) kekal sebagai zon paling kritikal kerana topografinya yang sangat landai. Di bawah senario RCP 8.5, air laut menolak lebih jauh ke dalam sistem saliran pertanian, yang berisiko memusnahkan tanaman kelapa sawit dan mengurangkan hasil pertanian secara drastik. Kawasan Kukup menunjukkan risiko inundasi yang hampir menyeluruh. Memandangkan Kukup merupakan pusat pelancongan dan penempatan nelayan atas air, kenaikan aras laut diunjurkan akan menyebabkan kekerapan banjir pantai yang tinggi walaupun semasa air pasang normal.

Peta menunjukkan kawasan Daerah Muar, air laut "menolak" masuk melalui muara sungai, menyebabkan risiko banjir termenung (*stagnant flood*) di kawasan hulu yang bertopografi rendah, manakala di kawasan Selatan Johor (Zon Ekonomi Iskandar) kawasan risiko banjir dikesan di sekitar muara Sungai Pulai dan Sungai Skudai. Ini memberikan amaran kepada perancang bandar bagi projek berimpak tinggi seperti Zon Ekonomi Khas Johor-Singapura (JS-SEZ) agar aras platform minimum ditingkatkan melebihi unjuran tahun 2050.

Menjelang 2050, aras laut di perairan Johor dijangka meningkat sehingga 0.23 meter. Walaupun angka ini nampak kecil, kesannya menjadi ekstrem apabila digabungkan dengan Pasang Surut Perbani (*Spring Tide*) dan kejadian pusuan ribut (*storm surge*) semasa Monsun Timur Laut. Pesisiran pantai barat Johor terdiri daripada tanah yang mudah terhakis. Kenaikan aras laut

mempercepatkan kadar hakisan pantai yang kini sudah pun mencapai tahap membimbangkan di beberapa lokasi di Batu Pahat.

3.4.3 Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2100-Pantai Barat & Selatan



Rajah 3-6: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Barat & Selatan Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2100.

Berdasarkan analisis visual keatas Peta Inundasi Kawasan Pesisiran Pantai Barat & Selatan Negeri Johor bagi unjuran tahun 2100 pada Rajah 3-6, Jadual 3-8 adalah perincian perbandingan antara senario RCP 4.5 dan RCP 8.5.

Jadual 3-8: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2100

Parameter	Senario (RCP 4.5) Sederhana/Stabil	Senario (RCP 8.5) Tinggi (<i>Business-as-usual</i>)	Perbezaan
Jumlah Kawasan Terjejas 2100	998.87 km ²	1,110.80 km ²	111.93 km ²

Tahun 2100 merupakan titik kritikal dalam pemodelan iklim kerana impak SLR mencapai tahap maksimum bagi abad ini. Senario RCP 8.5

menunjukkan peningkatan kawasan terjejas sebanyak 111.93 km² berbanding RCP 4.5. Ini membuktikan bahawa tanpa langkah mitigasi karbon global, kawasan daratan yang tenggelam di Johor akan bertambah secara drastik menjelang akhir abad ini.

Peta 2100 menggambarkan senario "tenggelam" yang sangat serius bagi beberapa zon utama: seperti Daerah Batu Pahat (Sg. Senggarang ke Sg. Punggur). Kawasan ini dilitupi sepenuhnya oleh warna biru dalam senario RCP 8.5. Kajian teknikal mengesahkan bahawa dengan kenaikan aras laut 1 meter, Batu Pahat diunjurkan mengalami 100% kehilangan kawasan pembangunan. Bagi Daerah Pontian (Kukup & Benut, kawasan ini kelihatan hampir hilang dari garis pantai asal. Sebagai penempatan atas air, risiko inundasi kekal akan melumpuhkan sektor pelancongan dan ekonomi nelayan setempat.

Risiko banjir pantai di kawasan Zon Ekonomi Selatan (JS-SEZ) tertumpu di muara Sungai Pulai dan muara Sungai Skudai menjadi lebih luas. Ini memerlukan reka bentuk infrastruktur masa hadapan di bawah Pelan Pembangunan Mampan Johor (PPMJ) 2030 untuk mengambil kira unjuran aras laut tahun 2100 yang boleh mencecah sehingga 0.7 meter. Unjuran NAHRIM menunjukkan kadar kenaikan aras laut di Semenanjung Malaysia bagi senario RCP 8.5 boleh mencapai purata 10.5 - 10.9 mm/tahun menjelang 2100. Faktor Tanah: Pesisiran pantai barat Johor yang bertopografi rendah dan landai (*gentle slope*) meningkatkan kerentanan terhadap banjir pantai berbanding pantai timur yang lebih curam.

3.4.4 Analisis Kerentanan Pantai Barat Johor (Batu Pahat, Pontian, Muar)

Daerah Batu Pahat dan Pontian telah dikenal pasti sebagai kawasan yang sangat rentan terhadap kenaikan aras laut. Berdasarkan kajian NAHRIM, kawasan ini mempunyai topografi yang sangat rendah, di mana peningkatan aras laut sebanyak 0.5 meter sahaja boleh menyebabkan inundasi kawasan yang luas ke daratan sekiranya tiada perlindungan ban.

Kawasan seperti Minyak Beku di Batu Pahat dan Kukup di Pontian merupakan titik panas yang sering mengalami banjir pantai. Di Kukup, fenomena air pasang besar sering menyebabkan banjir di kawasan penempatan nelayan dan pusat pelancongan. Bagi daerah Muar, tumpuan risiko adalah di kawasan muara sungai seperti Sungai Sarang Buaya, di mana aras air laut yang tinggi menghalang pengaliran air sungai keluar ke laut, menyebabkan banjir di kawasan hulu.

Jadual 3-9 menunjukkan trend peningkatan keluasan kawasan terjejas yang memecut (*accelerating*) selepas pertengahan abad, terutamanya di bawah senario pelepasan karbon tinggi (RCP 8.5).

Jadual 3-9: Perbandingan Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir bagi RCP 4.5 & RCP 8.5 dan Tahun

No	Senario Iklim	Tahun	Jumlah Kawasan Terjejas (km ²)	Perbezaan Keluasan kawasan terjejas (km ²)
1	RCP 4.5	2030	867.62	-
		2050	843.61	20.27
		2100	998.87	155.26
2	RCP 8.5	2030	823.34	-
		2050	881.26	57.92
		2100	1,110.8	229.54

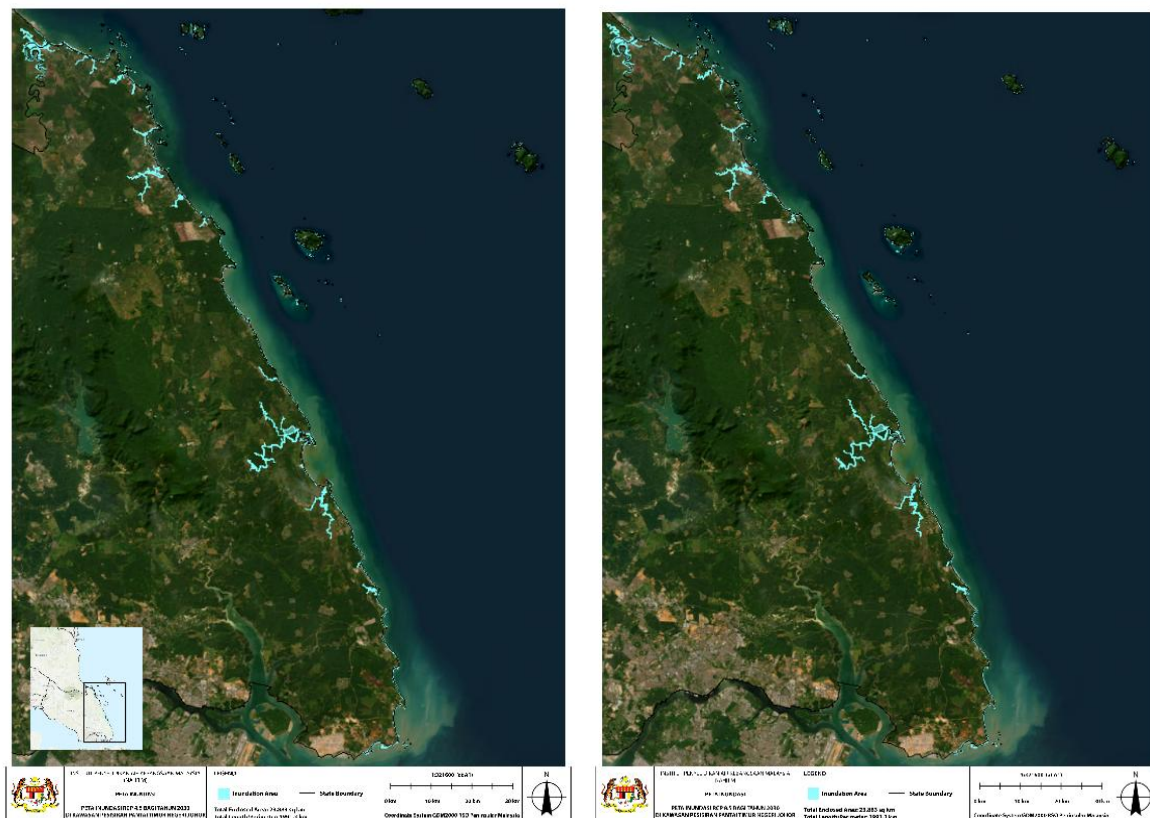
Peningkatan kawasan terjejas antara 2050-2100 (RCP 8.5) menunjukkan trend pecutan sebanyak 229.54 km² iaitu hampir 4 kali ganda lebih besar berbanding peningkatan antara 2030-2050 57.92 km². Ini menunjukkan impak kenaikan aras laut akan menjadi ekstrem di penghujung abad ini. Menjelang 2100, perbezaan antara senario sederhana (RCP 4.5) dan ekstrem (RCP 8.5) mencecah 111.93 km², membuktikan bahawa tindakan mitigasi karbon global amat kritikal untuk kelestarian daratan Johor. Analisis Kawasan Berisiko Tinggi

(Hotspots) mengenal pasti 4 zon utama yang mempunyai kerentanan fizikal dan sosio-ekonomi yang sangat tinggi:

- Zon Batu Pahat (Sg. Senggarang - Sg. Punggur): Merupakan kawasan paling kritikal di Malaysia. Unjuran menunjukkan peningkatan aras laut 1 meter boleh menyebabkan 100% kehilangan kawasan pembangunan di zon ini. Topografi landai dengan tanah *soft marine clay* menyebabkan inundasi meresap jauh ke pedalaman melalui sistem parit pertanian.
- Zon Pontian (Kukup & Benut): Kawasan ini dilitupi sepenuhnya oleh zon biru menjelang 2100. Kukup, sebagai penempatan atas air dan pusat pelancongan, berisiko mengalami inundasi kekal yang akan melumpuhkan ekonomi nelayan dan pelancongan setempat.
- Zon Muar & Selatan (Iskandar Malaysia): Kawasan muara Sungai Sarang Buaya (Muar) dan muara Sungai Pulai (Johor Bahru) menunjukkan risiko pencerobohan air yang meluas, yang boleh menjejaskan infrastruktur kritikal dalam Zon Ekonomi Khas Johor-Singapura (JS-SEZ).

Kemasukan air masin akan merosakkan kualiti tanah dan akuifer air bawah tanah di kawasan pertanian seperti ladang kelapa sawit di Batu Pahat dan Pontian dan memberi implikasi dan impak sosio-ekonomi terutamanya sektor pertanian. Pantai Barat Johor berada dalam keadaan "kerentanan ekstrem" selepas tahun 2050. Tanpa strategi adaptasi yang berteraskan data spatial ini, daerah Batu Pahat dan Pontian berisiko menghadapi kehilangan daratan yang luas secara kekal. Pihak berkuasa disarankan menggunakan peta unjuran 2100 RCP 8.5 sebagai penanda aras mandatori bagi semua kelulusan pembangunan pesisir pantai di masa hadapan.

3.4.5 Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2030-Pantai Timur



Rajah 3-7: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Timur Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2030.

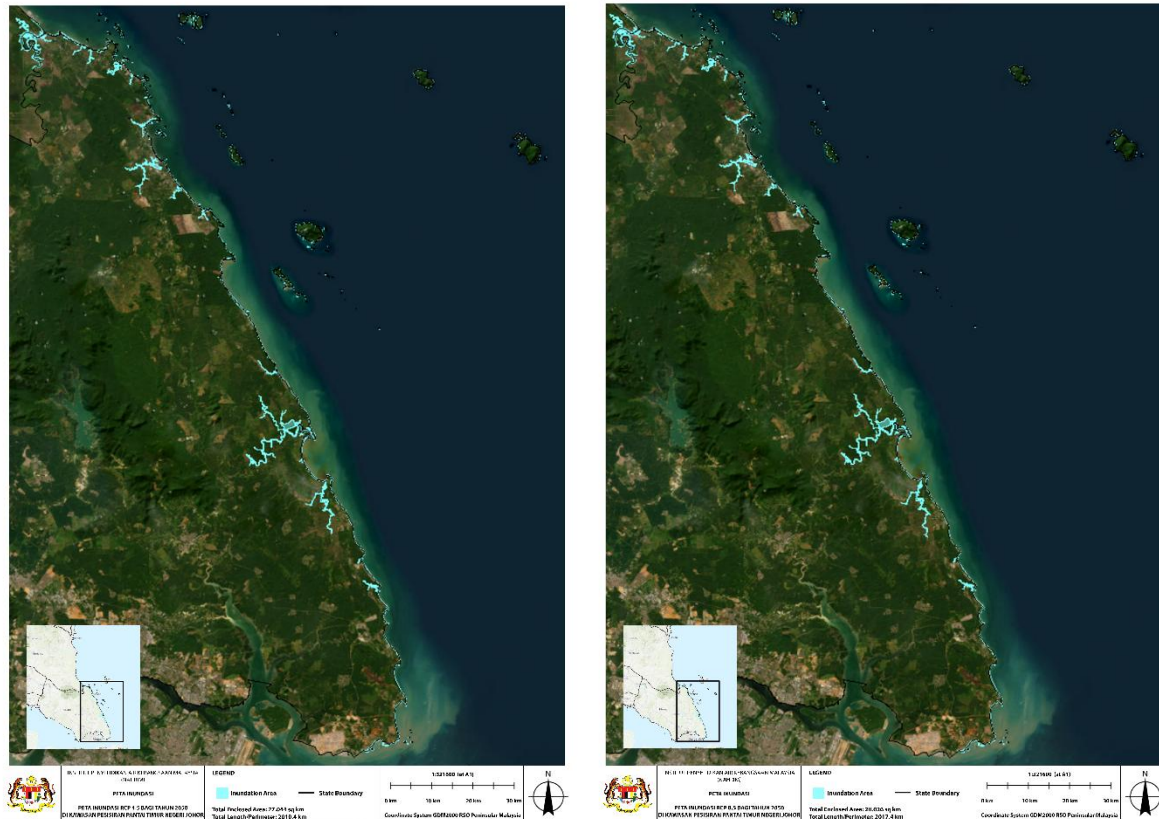
Berdasarkan peta inundasi bagi pesisiran Pantai Timur Negeri Johor (Mersing dan Kota Tinggi) untuk unjuran tahun 2030 di Rajah 3-7, data pada Jadual 3-10 menunjukkan profil risiko yang berbeza. Keluasan terjejas di Pantai Timur 23.88 km² adalah jauh lebih kecil berbanding Pantai Barat 800 km². Hal ini disebabkan oleh topografi Pantai Timur yang secara umumnya lebih curam dan berpasir, berbanding Pantai Barat yang landai dan berselut.

Jadual 3-10: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2030

Parameter	Senario (RCP 4.5) Sederhana/Stabil	Senario (RCP 8.5) Tinggi (<i>Business-as-usual</i>)	Perbezaan
Jumlah Kawasan Terjejas 2030	23.88 km ²	23.88 km ²	0 km ²

Walaupun keluasan inundasi statik adalah kecil, Pantai Timur menghadapi ancaman lebih besar daripada faktor dinamik seperti pusuan ribut (*storm surge*) dan ombak besar semasa Monsun Timur Laut yang boleh mencecah melebihi 1.8 meter. Daerah Mersing sering menjadi lokasi pertama yang terjejas akibat banjir kompaun.

3.4.6 Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2050-Pantai Timur



Rajah 3-8: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Timur Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2050.

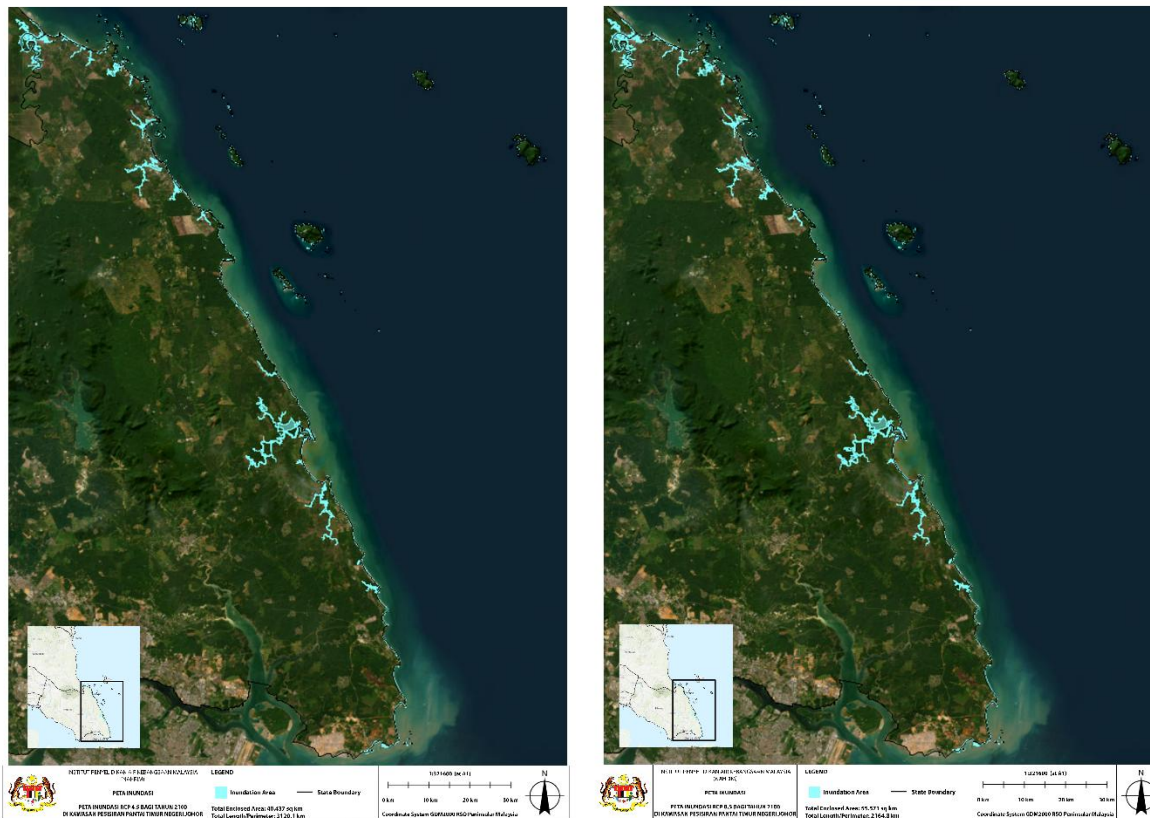
Rajah 3-8 menunjukkan bahawa pencerobohan air laut di Pantai Timur Johor mempunyai profil yang berbeza berbanding Pantai Barat. Keluasan kawasan terjejas adalah lebih kecil secara statistik, namun menunjukkan trend peningkatan yang konsisten. Jadual 3-10: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2030 menunjukkan jumlah kawasan yang terjejas untuk tahun 2100.

Jadual 3-11: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2050

Parameter	Senario (RCP 4.5) Sederhana/Stabil	Senario (RCP 8.5) Tinggi (<i>Business-as-usual</i>)	Perbezaan
Jumlah Kawasan Terjejas 2050	27.04 km ²	28.02 km ²	4.14 km ²

Menjelang 2050, senario RCP 8.5 mula menunjukkan impak yang lebih buruk dengan tambahan keluasan sebanyak 4.143 km² (peningkatan ~17.3% berbanding 2030).

3.4.7 Kawasan Risiko Banjir Pantai di Negeri Johor 2100-Pantai Timur



Rajah 3-9: Peta Inundasi bagi Kawasan Pesisiran Pantai Timur Negeri Johor, dengan senario Iklim RCP 4.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan sederhana)-Kiri & senario Iklim RCP 8.5 (Laluan Kepekatan Perwakilan Tinggi) untuk unjuran tahun 2100.

Berdasarkan analisis visual dan data statistik bagi unjuran tahun 2100, Pantai Timur Johor menunjukkan lonjakan risiko yang sangat drastik di penghujung abad ini seperti yang ditunjukkan di Rajah 3-9.

Jadual 3-12: Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir 2100

Parameter	Senario (RCP 4.5) Sederhana/Stabil	Senario (RCP 8.5) Tinggi (<i>Business-as-usual</i>)	Perbezaan
Jumlah Kawasan Terjejas 2100	40.44 km ²	55.60km ²	15.16 km ²

Menjelang tahun 2100 (RCP 8.5), keluasan kawasan terjejas dijangka meningkat hampir dua kali ganda berbanding tahun 2050, iaitu daripada 28.026 km² kepada 55.60 km². Ini menunjukkan pencerobohan air laut akan memecut secara ekstrem dalam fasa separuh kedua abad ke-21. Kawasan Bandar Mersing, muara Sungai Sedeli Besar, dan pesisiran pantai Desaru diunjurkan mengalami kehilangan garis pantai yang signifikan. Walaupun jumlah keluasan 55.60 km² nampak kecil berbanding Pantai Barat, impak sosio-ekonominya tinggi kerana melibatkan pusat pelancongan antarabangsa dan infrastruktur kritikal daerah.

3.4.8 Ancaman Monsun Dan Pusuan Ribut di Pantai Timur Johor

Pantai timur Johor, terutamanya daerah Mersing dan Kota Tinggi, menghadapi ancaman banjir pantai yang dipacu oleh Monsun Timur Laut (MTL). Semasa MTL, angin kencang dari Laut China Selatan menyebabkan pusuan ribut yang boleh meningkatkan aras laut secara mendadak. Berbeza dengan Selangor dan Johor Barat, banjir pantai di Johor Timur sangat dipengaruhi oleh pusuan ribut (*storm surge*). Unjuran menunjukkan ketinggian pusuan ribut boleh mencecah sehingga 1.8 meter di sepanjang Laut China Selatan akibat perubahan tekanan atmosfera dan angin kencang MTL.

Risiko banjir pantai di sini sering bertembung dengan hujan lebat luar biasa di hulu sungai, menyebabkan kesan "*backwater*" di mana air sungai tidak dapat mengalir keluar ke laut. Mersing sering menjadi daerah pertama di Johor yang terjejas apabila hujan lebat berterusan bertembung dengan air pasang perbani. Analisis data menunjukkan bahawa unjuran kenaikan aras

laut di pantai timur Semenanjung adalah lebih tinggi sedikit berbanding pantai barat, dengan anggaran mencapai 0.71 meter atau lebih tinggi dalam senario RCP 8.5. Kawasan seperti Kampung Baru Air Tawar dan penempatan di sekitar bandar Mersing memerlukan strategi adaptasi jangka panjang yang melibatkan peninggian ban dan sistem amaran awal yang lebih efektif.

3.4.9 Kawasan Berisiko Tinggi (Hotspots) di Pantai Timur

Walaupun keluasan kawasan terjejas adalah kecil, impak fizikal di lokasi tertentu adalah sangat kritikal disebabkan faktor dinamik seperti ombak besar dan pusuan ribut.

- **Daerah Mersing (Bandar Mersing & Kg. Baru Air Tawar):** Mersing merupakan kawasan paling rentan di Pantai Timur Johor. Peta menunjukkan pencerobohan air laut yang meluas di muara sungai dan kawasan penempatan nelayan. Lokasi ini sering menjadi daerah pertama di Johor yang terjejas semasa Monsun Timur Laut (MTL).
- **Daerah Kota Tinggi (Tanjung Sedeli & Desaru):** Kawasan muara Sungai Johor dan muara Sungai Sedeli menunjukkan pendedahan tinggi. Pusuan ribut (*storm surge*) diunjurkan boleh mencecah melebihi 1 meter di stesen-stesen pesisir pantai ini, yang meningkatkan risiko banjir pantai secara mendadak.

Jadual 3-13: Perbandingan Jumlah Kawasan Terjejas & Risiko Banjir bagi RCP 4.5 & RCP 8.5 dan Tahun

No	Senario Iklim	Tahun	Jumlah Kawasan Terjejas (km ²)	Perbezaan Keluasan Kawasan Terjejas (km ²)
1	RCP 4.5	2030	23.88	-
		2050	27.04	3.16
		2100	40.44	13.4

No	Senario Iklim	Tahun	Jumlah Kawasan Terjejas (km ²)	Perbezaan Keluasan Kawasan Terjejas (km ²)
2	RCP 8.5	2030	23.88	-
		2050	28.02	4.14
		2100	55.60	27.58

Jadual 3-13 menunjukkan analisis perbandingan menunjukkan bahawa Negeri Selangor dan Johor sedang menuju ke arah krisis fizikal yang memecut selepas tahun 2050. Walaupun data awal (2030) bagi Pantai Timur Johor menunjukkan impak yang stabil, unjuran tahun 2100 mendedahkan risiko kehilangan daratan yang berlipat ganda di Mersing dan Kota Tinggi. Fenomena pencantuman zon banjir pada tahun 2100 di bawah senario RCP 8.5 menandakan ancaman inundasi kekal yang lebih mendalam. Pihak berkuasa disarankan menggunakan peta unjuran 2100 RCP 8.5 sebagai asas mandatori dalam setiap kelulusan projek pembangunan pesisir pantai bagi menjamin keselamatan rakyat dan kelestarian ekonomi negara.

3.4.10 Langkah Adaptasi Struktur (Hard Engineering)

Pendekatan struktur melibatkan pembinaan kemudahan kejuruteraan untuk melindungi daratan daripada pencerobohan air laut. Di Selangor, peruntukan sebanyak RM 556.6 juta telah diluluskan kepada JPS Selangor, di mana 44% daripadanya adalah untuk pembangunan projek tebatan banjir.

Antara langkah struktur utama yang dilaksanakan termasuk:

- **Peningkatan Aras Ban Pantai:** Menaik taraf ban tanah sedia ada kepada struktur yang lebih tinggi dan stabil menggunakan lapisan batu (*rock revetment*) untuk menahan tindakan ombak.
- **Pembinaan Tembok Penahan Banjir (Flood Walls):** Di kawasan bandar yang padat di mana ruang adalah terhad, tembok konkrit dibina untuk menghalang limpahan air laut.

- **Barrage Dan Pintu Air:** Pembinaan struktur kawalan air di muara sungai utama untuk menghalang air pasang daripada masuk ke hulu sungai sambil membenarkan air sungai mengalir keluar semasa air surut.
- **Sistem Pam Banjir (SPB):** Pemasangan rumah pam berkapasiti tinggi untuk mengepam air keluar dari kawasan rendah yang terperangkap semasa kejadian air pasang besar.

3.4.11 Penyelesaian Berasaskan Alam Semulajadi (Nature-Based Solutions)

NAHRIM sangat menekankan kepentingan pemuliharaan hutan bakau sebagai benteng pertahanan semulajadi yang pertama (*first line of defense*). Pokok bakau mempunyai keupayaan unik untuk melesapkan tenaga ombak dan memerangkap sedimen, seterusnya membolehkan aras dasar pantai meningkat secara semulajadi seiring dengan kenaikan aras laut.

Inisiatif penanaman bakau sedang giat dijalankan di pesisiran pantai Selangor dan Johor Barat. Walau bagaimanapun, pemilihan lokasi adalah kritikal dengan mengambilkira faktor-faktor seperti kekuatan arus, kadar hakisan sedia ada, dan kualiti sedimen perlu dinilai melalui Jawatankuasa Khas Penilaian Tapak Cadangan Penanaman Bakau. Selain bakau, pemulihan padang rumput laut (*seagrass*) dan terumbu karang juga menyumbang kepada kestabilan ekosistem pantai dan pengurangan risiko banjir.

3.4.12 Pengurusan Pesisiran Pantai Bersepadu (ISMP)

Langkah jangka panjang yang paling berkesan adalah melalui pelaksanaan Pelan Pengurusan Pesisiran Pantai Bersepadu (*Integrated Shoreline Management Plan - ISMP*). ISMP menyediakan kerangka perancangan guna tanah yang mengambil kira semua aktiviti sektoral termasuk ekonomi, sosial, dan alam sekitar.

Matlamat utama ISMP adalah untuk:

- Mengelakkan pembangunan baru di kawasan yang mempunyai risiko banjir pantai yang tinggi.
- Mewujudkan zon penampungan (*buffer zones*) antara garis pantai dan kawasan penempatan.
- Mengintegrasikan unjuran kenaikan aras laut ke dalam undang-undang kecil bangunan tempatan, seperti keperluan peninggian aras platform minimum.

Hingga kini, ISMP bagi negeri Johor sedang dalam proses penyediaan, manakala Selangor terus menambah baik strategi pengurusan zon pantainya melalui Kajian Pelan Induk Tebatan Banjir (IFMP) dan Pelan Induk Saliran Mesra Alam (PISMA).

Kesimpulan Dan Cadangan Tindakan Strategik

Analisis risiko banjir pantai bagi negeri Selangor dan Johor menunjukkan bahawa ancaman kenaikan aras laut dan fenomena cuaca ekstrem adalah cabaran keselamatan negara yang memerlukan tindakan segera dan bersepadu. Dengan unjuran kenaikan aras laut yang mencecah 0.71 meter menjelang 2100, kawasan-kawasan rendah di Klang, Sabak Bernam, Batu Pahat, dan Mersing berada dalam risiko inundasi kekal dan bencana banjir pantai yang lebih kerap.

Kejadian air pasang besar yang direkodkan pada tahun 2024 di Kapar, Selangor, di mana aras air laut mengatasi ramalan astronomi, merupakan isyarat jelas bahawa pemodelan risiko perlu sentiasa dikalibrasi dengan data dinamik semasa. Selain itu, fenomena "*weather whiplash*" yang diunjurkan bagi tahun 2026 menuntut kesiapsiagaan yang lebih tinggi dalam menghadapi kejadian hujan lebat luar biasa yang boleh bertembung dengan air pasang besar.

3.4.13 Cadangan Tindakan:

1. **Penyeragaman Data Unjuran:** Semua agensi perancangan negeri dan persekutuan perlu menggunakan satu set data unjuran aras laut

yang seragam daripada NAHRIM (seperti unjuran 2100 di bawah RCP 8.5) sebagai asas kelulusan projek pembangunan pesisir pantai.

2. **Penaiktarafan Ban Pantai Secara Progresif:** Fokus perlu diberikan kepada peninggian aras ban di kawasan pertanian Sabak Bernam dan kawasan perindustrian Klang untuk menampung unjuran kenaikan aras laut bagi 50 tahun akan datang.
3. **Pemeriksaan Sistem Amaran Awal:** Memperluas rangkaian stesen pemantauan aras laut dan sistem amaran banjir pantai (PRAB) yang dapat memberikan notifikasi masa nyata kepada komuniti berisiko melalui aplikasi mudah alih.
4. **Integrasi Strategi Adaptasi Hijau:** Mewajibkan pemuliharaan zon bakau dalam setiap projek tebus guna tanah atau pembangunan pesisir pantai sebagai langkah penampan semulajadi yang kos efektif.
5. **Pelaburan Dalam R&D:** Terus menyokong kajian NAHRIM dalam pemodelan fizikal angkutan sedimen dan analisis kerentanan pelbagai kriteria untuk memastikan setiap sen peruntukan mitigasi dibelanjakan di kawasan yang paling memberikan impak perlindungan tertinggi.

Melalui pelaksanaan strategi yang berteraskan data dan sains, Selangor dan Johor mampu membina daya tahan (*resilience*) yang kukuh terhadap ancaman banjir pantai, sekali gus menjamin keselamatan rakyat dan kestabilan ekonomi negara bagi generasi akan datang.

4. LAPORAN ANALISIS TABURAN HUJAN

Perubahan iklim global telah menyebabkan perubahan terhadap corak hujan dan sistem cuaca di Malaysia termasuk peningkatan kejadian hujan ekstrem serta ketidakpastian musim monsun. Keadaan ini memberi kesan langsung terhadap risiko banjir darat, banjir kilat dan gangguan kepada infrastruktur serta aktiviti ekonomi terutama di kawasan bandar dan kawasan pembangunan pesat.

Analisis corak taburan hujan dijalankan bagi mengenal pasti kawasan yang berpotensi menerima hujan tinggi semasa Monsun Timur Laut (MTL) di Negeri Selangor, Negeri Johor dan Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur.

Analisis ini menggunakan data unjuran hujan daripada model iklim NAHRIM. Pendekatan Sistem Maklumat Geografi (GIS) digunakan bagi menghasilkan pemetaan spatial taburan hujan dan mengenal pasti kawasan berisiko tinggi berdasarkan intensiti hujan yang dijangkakan.

Kajian ini memberi fokus kepada:

- Corak taburan hujan semasa Monsun Timur Laut (Disember – Mac)
- Kawasan yang berpotensi menerima hujan tinggi;
- Perubahan intensiti hujan berdasarkan unjuran iklim;
- Analisis spatial kawasan berisiko banjir.

Hasil analisis ini dapat membantu dalam memahami trend perubahan hujan masa hadapan serta menyokong perancangan pengurusan risiko banjir dan adaptasi perubahan iklim.

4.1 Metodologi Analisis Taburan Hujan

Analisis corak taburan hujan ini dijalankan menggunakan pendekatan analisis spatial dan pemetaan GIS. Kaedah ini membolehkan data unjuran hujan dianalisis secara visual dan kuantitatif bagi mengenal pasti kawasan yang berpotensi menerima hujan tinggi.

4.1.1 Sumber Data

Bagi menjalankan analisis, data-data seperti data hujan, data persempadanan dan lain-lain bagi memodelkan unjuran hujan tersebut. Jadual 4-1 menunjukkan sumber data yang digunakan dalam analisis ini.

Jadual 4-1: Sumber Data Kajian

Bil	Jenis Data	Sumber
1	Data sempadan negeri dan daerah	JUPEM
2	Data unjuran hujan	NAHRIM / Model Iklim

4.1.2 Data Unjuran Hujan NAHRIM

Data unjuran hujan yang digunakan dalam kajian ini diperoleh daripada model iklim yang dibangunkan oleh NAHRIM. Data ini mengandungi unjuran taburan hujan harian, bulanan dan tahunan mengikut senario.

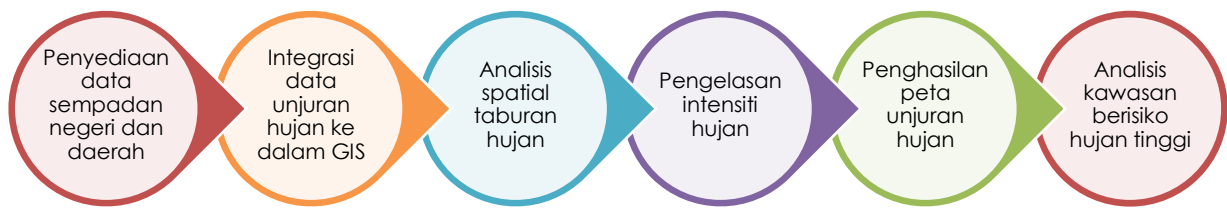
Unjuran hujan dianalisis berdasarkan:

- Monsun Timur Laut (MTL)
- Senario perubahan iklim

Data ini digunakan bagi mengenal pasti perubahan intensiti hujan dan kawasan yang berpotensi menerima hujan tinggi semasa musim monsun.

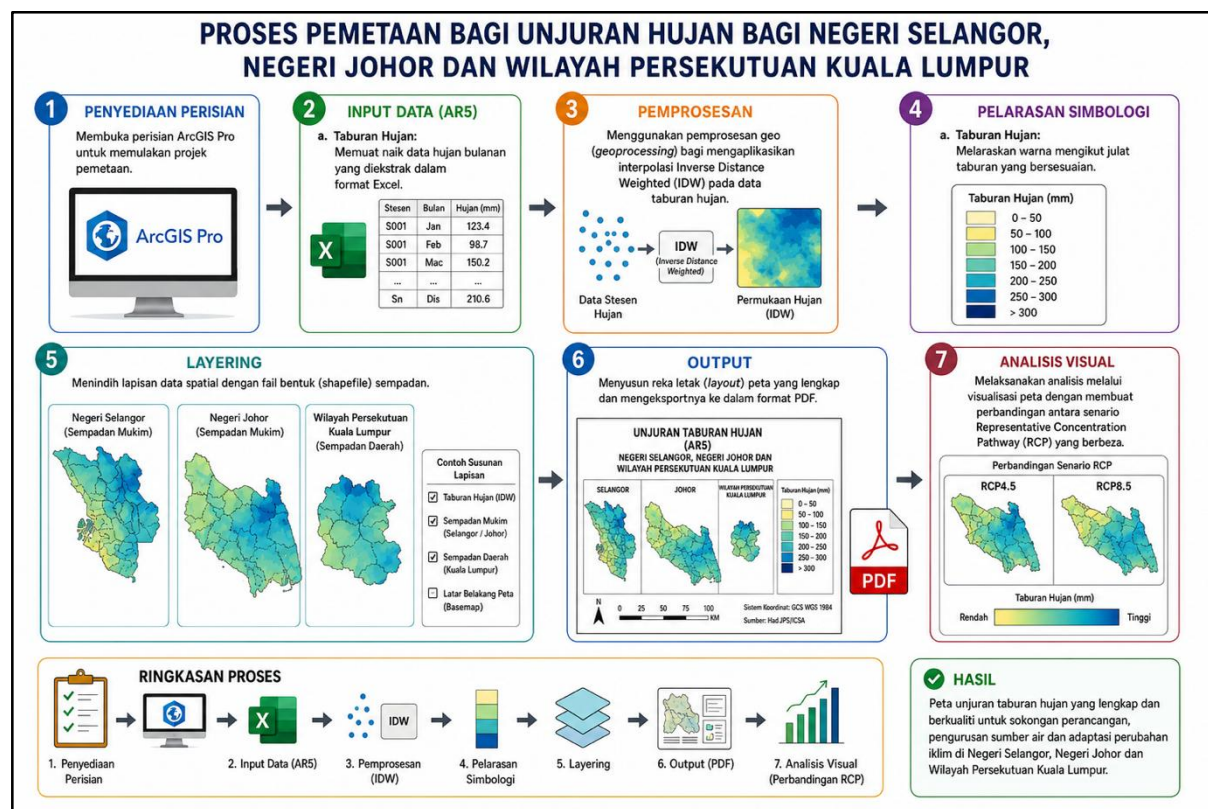
4.1.3 Analisis GIS dan Pemetaan

Analisis spatial dan pemetaan dijalankan menggunakan perisian ArcGIS Pro melalui beberapa peringkat utama seperti ditunjukkan dalam Rajah 4-1: Proses Analisis GIS Pemetaan Peta dan Rajah 4-2 berikut:



Rajah 4-1: Proses Analisis GIS Pemetaan Peta

Peta yang dihasilkan menunjukkan taburan spatial hujan serta kawasan yang berpotensi menerima hujan tinggi berdasarkan musim monsun dan unjuran iklim bagi tempoh 2026 hingga 2027.



Rajah 4-2: Proses Pemetaan bagi Unjuran Hujan bagi Negeri Selangor, Negeri Johor dan Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur.

Walaupun unjuran model menunjukkan trend perubahan taburan dan intensiti hujan, ketidakpastian unjuran iklim masih dipengaruhi oleh sensitiviti model iklim, variasi atmosfera semula jadi, faktor topografi tempatan serta perubahan pelepasan gas rumah hijau global pada masa hadapan.

Oleh itu, hasil unjuran ini perlu ditafsir sebagai petunjuk trend perubahan iklim dan digunakan sebagai sokongan dalam perancangan adaptasi,

pengurusan risiko serta pembangunan berdaya tahan iklim. Penggunaan data tambahan yang lain adalah penting bagi membantu menyokong perancangan yang lebih komprehensif dan kolektif seperti data guna data, data taburan aset/infrastruktur dan lain-lain data yang bernilai untuk digunakan dalam menyokong perancangan adaptasi risiko banjir.

4.2 Analisis Taburan Hujan Monsun Timur Laut (MTL)

Monsun Timur Laut (MTL) secara lazimnya bermula dari November hingga Mac. Berdasarkan peta unjuran iklim untuk semua senario RCP (2.6, 4.5, 6.0 dan 8.5), musim ini menunjukkan potensi peningkatan intensiti hujan yang signifikan terutama semasa kemuncak monsun.

4.2.1 Analisis Taburan Hujan Negeri Selangor (2026-2027)

4.2.1.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Peta unjuran bagi tempoh November 2026 hingga Mac 2027 bagi negeri Selangor menunjukkan ancaman "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) yang sangat tinggi dan menyeluruh pada awal musim monsun. Bulan November 2026 direkodkan sebagai fasa paling kritikal di mana hampir keseluruhan daerah termasuk Sabak Bernam, Kuala Selangor, Klang, Petaling, Sepang, Hulu Langat, Gombak, dan Hulu Selangor diunjurkan menerima hujan berintensiti ekstrem melebihi 250 mm secara serentak merentasi semua senario RCPs.

Kawasan pedalaman dan timur Selangor seperti Hulu Selangor, Gombak, dan Hulu Langat dikenal pasti sebagai zon paling rentan. Kawasan-kawasan ini secara konsisten mengekalkan unjuran taburan hujan yang tinggi (melebihi 200 mm hingga 250 mm) bagi tempoh yang lebih panjang, iaitu berlarutan sehingga Januari 2027.

Walaupun bulan Februari dan Mac 2027 menunjukkan penurunan ketara taburan hujan (majoriti menyusut kepada julat 50 mm hingga 150 mm), risiko insiden banjir di Selangor tidak boleh dipandang ringan. Kawasan

bandar berkepadatan tinggi dan pesisir pantai kekal terdedah kepada risiko banjir kilat sekiranya hujan sederhana bertembung dengan isu kapasiti sistem saliran bandar atau fenomena air pasang laut.

4.2.1.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini memaparkan fasa permulaan monsun yang amat agresif ke atas seluruh negeri, diikuti dengan pengecilan zon hujan yang berperingkat:

- **Fasa Ekstrem Awal dan Meluas (Nov 2026)**

Selangor diunjurkan mengalami permulaan musim monsun yang sangat ekstrem. Pada bulan November 2026, purata hujan tertinggi (>250 mm) mendominasi hampir 100% keluasan negeri tanpa mengira lokasi pesisir pantai mahupun pedalaman (rujuk Rajah 4-3).

- **Fasa Peralihan Zon (Dis 2026 - Jan 2027)**

Keamatan hujan ekstrem mula menunjukkan corak peralihan geografi. Hujan di daerah pesisir pantai barat seperti Sabak Bernam, Kuala Selangor, dan Klang mula menyusut secara berperingkat ke paras 150 mm hingga 200 mm. Namun, hujan lebat melebihi 200 mm kekal tertumpu di kawasan tanah tinggi dan pedalaman timur Selangor.

- **Fasa Penurunan Drastik (Feb - Mac 2027)**

Berlaku peralihan ketara kepada cuaca yang lebih kering dan terkawal. Menjelang bulan Februari dan Mac 2027, corak taburan hujan di seluruh Selangor jatuh kepada julat sederhana rendah secara seragam (majoritinya 50 mm hingga 150 mm), menandakan fasa reda bagi musim monsun tersebut.

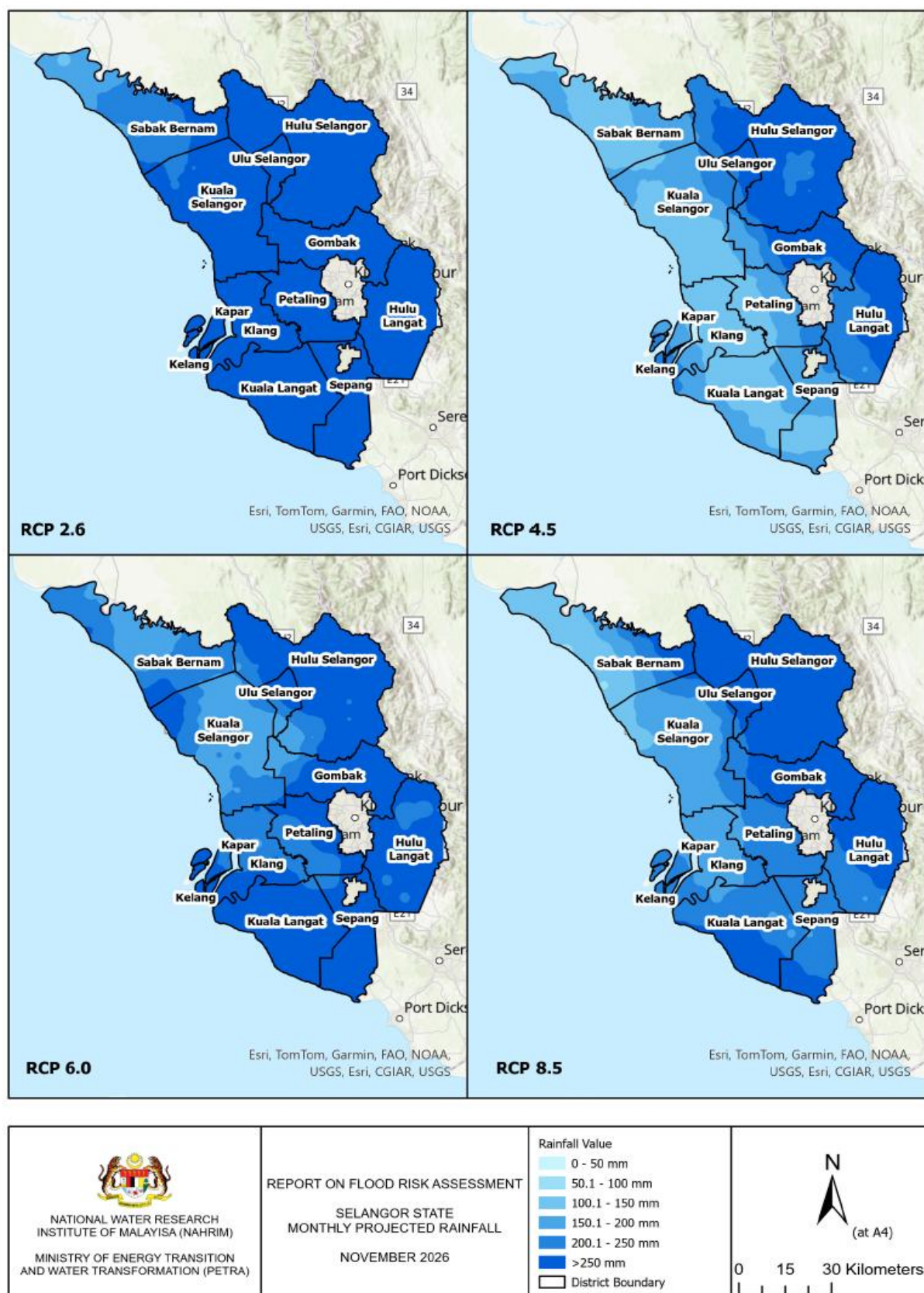
4.2.1.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca sepanjang tempoh kajian, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2026 hingga

Mac 2027. Jadual 4-2 di bawah merumuskan fasa krisis berskala besar pada awal musim sebelum ia beransur reda.

Jadual 4-2: Analisis Bulanan Nov 2026 – Mac 2027 untuk Selangor

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2026	Fasa paling ekstrem. Hampir keseluruhan daerah dilanda hujan lebat luar biasa (>250 mm) merentasi ke semua senario RCP.	Keseluruhan negeri Selangor
Dis 2026	Keamatan hujan berkurangan sedikit di pesisir pantai barat (150–200 mm). Hujan >250 mm kekal mendominasi kawasan timur dan tengah.	Hulu Selangor, Gombak, Hulu Langat, Petaling
Jan 2027	Keamatan hujan beransur reda. Majoriti kawasan berada dalam julat 150–200 mm, namun tompokan berisiko tinggi masih dikesan di pedalaman timur.	Hulu Selangor, Gombak, Hulu Langat
Feb 2027	Penurunan taburan hujan secara drastik yang seragam. Kebanyakan daerah merekodkan bacaan antara 100–150 mm.	Pemantauan am
Mac 2027	Taburan hujan kekal pada tahap sederhana hingga rendah. Keseluruhan negeri mencatatkan purata taburan antara 50–150 mm.	Pemantauan am



Rajah 4-3: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Selangor pada November 2026

4.2.2 Analisis Taburan Hujan Negeri Selangor (2027-2028)

4.2.2.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Unjuran bagi tempoh November 2027 hingga Mac 2028 memaparkan ancaman "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) yang sangat ekstrem, meluas, dan berpanjangan ke atas seluruh negeri Selangor pada fasa awal dan pertengahan musim.

Berbeza dengan corak peralihan yang biasa, bulan November dan Disember 2027 direkodkan sebagai fasa paling kritikal di mana 100% kawasan negeri Selangor diunjurkan menerima hujan berintensiti maksimum melebihi 250 mm. Ini bermakna kesemua daerah termasuk Sabak Bernam, Kuala Selangor, Klang, Petaling, Sepang, Kuala Langat, Hulu Langat, Gombak, dan Hulu Selangor berisiko tinggi menghadapi bencana banjir berskala besar merentasi semua senario RCPs.

Lebih membimbangkan, corak hujan ekstrem ini tidak segera reda, sebaliknya berlarutan sehingga bulan Januari 2028 terutamanya bagi senario pelepasan yang lebih tinggi (RCP 4.5, RCP 6.0, dan RCP 8.5). Kapasiti sistem saliran bandar dan lembangan sungai di seluruh negeri berkemungkinan besar berdepan tekanan luar biasa akibat tempoh hujan lebat yang berpanjangan ini.

Walau bagaimanapun, risiko hujan ekstrem ini berakhir secara mendadak apabila melangkah ke bulan Februari dan Mac 2028, di mana keseluruhan negeri merekodkan penurunan taburan hujan kepada julat yang jauh lebih rendah (0 hingga 100 mm).

4.2.2.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini menunjukkan fasa monsun yang amat agresif dan berpanjangan, diikuti dengan peralihan drastik kepada cuaca yang kering:

- **Fasa Ekstrem Awal dan Menyeluruh (Nov - Dis 2027)**

Selangor diunjurkan mengalami musim monsun yang sangat ekstrem bermula seawal November. Purata hujan tertinggi (>250 mm) mendominasi hampir keseluruhan keluasan negeri secara seragam. Corak intensiti maksimum ini kekal statik dan terus melanda seluruh pelosok daerah sepanjang bulan Disember 2027 tanpa sebarang tanda-tanda penyusutan (rujuk Rajah 4-4).

- **Fasa Lanjutan Ekstrem (Jan 2028)**

Keamatan hujan lebat (>250 mm) terus mendominasi sebahagian besar negeri Selangor, mengekalkan risiko banjir pada tahap kritikal. Walaupun terdapat sedikit penyusutan taburan hujan di daerah pesisir pantai utara seperti Sabak Bernam pada senario RCP 2.6, senario-senario lain mengekalkan liputan ekstrem yang meluas.

- **Fasa Kering Mendadak (Feb - Mac 2028)**

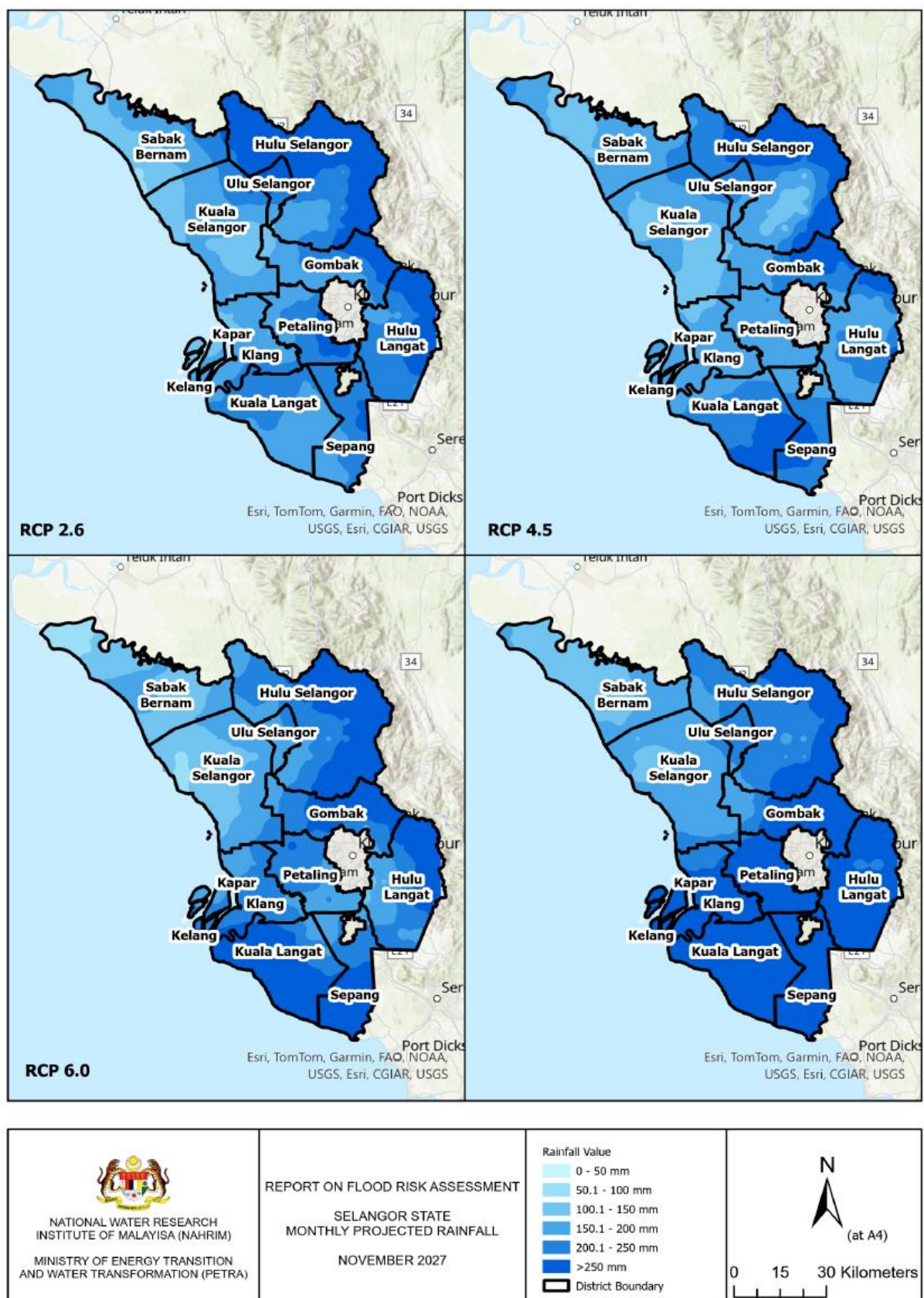
Berlaku peralihan iklim yang sangat drastik daripada cuaca ekstrem basah kepada cuaca kering. Menjelang bulan Februari 2028, taburan hujan di seluruh Selangor menyusut menjunam kepada paras 0 hingga 100 mm. Corak kering ini berterusan dan menjadi lebih seragam pada paras 0 hingga 50 mm menjelang Mac 2028.

4.2.2.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca sepanjang tempoh kajian, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2027 hingga Mac 2028. Jadual 4-3 merumuskan fasa krisis yang berpanjangan selama tiga bulan berturut-turut sebelum ia beralih kepada fasa kering secara mengejut.

Jadual 4-3: Analisis Bulanan Nov 2027 – Mac 2028 untuk Selangor

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2027	Fasa permulaan yang sangat ekstrem. Seluruh negeri dilanda hujan lebat luar biasa (>250 mm) secara seragam merentasi kesemua senario RCP.	Keseluruhan negeri Selangor (Risiko banjir berskala besar)
Dis 2027	Keamatan hujan ekstrem (>250 mm) kekal mendominasi 100% kawasan negeri tanpa sebarang penyusutan.	Keseluruhan negeri Selangor
Jan 2028	Keamatan hujan >250 mm berlarutan dan kekal meluas, terutamanya pada senario RCP 4.5, 6.0 dan 8.5. Tanah dijangka sangat tepu.	Hampir keseluruhan negeri Selangor
Feb 2028	Penurunan drastik menandakan berakhirnya fasa basah secara mengejut. Hampir seluruh negeri mencatatkan taburan pada paras 0–100 mm sahaja.	Pemantauan am (Risiko banjir menurun secara mendadak)
Mac 2028	Taburan hujan kekal pada tahap paling minimum. Keseluruhan negeri menunjukkan purata hujan antara 0–50 mm.	Pemantauan am



Rajah 4-4: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Selangor pada November 2027

4.2.3 Analisis Taburan Hujan Negeri Selangor (2030-2031)

4.2.3.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Peta unjuran bagi tempoh November 2030 hingga Mac 2031 merekodkan ancaman "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) yang sangat ekstrem dan berpanjangan pada fasa awal dan pertengahan musim monsun.

Bagi bulan November dan Disember 2030, hampir 100% kawasan di negeri Selangor diunjurkan menerima taburan hujan pada intensiti maksimum melebihi 250 mm. Ini bermakna kesemua daerah termasuk Sabak Bernam, Kuala Selangor, Klang, Petaling, Sepang, Kuala Langat, Hulu Langat, Gombak, dan Hulu Selangor berdepan risiko banjir berskala besar merentasi semua senario RCPs.

Kawasan pedalaman dan timur Selangor seperti Hulu Selangor, Gombak, dan Hulu Langat menunjukkan tahap kerentanan yang lebih kritikal kerana corak hujan ekstrem (>250 mm) di zon ini terus berlarutan sehingga bulan Januari 2031, walaupun daerah lain mula mencatatkan sedikit penyusutan.

Walaupun taburan hujan merekodkan penurunan drastik kepada julat 50 mm hingga 150 mm menjelang Februari dan Mac 2031, keupayaan tanah yang dijangka telah tepu akibat hujan melampau selama tiga bulan berturut-turut mengekalkan risiko insiden lanjutan seperti banjir kilat dan pergerakan tanah di kawasan cerun.

4.2.3.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini menunjukkan fasa Monsun Timur Laut yang amat agresif pada awalnya, sebelum beralih kepada fasa penurunan yang mendadak:

- **Fasa Ekstrem Awal dan Berpanjangan (Nov - Dis 2030)**

Monsun bermula dengan sangat ekstrem di mana purata hujan tertinggi (>250 mm) mendominasi hampir keseluruhan keluasan negeri secara seragam seawal bulan November 2030. Corak intensiti maksimum ini terus kekal melanda seluruh Selangor sepanjang bulan Disember 2030 tanpa sebarang tanda-tanda penyusutan ketara (rujuk Rajah 4-5).

- **Fasa Peralihan Zon (Jan 2031)**

Keamatan hujan mula menunjukkan pengecilan zon ekstrem. Hujan di daerah pesisir pantai barat seperti Sabak Bernam dan Kuala Selangor mula menyusut ke paras 150 mm hingga 200 mm, manakala hujan lebat (>250 mm) kekal tertumpu di kawasan tanah tinggi dan pedalaman timur Selangor.

- **Fasa Penurunan Drastik (Feb - Mac 2031)**

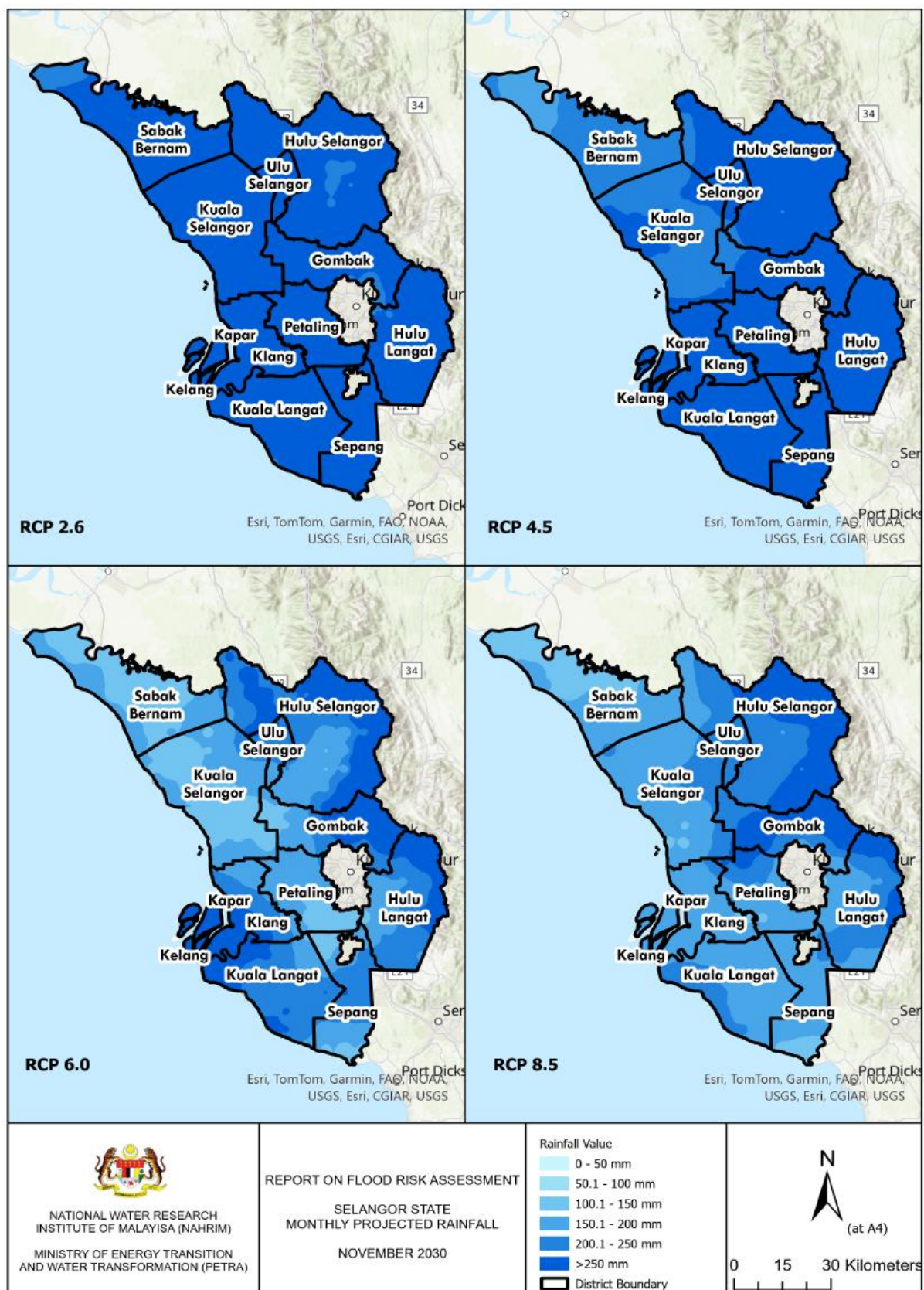
Berlaku peralihan iklim yang sangat drastik kepada cuaca yang lebih kering. Menjelang bulan Februari 2031, taburan hujan di seluruh pelosok Selangor menyusut secara seragam dan mendadak kepada paras 50 mm hingga 150 mm. Corak sederhana rendah ini kekal stabil sehingga bulan Mac 2031, menamatkan fasa basah secara mengejut.

4.2.3.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca sepanjang tempoh kajian, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2030 hingga Mac 2031. Jadual 4-4 merumuskan fasa krisis yang berpanjangan pada tiga bulan pertama sebelum cuaca beralih reda secara mengejut.

Jadual 4-4: Analisis Bulanan Nov 2030 – Mac 2031 untuk Selangor

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2030	Fasa permulaan yang sangat ekstrem. Seluruh negeri dilanda hujan lebat luar biasa (>250 mm) secara seragam merentasi kesemua senario RCP.	Keseluruhan negeri Selangor (Risiko banjir berskala besar)
Dis 2030	Keamatan hujan ekstrem (>250 mm) kekal mendominasi hampir 100% kawasan negeri tanpa sebarang penyusutan ketara.	Keseluruhan negeri Selangor
Jan 2031	Hujan ekstrem mula berpusat di bahagian timur. Daerah pantai barat menunjukkan sedikit penyusutan ke julat 150–200 mm.	Hulu Selangor, Gombak, Hulu Langat
Feb 2031	Penurunan drastik menandakan berakhirnya fasa basah. Seluruh negeri mencatatkan kejatuhan taburan hujan kepada paras 50–150 mm sahaja.	Pemantauan am (Risiko banjir menurun)
Mac 2031	Taburan hujan kekal pada tahap sederhana rendah. Keseluruhan negeri menunjukkan corak stabil antara 50–150 mm.	Pemantauan am



Rajah 4-5: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Selangor pada November 2030

4.2.4 Analisis Taburan Hujan Negeri Selangor (2050-2051)

4.2.4.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Berdasarkan peta unjuran bagi tempoh November 2050 hingga Mac 2051, negeri Selangor bakal berdepan dengan ancaman "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) yang sangat ekstrem dan meluas pada fasa awal monsun.

Pada bulan November dan Disember 2050, hampir 100% kawasan di seluruh negeri diunjurkan menerima taburan hujan pada intensiti maksimum iaitu melebihi 250 mm. Ini bermakna kesemua daerah yang merangkumi Sabak Bernam, Kuala Selangor, Klang, Petaling, Sepang, Kuala Langat, Hulu Langat, Gombak, dan Hulu Selangor berisiko tinggi menghadapi bencana banjir berskala besar secara serentak merentasi semua senario RCPs.

Kawasan tanah tinggi dan pedalaman di bahagian timur Selangor seperti Hulu Selangor, Gombak, dan Hulu Langat menunjukkan tahap kerentanan yang lebih kritikal dan berpanjangan. Walaupun daerah-daerah di pesisir pantai mula merekodkan penurunan hujan menjelang Januari 2051, kawasan pedalaman ini terus mencatatkan unjuran hujan ekstrem melebihi 250 mm.

Walaupun corak hujan merekodkan kejatuhan drastik kepada julat 50 mm hingga 150 mm pada bulan Februari dan Mac 2051, risiko bencana sekunder tidak boleh diabaikan. Keupayaan dan struktur tanah yang dijangka telah tepu sepenuhnya akibat hujan melampau selama tiga bulan berturut-turut sebelum itu mengekalkan risiko pergerakan tanah di kawasan cerun serta kejadian banjir termenung.

4.2.4.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini memaparkan fasa Monsun Timur Laut yang amat agresif pada peringkat awal, sebelum beralih kepada fasa penurunan yang mendadak menjelang penghujung musim:

- **Fasa Ekstrem Awal dan Berpanjangan (Nov - Dis 2050)**

Musim monsun bermula dengan skala yang sangat ekstrem di mana purata hujan tertinggi (>250 mm) mendominasi hampir keseluruhan keluasan negeri seawal bulan November 2050. Corak intensiti maksimum dan seragam ini terus kekal membelenggu seluruh Selangor sepanjang bulan Disember 2050 tanpa sebarang tanda-tanda penyusutan (rujuk Rajah 4-6).

- **Fasa Peralihan Zon (Jan 2051)**

Menjelang awal tahun, keamatan hujan mula menunjukkan pengecilan zon ekstrem dari arah pantai. Hujan di daerah pesisir pantai barat seperti Sabak Bernam, Kuala Selangor, Klang, dan Kuala Langat mula menyusut ke paras 150 mm hingga 200 mm. Walau bagaimanapun, hujan lebat (>250 mm) masih kekal tertumpu di kawasan timur Selangor.

- **Fasa Penurunan Drastik (Feb - Mac 2051)**

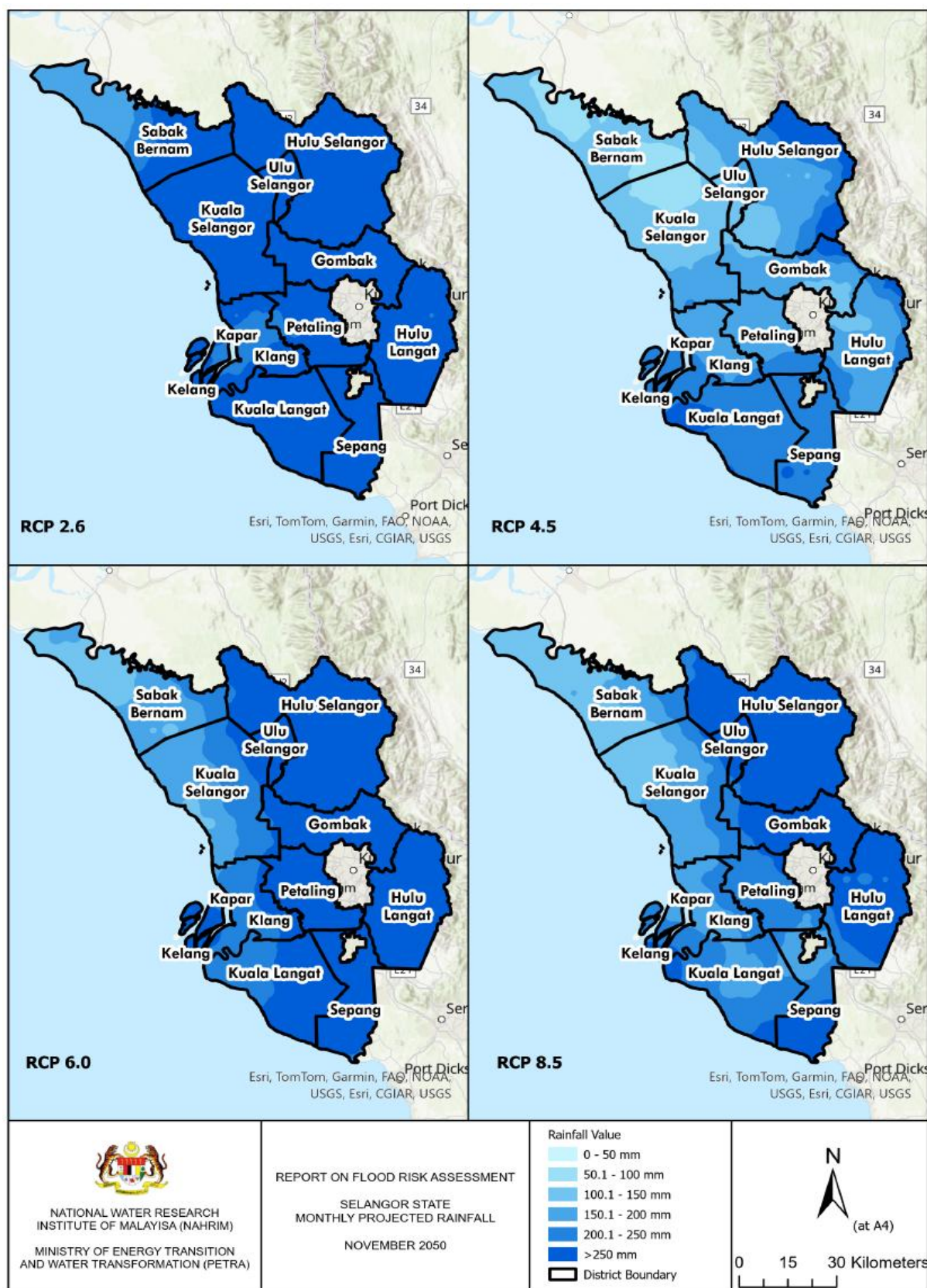
Berlaku peralihan iklim yang sangat drastik di mana cuaca bertukar menjadi jauh lebih kering. Pada bulan Februari 2051, taburan hujan di seluruh Selangor menyusut secara mendadak kepada paras 50 mm hingga 150 mm. Corak sederhana rendah ini kekal stabil sehingga bulan Mac 2051, sekaligus menamatkan fasa basah secara mengejut.

4.2.4.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca sepanjang tempoh kajian, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2050 hingga Mac 2051. Jadual 4-5 merumuskan fasa krisis yang menjejaskan seluruh negeri pada dua bulan pertama sebelum cuaca beransur pulih.

Jadual 4-5: Analisis Bulanan Nov 2050 – Mac 2051 untuk Selangor

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2050	Fasa permulaan yang sangat ekstrem. Seluruh negeri dilanda hujan lebat luar biasa (>250 mm) secara seragam merentasi kesemua senario RCP.	Keseluruhan negeri Selangor (Risiko banjir berskala besar)
Dis 2050	Keamatan hujan ekstrem (>250 mm) berlanjutan dan kekal mendominasi hampir 100% kawasan negeri tanpa penyusutan	Keseluruhan negeri Selangor
Jan 2051	Hujan ekstrem mula berpusat di zon timur. Daerah pantai barat menunjukkan penyusutan bertahap ke julat 150–200 mm.	Hulu Selangor, Gombak, Hulu Langat
Feb 2051	Penurunan drastik menandakan berakhirnya fasa basah yang ekstrem. Seluruh negeri mencatatkan kejatuhan taburan hujan kepada paras 50–150 mm.	Pemantauan am (Risiko banjir menurun secara mendadak)
Mac 2051	Taburan hujan kekal pada tahap sederhana rendah. Keseluruhan negeri menunjukkan corak stabil antara 50–150 mm.	Pemantauan am



Rajah 4-6: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Selangor pada November 2050

4.2.5 Analisis Taburan Hujan Johor (2026-2027)

4.2.5.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Negeri Johor menunjukkan tahap kerentanan yang tinggi terhadap peningkatan intensiti hujan semasa Monsun Timur Laut. Kawasan seperti Mersing, Kota Tinggi, Segamat dan Johor Bahru dikenal pasti berpotensi menerima hujan berintensiti tinggi secara berterusan.

Kawasan berisiko tinggi didapati beralih mengikut fasa peralihan monsun, namun secara konsistennya tertumpu di kawasan timur dan tenggara Johor.

Mersing dan Kota Tinggi merupakan kawasan paling rentan dan konsisten mencatatkan unjuran hujan yang tinggi (melebihi 150 mm hingga >250 mm) bermula dari November 2026 hingga Januari 2027.

Kluang/Keluang, Segamat, dan Johor Bahru merupakan kawasan berisiko tinggi secara bermusim, khususnya pada kemuncak fasa ekstrem dalam bulan Disember 2026 di mana taburan hujan diunjurkan melebihi 250 mm merentas hampir semua senario RCPs.

Walaupun bulan Februari dan Mac 2027 menunjukkan penurunan ketara taburan hujan (majoriti di bawah 100 mm), risiko banjir di kawasan timur masih boleh berlaku sekiranya kapasiti tanah telah tepu akibat hujan berterusan pada bulan-bulan sebelumnya.

Penting untuk ditekankan bahawa peta ini mengukur "bahaya hujan" (*rainfall hazard*). Kawasan barat seperti Muar dan Batu Pahat yang mencatatkan hujan lebih rendah masih berisiko banjir jika dipengaruhi oleh air pasang besar, limpahan sungai dari kawasan hulu, atau perparitan bandar yang lemah.

4.2.5.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Secara keseluruhan, wujudnya pola peralihan cuaca yang sangat jelas dari fasa basah (Nov-Jan) ke fasa kering (Feb-Mac):

- **Fasa Peningkatan (November 2026)**

Menunjukkan wujudnya pola peningkatan keamatan hujan dari kawasan barat laut menghala ke pesisir timur (Mersing dan Kota Tinggi), berfungsi sebagai amaran awal ketibaan monsun.

- **Fasa Ekstrem (Disember 2026)**

Corak taburan hujan paling meluas dan seragam pada tahap maksimum (>250 mm), terutamanya di bawah senario RCP 4.5 dan RCP 8.5. Bahagian timur, tenggara, dan pedalaman menjadi zon taburan hujan kritikal (rujuk Rajah 4-7).

- **Fasa Pemulihan (Januari 2027)**

Corak hujan ekstrem mula mengecil dan kembali tertumpu semata-mata di pesisir timur Johor, manakala bahagian barat laut seperti Segamat dan Muar mula mencatatkan penyusutan ke paras 50.1 - 150 mm.

- **Fasa Kering (Februari - Mac 2027)**

Taburan hujan menjunam secara drastik merentasi semua senario RCPs di mana hampir keseluruhan negeri merekodkan purata hujan yang sangat minimum (0 - 100 mm), menandakan penghujung musim tengkujuh.

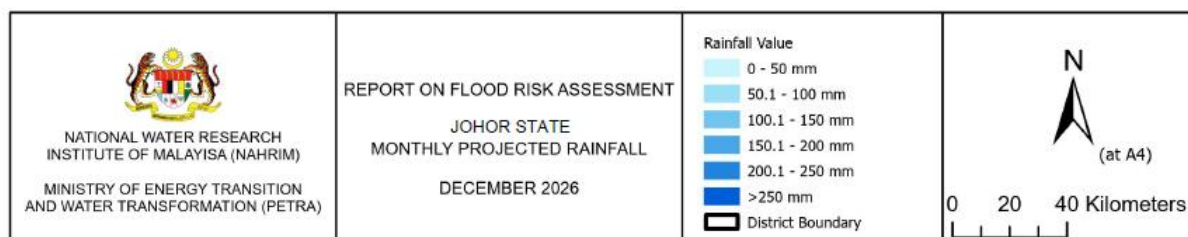
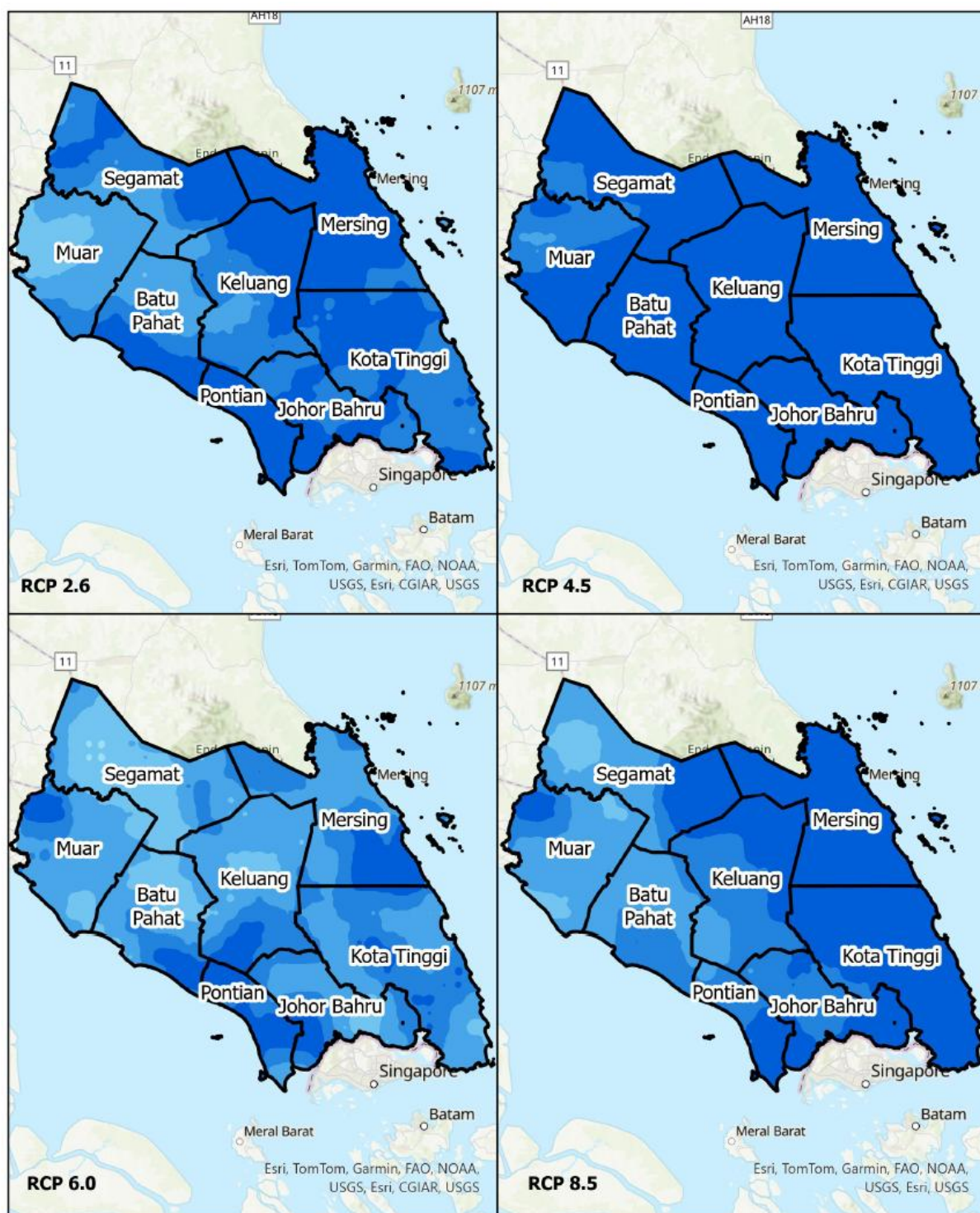
4.2.5.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca sepanjang tempoh kajian, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2026 hingga Mac 2027. Jadual 4-6 di bawah merumuskan fasa peningkatan intensiti hujan bermula pada awal peralihan monsun, mencapai kemuncak yang ekstrem

pada bulan Disember 2026, dan seterusnya beransur reda kepada fasa yang jauh lebih kering menjelang bulan Februari dan Mac 2027. Ringkasan ini turut mengenal pasti zon-zon kritikal yang memerlukan perhatian perancangan dan pemantauan khusus mengikut peralihan bulan.

Jadual 4-6: Analisis Bulanan Nov 2026 – Mac 2027 untuk Johor

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2026	Hujan mula tertumpu di zon timur dan tenggara. RCP 8.5 mula menunjukkan tompokan hujan >250 mm.	Mersing, Kota Tinggi
Dis 2026	Bulan paling ekstrem. Hampir seluruh kawasan timur, tengah, dan selatan dilanda hujan >250 mm, terutama bagi RCP 4.5 dan 8.5.	Mersing, Kota Tinggi, Kluang, Segamat, Johor Bahru, Pontian
Jan 2027	Keamatan hujan berkurangan di barat tetapi kekal sederhana tinggi hingga tinggi di bahagian timur merentasi semua senario.	Mersing, Kota Tinggi
Feb 2027	Cuaca kering bermula. Corak sangat seragam dengan hampir seluruh negeri mencatatkan hanya 0–100 mm.	Pemantauan am (Tiada kawasan kritikal ketara)
Mac 2027	Taburan hujan paling minimum direkodkan. Sebahagian besar daerah menunjukkan corak hujan serendah 0 –50 mm.	Pemantauan am (Fokus beralih kepada pemantauan bekalan air)



Rajah 4-7: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Johor pada Disember 2026

4.2.6 Analisis Taburan Hujan Johor (2027-2028)

4.2.6.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Berbeza dengan corak monsun kebiasaan, negeri Johor menunjukkan anomali cuaca yang sangat kering bagi tempoh November 2027 hingga Mac 2028. Tiada sebarang kawasan yang direkodkan berisiko tinggi mengalami hujan berintensiti ekstrem (melebihi 250 mm) merentasi semua senario RCPs sepanjang tempoh kajian ini.

Ketiadaan zon ekstrem ini amat ketara, terutamanya di kawasan pantai timur seperti Mersing dan Kota Tinggi yang kebiasaannya menjadi titik panas banjir monsun. Pada bulan yang lazimnya merupakan kemuncak Tengkujuh iaitu Disember 2027, daerah-daerah pesisir timur ini hanya mencatatkan taburan hujan pada paras sederhana rendah, iaitu majoritinya dalam julat 0 hingga 100 mm sahaja.

Bagi bulan November 2027, ketiadaan fasa peningkatan hujan yang signifikan direkodkan dengan kebanyakan kawasan hanya menerima hujan pada tahap 50.1 mm hingga 150 mm, tanpa sebarang tompokan biru gelap (>250 mm). Corak ini terus menyusut mendadak menjelang bulan Disember 2027, di mana kawasan barat laut dan barat seperti Segamat, Muar, dan Batu Pahat merekodkan hujan yang sangat minimum (0 hingga 50 mm) bagi beberapa senario seperti RCP 2.6 dan RCP 6.0.

Fasa kering yang berpanjangan ini menjadi semakin kritikal menjelang bulan Januari hingga Mac 2028. Menjelang bulan Mac 2028, seluruh pelosok daerah di negeri Johor diselubungi corak hujan paling minimum serendah 0 hingga 50 mm merentasi semua senario pelepasan, yang menandakan potensi risiko kemarau berbanding banjir.

Walaupun peta unjuran ini mengukur "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) pada tahap yang sangat rendah, pemantauan berterusan masih diperlukan. Kawasan pesisir pantai mungkin kekal rentan terhadap faktor topografi dan air pasang laut yang tidak dipengaruhi secara langsung oleh unjuran hujan ini,

manakala fokus strategik secara keseluruhannya perlu dialihkan kepada persediaan menghadapi potensi penyusutan bekalan air.

4.2.6.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini memaparkan anomali cuaca yang sangat kering, yang mungkin menandakan unjuran fenomena kemarau atau El Niño:

- **Ketiadaan Fasa Ekstrem (Nov - Dis 2027)**

Musim Tengkujuh (Timur Laut) yang sepatutnya membawa hujan lebat tidak kelihatan di dalam model unjuran ini. Taburan hujan kekal seragam pada tahap yang rendah merentasi hampir semua daerah dan senario pelepasan RCPs.

- **Kawasan Barat Lebih Kering**

Kawasan barat dan utara seperti Muar, Batu Pahat, dan Segamat menunjukkan corak yang sangat kering seawal Disember 2027 dengan majoriti kawasan merekodkan hujan antara 0 - 50 mm sahaja.

- **Fasa Kering Berpanjangan (Jan - Mac 2028)**

Corak cuaca kering ini berlanjutan dan menjadi semakin kritikal menjelang awal tahun 2028. Menjelang bulan Mac 2028, seluruh pelosok negeri Johor diselubungi corak hujan paling minimum (0 - 50 mm). Fokus syarikat berkemungkinan besar perlu dialihkan daripada mitigasi banjir kepada pengurusan krisis bekalan air (rujuk Rajah 4-8).

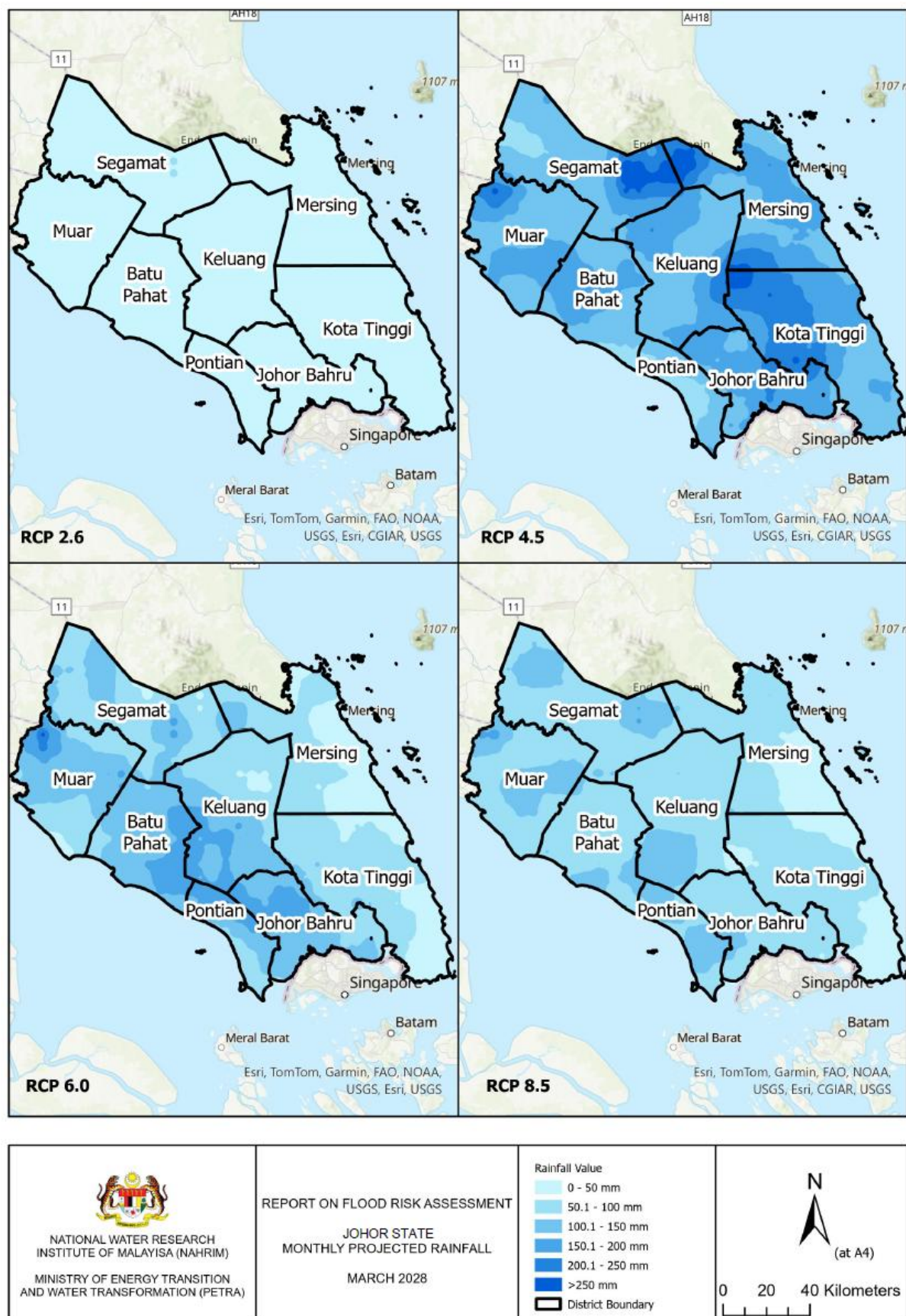
4.2.6.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca sepanjang tempoh kajian, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2027 hingga Mac 2028. Jadual 4-7 di bawah merumuskan corak taburan hujan yang secara keseluruhannya sangat rendah dan tidak menunjukkan fasa peningkatan monsun yang lazim. Ringkasan ini mengenal pasti ketiadaan zon-

zon kritikal banjir, sebaliknya menonjolkan potensi risiko cuaca kering yang berpanjangan.

Jadual 4-7: Analisis Bulanan Nov 2027 – Mac 2028 untuk Johor

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2027	Taburan hujan tertinggi bagi keseluruhan tempoh ini, namun masih pada tahap sederhana (kebanyakannya 50 - 150 mm). Tiada tompokan hujan ekstrem direkodkan dalam mana-mana senario RCP.	Pemantauan am (Tiada kawasan kritikal banjir)
Dis 2027	Luar biasa kering untuk bulan kemuncak monsun. Hampir seluruh negeri mencatatkan hanya 0–100 mm. Senario RCP 2.6 dan 6.0 merekodkan taburan 0-50 mm yang sangat meluas.	Pemantauan am (Risiko banjir sangat rendah)
Jan 2028	Keadaan menjadi semakin kering merentasi semua senario dengan majoriti daerah di Johor berada dalam julat hujan terendah iaitu 0 - 50 mm.	Pemantauan am (Fokus pemantauan bekalan air)
Feb 2028	Corak cuaca kering berterusan dan menjadi lebih kritikal. Hampir keseluruhan negeri mencatatkan taburan hujan pada paras paling minimum iaitu 0–50 mm bagi semua senario RCP.	Pemantauan am (Risiko kemarau dan bekalan air)
Mac 2028	Taburan hujan kekal pada tahap paling minimum. Keseluruhan negeri menunjukkan corak hujan serendah 0–50 mm tanpa sebarang variasi ketara antara zon barat atau timur.	Pemantauan am (Risiko kemarau dan bekalan air)



Rajah 4-8: Peta Unjuran Hujan Minimum bagi Negeri Johor pada Mac 2028

4.2.7 Analisis Taburan Hujan Johor (2030-2031)

4.2.7.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Berbeza dengan tempoh sebelumnya yang luar biasa kering, unjuran bagi tempoh November 2030 hingga Mac 2031 merekodkan risiko "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) yang sangat tinggi dan menyeluruh.

Bagi bulan November dan Disember 2030, hampir semua daerah termasuk kawasan pedalaman dan barat daya seperti Segamat, Keluang, Muar, Batu Pahat, Pontian, dan Johor Bahru diunjurkan menerima taburan hujan melebihi 250 mm. Keadaan ini menunjukkan tahap kerentanan yang maksimum terhadap peningkatan intensiti hujan pada awal fasa Monsun Timur Laut.

Seperti corak monsun lazim, daerah pesisir timur iaitu Mersing dan Kota Tinggi kekal sebagai zon paling kritikal. Ia secara konsisten menerima hujan maksimum (>250 mm) untuk tempoh yang lebih panjang, iaitu berlarutan dari November 2030 hingga Januari 2031 merentasi hampir semua senario *RCPs*.

Walau bagaimanapun, corak ini berubah secara drastik menjelang bulan Februari dan Mac 2031 di mana taburan hujan menurun dengan mendadak merentasi keseluruhan negeri, beralih daripada fasa ekstrem kepada cuaca kering yang ketara.

4.2.7.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini menunjukkan fasa permulaan monsun yang sangat agresif dan meluas, diikuti oleh fasa penurunan yang drastik:

- **Fasa Ekstrem Awal (Nov - Dis 2030)**

Monsun Timur Laut diunjurkan melanda lebih awal dan lebih kuat. Seawal bulan November 2030, sebahagian besar negeri Johor telah mula merekodkan purata hujan tertinggi (>250 mm), dan corak ini kekal

berterusan secara menyeluruh sehingga bulan Disember 2030 (rujuk Rajah 4-9).

- **Fasa Peralihan (Jan 2031)**

Hujan ekstrem mula tertumpu kembali ke kawasan timur. Keamatan hujan di daerah-daerah barat dan utara seperti Muar dan Segamat mula menunjukkan tanda-tanda penurunan ke paras 100 mm hingga 200 mm.

- **Fasa Kering (Feb - Mac 2031)**

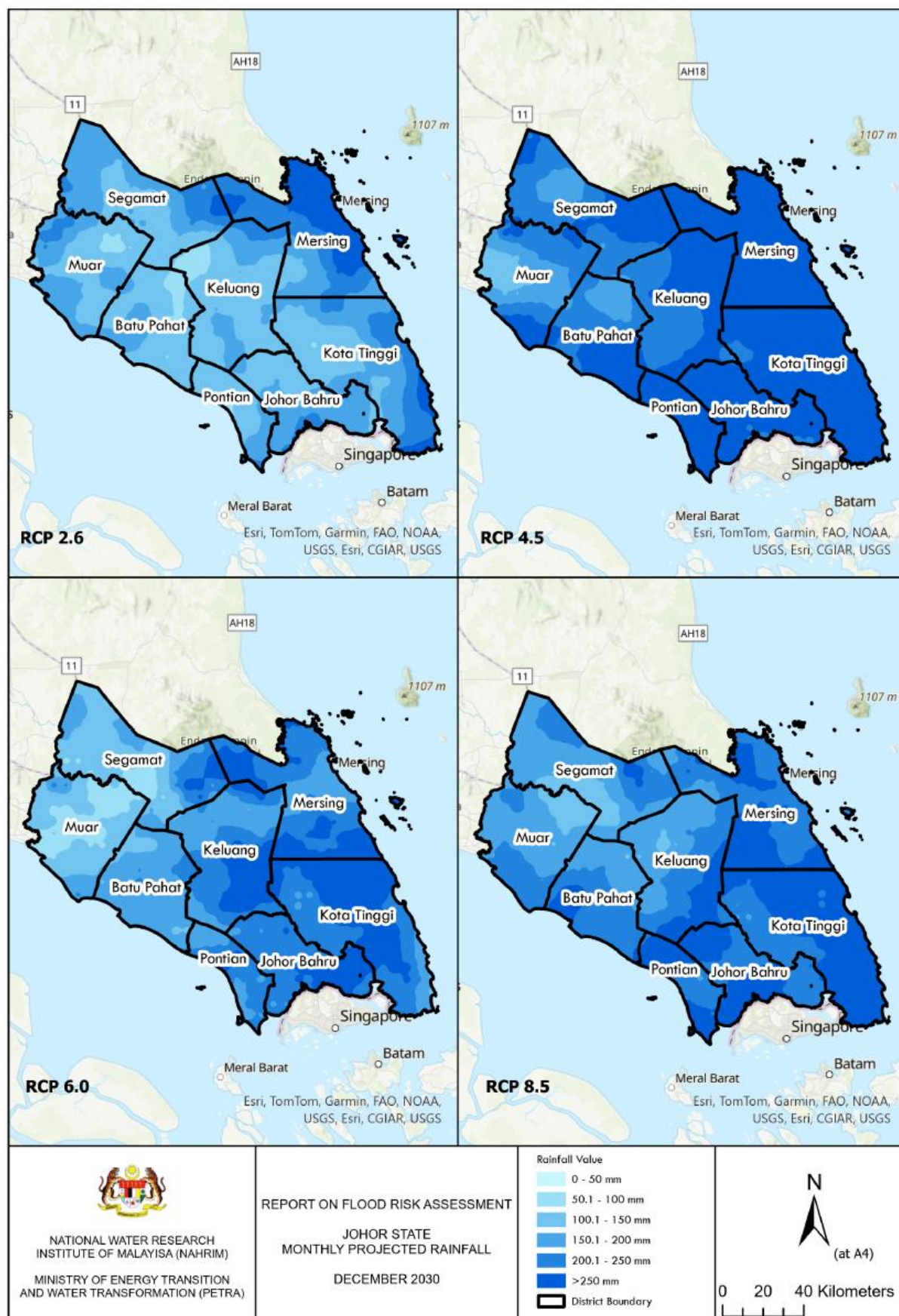
Berlaku penurunan taburan hujan yang sangat mendadak merentasi keseluruhan senario RCP. Menjelang bulan Februari dan Mac 2031, corak cuaca berubah menjadi sangat kering dengan majoriti kawasan hanya merekodkan taburan di bawah 100 mm, menamatkan musim monsun secara drastik.

4.2.7.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca sepanjang tempoh kajian, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2030 hingga Mac 2031. Jadual 4-8 di bawah merumuskan peralihan dari fasa ekstrem yang sangat meluas pada awal musim, sebelum beralih kepada fasa kering secara mendadak menjelang awal tahun. Ringkasan ini menonjolkan risiko banjir berskala besar yang menuntut perancangan mitigasi yang komprehensif.

Jadual 4-8: Analisis Bulanan Nov 2030 – Mac 2031 untuk Johor

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2030	Hujan ekstrem meluas dikesan lebih awal. Hampir seluruh kawasan dilanda hujan >250 mm merentasi semua senario RCP, menandakan permulaan monsun yang agresif.	Keseluruhan negeri Johor (terutama Mersing, Kota Tinggi, Keluang, Segamat, Johor Bahru)
Dis 2030	Kekal ekstrem. Liputan taburan hujan >250 mm berterusan mendominasi hampir 100% keluasan negeri Johor, terutamanya bagi senario RCP 4.5 dan RCP 8.5.	Keseluruhan negeri Johor
Jan 2031	Keamatan hujan berkurangan di zon barat dan utara. Walau bagaimanapun, tompokan hujan >250 mm masih kekal tinggi di pesisir timur bagi semua senario RCP.	Mersing, Kota Tinggi
Feb 2031	Perubahan drastik kepada cuaca kering bermula. Corak sangat seragam dengan hampir seluruh negeri mencatatkan kejatuhan hujan kepada julat 0–100 mm.	Pemantauan am (Tiada kawasan kritikal banjir)
Mac 2031	Taburan hujan kekal rendah dan stabil. Sebahagian besar daerah menunjukkan corak purata hujan dalam julat 50–150 mm tanpa kawasan ekstrem yang ketara.	Pemantauan am



Rajah 4-9: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Johor pada Disember 2030

4.2.8 Analisis Taburan Hujan Johor (2050-2051)

4.2.8.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Unjuran bagi tempoh November 2050 hingga Mac 2051 merekodkan risiko ancaman hujan ekstrem yang sangat tinggi dan menyeluruh pada awal musim. Hampir semua daerah di negeri Johor berisiko tinggi mengalami hujan berintensiti ekstrem melebihi 250 mm secara serentak.

Kawasan berisiko tinggi ini tidak hanya terhad di pesisir timur, malah meluas hingga ke kawasan pedalaman dan pantai barat seperti Segamat, Muar, Batu Pahat, Kluang/Keluang, Pontian, dan Johor Bahru seawal bulan November 2050. Pada kemuncak fasa ekstrem dalam bulan Disember 2050, taburan hujan melebihi 250 mm mendominasi hampir keseluruhan keluasan negeri merentasi semua senario RCPs.

Kawasan pantai timur seperti Mersing dan Kota Tinggi mengekalkan status sebagai kawasan paling rentan dan konsisten mencatatkan unjuran hujan yang tinggi. Walaupun daerah-daerah barat mula mencatatkan penurunan taburan hujan menjelang Januari 2051, Mersing dan Kota Tinggi masih terus menerima hujan melebihi 250 mm.

Menjelang bulan Februari dan Mac 2051, risiko banjir berkurangan secara drastik apabila keseluruhan negeri merekodkan kejatuhan taburan hujan kepada julat yang jauh lebih rendah (majoritinya 50 mm hingga 150 mm). Walau bagaimanapun, keupayaan tanah yang mungkin telah tepu akibat hujan melampau pada bulan-bulan sebelumnya menuntut persediaan berterusan terhadap risiko banjir kilat dan pergerakan tanah.

4.2.8.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini memaparkan fasa permulaan Monsun Timur Laut yang sangat agresif, diikuti dengan penurunan mendadak pada pertengahan musim:

- **Fasa Ekstrem Awal dan Meluas (Nov - Dis 2050)**

Monsun Timur Laut membawa hujan lebat berskala besar secara lebih awal. Seawal bulan November 2050, keseluruhan daerah menerima hujan ekstrem (>250 mm). Corak intensiti maksimum ini berlarutan dan mengekalkan liputan yang hampir seragam di seluruh negeri sepanjang bulan Disember 2050 (rujuk Rajah 4-10).

- **Fasa Peralihan Zon (Jan 2051)**

Corak cuaca mula menunjukkan pengecilan zon ekstrem. Hujan lebat melebihi 250 mm kembali tertumpu mengikut corak lazim monsun iaitu di kawasan pesisir timur dan tenggara. Kawasan barat dan utara menunjukkan penyusutan hujan secara berperingkat kepada paras 100 mm hingga 200 mm.

- **Fasa Penurunan Drastik (Feb - Mac 2051)**

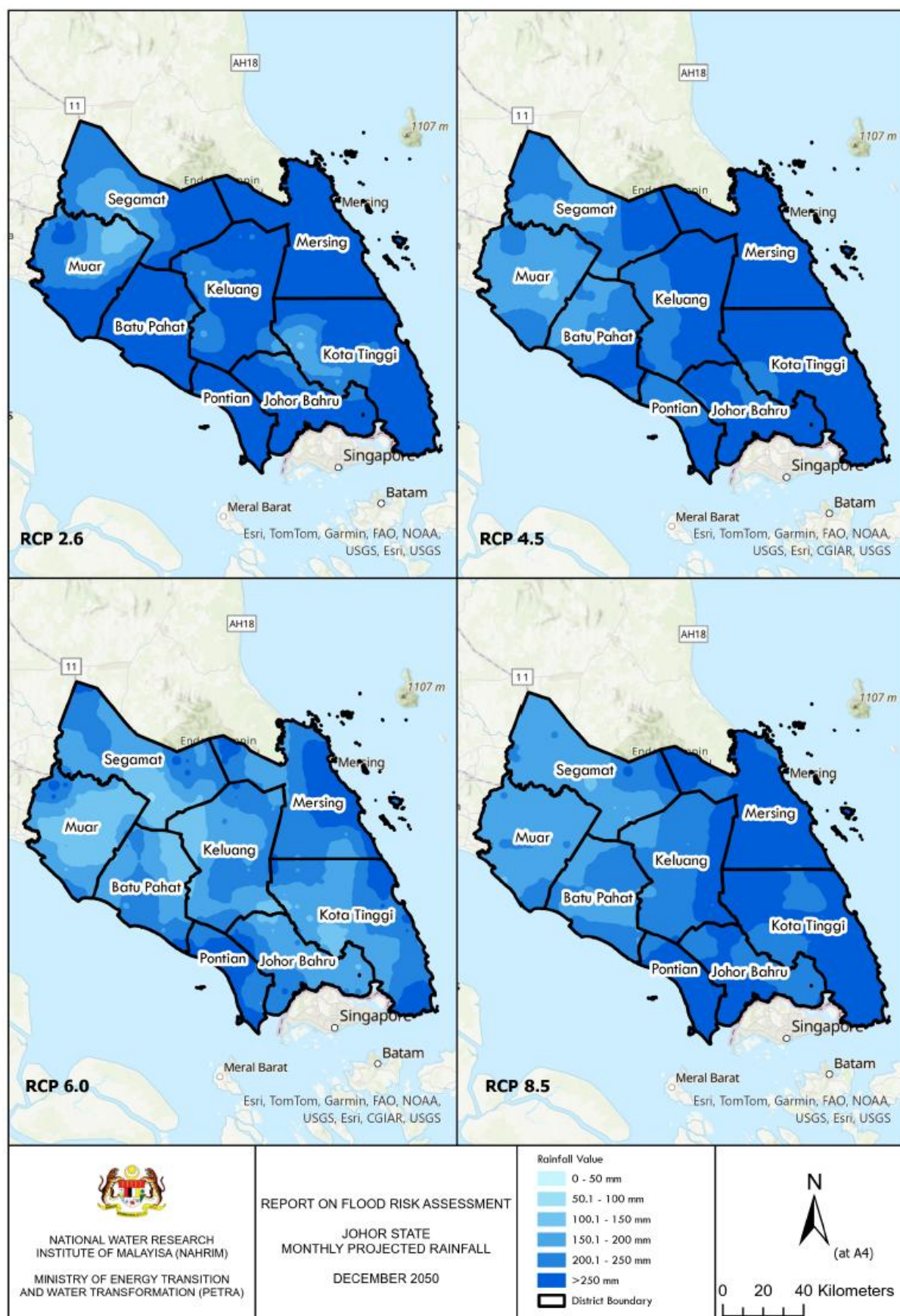
Berlaku peralihan mendadak kepada cuaca yang lebih kering. Menjelang bulan Februari 2051, hujan di seluruh pelosok negeri menyusut ke paras 0 hingga 100 mm. Corak sederhana rendah ini kekal stabil sehingga Mac 2051, menandakan penamat musim monsun yang ketara.

4.2.8.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca sepanjang tempoh kajian, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2050 hingga Mac 2051. Jadual 4-9 di bawah merumuskan fasa peningkatan ekstrem yang melanda seluruh negeri pada peringkat awal, sebelum menyusut kepada corak cuaca yang lebih terkawal. Ringkasan ini mengenal pasti zon-zon kritikal yang memerlukan penggemblengan aset mitigasi secara menyeluruh pada dua bulan pertama.

Jadual 4-9: Analisis Bulanan Nov 2050 – Mac 2051 untuk Johor

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2050	Hujan ekstrem berskala besar melanda awal. Hampir seluruh pelosok daerah dilanda hujan >250 mm merentasi semua senario RCP.	Keseluruhan negeri Johor (terutama Mersing, Kota Tinggi, Kluang, Segamat, Johor Bahru)
Dis 2050	Fasa ekstrem mencapai kemuncak dengan liputan hujan >250 mm mengekalkan dominasi ke atas hampir keseluruhan negeri.	Keseluruhan negeri Johor
Jan 2051	Keamatan hujan berkurangan di zon barat dan utara ke paras sederhana (100–200 mm). Hujan >250 mm kekal tinggi di pesisir timur.	Mersing, Kota Tinggi, dan sebahagian Kluang
Feb 2051	Penurunan drastik menandakan berakhirnya fasa basah. Hampir seluruh negeri mencatatkan taburan seragam pada paras 0–100 mm sahaja.	Pemantauan am (Risiko banjir menurun secara mendadak)
Mac 2051	Taburan hujan kekal pada tahap sederhana rendah. Keseluruhan negeri menunjukkan purata hujan antara 50–150 mm.	Pemantauan am



Rajah 4-10: Peta Unjuran Hujan Ekstrem bagi Negeri Johor pada Disember 2050

4.2.9 Analisis Taburan Hujan Kuala Lumpur (2026-2027)

4.2.9.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Berdasarkan siri peta unjuran bagi tempoh November 2026 hingga Mac 2027, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur berdepan dengan ancaman "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) yang ketara pada fasa awal monsun.

Bulan November dan Disember 2026 direkodkan sebagai tempoh paling berisiko di mana sebahagian besar kawasan diunjurkan menerima taburan hujan berintensiti tinggi antara 150.1 mm hingga 250 mm. Kawasan-kawasan utama seperti Batu, Setapak, Bandar Kuala Lumpur, dan Ampang menunjukkan kerentanan yang tinggi, terutamanya di bawah senario pelepasan RCP 4.5 dan RCP 8.5 yang memaparkan liputan hujan menghampiri julat 200.1 mm hingga 250 mm.

Menjelang bulan Januari hingga Mac 2027, taburan hujan menunjukkan tren penurunan yang jelas kepada julat antara 50 mm hingga 150 mm. Walau bagaimanapun, adalah penting untuk ditekankan bahawa Kuala Lumpur merupakan kawasan bandar berkepadatan tinggi dengan liputan permukaan berturap yang luas. Oleh itu, kawasan seperti Pusat Bandar, Cheras, dan Petaling kekal berisiko tinggi terhadap insiden banjir kilat bandar (*urban flash floods*) sekiranya jumlah hujan yang sederhana ini bertembung dengan isu kapasiti infrastruktur perparitan atau hujan perolakan berskala pendek.

4.2.9.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini menunjukkan fasa permulaan Monsun Timur Laut yang aktif, diikuti dengan peralihan kepada cuaca yang lebih reda dan stabil:

- **Fasa Ekstrem Awal (Nov - Dis 2026)**

Kuala Lumpur mengalami fasa monsun yang aktif pada peringkat awal. Hujan berintensiti tinggi (150 mm hingga 250 mm) mendominasi hampir keseluruhan wilayah secara seragam pada bulan November dan

Disember 2026 tanpa perbezaan ketara antara zon utara dan selatan wilayah tersebut (rujuk Rajah 4-11).

- **Fasa Peralihan Monsun (Jan 2027)**

Keamatan hujan mula menyusut menjelang awal tahun 2027. Keseluruhan kawasan mula beralih kepada corak taburan hujan yang lebih sederhana iaitu di dalam julat 100.1 mm hingga 200 mm merentasi semua senario RCPs.

- **Fasa Penurunan (Feb - Mac 2027)**

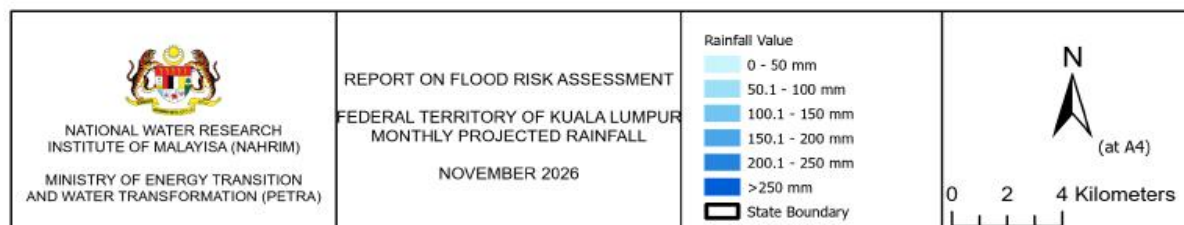
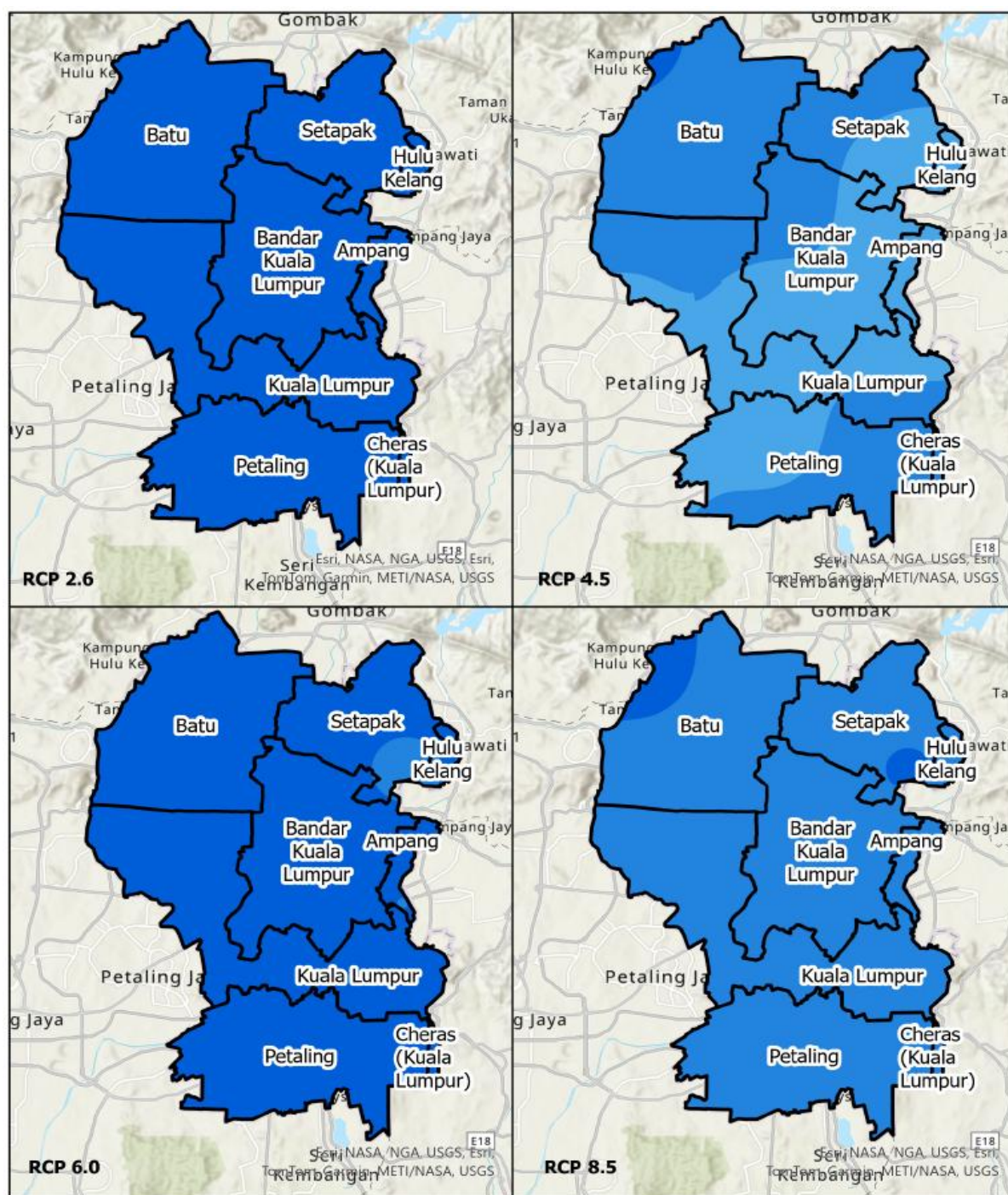
Berlaku penurunan taburan hujan yang berterusan. Pada bulan Februari dan Mac 2027, taburan hujan di seluruh Kuala Lumpur menurun dan kekal stabil pada paras sederhana rendah iaitu sekitar 50.1 mm hingga 150 mm, menandakan fasa reda bagi musim monsun.

4.2.9.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2026 hingga Mac 2027. Jadual 4-10 di bawah merumuskan fasa krisis pada dua bulan pertama yang menuntut persediaan mitigasi banjir kilat yang efisien, sebelum ia beransur reda.

Jadual 4-10: Analisis Bulanan Nov 2026 – Mac 2027 untuk Kuala Lumpur

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2026	Fasa monsun yang aktif. Taburan hujan meluas dalam julat 150–250 mm merentasi semua senario RCP, dengan Setapak dan Batu antara kawasan terkesan.	Keseluruhan WP Kuala Lumpur (Risiko banjir kilat bandar)
Dis 2026	Keamatan hujan kekal tinggi secara seragam, terutamanya bagi senario RCP 4.5 dan 8.5 yang merekodkan taburan menghampiri 200–250 mm.	Keseluruhan WP Kuala Lumpur
Jan 2027	Keamatan hujan beransur reda secara menyeluruh. Majoriti kawasan kembali berada dalam julat taburan sederhana iaitu 100–200 mm.	Pemantauan am (Risiko banjir kilat sederhana)
Feb 2027	Penurunan taburan hujan yang berterusan dan stabil. Seluruh kawasan wilayah mencatatkan taburan pada paras 100–150 mm sahaja.	Pemantauan am
Mac 2027	Taburan hujan kekal pada tahap sederhana rendah. Keseluruhan kawasan menunjukkan corak stabil antara 50–150 mm merentasi semua senario.	Pemantauan am



Rajah 4-11: Peta Unjuran Hujan bagi Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur pada November 2026

4.2.10 Analisis Taburan Hujan Kuala Lumpur (2027-2028)

4.2.10.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Berdasarkan siri peta unjuran bagi tempoh November 2027 hingga Mac 2028, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur diunjurkan berdepan dengan ancaman "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) yang signifikan pada fasa awal monsun.

Pada bulan November dan Disember 2027, keseluruhan kawasan di Kuala Lumpur merekodkan taburan hujan pada paras sederhana tinggi iaitu antara 100.1 mm hingga 150 mm. Walaupun purata ini kelihatan lebih terkawal berbanding tahun sebelumnya (2026/2027), ia mencukupi untuk mencetuskan risiko banjir kilat bandar memandangkan Kuala Lumpur merupakan kawasan guna tanah tepu bina (*built-up area*) yang memiliki peratusan permukaan legap (*impervious surface*) yang sangat tinggi.

Kawasan seperti Pusat Bandar (Bandar Kuala Lumpur), Ampang, Cheras, Setapak, Batu, dan Petaling kekal perlu diberi perhatian serius. Ketidakupayaan sistem perparitan dan kolam takungan untuk mengendalikan pelepasan air larian permukaan (*surface runoff*) yang cepat boleh memburukkan impak banjir kilat sungguhpun purata taburan hujan tidak mencapai paras ekstrem (>250 mm).

Walau bagaimanapun, risiko ini dijangka menurun secara drastik bermula Januari hingga Mac 2028 apabila corak hujan menyusut kepada julat yang sangat minimum (antara 0 mm hingga 100 mm).

4.2.10.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini menunjukkan fasa monsun yang bermula pada paras sederhana sebelum beralih drastik kepada cuaca yang lebih kering dan stabil:

- **Fasa Monsun Sederhana (Nov - Dis 2027)**

Kuala Lumpur mengalami permulaan monsun dengan taburan hujan yang sederhana. Keseluruhan wilayah mencatatkan hujan dalam julat 100.1 mm hingga 150 mm merentasi hampir kesemua senario RCPs bagi bulan November dan Disember 2027. Terdapat sedikit peningkatan hujan di kawasan zon selatan seperti Cheras dan Petaling pada senario RCP 6.0 bulan November 2027 (mencapai julat 150.1 mm hingga 200 mm - rujuk Rajah 4-12).

- **Fasa Penurunan Mendadak (Jan - Mac 2028)**

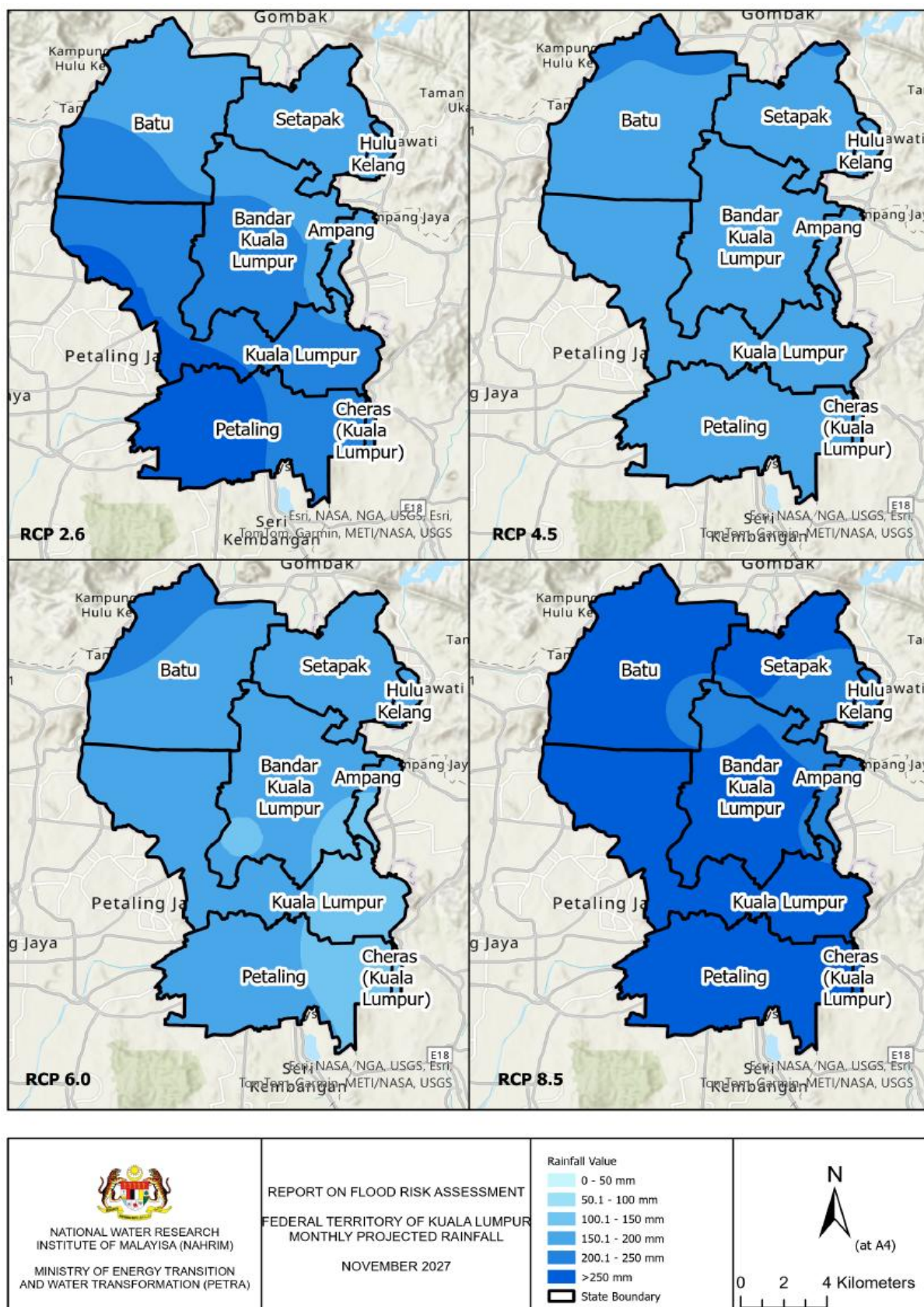
Berlaku peralihan iklim yang drastik kepada corak cuaca yang lebih kering. Menjelang bulan Januari 2028, taburan hujan menyusut ke paras 50.1 mm hingga 100 mm. Corak penurunan ini berterusan dan kekal stabil pada paras sederhana rendah ini sepanjang bulan Februari dan Mac 2028.

4.2.10.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2026 hingga Mac 2027. Jadual 4-11 di bawah merumuskan fasa krisis pada dua bulan pertama yang menuntut persediaan mitigasi banjir kilat yang efisien, sebelum ia beransur reda.

Jadual 4-11: Analisis Bulanan Nov 2027 – Mac 2028 untuk Kuala Lumpur

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2027	Fasa monsun sederhana. Taburan hujan mendominasi julat 100–150 mm merentasi semua senario RCP. Tumpukan 150-200 mm dikesan di Cheras pada RCP 6.0.	Keseluruhan WP Kuala Lumpur (Risiko banjir kilat bandar)
Dis 2027	Keamatan hujan kekal stabil dan seragam pada julat sederhana iaitu 100–150 mm bagi kesemua zon dan senario RCP.	Keseluruhan WP Kuala Lumpur
Jan 2028	Keamatan hujan menyusut mendadak kepada paras yang jauh lebih rendah. Keseluruhan wilayah berada dalam julat 50–100 mm.	Pemantauan am (Risiko banjir kilat menurun)
Feb 2028	Taburan hujan kekal pada tahap sederhana rendah secara seragam (50–100 mm) merentasi semua senario.	Pemantauan am
Mac 2028	Corak hujan kekal stabil dan konsisten pada julat serendah 50–100 mm, menandakan fasa kering berterusan.	Pemantauan am



Rajah 4-12: Peta Unjuran Hujan bagi Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur pada November 2027

4.2.11 Analisis Taburan Hujan Kuala Lumpur (2030-2031)

4.2.11.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Berdasarkan siri peta unjuran bagi tempoh November 2030 hingga Mac 2031, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur berdepan dengan ancaman "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) yang sangat ketara pada fasa awal dan pertengahan monsun.

Bulan November dan Disember 2030 direkodkan sebagai tempoh paling kritikal di mana sebahagian besar kawasan diunjurkan menerima taburan hujan berintensiti tinggi yang mendominasi julat 150.1 mm hingga 250 mm merentasi pelbagai senario RCPs. Kawasan utara dan barat seperti Batu, Setapak, serta Petaling menunjukkan kerentanan yang amat tinggi dengan tempokan taburan hujan mencapai julat maksimum 200.1 mm hingga 250 mm.

Walaupun taburan hujan menunjukkan tren penurunan yang berperingkat kepada julat antara 100.1 mm hingga 200 mm pada Januari 2031, risiko insiden sekunder tidak boleh dipandang remeh. Kuala Lumpur merupakan kawasan bandar padat; hujan berterusan yang melanda kawasan seperti Bandar Kuala Lumpur, Ampang, dan Cheras selama tiga bulan berturut-turut berpotensi mengatasi kapasiti sistem perparitan sedia ada, mencetuskan risiko banjir kilat bandar (*urban flash floods*).

Ancaman ini walau bagaimanapun dijangka reda secara ketara menjelang bulan Februari dan Mac 2031 apabila taburan hujan menyusut kepada julat yang lebih terkawal (100.1 mm hingga 150 mm).

4.2.11.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini memaparkan fasa permulaan Monsun Timur Laut yang sangat aktif dan berpanjangan, diikuti dengan peralihan mendadak kepada cuaca yang lebih reda di penghujung musim:

- **Fasa Monsun Aktif (Nov - Dis 2030)**

Kuala Lumpur mengalami fasa monsun yang sangat aktif pada peringkat awal. Hujan berintensiti tinggi (150.1 mm hingga 250 mm) mendominasi hampir keseluruhan wilayah secara seragam pada bulan November dan Disember 2030. Keamatan taburan kekal statik tanpa menunjukkan sebarang tanda penyusutan sepanjang tempoh dua bulan ini (rujuk Rajah 4-13).

- **Fasa Peralihan Berperingkat (Jan 2031)**

Keamatan hujan mula menyusut secara berperingkat menjelang awal tahun 2031. Keseluruhan kawasan mula beralih kepada corak taburan hujan yang lebih sederhana iaitu di dalam julat 100.1 mm hingga 200 mm merentasi semua senario RCP, namun risiko banjir kilat masih kekal ekoran infrastruktur yang telah tepu.

- **Fasa Penurunan Drastik (Feb - Mac 2031)**

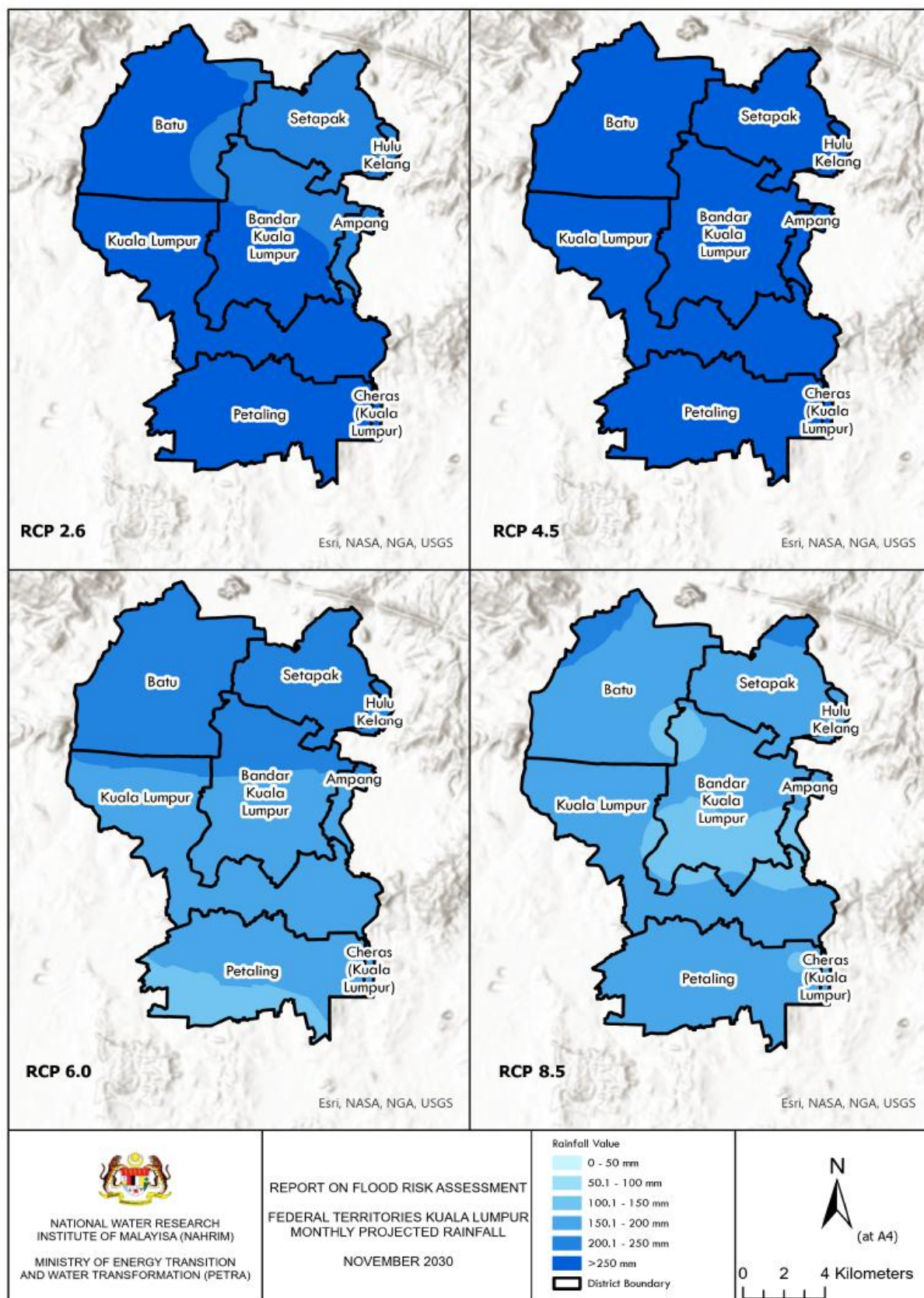
Berlaku penurunan taburan hujan yang seragam dan ketara. Pada bulan Februari dan Mac 2031, taburan hujan di seluruh Kuala Lumpur menurun dan kekal stabil pada paras sederhana rendah iaitu sekitar 100.1 mm hingga 150 mm, menamatkan fasa ekstrem bagi musim tersebut.

4.2.11.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2030 hingga Mac 2031. Jadual 4-12 di bawah merumuskan fasa krisis yang berpanjangan pada tiga bulan pertama yang menuntut kesiapsiagaan pengurusan bencana bandar, sebelum ia beransur reda.

Jadual 4-12: Analisis Bulanan Nov 2030 – Mac 2031 untuk Kuala Lumpur

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2030	Fasa monsun yang aktif. Taburan hujan meluas dalam julat 150–250 mm merentasi semua senario RCP. Batu, Setapak dan Petaling amat terkesan.	Keseluruhan WP Kuala Lumpur (Risiko banjir kilat bandar tinggi)
Dis 2030	Keamatan hujan kekal tinggi secara seragam, merekodkan taburan konsisten dalam julat 150–250 mm di seluruh wilayah.	Keseluruhan WP Kuala Lumpur
Jan 2031	Keamatan hujan beransur reda secara menyeluruh namun kekal signifikan. Majoriti kawasan kembali berada dalam julat taburan 100–200 mm.	Pemantauan am (Risiko banjir kilat berlarutan)
Feb 2031	Penurunan taburan hujan yang ketara. Seluruh kawasan wilayah mencatatkan kejatuhan taburan pada paras 100–150 mm.	Pemantauan am (Risiko banjir menurun)
Mac 2031	Taburan hujan kekal stabil dan terkawal. Keseluruhan kawasan menunjukkan corak taburan seragam antara 100–150 mm merentasi semua senario.	Pemantauan am



Rajah 4-13: Peta Unjuran Hujan bagi Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur pada November 2030

4.2.12 Analisis Taburan Hujan Kuala Lumpur (2050-2051)

4.2.12.1 Kawasan Berisiko Tinggi

Berdasarkan siri peta unjuran bagi tempoh November 2050 hingga Mac 2051, Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur berdepan dengan corak "bahaya hujan" (*rainfall hazard*) yang konsisten dan berpanjangan pada tiga bulan pertama musim monsun.

Dari bulan November 2050 hingga Januari 2051, hampir keseluruhan kawasan di Kuala Lumpur diunjurkan menerima taburan hujan berintensiti tinggi yang kekal stabil dalam julat 150.1 mm hingga 200 mm merentasi kebanyakan senario RCPs. Walaupun tidak mencapai tahap ekstrem melebihi 250 mm, tempoh hujan lebat berterusan selama tiga bulan berturut-turut ini mewujudkan ancaman besar kepada bandar raya ini.

Kawasan tumpuan utama seperti Batu, Setapak, Bandar Kuala Lumpur, Ampang, Petaling, dan Cheras kekal berisiko tinggi terhadap insiden banjir kilat bandar (*urban flash floods*). Risiko ini didorong oleh infrastruktur saluran yang mungkin gagal menampung air larian permukaan sekiranya berlaku hujan lebat berterusan di kawasan tepu bina.

Keamatan hujan hanya menunjukkan penurunan mendadak menjelang bulan Februari 2051 dengan penyusutan ke julat 50.1 mm hingga 100 mm, sebelum ia kembali meningkat sedikit kepada corak taburan sederhana pada bulan Mac 2051.

4.2.12.2 Analisis Corak Taburan Hujan

Pola taburan hujan bagi tempoh ini memaparkan fasa monsun yang aktif dan statik bagi tempoh yang panjang, diikuti oleh penurunan drastik yang sementara:

- **Fasa Monsun Aktif dan Berpanjangan (Nov 2050 - Jan 2051)**

Kuala Lumpur mengalami fasa monsun yang sangat aktif pada peringkat awal. Hujan berintensiti tinggi (150.1 mm hingga 250 mm)

mendominasi hampir keseluruhan wilayah secara seragam pada bulan November dan Disember 2030. Keamatan taburan taburan kekal statik tanpa menunjukkan sebarang tanda penyusutan sepanjang tempoh dua bulan ini (rujuk Rajah 4-14).

- **Fasa Penurunan Drastik (Feb 2051)**

Berlaku peralihan cuaca yang drastik dan mengejut menjelang bulan Februari 2051. Taburan hujan di seluruh Kuala Lumpur menjunam ke paras yang sangat minimum, iaitu merekodkan julat antara 50.1 mm hingga 100 mm terutamanya di bawah senario RCP 4.5, 6.0, dan 8.5.

- **Fasa Peningkatan Sederhana (Mac 2051)**

Cuaca kembali beralih kepada corak hujan sederhana. Pada bulan Mac 2051, taburan hujan meningkat semula dan merekodkan purata dalam julat 100.1 mm hingga 200 mm di seluruh wilayah.

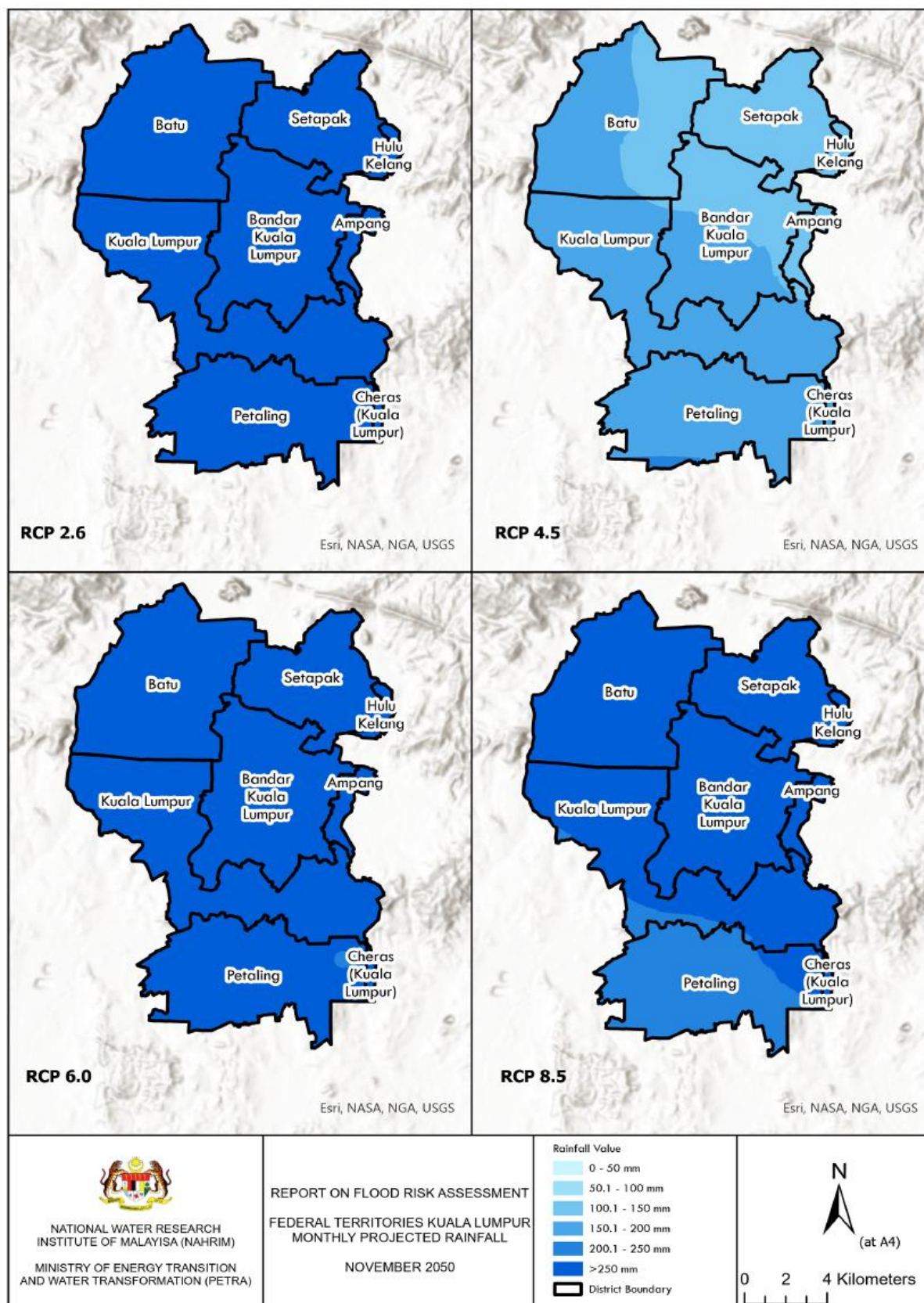
4.2.12.3 Analisis Peta Unjuran Hujan Mengikut Bulan

Bagi memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamik perubahan cuaca, bahagian ini memperincikan peralihan corak taburan hujan secara temporal dari November 2050 hingga Mac 2051. Jadual 4-13 di bawah merumuskan fasa ancaman berterusan pada tiga bulan pertama yang memerlukan kesiapsiagaan mitigasi bandar yang tinggi.

Jadual 4-13: Analisis Bulanan Nov 2050 – Mac 2051 untuk Kuala Lumpur

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Nov 2050	Fasa monsun bermula dengan keamatan tinggi. Hampir seluruh kawasan mencatatkan taburan hujan seragam dalam julat 150–200 mm merentasi semua senario RCP.	Keseluruhan WP Kuala Lumpur (Risiko banjir kilat bandar)
Dis 2050	Keamatan hujan mengekalkan corak statik. Keseluruhan wilayah kekal dilanda taburan hujan dalam julat 150–200 mm tanpa tanda-tanda reda.	Keseluruhan WP Kuala Lumpur

Bulan	Pemerhatian Utama	Kawasan Perhatian (Kritikal)
Jan 2051	Hujan berintensiti 150–200 mm berterusan merentasi seluruh wilayah. Infrastruktur saliran bandar dijangka sangat terbeban akibat tempoh yang panjang.	Keseluruhan WP Kuala Lumpur (Batu, Setapak, Petaling, Cheras)
Feb 2051	Penurunan mendadak ke fasa kering. Taburan hujan di majoriti kawasan menyusut drastik kepada julat 50–100 mm.	Pemantauan am (Risiko banjir menurun secara ketara)
Mac 2051	Taburan hujan meningkat semula kepada tahap sederhana. Keseluruhan kawasan menunjukkan corak taburan purata antara 100 – 200 mm.	Pemantauan am



Rajah 4-14: Peta Unjuran Hujan bagi Wilayah Persekutuan Kuala Lumpur pada November 2050

5. STRATEGI ADAPTASI BANJIR: TINDAKAN DARIPADA NEGARA LUAR (SINGAPURA, THAILAND DAN JEPUN)

Krisis perubahan iklim global telah meningkatkan kekerapan dan intensiti fenomena cuaca ekstrem, terutamanya kejadian banjir kilat dan banjir monsun yang besar. Bagi sektor korporat, banjir bukan lagi sekadar bencana alam bermusim, sebaliknya merupakan risiko perniagaan yang kritikal yang boleh melumpuhkan rantai bekalan, merosakkan aset fizikal, dan menjejaskan kestabilan kewangan. Oleh itu, syarikat-syarikat perlu beralih daripada pengurusan bencana yang bersifat reaktif kepada strategi adaptasi iklim yang proaktif bagi menjamin kesinambungan operasi jangka panjang.

Bahagian ini menyenaraikan strategi adaptasi yang telah dilaksanakan oleh syarikat-syarikat di luar negara seperti Singapura, Thailand, Belanda dan Jepun sebagai rujukan dan panduan.

5.1 Singapura: Pendekatan "*Source-Pathway-Receptor*" & Tanggungjawab Bersama Swasta

Singapura mengamalkan pendekatan holistik dalam pengurusan air melalui agensi kebangsaannya, Public Utilities Board (PUB). Melalui pengenalan undang-undang seperti *Sewerage and Drainage Act*, tanggungjawab adaptasi banjir kini turut diagihkan secara perundangan kepada sektor swasta dan pemilik hartanah komersial.

Tindakan dan Adaptasi oleh Syarikat:

- a. **Tangki Takungan *On-Site* (*Source*):** Pemaju swasta dan syarikat pembinaan diwajibkan membina tangki takungan air hujan (*on-site detention tanks*) di dalam kawasan premis atau bangunan komersial baharu untuk memperlahankan aliran air ke parit awam semasa hujan lebat.
- b. **Pematuhan Aras Platform Minimum (*Receptor*):** Syarikat hartanah dan industri mesti mematuhi piawaian ketinggian lantai bangunan

(*minimum crest and platform levels*) bagi menghalang air masuk ke dalam bangunan.

- c. **Penyediaan Penghadang Banjir (*Flood Barriers*):** Kompleks beli-belah dan pejabat komersial (terutamanya yang mempunyai ruang parkir bawah tanah) melabur dalam sistem pintu penghadang banjir automatik yang akan naik sendiri apabila dikesan paras air meningkat.
- d. **Perlindungan Pantai Pesisir Swasta:** Melalui undang-undang terkini, syarikat-syarikat swasta yang memiliki atau menyewa tanah di sepanjang 30% pesisir pantai Singapura diwajibkan bersama-sama membiayai dan membina benteng serta perlindungan hakisan pantai di tapak masing-masing.

5.2 Thailand: Sistem Perlindungan Estet Perindustrian & Prosedur Kilang Kalis Banjir

Pasca-banjir besar tahun 2011 yang melumpuhkan rantai bekalan automotif dan elektronik dunia, Thailand telah merombak pengurusan banjir di kawasan hab ekonomi utamanya dengan memfokuskan kepada ketahanan kawasan perindustrian.

Tindakan dan Adaptasi oleh Syarikat:

- a. **Pelaburan Bersama Benteng Gergasi:** Syarikat-syarikat di dalam taman perindustrian (seperti Rojana Ayutthaya Industrial Park) bekerjasama dengan pengurusan estet untuk membina sistem perimeter benteng konkrit kalis banjir (*triple flood protection system*) berketinggian sehingga 6 meter di atas aras laut.
- b. **Prosedur Mitigasi Operasi Kilang:** Kilang-kilang pembuatan mengguna pakai prosedur operasi standard (SOP) yang ketat; memindahkan semua mesin kritikal, bilik janakuasa elektrik, stok bahan kimia, dan pelayan IT (data) ke tingkat atas bangunan.

- c. **Sistem Penderia IoT dan Amaran Awal:** Syarikat-syarikat perkilangan memasang sistem pemantauan cuaca berasaskan IoT bagi mengesan paras air sungai berhampiran untuk mengaktifkan *Flood Emergency Response Plan* (FERP) dengan lebih cepat sebelum banjir bertukar parah.

5.3 Belanda: Inovasi Bangunan Terapung (*Floating Concepts*)

Sebagai negara yang sebahagian besarnya berada di bawah paras laut, Belanda mempopularkan konsep "*Room for the River*" (Memberi Ruang kepada Sungai) dan menggalakkan komuniti perniagaan untuk "hidup bersama air" dan bukannya sekadar membina benteng.

Tindakan dan adaptasi oleh Syarikat:

- a. **Pejabat Komersial Terapung:** Syarikat-syarikat di Belanda mula melabur dalam seni bina bangunan terapung. Contoh terbaik ialah *Floating Office Rotterdam* (FOR) yang menampung pejabat-pejabat korporat antarabangsa. Bangunan ini dibina di atas struktur terapung, menjadikannya kalis sepenuhnya terhadap kenaikan paras air laut dan banjir pasang surut.
- b. **Logistik dan Gudang Kalis Air:** Syarikat logistik membina kemudahan gudang yang modular di kawasan tebingan sungai yang direka bentuk untuk membiarkan air mengalir di bawah struktur bangunan tanpa menjejaskan barangan kargo.

5.4 Jepun: Pelan Kesenambungan Perniagaan (BCP) Berasaskan Risiko Banjir

Selain daripada bergantung kepada infrastruktur bawah tanah gergasi kerajaan (seperti sistem G-Cans di Saitama), Jepun sangat menekankan aspek keupayaan insani dan operasi syarikat.

Tindakan dan Adaptasi oleh Syarikat:

- a. **Pelan Kesenambungan Perniagaan (BCP) Mandatori:** Syarikat-syarikat utama (PKS mahupun konglomerat) mengintegrasikan analisis risiko

banjir dalam BCP mereka. Ini termasuk mewujudkan rantaian bekalan alternatif (modular), pusat data sokongan (*redundant servers*) yang terletak di wilayah geografi berbeza, dan simulasi pemulihan bencana secara berkala.

Jadual 5-1 menunjukkan ringkasan perbandingan adaptasi antara negara.

Jadual 5-1: Ringkasan Perbandingan Adaptasi Antara Negara

Negara	Fokus Utama Polisi Kerajaan	Strategi Penyesuaian Utama Syarikat/Sektor Korporat
Singapura	Pendekatan <i>Source-Pathway-Receptor</i> & pengagihan liabiliti perlindungan pantai.	Pemasangan tangki takungan on-site, penghadang banjir mekanikal, dan pematuhan aras platform tinggi.
Thailand	Pemulihan hab ekonomi pasca-2011 & perlindungan estet industri.	Pembinaan benteng konkrit perimeter bersepadu, pemindahan utiliti kritikal ke tingkat atas, dan penggunaan penerima pintar IoT.
Belanda	Konsep <i>Living with Water</i> & penyediaan ruang limpahan banjir.	Pelaburan dalam infrastruktur/pejabat terapung (<i>floating offices</i>) dan seni bina modular kalis air.
Jepun	Infrastruktur kejuruteraan mega & kesiapsiagaan korporat.	Penguatkuasaan BCP iklim yang ketat, rantaian bekalan modular, dan pusat data sokongan berbilang lokasi.

5.5 Tindakan Adaptasi

5.5.1 Contoh Tindakan Adaptasi Pelbagai Sektor Korporat

Jadual 5-2 hingga Jadual 5-7 di bawah merangkumkan senarai syarikat luar negara mengikut sektor bidang, impak banjir dan kemarau kepada operasi mereka, langkah adaptasi yang dilaksanakan, serta kaedah integrasi data unjuran hidroklimat ke dalam BCP dan pelan strategik masing-masing

Jadual 5-2: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Telekomunikasi

Telekomunikasi: Perlindungan Rangkaian dan Infrastruktur Tapak Sel				
Nama Syarikat	Risiko Iklim Utama	Impak Operasi Fizikal	Langkah Adaptasi Fizikal	Integrasi Data Hidroiklim dalam BCP & Pelan Strategik
AT&T	Banjir (kilat, pantai, pusuan ribut)	- Kerosakan tapak sel wayarles dan kabel bawah tanah. - Gangguan talian komunikasi kritikal. - Peningkatan kos pemulihan bencana.	- Mengemas kini Garis Panduan Kod Bangunan untuk meningkatkan ketinggian platform tapak sel dan generator kecemasan berdasarkan pusuan ribut. - Melaksanakan projek rintisan di tiga tapak di Florida pada tahun 2025.	- Menggunakan data beresolusi tinggi ClimRR untuk unjuran jangka pendek (sehingga 2028), sederhana (2028–2035), dan panjang (2035–2050). - Mengintegrasikan skor risiko cuaca ekstrem ke dalam perisian perancangan tapak sel bagi mengelakkan pembinaan di kawasan berisiko tinggi.

Jadual 5-3: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Perkilangan

Industri Perkilangan: Pengurusan Risiko Banjir Kilat (Semikonduktor)				
Nama Syarikat	Risiko Iklim Utama	Impak Operasi Fizikal	Langkah Adaptasi Fizikal	Integrasi Data Hidroiklim dalam BCP & Pelan Strategik
TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited)	Banjir & Taufan	Risiko kerugian kewangan fizikal sehingga USD 1.2 bilion (hampir 1% hasil unjuran 2025).	- Menaikkan asas tapak kilang baharu setinggi 2 meter di Southern Taiwan Science Park. - Memasang pintu banjir automatik di bangunan berisiko tinggi.	- Menggunakan unjuran iklim global senario RCP 8.5 daripada laporan IPCC AR5 bagi menetapkan <i>Climate Risk Adaptive Standards</i>. - Mengintegrasikan pengurusan air dalam Enterprise Risk Management (ERM) untuk mencapai sifar gangguan pengeluaran. - Mewajibkan rantaian pembekal menilai risiko hidroiklim bagi menjamin logistik lancar.

Jadual 5-4: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Hartanah, Pembinaan & Pembangunan

Hartanah, Pembinaan & Pembangunan: Penilaian Risiko Sebelum Pelaburan Modal				
Nama Syarikat	Risiko Iklim Utama	Impak Operasi Fizikal	Langkah Adaptasi Fizikal	Integrasi Data Hidroiklim dalam BCP & Pelan Strategik
CapitaLand	Banjir (fluvial, pluvial)	- Kerosakan mekanikal & elektrik jika utiliti terletak di ruangan bawah tanah (<i>basement</i>). - Kehilangan nilai aset hartanah jangka panjang.	- Memasang halangan banjir (<i>flood barriers</i>), penerima paras air, dan pam air di hartanah sedia ada. - Menyediakan pelan tindak balas kecemasan banjir di seluruh portfolio global.	- Menjalankan kajian garis asas portfolio global sejak 2020 untuk mengenal pasti aset sensitif banjir. - Mengintegrasikan penilaian EHSIA ke dalam kajian kebolehlaksanaan pelaburan baharu sebelum kelulusan Lembaga Pengarah bagi memastikan peruntukan CAPEX adaptasi disediakan awal. - Menggunakan harga karbon dalaman bayangan (<i>shadow internal carbon price</i>) sejak 2021.
John Sisk & Son (Sisk)	Banjir (fluvial, pluvial)	Kelewatan operasi tapak binaan dan kerosakan bahan mentah.		Sisk menggunakan skala 1-5 bagi menilai impak banjir dalam mengurangkan kelewatan projek.

Jadual 5-5: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Insurans

Insurans: Pemodelan Risiko Dinamik dan Penyesuaian Harga Jaminan				
Nama Syarikat	Risiko Iklim Utama	Impak Operasi Fizikal	Langkah Adaptasi Fizikal	Integrasi Data Hidroiklim dalam BCP & Pelan Strategik
Swiss Re	Semua bencana alam (banjir, kemarau, taufan, gelombang haba)	- Lonjakan ketara dalam tuntutan kerugian akibat kerosakan harta benda global. - Kemerosotan nilai aset dalam portfolio pelaburan syarikat akibat ketidakstabilan iklim.	- Melaksanakan pelarasan harga jaminan (<i>underwriting</i>) secara dinamik setiap tahun berasaskan trend iklim terkini. - Menyediakan penyelesaian pemindahan risiko (<i>risk transfer</i>) dan tindakan antisipasi bencana (<i>anticipatory actions</i>) untuk komuniti rentan.	- Menjalankan penilaian senario rintisan (<i>scenario pilots</i>) menggunakan tiga senario iklim NGFS (<i>Orderly, Disorderly, Hot House World</i>) untuk menguji ketahanan portfolio pelaburan. - Menggunakan model bencana alam proprietari (<i>Nat Cat Models</i>) dan <i>Climate Risk Scores</i> untuk menasihati pelanggan korporat menstruktur pelan BCP mereka.

Jadual 5-6: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Perhotelan

Perhotelan: Program Resiliensi Infrastruktur Portfolio Global				
Nama Syarikat	Risiko Iklim Utama	Impak Operasi Fizikal	Langkah Adaptasi Fizikal	Integrasi Data Hidroklimat dalam BCP & Pelan Strategik
Marriott International	Banjir pantai & darat	- Kerosakan struktur hotel dan gangguan bekalan elektrik/air. - Penutupan sementara hotel, kehilangan tempahan, dan peningkatan kos operasi semasa kecemasan.	- Melaksanakan penambahbaikan infrastruktur tempatan berdasarkan hasil audit kad skor Marriott Infrastructure Resilience and Adaptation (MIRA). - Melatih pengurus kejuruteraan hotel tempatan dalam amalan daya tahan cuaca ekstrem.	- Menggunakan unjuran kenaikan aras laut NOAA dan US National Climate Assessment berdasarkan senario RCP 4.5 dan RCP 8.5 bagi unjuran tahun 2030, 2050, dan 2080. - Membina <i>MIRA Climate Dashboard</i> berasaskan ESRI ArcGIS untuk mengenal pasti visual hartanah berisiko tinggi bagi penyaluran dana CAPEX adaptasi secara strategik.

Jadual 5-7: Contoh Adaptasi Syarikat Sektor Perubatan & Farmaseutikal

Perkhidmatan Perubatan & Farmaseutikal: Kelangsungan Rantaian Bekalan Ubat Kritikal				
Nama Syarikat	Risiko Iklim Utama	Impak Operasi Fizikal	Langkah Adaptasi Fizikal	Integrasi Data Hidroklimat dalam BCP & Pelan Strategik
AstraZeneca	Banjir kilat	- Gangguan bekalan air bersih untuk penyejukan kilang dan pembikinan ubat API. - Kerosakan fizikal fasiliti pembuatan. - Risiko rantaian bekalan bahan mentah farmaseutikal di seluruh dunia.	Melabur bersama WWF dalam pengurusan pemulihan lembangan sungai (sungai selamat) bagi membina resiliensi ekosistem tempatan.	- Menggunakan senario IPCC bagi memodelkan kedalaman banjir, intensiti <i>precipitation</i>, dan risiko kebakaran hutan dalam tempoh ulangan 100 tahun. - Hasil unjuran disepadukan terus ke dalam pelan induk tapak (<i>site master plans</i>), daftar risiko tempatan, dan pelan BCP rantaian bekalan. - Menggunakan alat WWF <i>Water Risk Filter</i> untuk mengesan risiko air di sepanjang rantaian bekalan bahan mentah global.

5.5.2 Cadangan Tindakan Adaptasi

Jadual 5-8 menyenaraikan cadangan tindakan adaptasi banjir yang boleh dipertimbangkan oleh syarikat-syarikat di Malaysia sebagai sebahagian daripada pengurusan risiko iklim, termasuk dalam penyediaan laporan risiko iklim, pelan kesinambungan perniagaan, perancangan CAPEX/OPEX, serta pendedahan berkaitan daya tahan operasi. Cadangan ini boleh disepadukan dalam rangka kerja pelaporan seperti *National Sustainability Reporting Framework (NSRF)* dan *IFRS S2/TCFD*. NSRF bertujuan menyeragamkan pendedahan kemampanan korporat di Malaysia bagi meningkatkan konsistensi, kebolehbandingan dan kebolehpercayaan maklumat yang dilaporkan, manakala IFRS S2 menekankan keperluan pendedahan berkaitan risiko fizikal iklim, peluang iklim, serta implikasinya terhadap daya tahan operasi dan strategi perniagaan syarikat. Langkah-langkah adaptasi yang dicadangkan adalah bertujuan membantu syarikat mengurangkan pendedahan terhadap risiko banjir serta meningkatkan ketahanan operasi dalam menghadapi perubahan iklim.

Jadual 5-8: Cadangan Langkah Adaptasi untuk Syarikat Malaysia

Bil.	Tindakan Adaptasi Banjir	Aktiviti Terperinci oleh Syarikat	Bagaimana Data NAHRIM Membantu	Keputusan Strategik yang Boleh Dibuat	Output / KPI
1	Mengenal pasti aset atau infrastruktur bernilai yang terdedah kepada banjir	Senaraikan aset kritikal seperti kilang, gudang, <i>data centre</i> , pencawang elektrik, menara telekomunikasi, pejabat operasi, depot, jalan akses, sistem saliran, aset IT dan rangkaian bekalan utama.	- Data peta banjir, taburan hujan, unjuran hujan, kawasan rendah, lembangan sungai dan peta risiko boleh digunakan untuk <i>overlay</i> dengan lokasi aset syarikat. - N-HyDAA NAHRIM mempunyai keupayaan menganalisis dan memvisualkan isu air masa depan berkaitan impak perubahan iklim.	Menentukan aset mana yang perlu diberi keutamaan untuk perlindungan, pemindahan, retrofit atau insurans tambahan.	Senarai aset berisiko tinggi, sederhana dan rendah; peta pendedahan aset; asset risk register.

Bil.	Tindakan Adaptasi Banjir	Aktiviti Terperinci oleh Syarikat	Bagaimana Data NAHRIM Membantu	Keputusan Strategik yang Boleh Dibuat	Output / KPI
2	Menjalankan penilaian awal berdasarkan kejadian banjir terdahulu	Kumpul rekod banjir lampau, tarikh kejadian, paras air, tempoh gangguan operasi, kerosakan aset, <i>downtime</i> , tuntutan insurans dan kos pemulihan.	Data hujan sejarah, kejadian ekstrem dan rekod corak taburan hujan boleh dibandingkan dengan rekod kerugian syarikat untuk mengenal pasti ambang hujan yang menyebabkan gangguan.	Menentukan sama ada kejadian lampau bersifat terpencil atau menunjukkan pola risiko berulang.	Laporan <i>baseline</i> risiko banjir; senarai tapak yang pernah terjejas; <i>flood impact history</i> .
3	Mengambil kira kos tambahan operasi akibat banjir	Kira kos OPEX tambahan seperti kerja pembersihan, pam air, generator, <i>overtime</i> pekerja, logistik alternatif, sewaan gudang sementara, pembaikan kecil dan kehilangan produktiviti.	Data risiko banjir NAHRIM boleh membantu syarikat menganggarkan lokasi yang berkemungkinan mengalami gangguan berulang dan seterusnya membina model kos operasi berdasarkan tahap risiko.	Menentukan bajet tahunan untuk <i>flood contingency</i> , <i>emergency response</i> dan <i>business continuity</i> .	Anggaran OPEX banjir tahunan; <i>flood contingency budget</i> ; kos <i>downtime</i> per hari.

Bil.	Tindakan Adaptasi Banjir	Aktiviti Terperinci oleh Syarikat	Bagaimana Data NAHRIM Membantu	Keputusan Strategik yang Boleh Dibuat	Output / KPI
4	Menggunakan aset yang beradaptasi dengan banjir	Guna reka bentuk <i>flood-resilient</i> seperti <i>elevated platform</i> , kalis air pada bilik elektrik, <i>flood barrier</i> , <i>raised server room</i> , <i>backflow valve</i> , lantai mudah dibersihkan, material tahan air dan sistem pam automatik.	Data kedalaman banjir, kawasan limpahan dan intensiti hujan boleh memberi asas teknikal kepada tahap perlindungan yang diperlukan bagi setiap aset.	Menentukan standard minimum reka bentuk aset baharu dan retrofit aset sedia ada.	Garis panduan <i>flood-proofing</i> aset; spesifikasi teknikal minimum; bilangan aset yang dinaik taraf.
5	Menilai risiko banjir terhadap rantai bekalan	Kenal pasti pembekal, warehouse, pelabuhan, laluan logistik dan pusat pengedaran yang berada di kawasan berisiko banjir.	Peta risiko banjir dan hujan boleh di overlay dengan lokasi pembekal dan laluan penghantaran untuk menilai risiko gangguan bekalan.	Memilih pembekal alternatif, lokasi gudang sokongan atau laluan logistik kedua.	<i>Supplier flood-risk map</i> ; senarai pembekal kritikal berisiko; pelan laluan alternatif.
6	Membangunkan sistem amaran awal dalaman	Tetapkan <i>trigger</i> seperti paras hujan, ramalan hujan lebat, paras sungai, status amaran agensi, atau <i>threshold</i> operasi untuk mengaktifkan SOP banjir.	Data hujan dan analitik hidroiklim boleh digunakan untuk membina <i>threshold</i> amaran awal berdasarkan lokasi operasi syarikat.	Mengaktifkan tindakan awal sebelum aset rosak atau operasi terganggu.	SOP amaran awal; <i>dashboard</i> risiko; masa tindak balas sebelum banjir.

Bil.	Tindakan Adaptasi Banjir	Aktiviti Terperinci oleh Syarikat	Bagaimana Data NAHRIM Membantu	Keputusan Strategik yang Boleh Dibuat	Output / KPI
7	Mengintegrasikan risiko banjir dalam <i>Business Continuity Plan</i> (BCP)	Masukkan senario banjir dalam BCP, termasuk pemindahan staf, operasi jarak jauh, <i>backup data</i> , tapak operasi alternatif, komunikasi pelanggan dan pemulihan perkhidmatan.	Senario banjir berdasarkan data NAHRIM boleh membantu syarikat membina senario gangguan operasi yang lebih realistik.	Menentukan tahap kesiapsiagaan operasi untuk banjir 1-dalam-50 tahun, 1-dalam-100 tahun atau senario hujan ekstrem.	BCP berasaskan risiko banjir; latihan simulasi; <i>recovery time objective</i> .
8	Menilai keperluan insurans dan perlindungan kewangan	Semak polisi insurans aset, <i>business interruption insurance</i> , <i>deductibles</i> , <i>exclusions</i> dan had tuntutan berkaitan banjir.	Data pendedahan banjir boleh menyokong perbincangan dengan <i>insurer</i> untuk penilaian risiko yang lebih objektif.	Menentukan sama ada perlu tambah perlindungan, ubah lokasi aset atau kurangkan premium melalui mitigasi fizikal.	<i>Insurance gap analysis</i> ; cadangan perlindungan; nilai aset terdedah.
9	Menetapkan keutamaan CAPEX adaptasi	Susun projek adaptasi mengikut tahap risiko, nilai aset, kos mitigasi, tahap gangguan operasi dan pulangan pelaburan.	Data NAHRIM membantu membezakan aset yang benar-benar terdedah kepada risiko tinggi berbanding aset yang hanya mempunyai risiko persepsi.	Menentukan projek mana perlu dilaksanakan dahulu: <i>flood wall</i> , saliran, relokasi, <i>retrofit</i> , <i>backup power</i> atau sistem pemantauan.	<i>CAPEX adaptation roadmap</i> ; <i>ranking project</i> ; <i>cost-benefit analysis</i> .

Bil.	Tindakan Adaptasi Banjir	Aktiviti Terperinci oleh Syarikat	Bagaimana Data NAHRIM Membantu	Keputusan Strategik yang Boleh Dibuat	Output / KPI
10	Melaksanakan <i>climate scenario analysis</i> untuk risiko banjir	Uji daya tahan aset dan operasi di bawah senario hujan ekstrem, perubahan taburan hujan, banjir darat dan banjir pesisir jika relevan.	N-HyDAA dan data hidroiklim NAHRIM boleh menyokong analisis senario kerana ia melibatkan modul seperti hujan, banjir, kemarau dan water stress untuk menyokong keputusan iklim masa depan.	Menilai sama ada strategi syarikat masih berdaya tahan dalam jangka pendek, sederhana dan panjang.	<i>Climate scenario report; flood stress test; pendedahan risiko fizikal iklim.</i>
11	Menyediakan pendedahan risiko iklim dan banjir untuk laporan kemampanan	Laporkan risiko fizikal banjir, impak kewangan, strategi adaptasi, metrik, sasaran dan tindakan pengurusan risiko.	Data NAHRIM boleh menjadi asas teknikal tempatan untuk menyokong pendedahan risiko fizikal iklim yang lebih kredibel dan kontekstual untuk Malaysia.	Memenuhi kehendak pelaporan iklim, meningkatkan keyakinan pelabur dan mengurangkan risiko <i>greenwashing</i> .	Input NSRF/IFRS S2/TCFD; peta risiko; naratif strategi adaptasi.
12	Menilai tapak baharu sebelum pelaburan atau pembelian tanah	Lakukan <i>climate due diligence</i> sebelum membeli tanah, membina kilang, membuka cawangan, membina <i>data centre</i> atau memperluas gudang.	Data banjir dan hujan NAHRIM boleh digunakan sebagai lapisan penilaian lokasi sebelum keputusan pelaburan dibuat.	Mengelakkan pelaburan besar di kawasan yang berpotensi tinggi mengalami banjir atau memerlukan kos adaptasi tinggi.	<i>Climate due diligence report; site suitability score; keputusan go/no-go.</i>

Bil.	Tindakan Adaptasi Banjir	Aktiviti Terperinci oleh Syarikat	Bagaimana Data NAHRIM Membantu	Keputusan Strategik yang Boleh Dibuat	Output / KPI
13	Membangunkan indeks risiko banjir dalaman syarikat	Bina skor risiko berdasarkan pendedahan banjir, nilai aset, fungsi kritikal, tempoh pemulihan, kos kerosakan dan kepentingan kepada pelanggan.	Data NAHRIM boleh menjadi input <i>hazard/exposure</i> , manakala data syarikat menjadi input nilai aset dan sensitiviti operasi.	Memudahkan lembaga pengarah melihat risiko secara kuantitatif dan membuat keputusan berasaskan bukti.	<i>Flood risk index; heatmap portfolio asset; dashboard pengurusan.</i>
14	Menambah baik reka bentuk saliran dan pengurusan air tapak	Audit kapasiti longkang, kolam takungan, pam, parit, <i>culvert</i> , <i>retention pond</i> dan sistem pelepasan air di kawasan operasi.	Data hujan ekstrem dan unjuran taburan hujan membantu menentukan sama ada kapasiti saliran sedia ada mencukupi untuk masa hadapan.	Menentukan keperluan naik taraf saliran berdasarkan risiko semasa dan risiko iklim masa depan.	<i>Drainage upgrade plan; design rainfall input; pengurangan water ponding.</i>
15	Mewujudkan <i>governance</i> risiko banjir di peringkat pengurusan tertinggi	Tetapkan pemilik risiko, jawatankuasa iklim, pelaporan berkala kepada <i>Board Risk Committee</i> dan integrasi dengan <i>Enterprise Risk Management</i> .	Data NAHRIM boleh digunakan sebagai sumber bukti teknikal untuk laporan risiko berkala kepada pengurusan dan lembaga pengarah.	Mengangkat risiko banjir daripada isu operasi kepada isu strategik korporat.	<i>Risk governance structure; board paper; risk appetite statement.</i>

5.6 Hubungkait Strategik Data NAHRIM dalam Pembuatan Keputusan

Syarikat

Secara strategik, data NAHRIM boleh membantu syarikat bergerak daripada pendekatan reaktif selepas banjir kepada pendekatan proaktif sebelum kerugian berlaku (rujuk Jadual 5-9). Ini penting kerana TCFD menyusun pendedahan iklim di bawah empat teras utama iaitu *governance*, *strategy*, *risk management*, serta *metrics and targets*, manakala IFRS S2 menekankan keperluan syarikat memahami risiko fizikal iklim dan daya tahan operasi mereka.

Jadual 5-9: Kegunaan Data Unjuran NAHRIM

Keperluan Syarikat	Peranan Data NAHRIM	Nilai Strategik
Menentukan aset mana paling berisiko	Peta banjir, data hujan, unjuran hujan, analisis kawasan terdedah	Membantu syarikat membuat ranking aset kritikal
Menentukan lokasi pelaburan baharu	Analisis risiko banjir semasa dan masa hadapan	Mengurangkan risiko <i>stranded asset</i> dan kos <i>retrofit</i> kemudian
Menyediakan laporan NSRF/IFRS S2	Data risiko fizikal iklim tempatan	Menjadikan pendedahan lebih berasaskan bukti dan bukan secara umum
Mengira potensi impak kewangan	Gabungan data hazard NAHRIM dan nilai aset syarikat	Membantu anggaran kerugian, OPEX tambahan dan CAPEX adaptasi
Menyediakan <i>Business Continuity Plan</i> (BCP)	Senario banjir dan hujan ekstrem	Meningkatkan kesiapsiagaan operasi dan masa pemulihan
Menilai perlindungan insurans	Bukti tahap pendedahan banjir mengikut lokasi	Menyokong keputusan <i>premium</i> , <i>deductible</i> dan perlindungan tambahan
Menyediakan pelan adaptasi jangka panjang	Unjuran perubahan hujan dan risiko hidroiklim	Membantu syarikat membuat <i>roadmap</i> adaptasi 5–10 tahun

Data NAHRIM boleh berperanan sebagai asas saintifik dan teknikal tempatan bagi membantu syarikat-syarikat di Malaysia menilai pendedahan aset terhadap risiko banjir, menganggarkan potensi impak kewangan, menentukan keutamaan pelaburan adaptasi, serta menyediakan pendedahan risiko fizikal iklim yang lebih kredibel. Melalui penggunaan data hujan, banjir, unjuran hidroiklim dan analitik seperti N-HyDAA, syarikat boleh membuat keputusan yang lebih strategik dalam aspek lokasi pelaburan, reka bentuk infrastruktur, kesinambungan operasi, perlindungan insurans, pengurusan rantai bekalan dan pelaporan kemampuan. Ini meletakkan NAHRIM bukan sekadar sebagai penyedia data, tetapi sebagai rakan strategik nasional dalam memperkukuh daya tahan iklim sektor korporat Malaysia.

Bagi syarikat-syarikat di Malaysia, terutamanya PLCs, tindakan utama yang dicadangkan adalah menyepadukan unjuran risiko fizikal dan peralihan daripada laporan NC4 ke dalam strategi tadbir urus korporat dan rangka kerja pengurusan risiko perniagaan. Ini termasuk melaksanakan penilaian risiko iklim yang sejajar dengan pelaporan yang diwajibkan oleh Bursa Malaysia, serta melabur dalam aset jangka panjang yang kalis cuaca ekstrem (seperti perlindungan rantai bekalan dan infrastruktur daripada banjir).

6. RUJUKAN

- [1] Abdullah, M. F., Siraj, S., & Hodgett, R. E. (2021). An overview of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) application in managing water-related disaster events: Analyzing 20 years of literature for flood and drought events. *Water*, 13(10), 1358. Accessed on August 26, 2026, <https://doi.org/10.3390/w13101358>
- [2] Abdullah, M. F., Zainol, Z., & Md Shah, A. (2023). Spatial Decision Support System based on Multicriteria Decision Analysis and spatial information for flood management planning: Location analysis for construction of new hospital building in Kelantan, Malaysia. *8th International Case Study Conference*, Melaka, Malaysia. Accessed on August 26, 2026, <https://repo.uum.edu.my/id/eprint/30614/>
- [3] AstraZeneca. (2022). Task Force on Climate-related Financial Disclosures Statement 2022. Accessed on June 9, 2026, https://www.astrazeneca.com/content/dam/az/Sustainability/2023/pdf/AstraZeneca_TCFD_Report_2022.pdf
- [4] AstraZeneca. (2023). Climate Change Exposure 2023. Accessed on June 9, 2026, <https://www.astrazeneca.com/content/dam/az/Sustainability/2024/pdf/Climate-Change-Exposure-2023.pdf>
- [5] AstraZeneca. (2024). Climate Change Exposure 2024. Accessed on June 9, 2026, <https://www.astrazeneca.com/content/dam/az/Sustainability/2025/pdf/Climate-Change-Exposure-2024.pdf>
- [6] AstraZeneca. (n.d.). Water stewardship. Accessed on June 9, 2026, <https://www.astrazeneca.com/sustainability/nature/water-stewardship.html>
- [7] AstraZeneca Pension Fund. (2024). Climate Change Governance Framework. Accessed on June 9, 2026, <https://epa.towerswatson.com/doc/ZEN/AstraZeneca-Pension-Fund-Climate-Change-Framework--.pdf>
- [8] AT&T. (2025). Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Accessed on June 9, 2026, <https://sustainability.att.com/reports/reporting-frameworks/tcf>
- [9] AT&T. (n.d.). Building resilience. Accessed on June 9, 2026, <https://sustainability.att.com/cr/environment/building-resilience>
- [10] Benjamin, N. (2025). Heavy downpour causes flash flooding in Johor Baru, impacts Sultanah Aminah Hospital. *The Star*. Accessed on August 25, 2026, <https://www.thestar.com.my/news/nation/2025/09/11/heavy-downpour-causes-flash-flooding-in-johor-baru-impacts-sultanah-aminah-hospital>
- [11] Bernama. (2014a). Banjir: Hospital Kuala Krai tempat berlindung penduduk tiada rumah. *mStar*. Accessed on August 25, 2026, <https://www.mstar.com.my/lokal/semasa/2014/12/29/hospital-pusat-perlindungan>

- [12] Bernama. (2014b). Flood-affected Kuala Krai Hospital forced to operate in the dark. *Malay Mail*. Accessed on August 25, 2026, <https://www.malaymail.com/news/malaysia/2014/12/25/flood-affected-kuala-krai-hospital-forced-to-operate-in-the-dark/808403>
- [13] Bernama. (2025). Bangunan Lily HSA dilanda banjir kilat, JPS kenal pasti punca – Exco. Accessed on August 25, 2026, <https://bernama.com/bm/news.php?id=2466592>
- [14] Cabinet Office, Government of Japan. (2014). Business Continuity Guidelines: Strategies and Responses for Surviving Critical Incidents (3rd ed.). Accessed on August 26, 2026, <https://www.bousai.go.jp/en/documentation/reports/index.html>
- [15] CapitaLand China Trust. (2023). Integrated Sustainability Report 2023. Accessed on June 9, 2026, <https://investor.clct.com.sg/misc/sr2023/>
- [16] Chan, N. W. (1996). Risk, exposure and vulnerability to flood hazards in a rapidly developing country: The case of Peninsular Malaysia. *Akademika*, 49, 107–136. Accessed on August 26, 2026, <http://ejournal.ukm.my/akademika/article/view/3084>
- [17] Department of Statistics Malaysia (DOSM). (2022). Special Report on Impact of Floods in Malaysia, 2021. Accessed on August 26, 2026, <https://www.dosm.gov.my/portal-main/release-archive/special-report-on-impact-of-floods-in-malaysia2025>
- [18] Department of Statistics Malaysia (DOSM). (2023). Special Report on Impact of Floods in Malaysia, 2022. Accessed on August 26, 2026, <https://www.dosm.gov.my/portal-main/release-archive/special-report-on-impact-of-floods-in-malaysia2025>
- [19] Department of Statistics Malaysia (DOSM). (2024). Special Report on Impact of Floods in Malaysia, 2023. Accessed on August 26, 2026, <https://www.dosm.gov.my/portal-main/release-content/special-report-on-impact-of-floods-in-malaysia->
- [20] Department of Statistics Malaysia (DOSM). (2025). Special Report on Impact of Floods in Malaysia, 2024. Accessed on August 26, 2026, <https://www.dosm.gov.my/portal-main/release-content/special-report-on-impact-of-floods-in-malaysia-2024>
- [21] Department of Statistics Malaysia (DOSM). (2026). Special Report on Impact of Floods in Malaysia, 2025. Accessed on August 26, 2026, <https://www.dosm.gov.my/portal-main/release-content/special-report-on-impact-of-floods-in-malaysia2025>
- [22] Díaz Musmanni, G. (2021). GCA moves to world's largest floating office, a model of self-sufficient climate-resilient design. *Global Center on Adaptation*. Accessed on August 26, 2026, <https://gca.org/gca-moves-to-worlds-largest-floating-office-a-model-of-self-sufficient-climate-resilient-design/>
- [23] Fazly Amri Mohd, Khairul Nizam Abdul Maulud, Othman A. Karim, Muhammad Afiq Ibrahim, Yannie Anak Benson, & Ahmad Khairi Abd. Wahab. (2018). Integrasi

kaedah geospasial dan pemodelan hidrodinamik untuk mengkaji impak kenaikan aras laut terhadap kawasan pantai. *Jurnal Kejuruteraan*, 30(1), 65–75. Accessed on August 25, 2026, [https://doi.org/10.17576/jkukm-2018-30\(1\)-09](https://doi.org/10.17576/jkukm-2018-30(1)-09)

[24] Formosa Plastics Group. (2023). 2023 TNFD · TCFD Report. Accessed on June 9, 2026, https://www.fpg.taipei/uploads/images/esg/TCFD%20Record/2408_2023TNFD%E3%80%81TCFD_EN.pdf

[25] GeSI. (n.d.). AT&T CLIMRR: Climate Risk and Resilience Portal. Accessed on June 9, 2026, <https://www.gesi.org/public-resources/att-climrr-climate-risk-resilience-portal/>

[26] Ghazali, N. H. M., & Osman, S. (n.d.). Flood hazard mapping in Malaysia: Case study Sg. Kelantan River Basin. In *Catalogue of Hydrologic Analysis for Asia and the Pacific, Volume 1: Flood Hazard Mapping*. Department of Irrigation and Drainage Malaysia. Accessed on August 25, 2026, https://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/ihp/cha/CHA_Book-Volume_1.pdf

[27] GIST Impact Team. (2026). Is your portfolio “water-proof”? What a Taiwanese drought reveals about nature risk in your book. *GIST Impact*. Accessed on June 9, 2026, <https://www.gistimpact.com/is-your-portfolio-water-proof-what-a-taiwanese-drought-reveals-about-nature-risk-in-your-book/>

[28] Government of Singapore. (2012). Sewerage and Drainage Act (Chapter 294). *Singapore Statutes Online*.

[29] Haraguchi, M., & Lall, U. (2015). Flood risks and impacts: A case study of Thailand's floods in 2011 and research questions for supply chain decision making. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 514–524. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.09.005>

[30] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.

[31] Janius, R., Abdan, K., & Zulkafli, Z. A. (2017). Development of a disaster action plan for hospitals in Malaysia pertaining to critical engineering infrastructure risk analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21, 168–175. Accessed on August 25, 2026, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.12.002>

[32] Kasmin, H., Tan, L. W., Abdul Rahim, M. A., Md Ali, Z., & Isa, N. F. (2023). Rainfall-runoff response of a suburban area. *International Journal of Integrated Engineering*, 15(7), 166–173. Accessed on August 25, 2026, <https://doi.org/10.30880/ijie.2023.15.07.016>

[33] Leeonis, A. N., Ahmed, M. F., Mokhtar, M., Lim, C. K., & Halder, B. (2024a). Challenges of using a Geographic Information System (GIS) in managing flash floods in Shah Alam, Malaysia. *Sustainability*, 16(17), 7528. Accessed on August 25, 2026, <https://doi.org/10.3390/su16177528>

- [34] Leeonis, A. N., Ahmed, M. F., Halder, B., Mokhtar, M., Lim, C. K., Juneng, L., & Khirotdin, R. P. K. (2024b). Mitigating flood risk at Shah Alam, Malaysia for sustainable development. *Discover Sustainability*, 5, 352. Accessed on August 25, 2026, <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00504-y>
- [35] Marriott International. (2022). Marriott International 2022 CDP Climate Change Response. Accessed on June 9, 2026, <http://serve360.marriott.com/wp-content/uploads/2022/09/Marriott-2022-CDP-Climate-Change.pdf>
- [36] Mastai, A. (2024). Understanding physical climate risk: Definition, assessment, and impact. *Correntics*. Accessed on June 9, 2026, <https://www.correntics.com/understanding-physical-climate-risk-definition-assessment-and-impact/>
- [37] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Japan. (n.d.). Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel. Accessed on August 26, 2026, <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/infratourism/en/infralist/saitama/index01.html>
- [38] National Climate Change Secretariat (NCCS) Singapore. (2016). A Climate-Resilient Singapore, For a Sustainable Future. Singapore Climate Action Plan. Accessed on August 26, 2026, <https://www.nccs.gov.sg/files/docs/default-source/publications/a-climate-resilient-singapore-for-a-sustainable-future.pdf>
- [39] National Disaster Management Agency (NADMA). (2025). Flash flood strikes Sultanah Aminah Hospital in Johor Bahru. Accessed on August 25, 2026, <https://www.nadma.gov.my/bm/media-2/berita/5180-flash-flood-strikes-sultanah-aminah-hospital-in-johor-bahru>
- [40] National Water Research Institute of Malaysia (NAHRIM). (2019). Impact of Climate Change: Sea Level Rise Projections for Malaysia. [Publication originally issued under NAHRIM's former English name, National Hydraulic Research Institute of Malaysia]. Accessed on August 26, 2026, https://www.nahrim.gov.my/wp-content/uploads/CSIRO_Malaysia_SeaLevelRiseReport_FinalReport_2017.pdf
- [41] Natural Resources and Environmental Sustainability Ministry (NRES), Malaysia. (2024). Malaysia Fourth National Communication Report under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Accessed on August 26, 2026, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NRES_NC4_To%20UNFCCC_2024%20v1.0.pdf
- [42] Public Utilities Board (PUB) Singapore. (2018). Code of Practice on Surface Water Drainage (7th ed.). Accessed on August 26, 2026, <https://www.pub.gov.sg/-/media/PUB/PDF/Compliance/Earth-Control-Measures/Code-of-Practice-on-Surface-Water-Drainage.pdf>
- [43] Rijkswaterstaat. (n.d.). Room for the River. Ministry of Infrastructure and Water Management, Netherlands. Accessed on August 26, 2026, <https://www.rijkswaterstaat.nl/en/projects/iconic-structures/room-for-the-river>

- [44] Sathiamurthy, E., Abd Halim, S., Md Supar, L., Abd. Hamid, A. A. A. A., Hui, K. Y., & Pauzi, N. S. (2019). Kelantan central basin flood, December 2014: Causes and extend. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 68, 57–67. Accessed on August 25, 2026, <https://doi.org/10.7186/bgsm68201905>
- [45] See, T. K. L., Jaafar, M., Mohd Jamil, M. R., Wati, R. N., & Ata, F. M. (2025). Developing flood hazard maps for the Kelantan floodplain using the HEC-RAS 2D model. *Geografia—Malaysian Journal of Society and Space*, 21(1), 1–17. Accessed on August 25, 2026, <https://doi.org/10.17576/geo-2025-2101-01>
- [46] Sisk Group. (2024). Task Force on Climate-related Financial Disclosures Statement 2024. Accessed on June 9, 2026, <https://sisk.com/uploads/pdf/TCFD-Statement-2024.pdf>
- [47] Swiss Re Corporate Solutions. (n.d.). Climate Risk Solutions for Sustainability Risk Management. Accessed on June 9, 2026, <https://corporatesolutions.swissre.com/dam/jcr:4f7f4a03-affd-48d9-899f-146807d7806a/climate-risk-solutions-corporates.pdf>
- [48] Swiss Re Foundation. (n.d.). Disaster risk reduction. Accessed on June 9, 2026, <https://www.swissrefoundation.org/what-we-do/projects/Climate-solutions/DRR.html>
- [49] Swiss Re Ltd. (2022). Climate-related financial disclosures. Accessed on June 9, 2026, <https://www.swissre.com/dam/jcr:74f4e4dd-3128-4193-adea-a81ab8378773/2022-ar-financial-report-tcfd.pdf>
- [50] Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC). (2020). TSMC 2020 TCFD Report. Accessed on June 9, 2026, https://esg.tsmc.com/download/file/TSMC_TCFD_Report_E.pdf
- [51] Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC). (2021). TSMC 2021 TCFD Report. Accessed on June 9, 2026, <https://esg.tsmc.com/download/file/2021-TCFDReport-e.pdf>
- [52] Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC). (2024). Climate and Nature Report. Accessed on June 9, 2026, <https://esg.tsmc.com/file/public/2024-TSMC-Climate-and-Nature-Report-e.pdf>
- [53] Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC). (n.d.). Climate and nature-related statements, policies and reports. Accessed on June 9, 2026, https://www.tsmc.com/english/aboutTSMC/dc_climate_business
- [54] Thailand Board of Investment & Industrial Estate Authority of Thailand. (2012). Flood Prevention Measures for Industrial Estates. Accessed on August 26, 2026, https://www.boi.go.th/upload/content/Flood_Prevention_Measures_19865.pdf
- [55] U.S. Department of Energy & Marriott International. (2024). Marriott Infrastructure Resilience and Adaptation (MIRA) Program: Case Study. *Better Buildings Solution Center*. Accessed on June 9, 2026, https://betterbuildingsolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/attachments/Marriott_CaseStudy.pdf

- [56] Wang, S. Z., & Tan, L. W. (2022). Flooding in Taman Universiti, Parit Raja: Causes and solutions. *Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment*, 3(1), 1209–1221. Accessed on August 25, 2026, <https://doi.org/10.30880/rtcebe.2022.03.01.138>
- [57] World Economic Forum (WEF). (2024). The Global Risks Report 2024 (19th ed.). Geneva: World Economic Forum.
- [58] World Health Organization & Pan American Health Organization. (2015). Hospital Safety Index: Guide for Evaluators (2nd ed.). Accessed on August 25, 2026, <https://iris.who.int/handle/10665/258966>
- [59] World Bank. (2012). Thai Flood 2011: Rapid Assessment for Resilient Recovery and Reconstruction Planning. Bangkok: World Bank. Accessed on August 26, 2026, <https://documents1.worldbank.org/curated/en/262141468118140200/pdf/698220WP0v20P10se0Only060Box370022B.pdf>
- [60] World Bank. (2024). Flood Risk Management: Leveraging Finance for Business Resilience in Malaysia.
- [61] Yasmin, M. N., Mohd Razali, S. F., Sharil, S., Wan Mohtar, W. H. M., & Saadon, K. A. (2022). Effectiveness of tidal control gates in flood-prone areas during high tide appearances. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 919704. Accessed on August 25, 2026, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.919704>
- [62] Yusoff, N. A., Shafii, H., & Omar, R. (2018). Flood risk on hospital utility and mitigation measures. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(3.25), 258–262. Accessed on August 25, 2026, <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.25.17558>