



Kementerian Tenaga dan Sumber Asli

**LAPORAN KAJIAN
BENCANA GEOLOGI BANJIR PUING 2022
SUNGAI KUPANG, BALING, KEDAH**

PASUKAN KHAS SIASATAN BENCANA - TRAGEDI BALING 2022

Penasihat

YB Datuk Seri Takiyuddin Bin Hassan, *Menteri Tenaga dan Sumber Asli*

Pengerusi

YBhg Dato' Haji Rosli Bin Isa, *Ketua Setiausaha Kementerian Tenaga dan Sumber Asli*

Pakar/Ketua Penulis dan Penggubal Laporan

Prof. Emeritus. Dato' PGel. Dr. Ibrahim Komoo, *LESTARI, UKM*

Prof. PGel. Dr. Che Aziz Ali, *LESTARI, UKM*

Pasukan Kajian

Kementerian

Kementerian Tenaga dan Sumber Asli (KeTSA)

- En. Abdul Wahid bin Abu Salim
- Pn. Norsham binti Abdul Latip

Kementerian Alam Sekitar dan Air (KASA)

- Dr. Ching Thoo A/L Kim
- En. Ahmad Zulfi bin Zalaluddin

Kementerian Pembangunan Luar Bandar (KPLB)

- En. Azlan Bin Ibrahim
- En. Mohd Fadzli bin Mohd Kenali

Unit Perancang Ekonomi, Jabatan Perdana Menteri (EPU JPM)

- En. Sobri Bin Mohd Mansori

Agenzi Pengurusan Bencana Negara (NADMA)

- Datuk Dr. Aminuddin bin Hassim
- En. Rusli Bin Ibrahim

Jabatan/Agenzi Persekutuan

Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (JMG)

- Tn. Haji Hishamuddin Bin Termidi
- PGel. Zamri Bin Ramli
- PGel. Abdul Rahim Bin Harun
- PGel. Dr. Ferdaus Bin Ahmad
- PGel. Amir Mizwan Bin Mohd Akhir
- PGel. Saiful Bin Abdullah
- PGel. Mohd Farid Bin Abdul Kadir

Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM)

- Sr. Wan Mohamad Darani Bin Ab. Rahman
- Lt. Kol. Norazlin Binti Hj. Pamuji
- Sr. Wan Safinah binti Wan Azlan
- Lt M Nazlin bin Md Jamil
- En. Nik Mohd Ramli bin Nik Yusoff
- En. Mohd Helmi bin Jafri
- Cik Anis Farhana binti Mohd Radzi
- En. Zainal Abidin bin Abdullah

Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia (JPSM)

- Dato' Mohd Basri bin Abd Manaf
- En. Harry Yong
- En. Mohd Faris bin Sobri

Jabatan Perlindungan Hidupan Liar dan Taman Negara (PERHILITAN)

- Dato' Hasnan bin Hj. Yusop
- En. Nor Shahrim bin Mohamed Nor
- En. Mohd Zakimi bin Mat Yunus
- En. Walid Khairi bin Wahled

Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS)

- Ir. Ratna Rajah Sivapiragasam
- Ir. Dr. Norlida Binti Mohd Dom
- Ir. Dr. Salwa Binti Ramly
- Pn. Adilah Binti Mohamad Anuar
- Pn. Nor Hamizah Binti Muhamad

Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM)

- Ir. Mohd Zaki Bin Mat Amin
- Ir. Azman Bin Mat Jusoh
- Ir. Dr. Safari Bin Mat Desa
- Dr. Mohd Aminur Rashid bin Mohd Amiruddin Arumugam
- Ir. Marini Binti Mohamad Ideris
- Ir. Liew Yuk San
- Cik Goh Yee Cai

Agenzi Angkasa Malaysia (MYSA)

- En. Adnan Bin Ismail
- Encik Zahid bin Ahmad

Jabatan Meteorologi Malaysia (METMalaysia)

- En. Azlai Taat
- Pn. Yusfadzillah binti Yosuff

Jabatan Perancang Bandar dan Desa (PLANMalaysia)

- En. Wong Seng Fatt

Jabatan Alam Sekitar (JAS)

- En. Mohd Alif bin Mohd Sofi
- En. Rohmi bin Harun

Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara (SPAN)

- Ir. Azrul Raimee Ramli
- En. Zaid bin Abdul Razak

Skuadron 3, Tentera Udara DiRaja Malaysia (TUDM)

- Mejar Nor Syawal bin Mohamad Din

Jabatan/Agenzi Negeri Kedah

Bahagian Perancang Ekonomi Negeri Kedah (BPEN)

- En. Faizal Rizal Bin Mohammad

Pejabat Daerah dan Tanah Baling

- Tuan Haji Mohd Shahadan Bin Haji Abdullah
- En. Mohd Rinizan Bin Razali

- En. Mohd Nasrun Md Suid

Jabatan Mineral dan Geosains Kedah/Perlis/Pulau Pinang (JMG KPPP)

- PGeol. Tn Hj Azizan bin Ali

- PGeol. Mohd Syahrizal bin Zakaria

- PGeol. Anis Nasuha bt Mustapha

Jabatan Perhutanan Negeri Kedah (Jabatan Perhutanan Kedah)

- En. Muhamad bin Abdullah

- En. Fadlilah Amirullah

Jabatan Pengairan dan Saliran Negeri Kedah (JPS Kedah)

- Ir. Hj. Nasser Bin Salim

Jabatan Pengairan dan Saliran Kuala Muda / Sik / Baling

- Pn. Nur Syuhada binti Ahmad

- En. Muhammad Firdaus bin Nasab

Jabatan Air dan Saliran Negeri Kedah (JAS Kedah)

- En. Norazizi bin Adinan

- En Mohd Alif bin Mohd Sofi

Lembaga Kemajuan Wilayah Kedah (KEDA)

- En. Norazizi Bin Adinan

Badan Profesional/Institusi Penyelidikan

Lembaga Ahli Geologi Malaysia (LAGM)

- PGeol. Dato' Zakaria Bin Mohamad

Institut Geologi Malaysia (IGM)

- PGeol. Abd Rasid Bin Jaapar

- En. Mohamad Faruq Syahmi Bin Md Aripin

- En. Muhammad Afiq Ariff Bin Mohd Hellmy

Institut Alam Sekitar dan Pembangunan, Universiti Kebangsaan Malaysia (LESTARi, UKM)

- Prof. Emeritus. Dato' PGeol. Dr. Ibrahim Bin Komoo

- Prof. PGeol. Dr. Che Aziz Bin Ali

- PGeol. Dr. Lim Choun Sian

Pasukan Penulis dan Penggubal Laporan

Tn Hj Hisamuddin Bin Termidi, *KP JMG*

PGeol. Zamri Bin Ramli, *TKP JMG*

PGeol. Dato' Zakaria Bin Mohamad, *LAGM*

PGeol. Abd Rasid Bin Jaapar, *IGM*

PGeol. Dr. Lim Choun Sian, *LESTARi, UKM*

PGeol. Abd Rahim Bin Harun, *JMG*

Mohamad Faruq Syahmi Bin Md Aripin, *IGM*

Muhammad Afiq Ariff Bin Mohd Hellmy, *IGM*

PGeol. Amir Mizwan Bin Mohd Akhir, *JMG*

PGeol. Saiful Bin Abdullah, *JMG*

PGeol. Mohd Farid Bin Abdul Kadir, *JMG*

Urus Setia

Nor Azmi Bin Ahmad @ Mohamad, *SUB KeTSA*

Daniel Lee Bin Abdullah, *Bahagian Geosains KeTSA*

Razhiyah Binti Ahmad Reza, *Bahagian Geosains KeTSA*



RINGKASAN EKSEKUTIF

Bencana Geologi yang berlaku pada 4 Julai 2022 di Sungai Kupang, Baling, Kedah telah mengakibatkan 3 orang terkorban, 17 buah rumah musnah atau rosak, 3,546 penduduk terjejas, dan kerugian dianggarkan berjumlah RM25.91 juta. Apa yang berlaku adalah hujan lebat lampau di kawasan tanah tinggi Gunung Inas telah mencetus kejadian puluhan tanah runtuh secara serentak, diikuti oleh fenomena aliran puing di empat (4) cabang sungai utama, diakhiri dengan tragedi banjir puing dan banjir lumpur di kawasan dataran rendah iaitu Kampung Iboi dan puluhan kampung di hilirnya.

Penyebab bencana ini telah menimbulkan pelbagai persepsi masyarakat, antaranya aktiviti pembalakan, ladang hutan, dan kejadian kolam pecah di hulu sungai. Kajian multi-agensi ini bertujuan mencari jawapan kepada persoalan apakah fenomena sebenar yang berlaku, faktor penyebabnya, dan bolehkah tragedi seperti ini dihindari pada masa hadapan? Dapatan Pasukan Khas Bencana - Tragedi Baling 2022 menunjukkan, bencana berpunca daripada rempuhan bahan puing (kayu kayan, kerikil, pasir, lodak) yang lampau banyak mengakibatkan 17 buah rumah musnah, 11 buah jambatan dan titi musnah, dan ratusan rumah dilanda banjir lumpur.

Punca kejadian ialah fenomena geologi langka iaitu Aliran Puing, sama seperti yang terjadi di Sungai Lubok Panjang, Jerai; Sungai Lui, Hulu Langat; dan Sungai Telemung, Bentong pada tahun 2021. Dalam tragedi ini, kuasa pemusnah Bencana Banjir Puing ditingkatkan lagi oleh kandungan lodak yang tinggi akibat hakisan aktif di Ladang Hutan Kompartmen 8 HSK Gunung Inas. Aliran puing ialah proses geologi berangkai yang bermula dengan tanah runtuh, disusuli dengan aliran puing, banjir puing dan banjir lumpur. Dalam kejadian ini, lebih 276,038 meter padu bahan jatuhan tanah runtuh bercampur air yang banyak, mengalir sepanjang alur sungai, ia berupaya menghakis dasar dan tebing dan mengalir bersama 2,589,021 meter padu bahan puing. Apabila kuantiti air bertambah, fenomena aliran bertukar menjadi banjir puing yang mengandungi 3,275,467 meter padu bahan puing dan seterusnya 1,111,187 meter padu puing lodak dalam ampaian banjir lumpur. Sebanyak 7,251,704 meter padu puing menjadi penyebab utama bencana berkuasa tinggi.

Laporan ini menyediakan syor jangka pendek dan jangka panjang yang perlu dilaksanakan untuk memastikan tragedi Aliran Puing dapat dikurangkan dan impaknya kepada masyarakat diminimumkan. Dua (2) respons dasar diperkenalkan bagi memastikan tindakan susulan pengurangan risiko bencana geologi tepat dan berkesan dengan penekanan kepada pengurusan bencana geologi untuk keselamatan masyarakat.

GLOSARI

- **Aliran Puing** - Sejenis pergerakan jisim yang bergerak dengan pantas membawa pasir longgar, lodak, bongkah batuan, dan bahan organik (kayu kayan) yang bercampur dengan air membentuk aliran cecair yang mengalir ke arah hilir.
- **Bahaya Geologi** - Proses atau fenomena geologi yang berlaku secara semula jadi akibat daripada faktor pencetus dan faktor penyebab semula jadi atau buatan manusia.
- **Banjir Lumpur** - Banjir Lumpur berlaku apabila air banjir melimpahi tebing sungai dengan membawa kandungan bahan lumpur yang sangat banyak.
- **Banjir Puing** - Banjir Puing berlaku di bahagian hilir Lembah Tanah Tinggi dan kawasan Dataran Rendah apabila kandungan air lebih banyak daripada bahan puing selepas semua bongkah batuan telah pun terdampar di bahagian hulu dan kemudian Banjir Puing akan membawa puing kayu-kayan, kerikil, pasir, dan lodak yang terampai di dalam air dengan banyak.
- **Bencana Geologi** - Kejadian fenomena geologi yang memberi impak negatif susulan daripada fenomena itu yang menyebabkan kemudarat dan kemasuhan kepada komuniti yang telah terjejas.
- **Bencana Geologi Berangkai** - Bencana yang terhasil daripada salah satu Proses Geologi Berangkai iaitu sama ada tanah runtuh, aliran puing, banjir puing, atau banjir lumpur yang menyebabkan kemasuhan infrastruktur, merosakkan harta benda, dan kehilangan nyawa.
- **Hakisan dan Perlodakan** - Proses pengangkutan bahan-bahan luluhan yang terdedah dan terurai akibat daripada agen hakisan semula jadi terutamanya air ke dalam bahagian hilir lembangan dan menambah bahan lodak di dasar alur sungai.
- **Proses Geologi Berangkai** - Proses Geologi Berangkai ialah fenomena geologi tabii di Malaysia, umumnya tercetus oleh hujan lebat lampau atau gabungan antara curahan hujan dan leukan tropika atau luruan monsun. Rantaian proses bermula dengan gelinciran tanah, aliran puing, hakisan permukaan, hakisan tebing alur/sungai, banjir puing dan berakhir dengan banjir lumpur. Proses geologi berangkai agak langka, tetapi impaknya sangat besar, telah mengorbankan paling banyak mangsa bencana alam di negara ini.
- **Tanah Runtuh** - Tanah runtuh merupakan pergerakan jisim ke bawah cerun akibat graviti pada cerun tabii atau cerun buatan.

Isi Kandungan

PASUKAN KHAS SIASATAN BENCANA - TRAGEDI BALING 2022	2
RINGKASAN EKSEKUTIF	6
GLOSARI	7
1. PENGENALAN	10
2. PERISTIWA BANJIR PUING DI MALAYSIA	12
3. GEOLOGI DAN GEOMORFOLOGI	17
3.1 <i>Geologi Lembangan Sungai Kupang</i>	17
3.2 <i>Geomorfologi Lembangan Sungai Kupang</i>	18
4. HAKISAN DAN PERLODAKAN	19
5. CUACA DAN CURAHAN HUJAN	22
6. ANATOMI DAN HIDROLOGI LEMBANGAN SUNGAI KUPANG	25
6.1 <i>Model Proses Geologi Lembangan</i>	25
6.2 <i>Anatomi dan Hidrologi Lembangan Sungai Kupang</i>	26
7. PROSES GEOLOGI BERANGKAI	28
7.1 <i>Gelinciran Tanah (Tanah Runtuh)</i>	28
7.2 <i>Aliran Puing</i>	29
7.3 <i>Banjir Puing</i>	29
7.4 <i>Banjir Lumpur</i>	29
8. GUNA TANAH SEMASA	30
9. BENCANA ALIRAN DAN BANJIR PUING	32
9.1 <i>Impak Fizikal</i>	33
9.2 <i>Impak Sosial</i>	35
9.3 <i>Kos Pengurusan Bencana</i>	35
10. HASIL TINJAUAN LAPANGAN	37
10.1 <i>Zon Tanah Runtuh</i>	37
10.2 <i>Zon Aliran Puing</i>	37
10.1 <i>Zon Banjir Puing</i>	40
10.2 <i>Zon Banjir Lumpur</i>	40
10.3 <i>Hakisan dan Perlodakan</i>	40

10.4	<i>Analisis Impak</i>	45
11.	PEMETAAN LAPANGAN DAN PETA BAHAYA GEOLOGI	46
11.1	<i>Zon Musnah</i>	49
11.2	<i>Zon Bahaya</i>	49
11.3	<i>Zon Selamat</i>	49
12.	DAPATAN UTAMA	51
12.1	<i>Faktor Pencetus</i>	53
12.2	<i>Faktor Penyebab Utama</i>	53
12.3	<i>Faktor Penyebab Tambahan</i>	54
12.4	<i>Banjir Lumpur Pasca-Bencana</i>	54
13.	CADANGAN TINDAKAN SUSULAN	55
13.1	<i>Tindakan Jangka Pendek</i>	55
13.2	<i>Tindakan Jangka Panjang</i>	56
13.3	<i>Pengurangan Risiko Bencana</i>	58
13.4	<i>Respons Dasar</i>	58
14.	KESIMPULAN	60
RUJUKAN		61
LAPORAN AGENSI		63
PENGHARGAAN		65

1. PENGENALAN

Kampung Iboi yang terletak di tebing Sungai Kupang dan beberapa kampung di hilirnya dilanda Banjir Puing dan Banjir Lumpur yang berlaku pada 4 Julai 2022, menyebabkan 3 orang terkorban, 17 buah rumah musnah atau rosak, 3,546 penduduk terjejas, dan kerugian dianggarkan berjumlah RM25.91 juta. Bencana Banjir Puing yang melanda Kampung Iboi mempunyai kuasa pemusnah yang tinggi, penyebab utama kematian, dan menyebabkan jambatan dihanyutkan serta beberapa buah rumah di sepanjang laluannya musnah sama sekali. Kejadian ini berlaku dengan sangat pantas, bermula sekitar jam 4 petang dan mulai surut hanya selepas beberapa jam berikutnya.

Dalam tempoh 12 bulan kebelakangan ini, beberapa peristiwa Bencana Banjir Puing (BBP) telah melanda Malaysia. Umpamanya di Sungai Lubok Panjang, Gunung Jerai, Kedah pada 18 Ogos 2021, disusuli kejadian yang hampir sama di Sungai Benus (Pahang), Sungai Telemung (Pahang) dan Sungai Lui (Selangor) pada 18 hingga 19 Disember 2021, kemudian di Hulu Terengganu pada 27 Februari 2022. BBP telah menimbulkan pelbagai isu teknikal dan sosial. Perdebatan mengenai punca fenomena ini, sama ada berkaitan dengan proses tabii atau akibat aktiviti manusia (pengeluaran sumber hutan dan pembersihan tanah) masih berterusan dan sehingga kini masih belum mempunyai jawapan yang memuaskan.

Semasa kejadian di Gunung Jerai, masyarakat awam menamakan fenomena ini sebagai ‘Kepala Air’. Fenomena kepala air memang sering berlaku di kaki kawasan pergunungan, terutamanya apabila hujan lebat di bahagian hulu menyebabkan air sungai naik secara mendadak dan bergerak dengan pantas kemudian surut dengan kadar yang pantas juga. Kepala air tidak membawa bahan puing (bongkah batuan besar dan kayu kayan) dengan banyak, lazimnya airnya kurang berlumpur dan jarang melimpah melampaui tebing.

Mekanisme dan impak bencana ini berbeza dengan Banjir Kilat (berdasarkan pengelasan JPS) di mana Banjir Puing berlaku apabila air naik secara mendadak pada ketinggian yang luar biasa, serta membawa bahan-bahan puing (kerikil, pasir, lodak dan kayu kayan) yang sangat banyak di dalam air banjir, menunjukkan fenomena bencana ini bukan sekadar banjir biasa. Apa yang berlaku ialah Banjir Puing (istilah teknikal dalam bidang Geologi Kejuruteraan), yang lazimnya disebabkan oleh kejadian tanah runtuh dan aliran puing di kawasan hulu sungai ketika hujan lebat lampau.



Rajah 1.1: Kampung Iboi adalah kawasan yang paling terjejas oleh Banjir Puing disebabkan kedudukannya di lokasi damparan puing.

Bencana Banjir Puing di Kampung Iboi berpunca daripada proses geologi berangkai yang tercetus di bahagian hulu Sungai Kupang. Hujan lebat lampau mencetuskan puluhan tanah runtuh di kawasan permatang dan lurah bercerun curam. Kandungan air yang tinggi di dalam alur sungai mengangkat bahan runtuh dan memulakan proses aliran puing. Apabila air bertambah, aliran puing berubah menjadi banjir puing. Jambatan Kampung Iboi menjadi ‘empangan sementara’ telah menyebabkan bencana Banjir Puing di kawasan hilirnya apabila pecah. Setelah bahan puing terdampar, yang tinggal hanya bahan lodak yang terampai dalam air banjir menyebabkan Banjir Lumpur. Hakisan dan perlodakan berkadar tinggi menjadi faktor tambahan bahan puing yang sangat banyak dalam Banjir Puing.

Laporan ini bertujuan untuk menyediakan jawapan daripada perspektif sains mengenai mekanisme bencana, faktor pencetus dan penyebab bencana, impak kepada ekonomi dan sosial, respons dasar, tindakan jangka pendek dan panjang yang perlu dilaksanakan untuk menghindar atau mengurangkan risiko masa hadapan.

2. PERISTIWA BANJIR PUING DI MALAYSIA

Aliran Puing atau gabungan Aliran dan Banjir Puing adalah antara bencana alam yang paling digeruni yang telah mengorbankan banyak nyawa dan merosakkan harta benda penduduk di kawasan kaki pergunungan yang telah lama dikenali oleh ahli geologi dan jurutera di peringkat kebangsaan dan antarabangsa. Di Malaysia, fenomena ini masih dalam bidang geosains tetapi masih belum mampu diterjemahkan kepada jenis bencana khas yang perlu mendapat perhatian agensi berkepentingan kerajaan.

Di Malaysia, rekod terawal menjelaskan fenomena ini ialah kejadian di KM 38.6 Lebuhraya Karak - Genting Sempah, Selangor dan Pahang. Dalam kejadian tersebut 20 orang terkorban ketika mereka masih berada di dalam kenderaan, dirempuh dan hanyutkan oleh aliran puing sejauh lebih 50 m dari jalan naik ke Genting Sempah. Pada yang masa sama, lebih 60 buah aliran puing berlaku secara serentak di kawasan Genting Sempah yang melimpah di sepanjang jalan dan kaki bukit.

Tragedi Banjir Puing Pos Dipang ialah peristiwa paling menyayat hati yang berlaku pada 26 Ogos 1996, apabila sebuah kampung Orang Asli musnah dan mengorbankan 44 nyawa. Apa yang berlaku ketika itu ialah 3 buah tanah runtuh berskala besar berlaku di kawasan cerun curam permataang tinggi yang dicetuskan oleh hujan lebat lampau. Puing tanah runtuh masuk ke dalam alur Sungai Dipang memulakan proses aliran puing. Puing kayu kyan tersekut di alur yang sempit bertindak sebagai ‘empangan sementara’. Air naik secara mendadak menyebabkan empangan pecah, lantas mendamparkan bahan puing dan memusnahkan lebih 20 buah rumah Orang Asli yang menetap sekitar 100m di hilir empangan sementara. Peristiwa ini lebih dikenali sebagai ‘Banjir Sungai Dipang’ kerana keadaan di hilir menyerupai fenomena banjir lumpur yang mengandungi banyak kayu kyan.

Banjir Puing yang terbesar pernah di alami negara berlaku pada 26 Disember 1996 di Sungai Keningau, Sabah mengorbankan 300 orang penduduk di sepanjang sungai tersebut. Tragedi ini lebih dikenali sebagai Taufan Greg kerana hujan lebat lampau yang menyebabkan aliran dan banjir puing dicetuskan oleh ekor Taufan Greg yang mulai kehilangan tenaganya apabila sampai di persisiran Sabah.

Sejak itu lebih 25 fenomena aliran dan banjir puing terjadi di negara ini dicatatkan antaranya ialah Aliran Puing Gunung Pulai, Johor (28 Disember 2001, membunuh 5 nyawa), Aliran Puing Ruan Changkul, Sarawak (28 Januari 2002, membunuh 16 nyawa), Aliran Puing Sungai Ruil, Pahang (7 Ogos 2011, membunuh 7 nyawa), Aliran dan Banjir Puing, Sungai Lubok Panjang, Kedah (18 Ogos 2021, membunuh 6 nyawa), Banjir Puing Sungai Lui, Selangor (18 Disember 2021, membunuh 3 nyawa), Aliran dan Banjir Puing Sungai Telemung, Pahang (18 Disember 2021, membunuh 8 nyawa), dan Banjir Puing Sungai Kupang (4 Julai 2022, membunuh 3 nyawa). Senarai lengkap dan taburannya ditunjukkan pada Jadual 2.1.

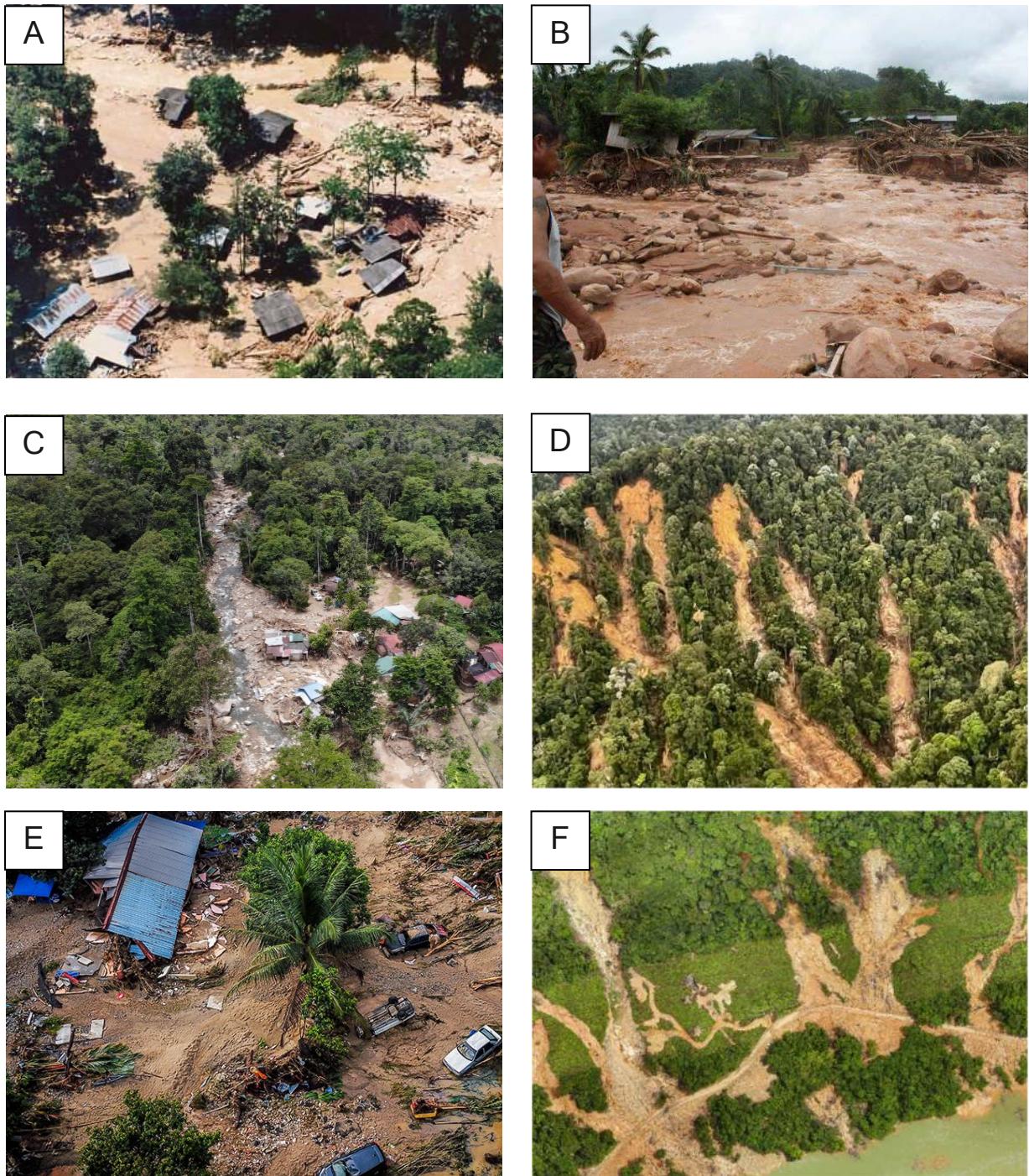
Anehnya, semua kejadian aliran dan banjir puing tidak dinamakan dengan betul mengikut pengelasan saintifik. Pihak agensi kerajaan dan pemberita lebih gemar menamakannya berasaskan penjelasan awam seperti ‘kepala air, tanah runtuh, ribut atau banjir lumpur’. Aliran puing ialah sejenis tanah runtuh khas, mempunyai mekanisme kompleks melibatkan proses geologi berangkai, bermula dengan tanah runtuh, diikuti dengan aliran puing, banjir puing dan berakhir dengan banjir lumpur. Aliran dan Banjir Puing bukan sekadar banjir, tetapi proses geologi yang berlaku sepanjang alur sungai di kawasan tanah tinggi.

Jadual 2.1: Senarai peristiwa dan taburan bencana aliran puing dan banjir puing di Malaysia.

No	Tarikh	Nama Insiden dan Lokasi	Kematian	Jenis Bencana
1	30 Jun 1995	Aliran puing di KM 38.6 Lebuh raya Kuala Lumpur-Karak, Genting Sempah, Selangor	20	Aliran puing
2	29 Ogos 1996	Banjir lumpur di Kampung Orang Asli, Pos Dipang, Kampar, Perak	44	Aliran puing dan banjir puing, banjir lumpur
3	26 Dis 1996	Taufan Tropika Greg di Keningau, Sabah	300	Aliran puing, banjir puing dan banjir lumpur
4	4 Jan 2000	Tanah runtuh di Cameron Highland, Pahang	6	Aliran puing
5	22 Sep 2001	Tanah runtuh di Kampung Chinchin, Gombak, Selangor	1	Aliran puing
6	28 Dis 2001	Aliran puing di Sungai Pulai, Gunung Pulai, Johor	5	Aliran puing
7	28 Jan 2002	Tanah runtuh di Ruan Changkul, Simunjan, Sarawak	16	Aliran puing
8	8 Nov 2002	Tanah runtuh di Taman Hillview, Hulu Kelang, Selangor	8	Aliran puing
9	10 Nov 2003	Tanah runtuh di Seksyen 23.3 ke Seksyen 24.1, Kuala Kubu Baru, Selangor	0	Aliran puing
10	2 Nov 2004	Aliran puing di KM 52.4, Lentang, Lebuhraya Kuala Lumpur-Karak, Pahang	0	Aliran puing
11	10 Nov 2004	Tanah runtuh di KM 302, Lebuhraya Utara Selatan, Gunung Tempurung, Perak	0	Aliran puing
12	12 Nov 2004	Tanah runtuh di Taman Harmonis, Gombak, Selangor	1	Aliran puing
13	12 Apr 2005	Tanah runtuh di KM 33, Simpang Pulai, Cameron Highland, Pahang	0	Aliran puing
14	15 Nov 2007	Tanah runtuh di KM 4 ke KM 5, Gap, Jalan Fraser's Hill, Pahang	0	Aliran puing
15	15 Jan 2008	Aliran puing di Jalan Fraser's Hill, Pahang	0	Aliran puing
16	3 Jan 2009	Tanah runtuh di Seksyen 62.4, Jalan Lojing-Gua Musang, Kelantan	0	Aliran puing

17	7 Ogos 2011	Tanah runtuh di Kampung Orang Asli, Sungai Ruil, Cameron Highlands, Pahang	7	Aliran puing, banjir lumpur
18	23 Okt 2013	Tanah runtuh di Lembah Bertam, Cameron Highland, Pahang	1	Aliran puing
19	5 Nov 2014	KM 28, Jalan Tamparuli, Ranau, Sabah	0	Aliran puing
20	11 Jun 2015	Aliran puing di Jalan Fraser Hill's, Pahang	0	Aliran puing
21	18 May 2015	Tanah runtuh di KM 38.80, Jalan Penampang Tambunan Dongongan, Sabah	0	Aliran puing
22	15 Jun 2015	Aliran puing di Sungai Mesilau, Kundasang, Sabah	0	Aliran puing
23	23 Ogos 2015	Aliran puing di Sungai Kedamaian dan Panataran, Kota Belud, Sabah	0	Aliran puing
24	18 Ogos 2021	Kepala air, Gunung Jerai, Yan, Kedah	5	Aliran puing, banjir puing dan banjir lumpuh
25	18 Dis 2021	Banjir di Bentong, Pahang, Hulu Langat, Selangor dan Negeri Sembilan	23	Aliran puing, banjir puing dan banjir lumpuh
26	27 Feb 2022	Aliran Puing di Empangan Kenyir, Terengganu		Aliran puing
27	4 Jul 2022	Kepala air di Sungai Kupang, Kedah	3	Aliran puing, banjir puing dan banjir lumpur
Jumlah Kematian			442	

Rujukan (diubahsuai daripada): Rosli, M.I., Che Ros, F., Razak, K.A., Ambran, S., Kamaruddin, S.A., Nor Anuar, A., Marto, A., Tobita, T., Ono, Y., 2021, Modelling Debris Flow Runout: A Case Study on the Mesilau Watershed, Kundasang, Sabah. Water 2021, 13, 2667. <https://doi.org/10.3390/w13192667>



Rajah 2.1: Peristiwa Aliran Puing dan Banjir Puing yang berlaku di Malaysia (A) Pos Dipang, Perak, (B) Keningau, Sabah, (C) Sungai Lubok Panjang, Kedah, (D) Sungai Telemung, Pahang, (E) Sungai Lui, Selangor, (F) Tasik Kenyir, Terengganu.

3. GEOLOGI DAN GEOMORFOLOGI

3.1 Geologi Lembangan Sungai Kupang

Keseluruhan Lembangan Sungai Kupang didasari oleh tiga unit batuan utama iaitu Granit Inas di bahagian hulu lembangan yang bertopografi tinggi (berjulat dari 200 m hingga melebihi 1450 m), Formasi Semanggol di bahagian tengah dan Formasi Kroh yang membentuk perbukitan rendah dan beralun di bahagian paling hilir.

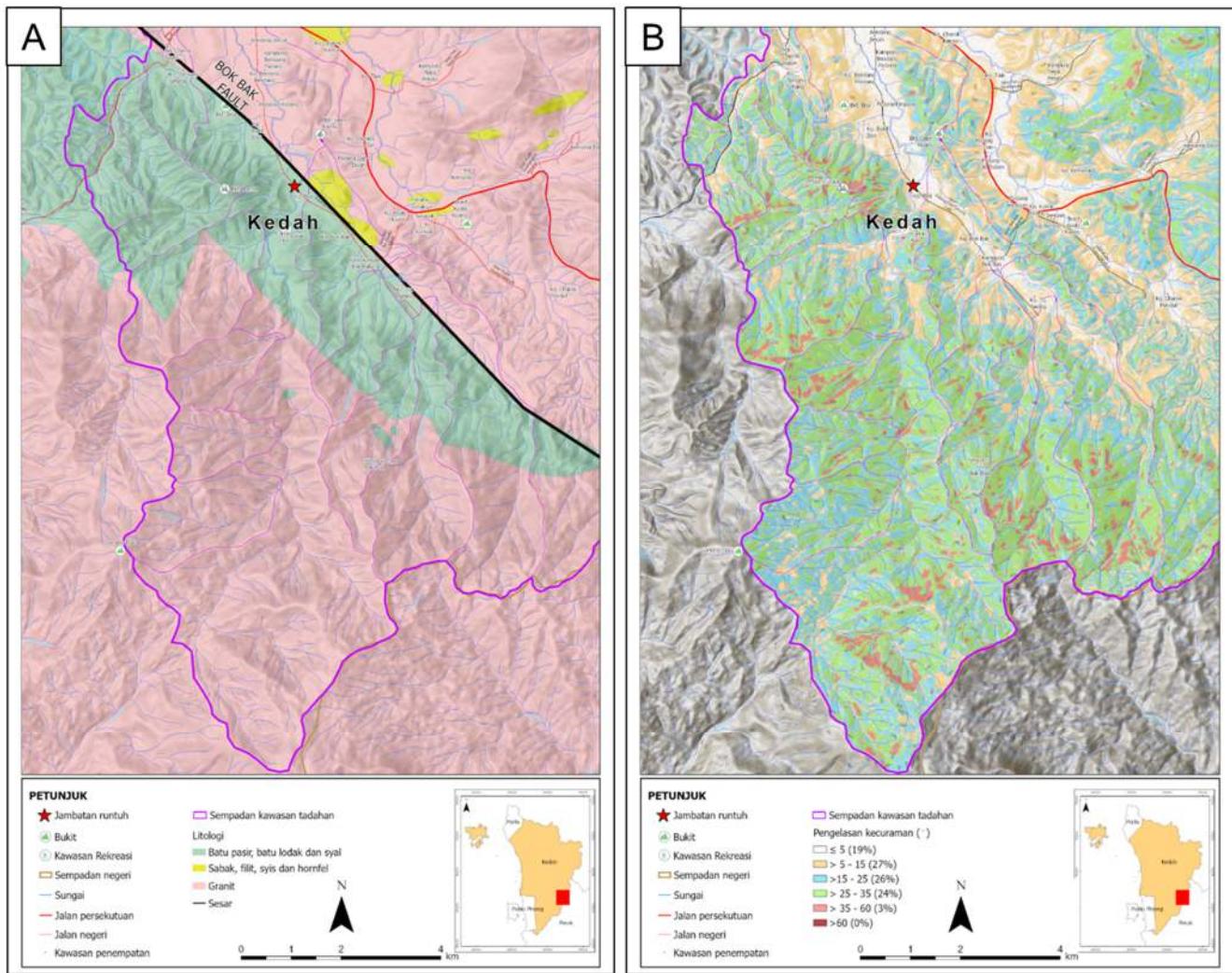
Granit Inas yang membentuk perbukitan curam di bahagian hulu meliputi hampir 70% taburan batuan di kawasan Lembangan Sungai Kupang. Granit ini terdiri daripada granit berporfir berbutiran sederhana hingga kasar yang dibentuk oleh mineral kuarza, feldspar dan biotit. Mineral feldspar berbentuk prismatic yang sekitar 4 cm secara purata, apabila terluluhawa (terurai) membentuk mineral lempung yang menyebabkan batuan ini mudah menyerap air dan terurai oleh proses hakisan. Di bahagian hulu lembangan, lapisan tanah atas Granit Inas mempunyai ketebalan sekitar 5 m dengan jalur-jalur telerang kuarza dan bongkah-bongkah granit berbentuk sub-bundar hingga bundar bersaiz sekitar 2 m. Batuan Formasi Semanggol yang terdiri daripada batu lumpur hitam berlaminasi dan saling terlapis batu pasir pula membentuk dataran pamah landai yang mendasari hampir 25% kawasan Lembangan Sungai Kupang. Batuan Formasi Semanggol juga memperlihatkan banyak sistem retakan pelbagai arah akibat perubahan jurus lapisan dan juga sistem retakan terbitan sesar Bok Bak, membentuk zon lemah di tebing sungai yang boleh menjadi penyebab kepada runtuhan tebing cerun di bahagian hilir. Batuan Formasi Kroh tersingkap di bahagian hilir sungai iaitu sekitar 5% di kawasan lembangan. Batuan Formasi Kroh terdiri daripada syal hitam, syal berkapur dan batu kapur. Sebahagian daripada batuan ini telah terubah menjadi sabak, filit dan hornfel di bahagian yang bersentuhan dengan batuan granit.

Struktur geologi utama kawasan ini dikawal oleh sesar Bok Bak yang mengunjur pada arah barat laut-tenggara (BL-TG) yang mempengaruhi arah aliran Sungai Kupang di bahagian hilir. Sesar Bok Bak juga telah menghasilkan zon ricihan yang mewujudkan zon lemah pada batuan granit dan sedimen, menghasilkan sesar-sesar kecil (zon lemah pada tebing cerun) serta mempengaruhi geomorfologi kawasan tadahan Sungai Kupang. Selain itu terdapat sistem retakan pelbagai arah dengan jurus utama pada arah barat laut-tenggara (BL-TG) dan timur laut-barat daya (TL-BD) yang diterbitkan oleh proses mampatan dan pengangkatan semasa rejahan batuan granit terhadap batuan sedimen

sekeling mewujudkan satah lemah (sesar), tebing curam dan lurah yang dalam (lineamen).

3.2 *Geomorfologi Lembangan Sungai Kupang*

Geomorfologi lembangan Sungai Kupang didominasi oleh landskap pergunungan Banjaran Bintang yang membentuk Gunung Inas dengan ketinggian 1454 m dan Bukit Bok Bak dengan ketinggian 1199 m. Hulu Sungai Kupang berpunca daripada kedua-dua perbukitan tersebut dengan kecerunan tinggi sebelum bercantum menjadi sungai utama di hilir lembangan yang lebih landai dan rendah yang menjadi kawasan penempatan dan pertanian. Ciri-ciri geomorfologi yang bertopografi tinggi di hulu, beralun rendah dan tanah rendah di hilir ini dikawal oleh unit batuan dan litologi yang mendasarinya. Hampir keseluruhan kawasan tanah tinggi Gunung Inas yang menjadi punca alur sungai terbentuk daripada batuan granit dengan beberapa siri cerun curam pada arah 320° , 350° , 240° dan 180° . Antara puncak dan tanah rendah terdapat lurah-lurah sungai berbentuk V bertebing tinggi menjadi zon angkutan dan aliran puing. Lurah dan tebing tersebut dibentuk atau dikawal oleh struktur geologi (sesar dan retakan) yang membentuk zon lemah dengan kadar hakisan tinggi terutama di kawasan tebing sungai yang curam. Cabang lurah tertib pertama yang kecil di bahagian hulu membentuk corak ranting atau tulang ikan. Puluhan alur sungai kecil membentuk sub-lembangan yang akhirnya bercantum dengan sungai utama membentuk Lembangan Sungai Kupang.



Rajah 2.1: (A) Peta Geologi Lembangan Sungai Kupang dan (B) Peta Geomorfologi Lembangan Sungai Kupang (Sumber: JMG, 2022).

4. HAKISAN DAN PERLODAKAN

Masyarakat tempatan di perkampungan sepanjang Sungai Kupang telah berhadapan dengan perlodakan dan banjir sejak tahun 2011 iaitu apabila kawasan hutan di Kompartmen 8 Hutan Simpanan Kekal (HSK) Gunung Inas memulakan kerja pengeluaran hasil hutan (pembalakan) sejak tahun 2010. Kawasan hutan tanah tinggi yang mengalami aktiviti pembalakan memerlukan banyak laluan dan kawasan pengumpulan hutan yang ditarah dan diratakan. Ini menyebabkan kadar hakisan menjadi sangat tinggi dan meningkatkan proses perlodakan sepanjang dasar Sungai Kupang. Secara berterusan, dasar alur sungai dipenuhi dengan bahan sedimen kerikil, pasir dan lodak, sementara bahan lumpur terampai di dalam air sungai menyebabkan warna air sungai keruh (pencemaran lodak).

JPS telah merekodkan sekurang-kurangnya 9 kejadian banjir di Sungai Kupang sejak tahun 2011 hingga 2022 (Jadual 4.1). Semuanya adalah ‘banjir kilat’ disebabkan curahan hujan yang tinggi di kawasan hulu sungai dalam masa beberapa jam. Hujan yang turun antara 20.5 mm per 4 jam hingga 80.5 mm per 6 jam (*Average Recurrence Interval*, ARI antara kurang daripada 2 hingga 8). Banjir kilat yang disebabkan oleh perlodakan dan pencetakan sungai telah menjadi masalah sosial kepada penduduk di hilir Sungai Kupang dan memerlukan penyelesaian jangka panjang.

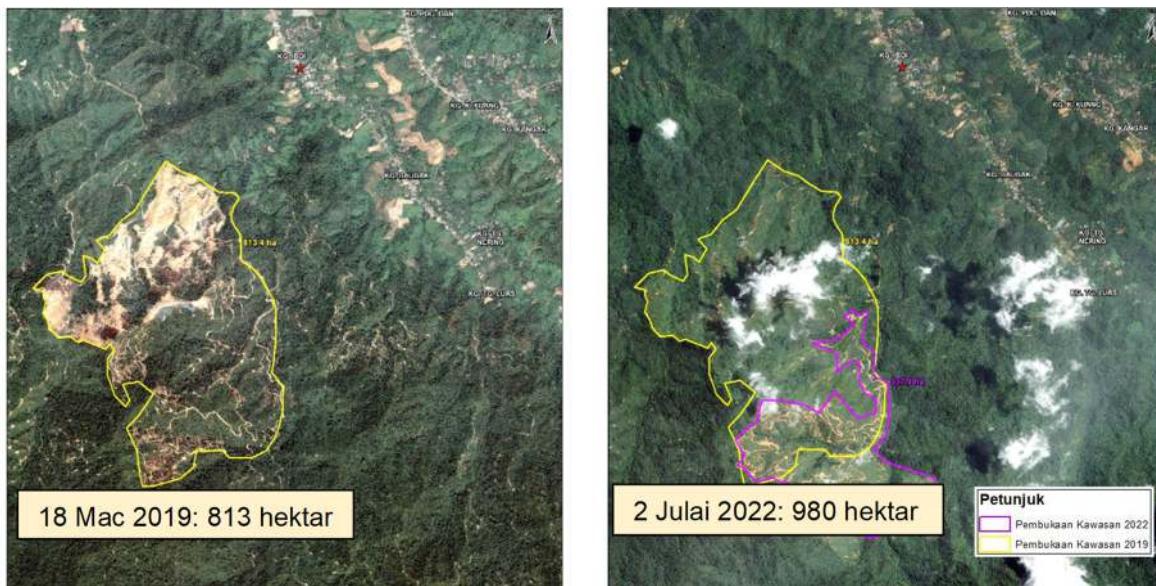
Berpandukan imej satelit yang dikeluarkan oleh pihak Agensi Angkasa Malaysia (MySA) (Rajah 4.1), seluas 813 hektar di Kompartmen 8 telah digondolkan pada tahun 2019. Nilai ini membawa kepada kadar hakisan sebanyak 743,895 tan metrik/tahun. Manakala bagi 6 bulan pertama tahun 2022, kawasan tersebut telah diubahsuai kepada tanah pembangunan dengan keluasan 980 hektar dan kadar hakisan tahunan ialah sebanyak 57,330 tan metrik.

Jadual 4.1: Senarai peristiwa banjir di Kampung Iboi sejak 2011 hingga 2022.

Bil	Tahun	Bilangan Kejadian Banjir	Tarikh	Bacaan Hujan (mm)
1	2011	1	28 Mac 2011	-tiada data-
2	2017	1	10 hingga 11 Ogos 2017	28mm / 4 jam (<2 ARI)
3	2019	2	3 September 2019	20.5mm / 4 jam (<2 ARI)
			21 September 2019	28mm / 2 jam (<2 ARI)
4	2020	2	24 Julai 2020	80.5mm / 6 jam (8 ARI)
			20 September 2020	51mm / 1 jam (<2 ARI)
5	2022	3	9 Mac 2022	49 mm / 3 jam (<2 ARI)
			16 Mei 2022	63mm / 4 jam (<2 ARI)
			4 Julai 2022	36mm / 3 jam (<2 ARI)

Kadar hakisan yang digunakan bagi pengiraan kadar beban yang masuk ke dalam lurah alur sungai adalah berdasarkan kajian hakisan tanah dan perlodakan oleh Gharibreza et al. (2013) secara pengukuran di Tasik Bera, Pahang untuk tanaman getah dan kelapa sawit, kadar hakisan tanah mengikut keadaan guna tanah adalah seperti berikut Jadual 4.2.

Secara rumusannya dalam masa 3 tahun dari 2019 hingga 2022, kadar hakisan yang masuk ke dalam alur sungai dianggarkan sebanyak **1,011,006 tan metrik** seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4.3.



Rajah 4.1: Perbandingan pembukaan kawasan di sekitar lokasi kejadian pada tarikh 18 Mac 2019 dan 2 Julai 2022 (Sumber: MySA, 2022).

Jadual 4.2: Kadar hakisan dan perlodakan pada jenis guna tanah yang berbeza (Gharibreza et al., 2013).

Jenis guna tanah	Kadar kehilangan tanah (soil loss) [Unit - % peratus]	Kadar hakisan (soil erosion) [Unit - tan metrik per hektar setahun]
Tanah digondolkan (cleared land)	74%	915
Tanah pembangunan (developing land)	63%	117
Tanah terbangun (developed land)	55%	75
Hutan tabii (natural forest)	5%	7

Jadual 4.3: Kadar hakisan dan perlodakan di kompartmen 8 berdasarkan Gharibreza et al., 2013.

Tahun	Keluasan (Hektar)	Kadar Hakisan [Unit - tan metrik per hektar setahun]	Jumlah [tan metrik]
2019	813	915	743,895
2020	813	117	95,121
2021	980	117	114,660
2022 (Jan -Jun)	980	58.5	57,330

Berbanding kepada paras ketinggian maksimum di Tasik Bera iaitu 140 m dengan 50% kecuraman kawasan tidak melebihi 5° dan didasari batuan sedimen (Formasi Semantan), kadar hakisan di kawasan bercerun curam seperti Gunung Inas yang lebih tinggi, lebih curam, dan didasari batuan granit dijangka lebih tinggi.

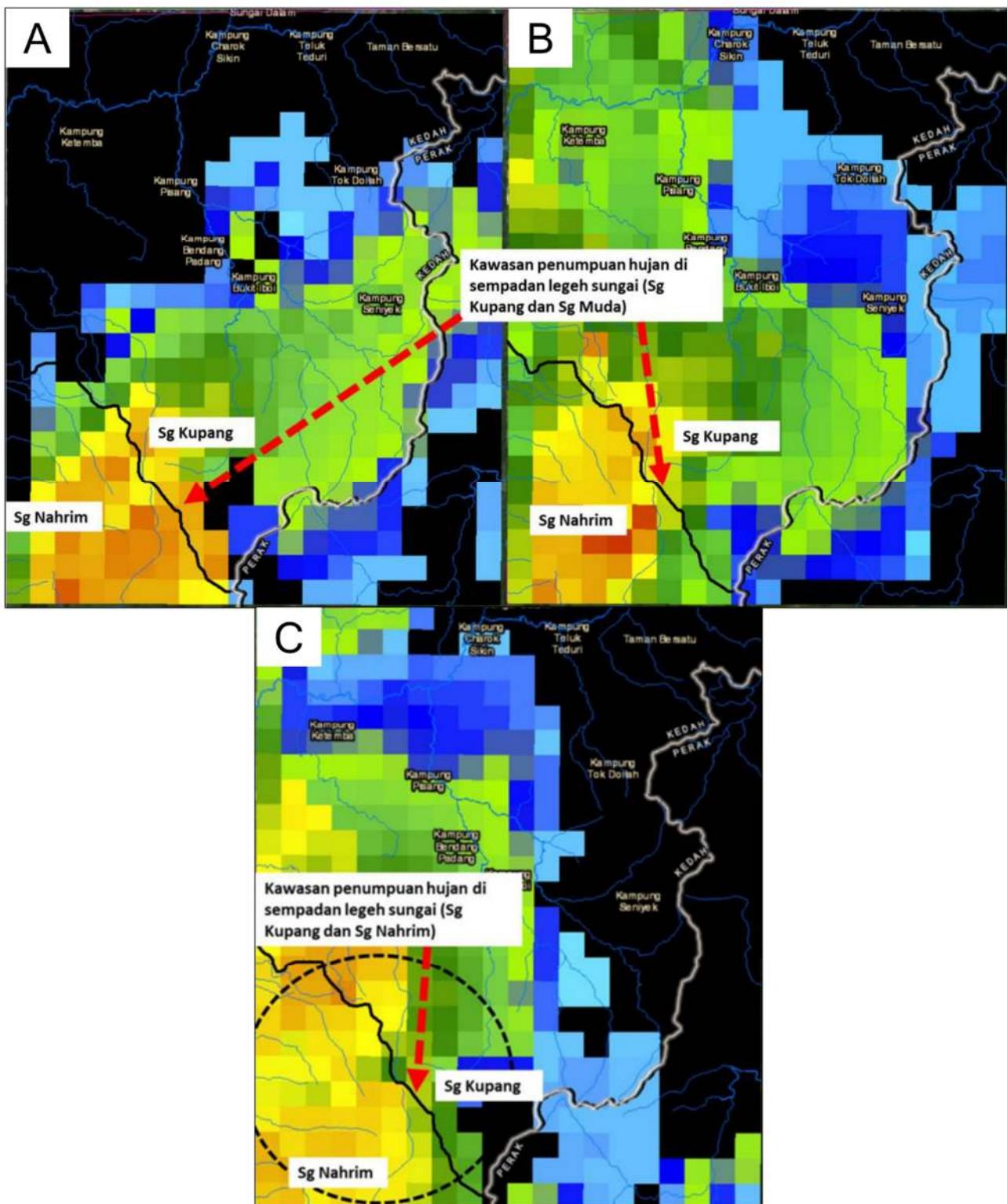
Perubahan guna tanah hutan kawasan tinggi kepada pertanian mengurangkan daya cengkaman akar dan meningkatkan potensi tanah runtuh yang kesannya mungkin berlarutan selama dua dekad, pembukaan jalan di kawasan berbukit juga menyebabkan peningkatan kadar hakisan dan tanah runtuh berbanding dengan guna tanah (Sidle et al. 2006).

5. CUACA DAN CURAHAH HUJAN

Malaysia berada di rantau iklim Tropika Lembab, secara tempatan dipengaruhi oleh beberapa faktor cuaca terutamanya Luruan Monsun Timur Laut, Luruan Monsun Barat Daya, Lekukan Tropika dan Hujan Perolakan. Monsun Timur Laut bertiup dari Laut China Selatan, lazimnya membawa hujan yang lebih banyak berbanding dengan Monsun Barat Daya yang umumnya terlindung oleh Pulau Sumatera. Hujan lebat antara November hingga Februari menyebabkan pantai timur Semenanjung Malaysia sering dilanda banjir. Lekukan Tropika dan Hujan Perolakan lazimnya berlaku secara tempatan dan sukar diramal. Di kawasan pergunungan, Hujan Bukit sering terjadi apabila berlaku olakan udara lembab yang bergerak ke cerun pergunungan terhalang.

Di Malaysia kebanyakannya tolok hujan dipasang di kawasan tanah rendah. Di dalam Lembangan Sungai Kupang, hanya satu stesen tolok hujan yang dipasang di Kampung Iboi. Pada 4 Julai 2022, bacaan curahan hujan di Kampung Iboi adalah sekitar 36 mm dalam tempoh 3 jam. Manakala tiada curahan hujan direkodkan pada tiga hari sebelumnya. Bagi kejadian tanah runtuh disusuli oleh aliran puing secara meluas seperti ini, curahan hujan sebegini dianggap kecil; tidak memungkinkan fenomena begini berlaku. JPS pernah merekodkan curahan hujan 20.5 mm dalam tempoh 4 jam di Kampung Iboi pada 3 September 2019 yang menyebabkan Sungai Kupang mengalami banjir. Punca banjir di kawasan ini, antara lain disebabkan oleh proses hakisan dan perlodakan yang tinggi di kawasan hulu, mengakibatkan alur sungai mengalami pencetakan di bahagian lebih rendah.

Analisis oleh MetMalaysia mengenai curahan hujan di setiap stesen di daerah Baling, Sik dan Kulim menunjukkan hujan lebat mulai turun pada jam 4.00 petang hingga 6.00 petang pada 4 Julai 2022. Bagaimanapun, keamatian hujan yang direkodkan selama 2 jam itu tidak terlalu tinggi iaitu kurang daripada 50 mm/jam. Daripada analisis imej radar dan gambar satelit oleh JPS, awan aktif telah mula terbentuk di perairan Kedah dan Perlis sekitar jam 2.00 pm, dan bergerak masuk ke kawasan Gunung Inas dan daerah Baling pada jam 3.00 pm (Rajah 5.1).



Rajah 5.1: Imej radar hujan yang telah diselaraskan dengan bacaan hujan sebenar pada 4 Julai 2022. (A) Jumlah hujan bagi tempoh dari 3.00 - 4.00 ptg, 4 Julai 2022. (B) Jumlah hujan bagi tempoh dari 4.00 - 5.00 ptg, 4 Julai 2022. (C) Jumlah hujan bagi tempoh dari 5.00 - 6.00 ptg, 4 Julai 2022. (Sumber: JPS, 2022).

Melihat kepada fenomena aliran puing di tempat lain, hujan yang kurang daripada 150 mm untuk tempoh beberapa jam tidak dapat mencetus tanah runtuhan (meluas dan serentak), aliran puing dan banjir puing. Oleh itu, curahan hujan yang direkodkan di Kampung Iboi tidak boleh menjelaskan fenomena ini, kecuali ada pengaruh lain seperti hujan bukit yang berlaku di kawasan tanah tinggi Gunung Inas yang tiada tolok hujan untuk merekodkannya.

Malaysia terletak di dalam kawasan yang terkesan oleh peristiwa El Nino dan La Nina iaitu perubahan pola iklim yang merentasi bahagian tropika Lautan Pasifik akibat perubahan aliran angin pada bahagian berkenaan. La Nina terjadi apabila air panas di permukaan laut bergerak ke arah barat Lautan Pasifik menerbitkan keadaan tekanan rendah yang menyebabkan lebih banyak jumlah kerpasan dan lebih kerap banjir di bahagian barat lautan Pasifik merangkumi Indonesia, Malaysia dan Australia. Sementara El Nino pula berlaku sebaliknya menyebabkan keadaan yang kering dan panas di kawasan tersebut. Peristiwa ini berlaku berselang seli setiap 2 hingga 7 tahun yang menyebabkan kesan berangkai secara global. Pada masa ini iaitu tahun 2022 kita berada dalam peristiwa La Nina dan *World Meteorological Association* (WMA) menjangkakan peristiwa ini akan berterusan hingga ke penghujung tahun, malahan ramalan jangka panjang menunjukkan ia mungkin berterusan sehingga ke awal tahun 2023. Fenomena global ini mempengaruhi keadaan kelembapan yang berlaku sekarang.

Bacaan curahan hujan di Kampung Iboi pada 4 Julai 2022 iaitu 36 mm per 3 jam adalah tidak munasabah untuk mencetus tanah runtuhan yang meluas, aliran puing yang besar dan isi padu puing yang sangat tinggi. Keadaan ini berkemungkinan disebabkan oleh hujan lebat lampau dan berkeamatan tinggi di kawasan pergunungan pada ketinggian melebihi 500 m. Dengan mengetahui anggaran bahan puing yang didamparkan sepanjang alur sungai, dari kawasan tanah runtuhan hingga ke dataran banjir lumpur iaitu 7.25 juta meter padu, kuantiti air yang berupaya untuk mengangkut bahan puing dianggarkan 11.23 juta meter padu. Dengan mengambil kira luas kawasan sub-lembangan yang menerima hujan berkeamatan tinggi sekitar 10 km persegi, curahan hujan di kawasan pergunungan dianggarkan 290 mm/jam. Jika dibandingkan dengan perkiraan Curahan Hujan *United States Geological Survey* (USGS) berdasarkan keluasan sub-lembangan 10 km persegi, curahan hujan untuk jumlah puing yang sama ialah 200 mm/jam. Berasaskan perkiraan ini, curahan hujan ketika kejadian tanah runtuhan dan aliran puing ialah sekurang-kurangnya 200 mm/jam untuk selama 4 jam.

6. ANATOMI DAN HIDROLOGI LEMBANGAN SUNGAI KUPANG

Anatomi atau profil sungai lazimnya boleh dibahagikan kepada 5 bahagian iaitu:

- a. Legeh (water divide) bermula daripada puncak atau permatang membentuk punca anak sungai. Lazimnya bercerun curam iaitu 35° atau lebih.
- b. Lurah Tanah Tinggi iaitu lurah sempit berbentuk ‘V’ dengan cerun profil lembah sederhana curam iaitu antara 15° hingga 35° .
- c. Lurah Dataran Tinggi ialah lurah yang terbentuk di kawasan dataran tinggi, cerun lembah landai dan lazimnya mempunyai kecerunan landai iaitu antara 5° hingga 15° .
- d. Dataran Rendah atau dipanggil sebagai Dataran Banjir kerana dibentuk oleh proses banjir. Umumnya berkeadaan hampir rata dengan profil sungai kurang daripada 5° .
- e. Dataran Rendah Pasang Surut ialah bahagian sungai yang dipengaruhi oleh proses lautan, umumnya di sini terjadi proses endapan sungai membentuk delta dan fenomena pasang surut.

6.1 Model Proses Geologi Lembangan

Dalam konteks pengurusan lembangan, khususnya pengurusan bencana gelinciran tanah dan aliran puing, geomorfologi atau anatomi dan pencirian lembangan sungai perlu difahami. Berasaskan geomorfologi, proses geologi yang lazim berlaku di lembangan sungai di Malaysia ialah:

- a. Legeh merupakan kawasan yang mengalami **proses hakisan yang tinggi, gelinciran tanah atau jatuh batuan**.
- b. Lurah Tanah Tinggi ialah kawasan yang mudah mengalirkan **aliran puing dan hakisan tebing sungai**.
- c. Lembah Dataran Tinggi pula merupakan kawasan yang mudah mengalami **banjir puing** (atau kepala air, jika tidak berlaku tanah runtuh di kawasan legeh).
- d. Dataran Rendah/Dataran Banjir ialah kawasan yang mudah mengalami banjir monsun, di mana dalam kes aliran puing, kawasan ini menjadi kawasan **banjir lumpur**.

- e. Dataran Rendah Pasang Surut merupakan kawasan yang sering mengalami **banjir monsun** dan lazimnya tidak terimpak oleh bencana banjir puing.

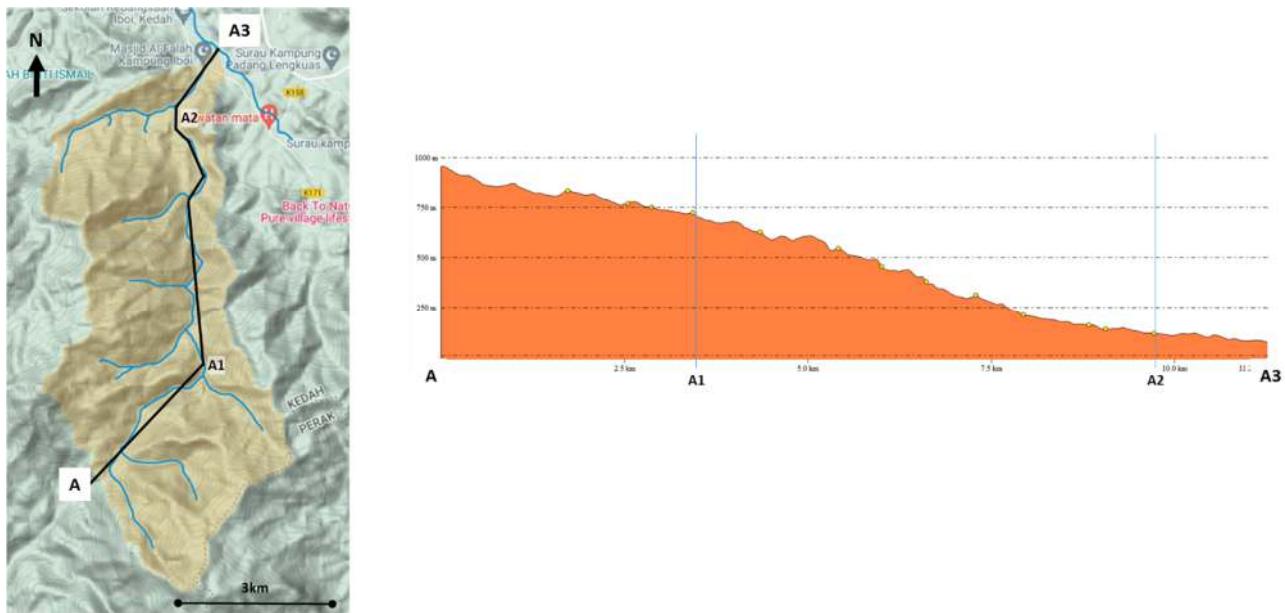
6.2 *Anatomi dan Hidrologi Lembangan Sungai Kupang*

Sub-lembangan Sungai Kupang ini bersaiz kecil dan mempunyai perbezaan ketinggian sekitar 1200 m dari kawasan rendah. Dimensi sub-lembangan ini mempunyai kepanjangan maksimum sepanjang 12 km, dengan kelebaran maksimum sepanjang 5 km. Jumlah keluasan kawasan tadahan sebesar 36.8 km persegi. Nisbah Panjang:Lebar ialah 2.4 yang membentuk bujur dan perkadaran kekasaran morfologi 0.23 menggambarkan keadaan cerun dan aliran air yang lazimnya pada lembangan saliran order pertama, menyebabkan sub-lembangan ini mudah mengalami aliran puing. Keratan rentas memanjang atau profil sub-lembangan yang berbentuk cembung (kubah) merupakan rupa bentuk muka bumi yang lazim bagi sebuah perbukitan granit yang dicirikan oleh cerun profil yang agak landai pada bahagian hulu dan semakin curam ke arah kaki bukit (Rajah 6.1).

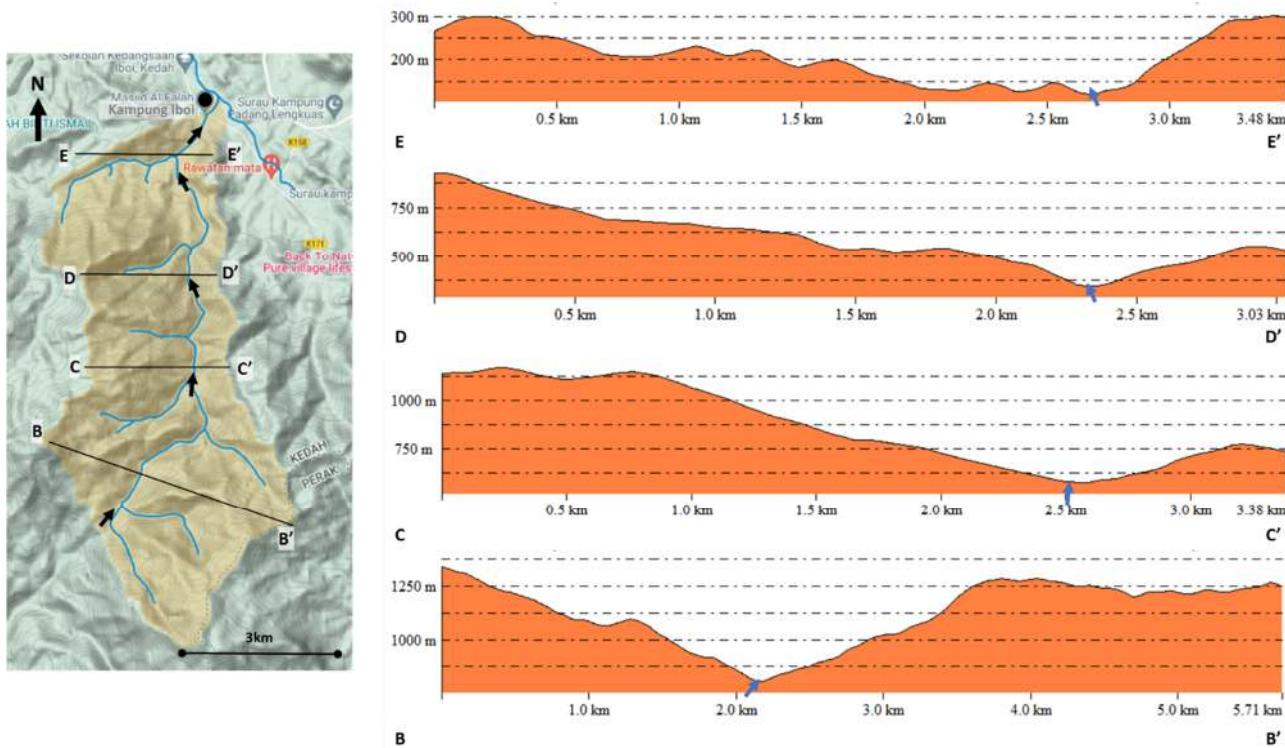
Keratan rentas lembah di dalam lembangan ini menunjukkan keadaan topografi yang umumnya mengekalkan bentuk ‘V’ iaitu ciri asas lembah di kawasan pergunungan/perbukitan di kawasan tropika, di mana hakisan air memainkan peranan utama dalam membentuk morfologi muka bumi. Begitupun, analisis keratan rentas dari hulu ke hilir menunjukkan kepelbagaiian topografi yang dikawal oleh sistem rekahan (sesar dan kekar iaitu zon lemah) yang selari dengan arah sungai iaitu hampir utara-selatan.

Merujuk kepada Rajah 6.2, di bahagian paling hulu, lembah membentuk ‘V-terbuka’ dengan cerun timur lebih curam berbanding cerun barat (B-B’). Di bahagian tengah lembangan pula, cerun barat lebih curam berbanding dengan cerun timur, sementara di bahagian dalam lembangan terdapat beberapa buah permatang dengan puncak terasing yang umumnya berjurus selari dengan arah lembangan sungai (C-C’ dan D-D’).

Di bahagian hilir lembangan pula, lembangan utama masih membentuk V dengan tebing timur lebih curam berbanding dengan tebing barat. Begitupun, di dalam lembah terdapat beberapa siri permatang perbukitan rendah dengan ketinggian antara 350 - 400m (E-E’).



Rajah 6.1: Keratan rentas memanjang menunjukkan profil sungai dari hulu (A) ke hilir (A3) lembangan Sungai Kupang.



Rajah 6.2: Keratan rentas memotong profil sungai yang menunjukkan profil berbentuk 'V' dari bahagian hulu (B-B') ke hilir (E-E') lembangan Sungai Kupang.

7. PROSES GEOLOGI BERANGKAI

Proses geologi dalam sebuah lembangan sungai lazimnya berlaku secara berangkai, bermula dari kawasan hulu hingga ke muara sungai. Dalam keadaan biasa, proses bermula dengan fenomena hakisan tanah di kawasan bercerun, membentuk hakisan ril dan alur kecil seterusnya membentuk anak sungai. Air yang mengalir di dalam sungai di kawasan tanah tinggi akan sentiasa menjalankan proses hakisan dan bahan hakisan ini akan terangkut di dalam alur sungai. Apabila cerun mulai landai, arus kehilangan tenaga lalu bongkah-bongkah batuan besar mula terendap dahulu diikuti oleh kerikil dan pasir. Bahan lodak dan lumpur akan terampai di dalam air, diangkut sambil diendapkan di kawasan hilir hingga ke muara sungai.

Bencana Proses Geologi Berangkai ialah fenomena yang hampir sama, berskala besar dan dipercepatkan melalui fenomena gelinciran tanah (tanah runtu), aliran puing, banjir puing dan banjir lumpur. Pada bahagian tertentu, apabila fenomena ini melibatkan manusia sehingga menyebabkan kematian dan kerosakan harta benda, proses ini akan mengakibatkan bencana pada skala yang besar.

7.1 *Gelinciran Tanah (Tanah Runtu)*

Gelinciran tanah atau tanah runtu lazimnya berlaku di kawasan puncak dan permatang perbukitan yang bercerun curam (melebihi 35°). Tanah runtu berskala besar (lebih 10,000 meter padu), sederhana (1,000 hingga 10,000 meter padu) dan kecil (kurang daripada 1,000 meter padu) secara umumnya tercetus oleh hujan lebat lampau. Faktor penyebab utama ialah geomorfologi (bentuk muka bumi dan sudut cerun), keadaan geologi (jenis dan struktur batuan) dan gangguan oleh aktiviti manusia (pemotongan dan pembersihan cerun).

Bencana Tanah Runtu ialah bencana yang sering berlaku di kaki bukit bercerun curam. Dalam keadaan yang lazim, hanya tanah runtu tunggal berlaku dan faktor penyebab mudah ditafsirkan. Dalam situasi hujan lebat lampau, puluhan hingga ratusan tanah runtu berlaku secara serentak dalam sesuatu kawasan. Dalam keadaan sebegini, fenomena iklim (faktor tabii) lebih dominan berbanding daripada faktor penyebab lain.

7.2 Aliran Puing

Dalam keadaan hujan lebat dan kandungan air dalam alur sungai sangat banyak, bahan gelinciran tanah yang jatuh bercampur dengan air akan mengalir sepanjang alur sungai, terutamanya pada kawasan Lurah Tanah Tinggi. Fenomena ini dikenali sebagai **Aliran Puing** iaitu satu proses geologi yang menyebabkan bencana yang luar biasa. Di sepanjang aliran sungai, **dasar dan tebing sungai akan dihakis** dan seterusnya membawa lebih banyak bahan puing yang bertambah. Aliran puing boleh bergerak sehingga sejauh puluhan kilometer sambil memusnahkan apa sahaja prasarana yang ada di sepanjang laluannya dan berakhir dengan proses **damparan puing** di kawasan perubahan cerun (*slope break*) iaitu kawasan peralihan antara kawasan bercerun dan dataran landai menghasilkan bencana alam yang dahsyat. Damparan puing juga berlaku di sepanjang zon aliran puing bergantung kepada saiz puing dan kuasa aliran.

7.3 Banjir Puing

Banjir Puing berlaku di bahagian hilir Lembah Tanah Tinggi dan kawasan Dataran Rendah apabila kandungan air lebih banyak daripada bahan puing. Lazimnya, semua bongkah batuan telah pun terdampar di bahagian hulu kemudian Banjir Puing akan membawa puing kayu-kayan dan lodak yang terampai di dalam air dengan banyak. Banjir puing menjadi sangat bahaya jika terdapat sekatan yang menghalang aliran puing kayu kyan. Puing ini akan berkumpul dengan banyak membentuk ‘empangan sementara’ dan pecah secara mendadak menyebabkan **Bencana Banjir Puing** di bahagian hilirnya.

7.4 Banjir Lumpur

Apabila puing kayu-kayan sudah terdampar di sepanjang zon banjir puing, hanya lodak yang tinggal di dalam ampaian air banjir. Banjir Lumpur berlaku apabila air banjir melimpahi tebing sungai dengan membawa kandungan bahan lumpur yang sangat banyak. Kuantiti lumpur yang sangat tinggi disebabkan lebih 50% daripada bahan puing tanah runtuh terdiri daripada bahan lodak dan lempung (tanah liat). **Bencana Banjir Lumpur** lazimnya menyebabkan kerugian yang besar kerana merosakkan peralatan di dalam rumah, kenderaan serta menyebabkan ketakselesaan dan kesukaran dalam kehidupan harian.

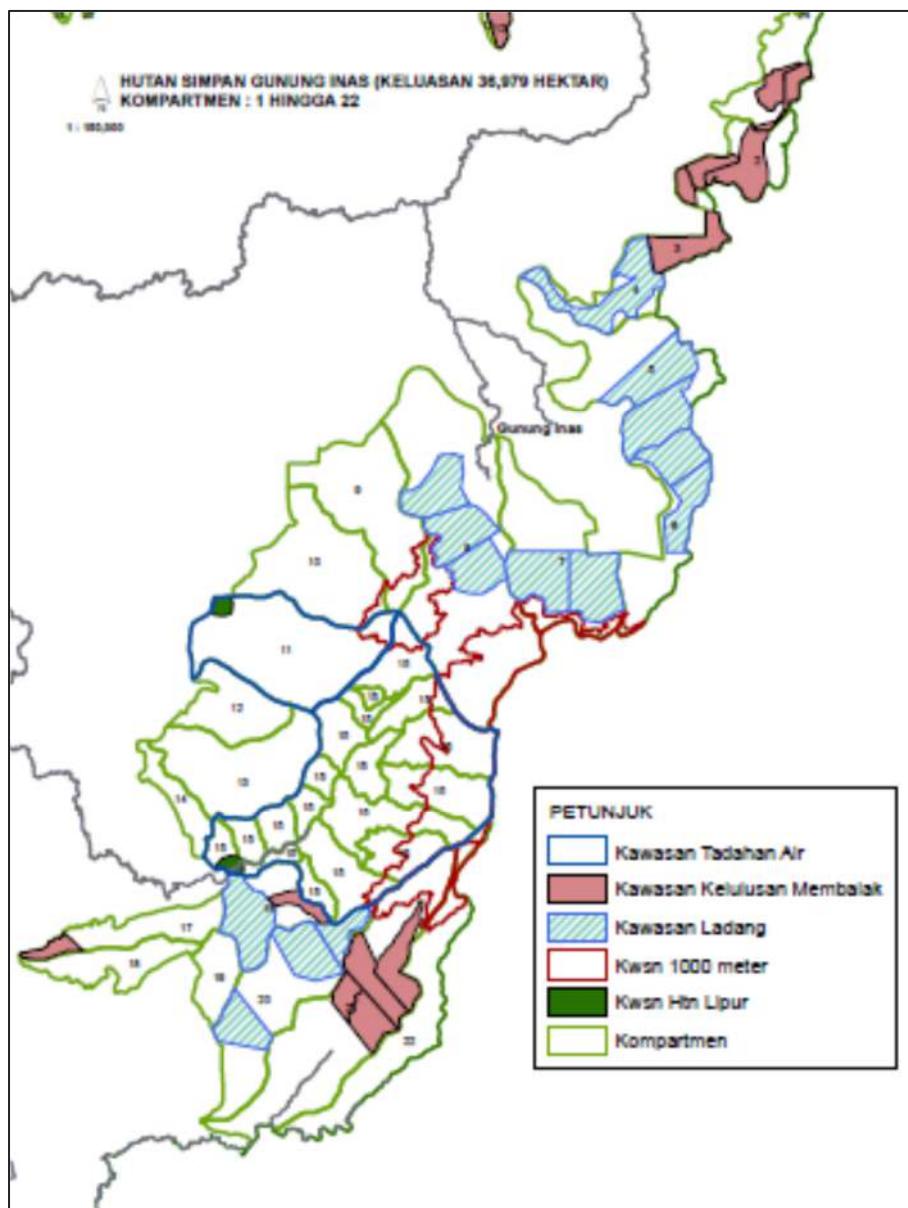
8. GUNA TANAH SEMASA

Kawasan yang terlibat dengan Aliran dan Banjir Puing Sungai Kupang melibatkan beberapa jenis guna tanah yang telah diperakui oleh Kerajaan Negeri Kedah. Kawasan paling luas ialah Hutan Simpanan Kekal (HSK) Gunung Inas berkeluasan 36,979 hektar iaitu 10.74% daripada keseluruhan HSK di negeri Kedah. Di bahagian kaki Gunung Inas pula guna tanah terdiri daripada tanah pertanian untuk pekebun kecil, umumnya ditanam dengan getah, kelapa sawit dan dusun. Kawasan tanah pamah rendah di sepanjang Sungai Kupang pula digunakan sebagai kawasan perkampungan.

Hutan Gunung Inas dibahagikan kepada 22 buah kompartmen masing-masing dengan fungsi yang tersendiri. Hutan Pengeluaran iaitu bagi memperoleh hasil kayu secara berkekalan adalah seluas 27,086 hektar, sementara Hutan Perlindungan (tadahan air) pula seluas 8,250 hektar. Kawasan HSK yang terlibat secara langsung dengan bencana aliran puing dan banjir puing pada 4 Julai 2022 ialah Kompartmen 8 seluas 3,111 hektar, sebahagian besar adalah Hutan Pengeluaran, sementara 1,474 hektar telah dijadikan sebagai kawasan pembangunan ladang hutan. Daripada keluasan tersebut, 400 hektar telah ditanam dengan Getah TLC, 52.96 hektar telah ditanam dengan durian hibrid, sementara 1,021.04 hektar kawasan masih belum ditanam, tetapi telah ditumbuhki oleh tumbuhan perintis seperti Mengkrai, Mahang, Ludai, Senduduk dan tumbuhan litup bumi yang lain. Pengeluaran kayu (pembalakan) di Kompartmen 8 HSK telah bermula sejak tahun 2010 bagi tujuan pembangunan Ladang Hutan. Sebanyak 1,544 hektar telah dilaksanakan pembalakan, bermula daripada 2010 hingga 2016. Pada tahun 2018 hingga 2019 pula, pembalakan ulangan dijalankan di kawasan seluas 1,074 hektar sebagai persediaan penanaman ladang hutan.

Guna tanah di lembah Sungai Kupang di kawasan landai dan perbukitan rendah pula ialah tanah pertanian untuk kebun getah dan dusun pokok buah-buahan. Sepanjang tebing sungai terdapat tanda kawasan ini juga telah dibangunkan sebagai kawasan rekreasi.

Guna tanah di dataran rendah mulai dari Kampung Iboi ke bahagian hilir Sungai Kupang ialah kawasan perkampungan dan tanah pertanian untuk pekebun kecil. Masyarakat tempatan gemar membuat rumah kediaman mereka berhampiran dengan sungai atau jalan raya.



Rajah 7.1: Peta Guna Tanah Lembangan Sungai Kupang (Sumber: JPSM, 2022).

Jadual 7.1: Sejarah pembalakan di Kompartmen 8 Hutan Simpan Gunung Inas
(Sumber: JPSM, 2022).

Tahun	Keluasan (Hektar)
2010	200
2011	800
2012	72
2013	0
2014	116
2015	120
2016	236
Jumlah	1,544

9. BENCANA ALIRAN DAN BANJIR PUING

Bencana Banjir Puing dan Banjir Lumpur yang berlaku pada 4 Julai 2022 ialah akibat **Proses Geologi Berangkai** yang berlaku sepanjang Sungai Kupang. Proses geologi ini dicetuskan oleh curahan hujan lebat lampau di bahagian hulu, mengakibatkan tanah di kawasan pergunungan menjadi tidak stabil sehingga menyebabkan terjadinya puluhan/ratusan gelinciran tanah (tanah runtuhan) berskala kecil hingga besar secara serentak.

Pada masa yang sama, hujan lebat juga berupaya **menghakis permukaan tanah** di kawasan perbukitan yang terdedah/terganggu akibat aktiviti pembalakan dan pertanian. Bahan runtuhan cerun dan hakisan masuk ke dalam alur sungai, bercampur dengan kuantiti air yang banyak, membentuk fenomena geologi baru dikenali sebagai **Aliran Puing**. Aliran Puing berupaya mengangutkan bahan puing (bongkah batuan, kayu kayan, kerikil, pasir dan lodak) dengan banyak pada kelajuan boleh mencapai 50 km/jam. Aliran puing ini bergerak sejauh lebih 3 km, dengan kuasa aliran puing yang semakin meningkat dan berupaya menghakis dasar sungai, tebing alur, dan sekali gus menambah kuantiti bahan puing.

Semakin ke hilir sungai, kuantiti air mulai bertambah tetapi kecerunan yang berkurang menyebabkan bahan puing (bongkah bersaiz besar) mulai terdampar di dasar alur sungai. Sementara itu, puing kayu kayan dan lodak terampai di dalam air. Dalam keadaan sebegini, aliran puing bertukar menjadi **Banjir Puing**. Jambatan di Kampung Iboi menjadi penghadang bahan puing sehingga menyebabkan puing kayu kayan tersangkut dengan banyaknya membentuk ‘**empangan sementara**’. Peningkatan air yang tinggi dipercayai mencapai ketinggian melebihi 3 m telah menyebabkan pertambahan isi padu puing kayu kayan yang meningkatkan kuasa rempuhan dan memecahkan ‘empangan’ (jambatan). Pecahan ‘empangan sementara’ ini dengan serta merta telah memuntahkan puing kayu kayan, kerikil dan pasir dengan sangat banyak sekali gus menyebabkan Kampung Iboi dilanda **Bencana Banjir Puing**.

Kebanyakan bahan puing kayu kayan, kerikil dan pasir terdampar di Kampung Iboi, sementara air banjir masih membawa bahan lodak yang sangat banyak ke hilir sungai menyebabkan puluhan kampung di hilirnya mengalami **Banjir Lumpur** pada ketinggian melebihi 1 m. Kerosakan besar kepada harta benda dan kenderaan adalah disebabkan oleh banjir lumpur ini.

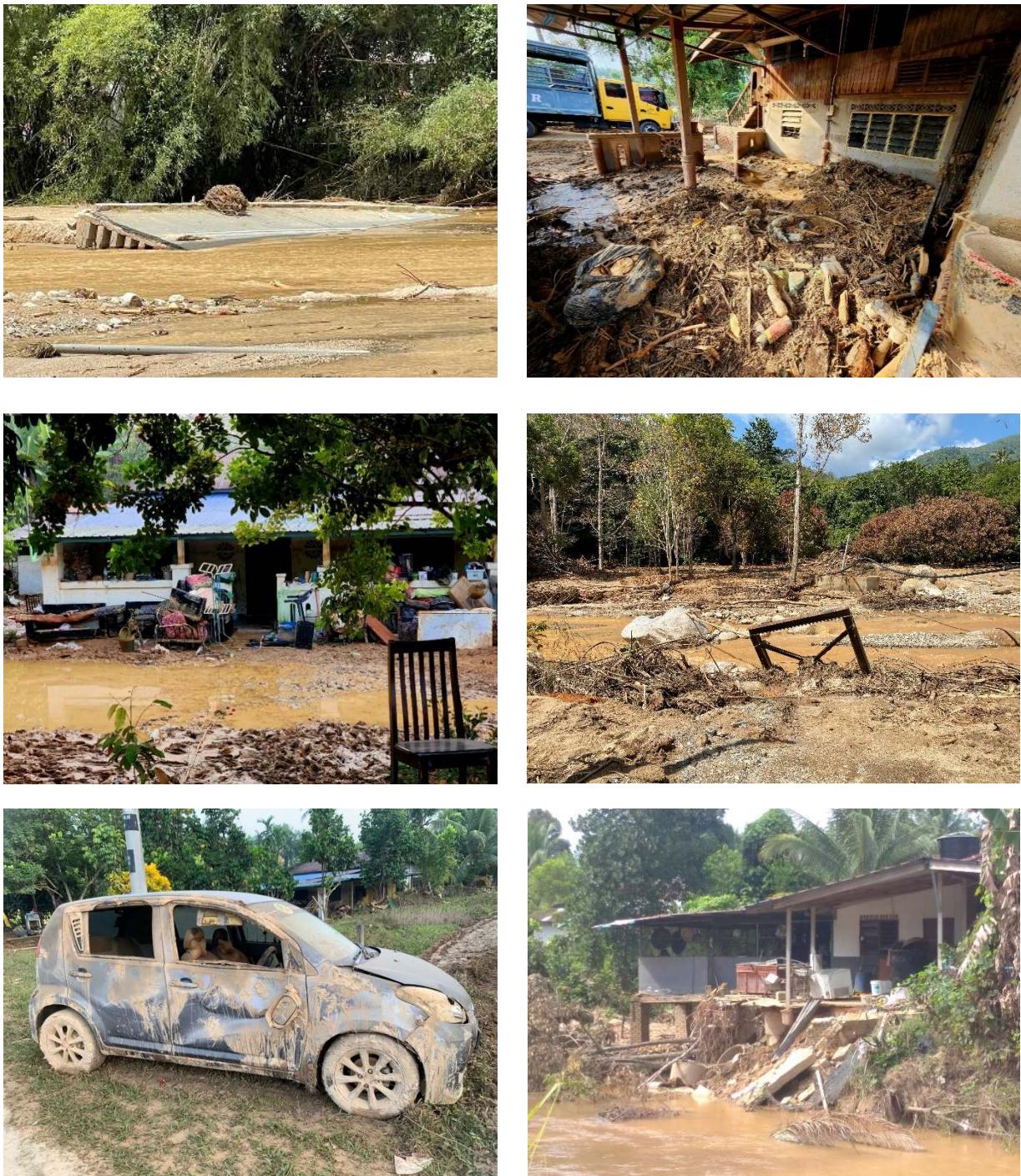
Keseluruhan fenomena **Proses Geologi Berangkai** (Tanah Runtuh, Aliran Puing, Hakisan, Banjir Puing dan Banjir Lumpur) berlaku dalam masa beberapa jam sahaja, bermula sekitar jam 4 petang dan berakhir sebelum tengah malam pada 4 Julai 2022. Di Kampung Iboi, ‘empangan sementara’ (paras banjir puing maksimum) terbentuk sekitar jam 5 petang, yang kemudian pecah beberapa minit berikutnya menyebabkan banjir puing berkuasa tinggi merempuh dan memusnahkan rumah, jambatan dan harta benda sepanjang laluannya.

9.1 Impak Fizikal

Laporan yang disediakan oleh Pejabat Daerah Baling sehingga 28 Julai 2022 menunjukkan bahawa kerosakan fizikal akibat daripada bencana aliran dan banjir puing ini melibatkan rumah kediaman, premis perniagaan, jambatan, titi, jalan tar, longkang, pembetung, struktur tebing dan kolam takungan air masyarakat. Prasarana yang paling banyak terkesan ialah rumah kediaman dan premis perniagaan (605), jambatan dan titi (16), jalan tar, longkang dan pembetung (11), tebing (7) dan kolam takungan (1). Kerosakan harta benda pula melibatkan kereta (180), motosikal (406), mesin basuh (593), peti ais (574), televisyen (335), katil dan tilam (364), dan pelbagai perabot lain (1714). Anggaran nilai keseluruhan kerugian langsung adalah sebanyak RM25.91 juta.

Jadual 9.1: Ringkasan senarai kerosakan akibat bencana banjir puing
(Sumber: Pejabat Daerah Baling, Kedah, 2022).

Jenis Infrastruktur	Kuantiti	Anggaran Peruntukan (RM)
Titi	17	4,835,000.00
Jalan Minitar, Longkang, & Pembentung	12	1,155,000.00
Tebing	10	1,580,000.00
Kolam/Takungan Air Masyarakat	1	500,000.00
Anggaran Peruntukan JKR	-	13,000,000.00
Anggaran Peruntukan SADA (Utiliti)	-	3,140,000.00
Kerosakan Rumah	17	1,700,000.00
Jumlah Keseluruhan	40	25,910,000.00



Rajah 9.1: Fotograf menunjukkan impak fizikal yang merosakkan harta benda komuniti Kampung Iboi.

9.2 Impak Sosial

Laporan oleh Pejabat Daerah Baling sehingga 28 Julai 2022 juga mendapati bencana banjir puing dan banjir lumpur ini telah menyebabkan 3 orang terkorban iaitu seorang ibu yang lumpuh, anak dan anak menantu. Tragedi ini amat menyayat hati kerana atas sifat kasih sayang menantu untuk menjaga seorang mertua yang lumpuh, mereka tidak sanggup meninggalkan rumah, lantas terperangkap oleh air yang naik mendadak. Insiden ini ialah manifestasi bahawa kurangnya kesedaran masyarakat terhadap bahaya banjir puing. Jambatan Kampung Iboi yang menjadi empangan sementara telah pecah serta merta menyebabkan kuasa rempuhan yang kuat seterusnya memusnahkan 17 buah rumah dan menyebabkan banjir di kawasan yang meluas di hilirnya.

Di kawasan hulu Sungai Kupang terdapat 2 kolam takungan air, 24 buah kolam perangkap lodak dan 12 kolam bekalan air desa (tandak). Masyarakat tempatan ‘trauma kolam’ kerana beranggapan, banjir puing yang terjadi berpunca daripada rebakan kolam takungan. Sehingga kini mereka percaya ada lagi kolam di bahagian hulu yang menunggu masa untuk pecah. Rasa bimbang terperangkap oleh banjir puing ulangan merupakan isu sosial utama pada masa ini. Air di dalam kolam takungan jauh lebih kecil berbanding dengan kuantiti air yang boleh menyebabkan banjir puing, malahan kuantiti tersebut boleh dianggap tidak bermakna untuk menyebabkan banjir.

9.3 Kos Pengurusan Bencana

Maklumat belanja pengurusan bencana yang dibekalkan oleh Pusat Kawalan Operasi Bencana (PKOB) untuk tempoh dari 4 Julai 2022 hingga 28 Julai 2022 berjumlah RM263,060.00. Perbelanjaan ini meliputi kos bantuan makanan untuk mangsa dan sukarelawan, sewa rumah bagi 17 orang mangsa rumah hanyut yang dipindahkan, dan bekalan makanan di Pusat Pemindahan Sementara (PPS). JPS pula memaklumkan agensinya perlu membelanjakan RM770,000 untuk kerja pembersihan kayu kayan dan pengorekan Sungai Kupang di tapak bencana. Nilai sebenar perbelanjaan cari dan selamat atau *search and rescue* (SAR) dan operasi pasca-bencana sukar ditentukan dengan tepat kerana masing-masing agensi menggunakan peruntukan sendiri.



Rajah 9.2: Fotograf menunjukkan impak sosial yang dialami oleh komuniti Kampung Iboi.

10. HASIL TINJAUAN LAPANGAN

10.1 Zon Tanah Runtuhan

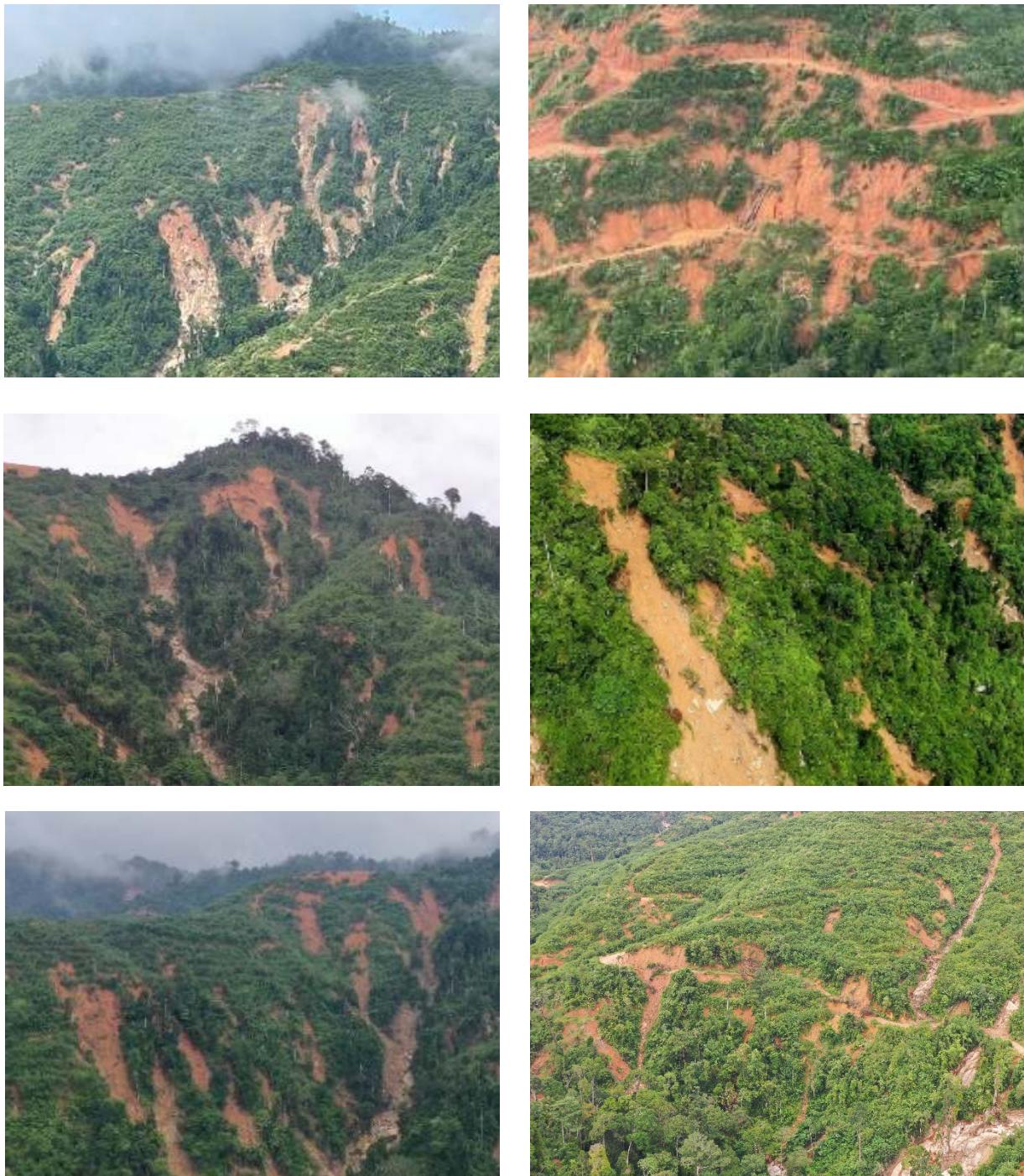
Lebih daripada 50 tanah runtuhan berlaku di kawasan tanah tinggi, terutamanya di legeh sungai iaitu bahagian paling hulu anak sungai, di cerun lurah bertebing curam sepanjang alur sungai, dan di tebing curam sepanjang jalan tanah merah atau di tebing teres di dalam kawasan ladang perhutanan dan hutan sekunder. Kebanyakan tanah runtuhan terjadi pada lapisan tanah granit terluluhawa, dan gelinciran cetek (*shallow sliding*) pada satah antara muka tanah terluluhawa dan batuan segar.

10.2 Zon Aliran Puing

Lebih daripada 5 aliran puing terjadi sepanjang sungai di bahagian hilir zon tanah runtuhan utama bergerak di sepanjang alur di lurah dan lembah, dan masing-masing bercantum dengan Sungai Kupang utama. Panjang aliran puing pelbagai mengikut panjang alur sungai, dan aliran puing terpanjang mencapai 5.0 km. Aliran puing ialah proses hidraulik yang rencam, bergantung kepada kuantiti air, halaju air dan morfologi alur. Bukti lapangan menunjukkan terdapat 3 mekanisme aliran yang berlaku sewaktu masa aliran:

- kuantiti dan halaju air yang tinggi berupaya mengangkut semua bahan puing (bongkah, pasir, lodak dan kayu kayan) sepanjang alurnya;
- hakisan berlaku sepanjang aliran dasar dan tebing alur, seterusnya bahan hakisan diangkut bersama meninggalkan kesan pendedahan dasar batuan segar yang lebar;
- apabila halaju dan kuasa air berkurangan, bahan puing mulai terdampar pada dasar sepanjang laluannya, bermula dengan bongkah besar dan kecil, kerikil dan pasir dan puing kayu kayan.

Lodak yang terampai di dalam air boleh diangkut lebih jauh ke hilir. Oleh sebab profil alur dan sungai berkecerunan sederhana (15° hingga 35°), banyak bongkah batuan terdampar sepanjang profil aliran puing.



Rajah 10.1: Fotograf udara menunjukkan puluhan tanah runtuh yang berlaku secara serentak di dalam Zon Tanah Runtuh.



Rajah 10.2: Fotograf udara menunjukkan aliran-aliran puing yang berlaku di dalam lurah alur sungai Zon Aliran Puing.

10.1 Zon Banjir Puing

Apabila kandungan air bertambah dan banyak bahan puing diendapkan, aliran puing bertukar menjadi banjir puing. Kesan banjir puing mulai di kesan pada muara Sungai Celak, sekitar 1.2 km di hulu Kampung Iboi. Banjir puing membawa banyak kayu kyan, pasir dan lodak. Kayu kyan yang banyak telah tersangkut di Jambatan Sungai Iboi membentuk ‘empangan sementara’ menyebabkan damparan yang lebih banyak dan air naik secara mendadak mencapai melebihi 2 m. Kuasa asakan sangat besar sehingga jambatan pecah dan bahan puing terdampar serta merta. Fenomena ini menyebabkan 17 buah rumah musnah dan 3 nyawa terkorban. Banjir puing berterusan hingga 6 km dari Kampung Iboi sebelum bertukar menjadi banjir lumpur.

10.2 Zon Banjir Lumpur

Selepas bahan puing yang mengandungi pasir dan kayu kyan terdampar, air banjir hanya mengandungi ampaian bahan lodak yang tinggi. Bergantung kepada ketinggian paras air, banjir lumpur boleh melimpah pada dataran banjir secara meluas. Perubahan daripada banjir puing kepada banjir lumpur berlaku di Kampung Hangus, dan membanjiri tebing sungai sepanjang 5.2 km sehingga ke Kampung Kuala Kupang. Paras banjir lumpur yang direkodkan berkisar dari 0.2 m hingga 2 m. Banjir Lumpur membawa terlalu banyak puing lumpur sehingga berupaya merosakkan harta benda di dalam dan luar rumah. Manakala di kawasan yang telah surut banjir, ketebalan lumpur boleh mencapai sehingga 0.2 m.

10.3 Hakisan dan Perlodakan

Kadar hakisan dan perlodakan yang sangat tinggi di kawasan yang terlibat dengan tanah runtuh dan aliran puing juga menjadi faktor penyumbang kepada bencana banjir puing. Tinjauan lapangan mendapati banyak tanah runtuh bersaiz kecil dan sederhana berpunca di kawasan pembinaan jalan tanah merah dan teres tapak pertanian berlaku ketika hujan lebat pada 4 Julai 2022. Hakisan telah berlaku secara berterusan sebelum kejadian bencana dan bahan lodak telah berkumpul dengan banyak di sepanjang alur sungai. Semasa kejadian aliran puing, bahan lodak yang banyak telah menjadi sebahagian daripada sumber bahan puing yang menyebabkan impak banjir puing semakin dahsyat.



Rajah 10.3: Fotograf menunjukkan kawasan damparan puing (kayu-kayan, kerikil, dan pasir) dan Banjir Puing yang berlaku di dalam Zon Banjir Puing.



Rajah 10.4: Fotograf menunjukkan kawasan damparan lodak dan Banjir Lumpur yang berlaku di dalam Zon Banjir Lumpur.



Rajah 10.5: Fotograf menunjukkan kesan-kesan hakisan tanah, hakisan tebing sungai dan perlodakan yang berlaku.



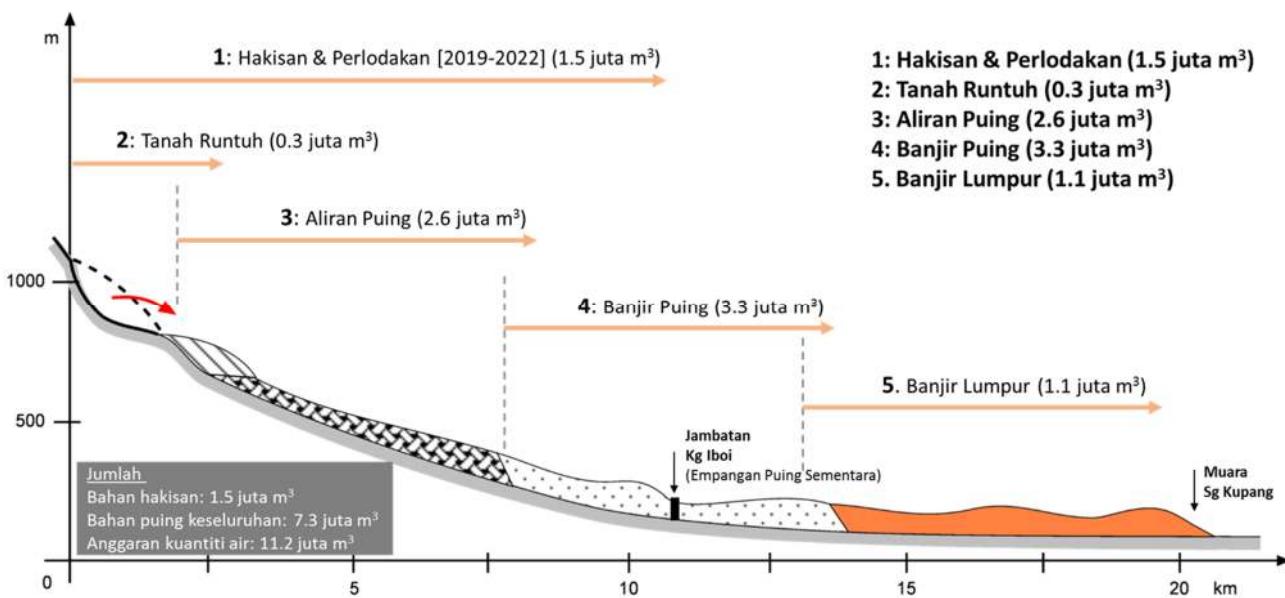
Rajah 10.6: Fotograf menunjukkan Proses Geologi Berangkai bermula daripada tanah runtuh, aliran puing, banjir puing, dan banjir lumpur.

10.4 Analisis Impak

Bencana Banjir Puing Sungai Kupang melibatkan proses geologi yang kompleks dan masing-masing menyumbang kepada keamatan bencana yang mengakibatkan kematian dan kerosakan harta benda. Proses hakisan dan perlodakan mengambil masa yang panjang, umpamanya sepanjang tahun 2019 hingga 2022, bahan lodak yang dihasilkan berjumlah 1,516,508 meter padu. Sebahagian besar daripada kerikil dan pasir terendap sepanjang alur sungai, manakala lodak yang terampai dibawa terus ke muara sungai dan laut.

Faktor utama bencana ialah kejadian proses geologi berangkai iaitu gelinciran tanah, aliran puing, hakisan dasar dan tebing dan damparan bahan puing yang terlampaui banyak dalam tempoh hanya beberapa jam. Anggaran bahan gelinciran tanah ialah 276,038 meter padu, aliran puing 2,589,021 meter padu, bahan banjir puing 3,275,467 meter padu dan puing lumpur daripada banjir lumpur sebanyak 1,111,187 meter padu. Jumlah isipadu bahan puing keseluruhan ialah 7,251,713 meter padu. Anggaran air yang membawa puing Aliran Lumpur pula ialah 11,234,213 meter padu.

Dalam konteks faktor yang saling menyumbang, fenomena geologi berangkai khususnya tanah runtuh meluas dan aliran puing di kawasan hutan sekunder dan ladang hutan merupakan faktor utama penyebab bencana banjir puing dan banjir lumpur. Hakisan dan perlodakan pula menjadi faktor tambahan meningkatkan kuantiti puing yang boleh meningkatkan impak bencana. Ringkasan fenomena ini ditunjukkan dalam Rajah 10.1.



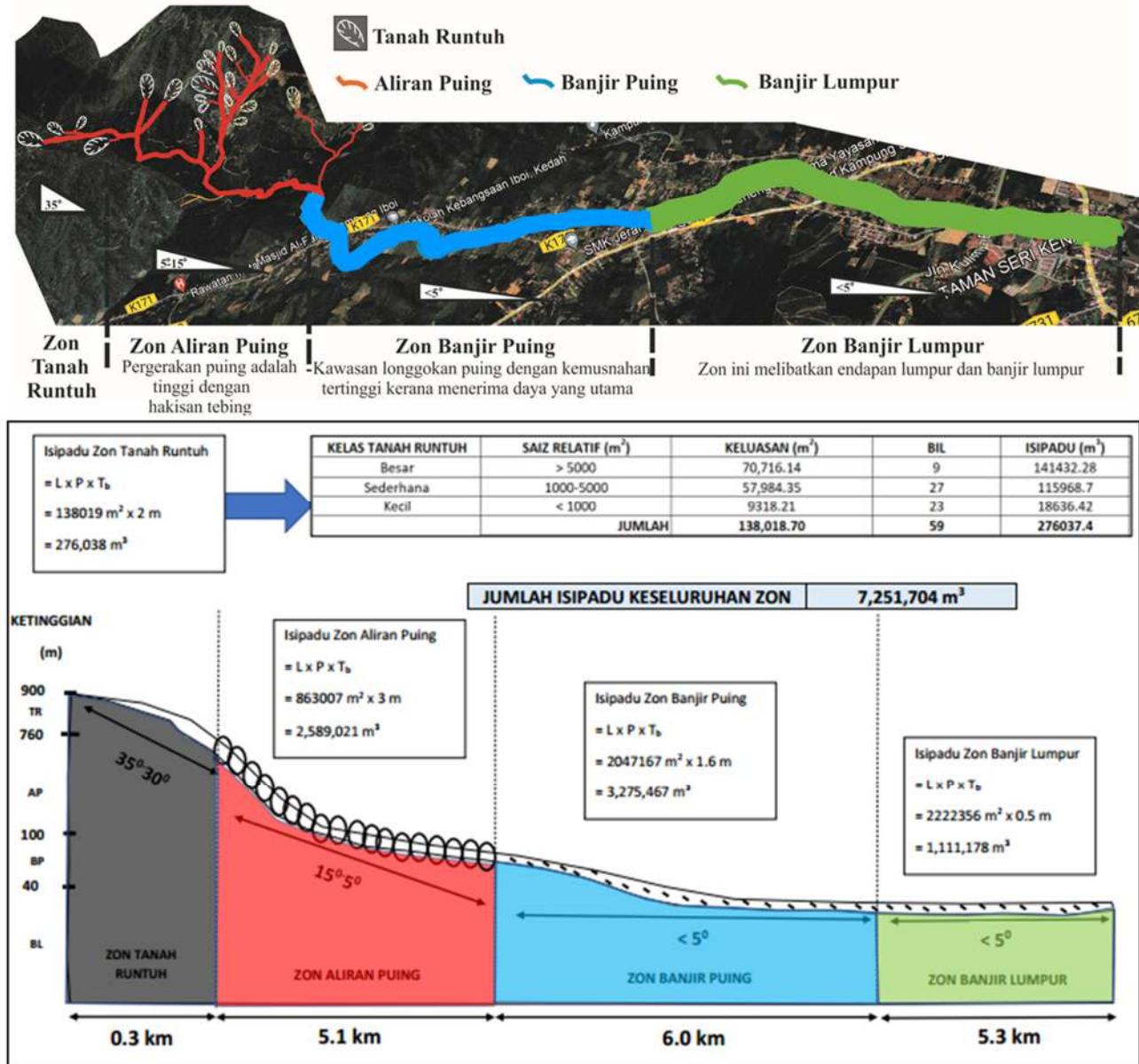
Rajah 10.1: Skematic bencana akibat proses geologi berangkai di Sungai Kupang, Kedah.

11. PEMETAAN LAPANGAN DAN PETA BAHAYA GEOLOGI

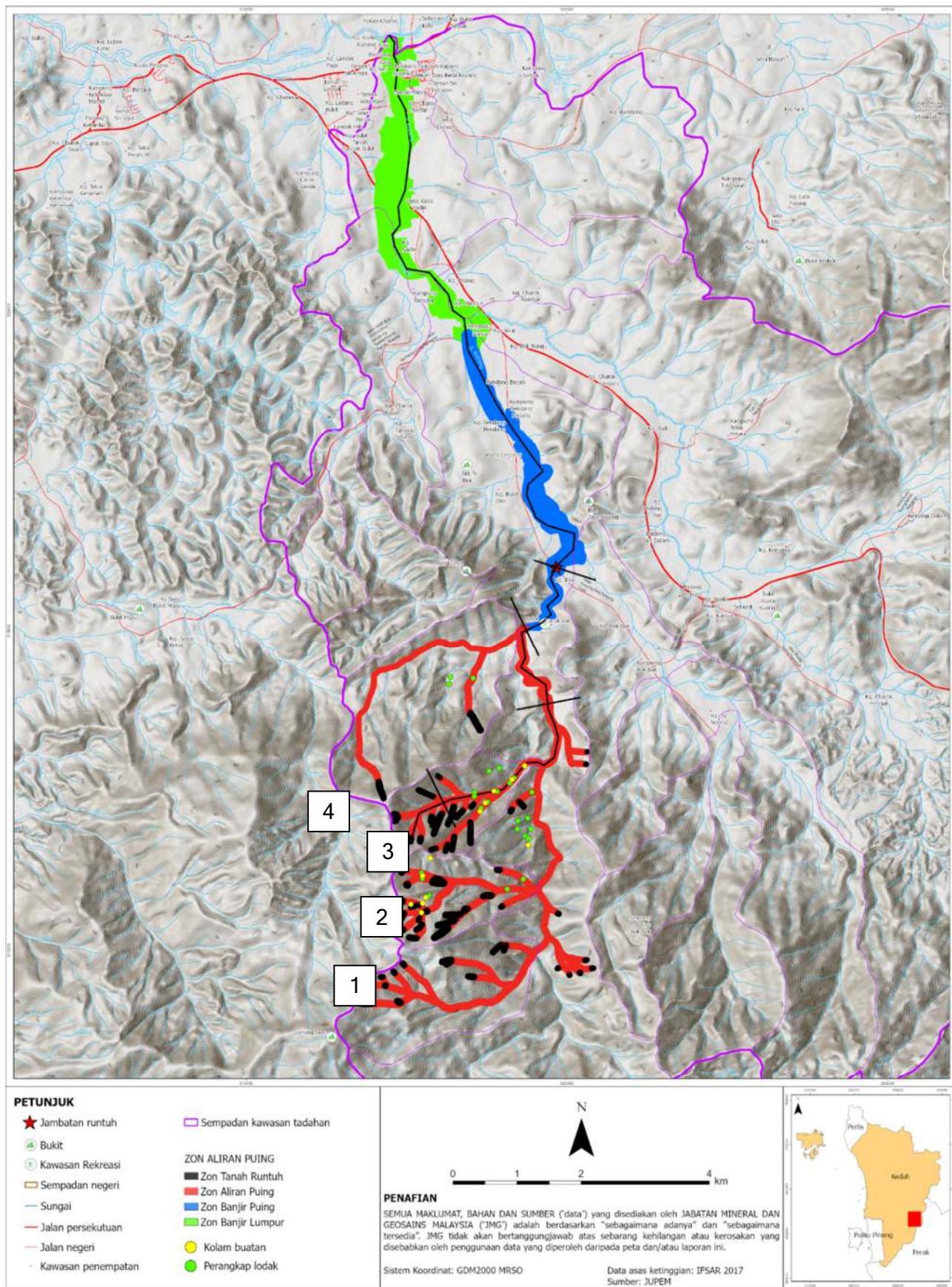
Peta tanah runtuh, aliran puing, banjir puing dan banjir lumpur disediakan dengan kaedah survei rintis di sepanjang alur sungai yang terlibat bencana iaitu dari hulu sungai Kupang hingga ke pertemuan antara pertemuan Sungai Kupang dan Sungai Tiak. Ketika survei dijalankan, maklumat geologi seperti jenis batuan, struktur geologi (kekar sesar), tahap luluhan, morfologi tanah runtuh lampau, serta fitur geodinamik dicerap. Maklumat ini direkodkan dan ditanda pada peta dasar. Bagi kawasan yang mempunyai kekangan kebolehcapaian pemerhatian dijalankan melalui tinjauan udara dan tafsiran imej serta video UAV bagi mengenal pasti fitur-fitur proses geologi yang terdapat di kawasan bencana. Berdasarkan survei ini, alur Sungai Kupang yang terlibat dengan bencana boleh dibahagikan kepada empat zon, iaitu zon tanah runtuh, zon aliran puing, zon banjir puing, dan zon banjir lumpur.

Berasaskan maklumat daripada survei rintis, beberapa parameter proses geologi berangkai dapat ditentukan. Di kawasan hulu terdapat sekurang-kurangnya 59 tanah runtuh berskala besar dan sederhana. Berdasarkan jumlah tanah runtuh ini, kuantiti isi padu bahan runtuhan dianggarkan berjumlah 276,038 meter padu. Aliran puing pula telah melebarkan sungai sehingga 10 hingga 100 kali ganda dan mendedahkan batuan dasar sungai yang segar. Perkiraan bahan puing yang diangkat oleh aliran air dianggarkan berjumlah 2,589,021 meter padu. Apabila kuantiti air bertambah, aliran puing berubah menjadi banjir puing dan mengalir sepanjang 6 km. Berdasarkan kuantiti kayu kayan, bongkah batuan, kerikil dan pasir, isi padu bahan puing yang dibawa adalah sebanyak 3,275,467 meter padu. Apabila semua bahan puing yang besar telah terdampar, air banjir hanya membawa lodak yang terampai dan mengakibatkan banjir lumpur dengan mengambil kira 10% ampaian kuantiti lodak yang diendapkan selepas banjir puing adalah sekitar 1,111,178 meter padu. Rajah 11.1 menunjukkan skematik proses geologi berangkai dengan kuantiti keseluruhan bahan puing yang diangkat berjumlah 7,251,704 meter padu.

LAKARAN SKEMATIK ZON ANATOMI ALIRAN PUING



Rajah 11.1: Skematic keratan rentas zon-zon bencana geologi berangkai (tanah runtuh, aliran puing, banjir puing dan banjir lumpur) Sungai Kupang, Baling, Kedah
(Sumber: JMG, 2022).



Rajah 11.2: Peta Zon Aliran Puing Sub-Lembangan Sungai Kupang (Sumber: JMG, 2022).

Berdasarkan kepada cerapan lapangan dan analisis geomorfologi, sebuah Peta Bahaya Geologi Aliran Puing disediakan. Peta ini bertujuan untuk digunakan sebagai panduan perancangan pembangunan pasca-bencana di kawasan yang telah berlaku Bencana Aliran Puing. Peta bahaya ini mengambil pendekatan, bencana yang telah berlaku boleh berulang pada masa hadapan dan proses pembinaan semula perlu mengambil kira pengalaman semasa. Untuk peta bahaya ini, tiga zon pengurusan pasca-bencana diperkenalkan iaitu Zon Musnah, Zon Bahaya, dan Zon Selamat.

11.1 Zon Musnah

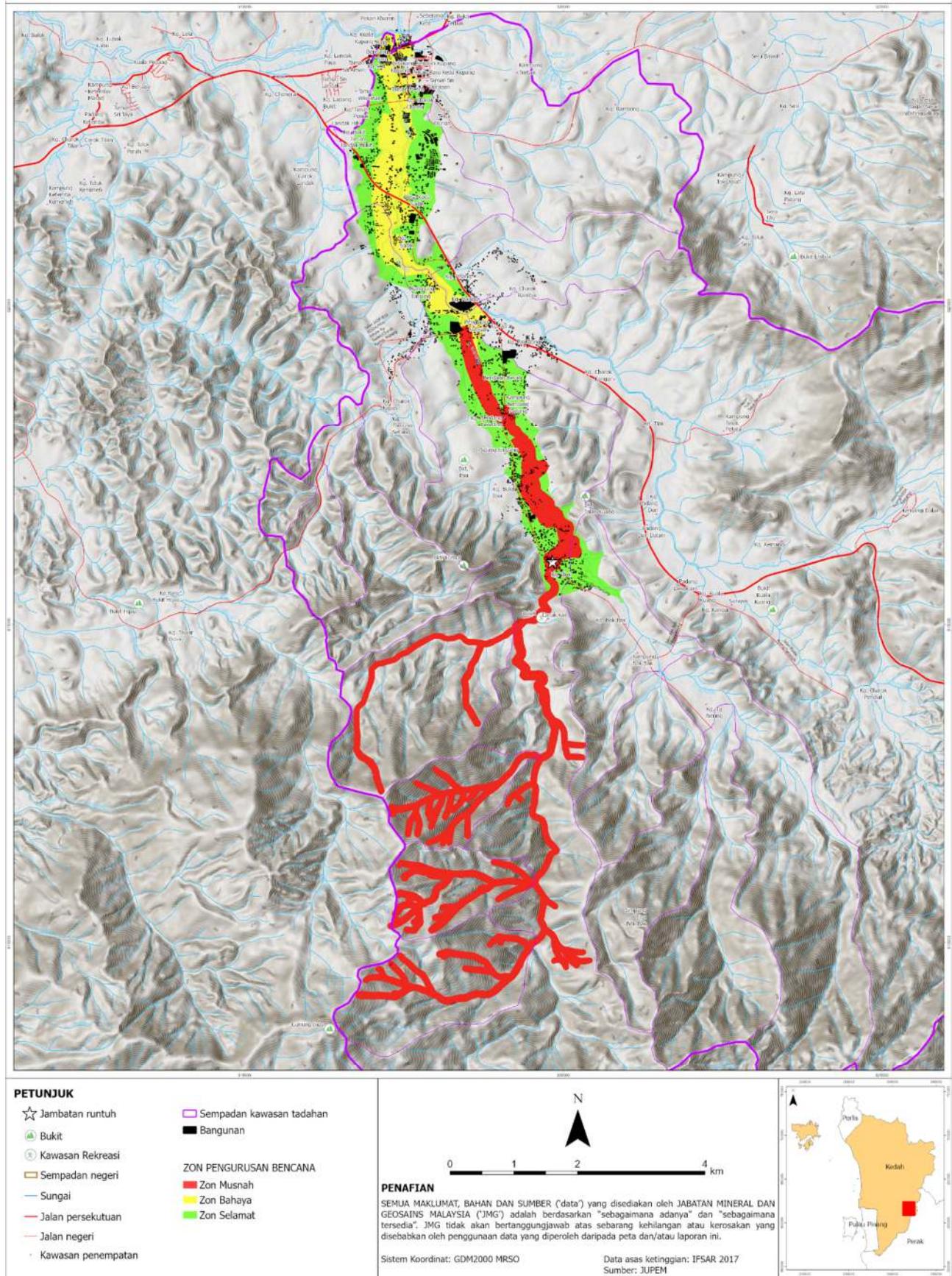
Zon ini melibatkan kawasan yang terimpak dengan tanah runtuh, aliran puing dan banjir puing. Berdasarkan tinjauan semasa, apa sahaja prasarana yang berada pada zon ini boleh musnah jika berlaku bencana geologi aliran puing ulangan dengan keamatan yang sama. Rumah boleh dimusnahkan, sementara penduduk yang berada di dalam rumah tersebut akan sukar diselamatkan. Bagi tujuan pengurusan, semua bentuk pembinaan prasarana kekal tidak sesuai dibangunkan di zon ini. Zon ini seeloknya dibiarkan sebagai zon penamparan, kawasan pertanian atau tapak rekreasi dengan sistem amaran awal bencana dan laluan tapak penghindaran bencana yang bersesuaian.

11.2 Zon Bahaya

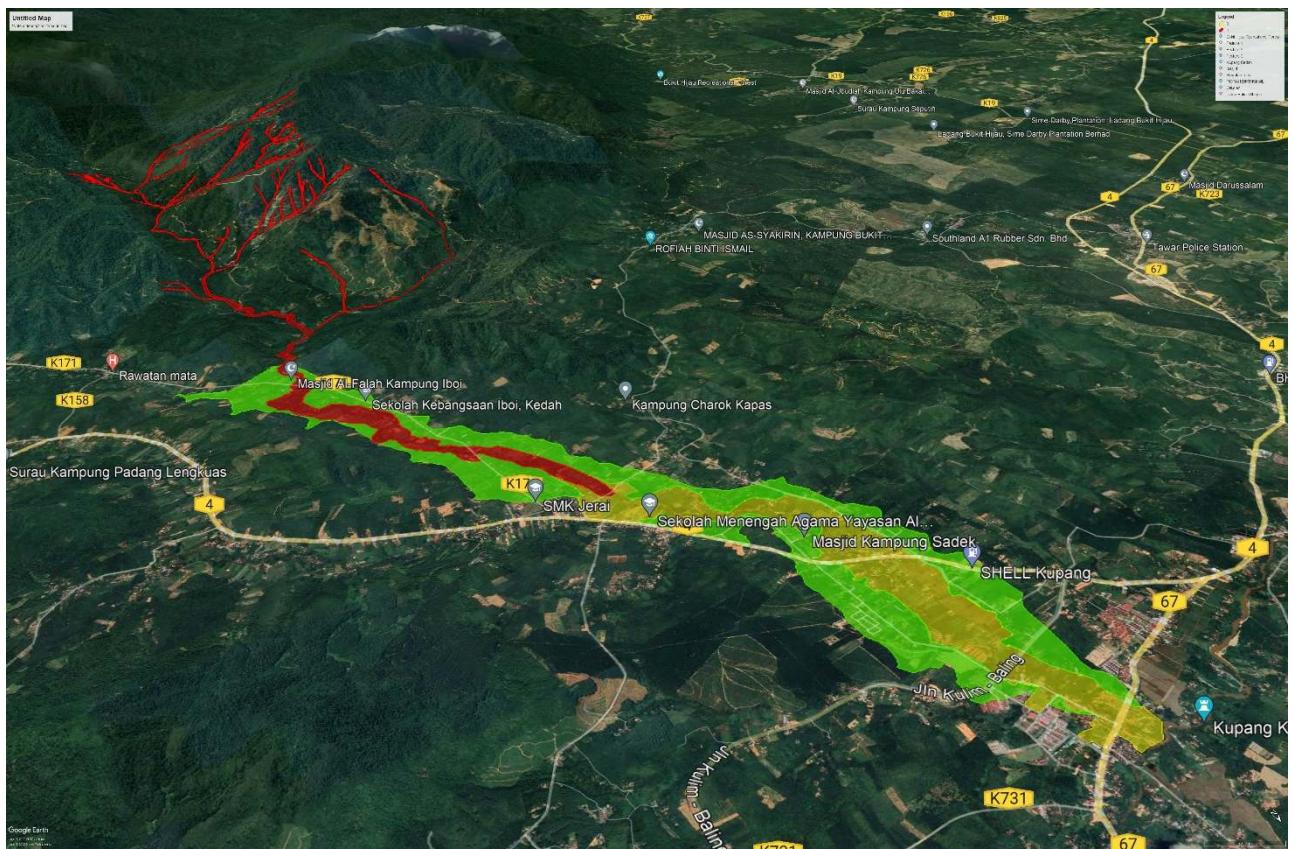
Zon ini melibatkan kawasan yang terimpak dengan banjir lumpur. Berdasarkan tinjauan lapangan, sebahagian besar dari kawasan ini mengalami banjir lumpur pada paras pinggang ke bawah (2 hingga 3 kaki). Kebanyakan kerugian melibatkan kerosakan harta benda dan keselesaan, tanpa kemusnahan bangunan atau kematian. Zon ini masih boleh diduduki atau membina prasarana kekal, sekiranya faktor risiko diambil kira dalam perancangan dan pembinaan.

11.3 Zon Selamat

Zon Selamat di dalam lembangan yang terlibat dengan bencana geologi aliran puing ialah kawasan yang tidak terkesan sama sekali dengan fenomena bencana yang bakal berlaku. Zon ini sesuai jika aktiviti pembinaan semula perlu dilaksanakan, khususnya pemindahan rumah atau petempatan yang terjejas teruk dengan bencana. Zon selamat ialah kawasan yang sesuai untuk pembinaan sekolah, pusat kesihatan dan bangunan awam.



Rajah 11.2: Peta Bahaya Geologi Aliran Puing Sub-Lembangan Sungai Kupang (Sumber: JMG).



Rajah 11.3: Zon Bahaya Geologi Aliran Puing Lembangan Sungai Kupang ditindakkan di atas imej satelit (Sumber: JMG, 2022).

12. DAPATAN UTAMA

Berdasarkan kajian forensik di kawasan tanah tinggi, morfologi alur di kawasan lurah dan lembah perbukitan, damparan puing dan lumpur di kawasan pesisir sungai di Kampung Iboi, serta perkampungan di hilirnya, berikut ialah dapatan utama berkaitan dengan tragedi Banjir Puing dan Banjir Lumpur di Sungai Kupang, Baling Kedah:

- a. Bencana di Kampung Iboi dan perkampungan di hilirnya ialah fenomena proses **Bencana Geologi Berangkai**, sama seperti fenomena yang berlaku di Sungai Lubok Panjang di Gunung Jerai, Sungai Telemung di Bentong, dan Sungai Lui di Selangor. Proses ini bermula dengan Gelinciran Tanah, disusuli dengan Aliran Puing, Banjir Puing dan Banjir Lumpur.
- b. **Gelinciran Tanah** atau tanah runtuh berlaku di kawasan legeh (berhampiran puncak dan permataungan), di tebing curam lurah tanah tinggi dan cerun potongan jalan tanah merah di kawasan ladang hutan. Dianggarkan lebih 276,038 meter padu puing tanah runtuh terdampar di alur sungai mencetus kejadian Aliran Puing.

- c. Aliran Puing bermula di alur empat (4) batang cabang Sungai Kupang dan berterusan ke sungai utama sepanjang 5.1 km. Aliran Puing ini mempunyai kuasa untuk menghakis dasar dan tebing sungai dan sekali gus membawa bersamanya bahan puing (bongkah, kerikil, pasir, lodak dan kayu kayan). Proses ini menyebabkan sungai menjadi sangat lebar, antara 10 hingga 100 kali ganda lebih besar daripada alur asal. Anggaran isi padu bahan puing yang dibawa ialah 2,589,021 meter padu.
- d. Apabila kandungan air bertambah, aliran puing bertukar menjadi **Banjir Puing** yang mengalir sepanjang 6 km. Bahan kayu kayan yang dibawa mula tersangkut di Jambatan Kampung Iboi membentuk ‘**empangan sementara**’. Bahan puing berkumpul dengan banyak dan air banjir naik secara mendadak. Dalam beberapa minit sahaja, empangan pecah dan damparan puing terjadi dengan ganas di Kampung Iboi. Kuantiti isi padu bahan puing dianggarkan berjumlah 3,275,467 meter padu. Inilah punca kepada kematian dan kemasuhan harta benda.
- e. Apabila semua bahan puing kayu kayan dan pasir sudah terdampar, banjir puing bertukar menjadi **Banjir Lumpur**. Kuantiti isi padu bahan lumpur dianggarkan berjumlah 1,111,178 meter padu. Air banjir lumpur melimpah di tebing sungai dan merosakkan harta benda di dalam dan luar rumah.
- f. Proses **hakisan dan perlodakan** berlaku sebelum dan semasa kejadian Banjir Puing menyumbang kepada kuantiti bahan puing di dalam alur sungai dan berupaya meningkatkan impak banjir puing dan banjir lumpur. Anggaran kuantiti isi padu perlodakan antara tahun 2019 hingga 2022 ialah 1,516,509 meter padu.
- g. 24 kolam untuk perangkap lodak dan 12 takungan air komuniti **bukan faktor penyebab kejadian** Banjir Puing, sebaliknya telah menjadi ‘mangsa’ kepada fenomena tabii ini.
- h. 2 kolam air pertanian **tidak terjejas** dengan rempuhan aliran puing dan terselamat kerana dibina di atas permatang.
- i. Sekiranya terdapat perkampungan di sepanjang hulu Sungai Kupang, kawasan paling berpotensi dimusnahkan oleh proses Bencana Geologi

Berangkai ini ialah di kaki Tanah Runtuh, di sepanjang laluan Aliran Puing, dan di kawasan damparan Aliran atau Banjir Puing. Kedudukan Kampung Iboi terletak di kawasan damparan Banjir Puing.

12.1 Faktor Pencetus

Kejadian gelinciran Tanah (tanah runtuh) yang banyak berlaku secara serentak di kawasan puncak pergunungan yang kemudian disusuli dengan aliran puing dan banjir puing memerlukan curahan hujan lebat lampau (ekstrem) dalam masa beberapa jam sebelum bencana berlaku. Namun begitu, tiada data hujan direkodkan di kawasan puncak Gunung Inas tetapi sebaliknya bacaan hujan di Kampung Iboi hanya menunjukkan curahan hujan sebanyak 36 mm dalam tempoh 3 jam sejak pukul 3 petang hingga 6 petang pada 4 Julai 2022. Tambahan pula, tiada hujan direkodkan tiga hari sebelum itu dan sebelum 3 petang. Maka, kuantiti curahan hujan yang turun berasaskan rekod di Kampung Iboi ‘tidak mungkin dapat mencetus fenomena tanah runtuh secara meluas dan disusuli dengan aliran puing’. Kemungkinan besar, hujan lebat lampau telah turun di kawasan puncak Gunung Inas yang menjadi pencetus Banjir Puing di Sungai Kupang. Berdasarkan isi padu bahan puing yang diangkut ke hilir, isi padu air dalam tempoh 4 jam ialah 2 juta meter padu dengan keamatan 200 mm/j.

12.2 Faktor Penyebab Utama

Fenomena gelinciran tanah (tanah runtuh), hakisan tanah dan aliran puing di legeh dan lurah tanah tinggi menghasilkan sumber bahan puing di dalam alur sungai. Kuantiti air hujan dan bahan puing yang terlalu banyak menjadi penyebab utama berlakunya banjir puing dan banjir lumpur di Kampung Iboi dan kampung-kampung lain di hilirnya.

Longgokan puing kayu kayan yang tersangkut di jambatan Kampung Iboi membentuk ‘empangan sementara’ mengakibatkan air naik secara mendadak. Kuasa tolakan air bercampur puing menyebabkan jambatan pecah dan semua bahan puing (kayu kayan, kerikil dan pasir) dihanyutkan serta merta. Fenomena empangan pecah ini menjadi faktor utama **Bencana Banjir Puing** di Kampung Iboi yang mengorbankan 3 nyawa dan memusnahkan 17 buah rumah. Bahan puing tersebut terdampar di kawasan Kampung Iboi, sementara air dengan kandungan lumpur yang tinggi mengalir dengan banyak menyebabkan Banjir Lumpur di perkampungan di hilirnya.

Faktor geologi, terutamanya lapisan tanah granit terluluhawa dan sistem rekahan (zon lemah) menjadi penyebab utama memudahkan berlakunya lebih 50 tanah runtuh berskala sederhana hingga besar yang mencetus aliran puing. Sementara itu, pergerakan aliran puing sepanjang lebih 4 km sambil **menghakis dasar dan tebing lurah sungai** pula menyebabkan kuantiti bahan puing di dalam alur sungai bertambah dengan sangat banyak.

Kehadiran **Sesar Bok Bak** berhampiran jambatan Kampung Iboi menyebabkan perubahan morfologi profil sungai dari kawasan bercerun kepada dataran landai (*slope break*) yang menjadi tempat paling sesuai berlakunya damparan puing. Alur sungai yang melalui lurah sempit (lokasi sungai memotong permatang) meningkatkan kelajuan aliran banjir puing di lokasi sama. Faktor geologi dan geomorfologi ini menyumbang kepada kuasa pemusnah Banjir Puing di Kampung Iboi.

12.3 Faktor Penyebab Tambahan

Kompartmen 8 Hutan Simpan Kekal seluas 5,000 hektar di bahagian hulu Sungai Kupang **telah di balak dan menjadi hutan sekunder**. Seluas 823 hektar daripadanya telah ditanam dengan getah dan durian. Perubahan guna tanah ini telah menyebabkan kadar hakisan tanah meningkat dengan tinggi. Longgokan bahan hakisan lama dan hakisan baharu ketika hujan lebat pada 4 Julai 2022 turut menyumbang kepada peningkatan kuantiti bahan puing yang diangkut oleh aliran puing dan banjir puing.

Kehadiran dua buah kolam takungan air, turut menyumbang kepada peningkatan kadar hakisan tanah. Begitupun, kuantiti air dalam takungan amat kecil berbanding dengan kuantiti air hujan penyebab banjir puing dan banjir lumpur.

12.4 Banjir Lumpur Pasca-Bencana

Aliran dan banjir puing yang berlaku pada 4 Julai 2022 telah menyebabkan pengendapan bahan puing (bongkah, kerikil, pasir dan lumpur) setebal 1 m - 2 m sepanjang profil sungai, menyebabkan alur sungai menjadi sangat cetek. Akibatnya banjir lumpur akan lebih mudah berlaku setiap kali hujan lebat berlaku di hulu sungai. Apabila hujan lebat lampau berlaku, banjir puing ulangan (terdiri daripada bongkah batuan) boleh juga berlaku sehingga mencetus bencana susulan.

13. CADANGAN TINDAKAN SUSULAN

13.1 *Tindakan Jangka Pendek*

1. Pemetaan Terperinci Bencana Geologi Banjir Puing di Sungai Kupang perlu dijalankan dalam tempoh 6 bulan selepas kejadian bagi mengumpul data untuk perancangan tindakan susulan bagi mengurangkan risiko kepada masyarakat tempatan.
2. Bahagian hulu Sungai Kupang mengandungi bahan puing (bongkah, kerikil, pasir dan kayu kayan) yang banyak. Apabila berlaku hujan lebat, bahan ini mudah diangkut dan dihanyutkan ke hilir dan berupaya mewujudkan bencana aliran puing ulangan. Kerja pembersihan, penstabilan dan pemantauan perlu dilakukan secara berterusan.
3. Sungai yang mengalami pencetakan ketara (paras dasar 1 m -2 m lebih tinggi daripada keadaan asal) dan bahan puing halus (pasir dan lodak) masih terendap dengan banyaknya di dasar sungai. Dalam tempoh beberapa bulan ini, air sungai akan kekal keruh, sementara banjir akan lebih mudah berlaku. Pemindahan penduduk yang berada di Zon Musnah dan Zon Bahaya ke kawasan Zon Selamat ialah tindakan wajar. Sementara itu, kerja mendalamkan sungai dapat membantu mengurangkan risiko banjir.
4. Jalan tanah merah di kawasan ladang hutan juga menjadi penyumbang utama bahan puing dan lodak. Tanaman tutup bumi di kawasan yang belum dibangunkan perlu disegerakan, sementara penyediaan perangkap lodak yang lebih berkesan perlu dibina di kawasan ladang yang masih aktif.
5. Punca utama perlodakan dan faktor tambahan bencana Banjir Puing ialah pembukaan Hutan Ladang di kawasan pergunungan/perbukitan. Kerajaan negeri perlu mengambil tindakan segera sama ada projek ini perlu diteruskan atau mengambil tindakan drastik untuk mengubah kembali menjadi kawasan Hutan Perlindungan. Jika mahu mengekalkan Hutan Ladang, tindakan susulan termasuk menambah baik garis panduan sedia ada perlu diperkenalkan bagi meminimumkan kadar hakisan dan menghindarkan tragedi Banjir Puing berulang.

6. Hutan Simpanan Kekal (HSK) Kompartmen 8 telah dinyahhutankan untuk guna tanah ‘hutan pertanian dan ladang durian’. Ini telah menyebabkan HSK Gunung Inas terputus dua sebagai koridor hidupan liar. Menjadikan sebahagian daripada Kompartmen 8 sebagai hutan perlindungan dan koridor hidupan liar ialah tindakan penting untuk pengurusan sumber kepelbagaian biologi.
7. Sebagai langkah awal, ‘tolok hujan automatik’ perlu dipasang berhampiran puncak Gunung Inas untuk mendapatkan data curahan hujan secara masa sebenar (*real-time*). Maklumat curahan hujan sangat penting sebagai ‘sistem amaran awal’ utama untuk mengurangkan risiko bencana kepala air, tanah runtuh, aliran puing, banjir puing atau banjir biasa.
8. Pembinaan keupayaan mengenai fenomena Tanah Runtuh, Aliran Puing dan Banjir Puing penting untuk agensi teknikal berkaitan dan masyarakat yang tinggal di kawasan berisiko bencana. Aktiviti latihan, ceramah dan promosi awam penting dijalankan secara berterusan. Papan maklumat seperti '*Aliran dan Banjir Puing boleh memusnahkan kehidupan anda*' atau sepertinya boleh diletakkan di tempat bersesuaian.
9. Jerayawara (*road show*) dan Forum ‘Bencana Geologi di Malaysia’ perlu dilakukan di beberapa buah negeri bagi mengingatkan kesedaran tragedi Aliran dan Banjir Puing lampau, dan risiko akan datang. KeTSA boleh menerajui kempen ini bersama kerajaan negeri dan NGO.
10. Mempercepatkan pembentangan Rang Undang-Undang Penyiasatan Geologi dan Geosains bagi menggantikan Akta Penyiasatan Kajibumi 1974 yang memaktubkan bidang teras tambahan berkaitan aktiviti Siasatan Geologi Forensik, Bencana Geologi, Penyelidikan dan pembangunan Geosains, dan bidang penguatkuasaan berkaitan.

13.2 *Tindakan Jangka Panjang*

1. Penubuhan Pusat Penyelidikan Bencana Geologi Kebangsaan yang bertindak sebagai barisan hadapan penyiasatan apabila berlaku bencana geologi di Malaysia.

- a. Pusat ini juga akan menjadi rujukan maklumat bencana geologi termasuk gempa bumi, tsunami, letusan volkano, gelinciran tanah di cerun tabii dan bencana geologi baru muncul.
 - b. Peranan asas Pusat ini adalah untuk menjalankan kajian forensik bencana geologi dalam tempoh 48 jam untuk kerja-kerja cari dan selamat serta dalam masa 1 bulan untuk perancangan pasca bencana.
 - c. Pusat ini perlu mempunyai autonomi, peruntukan yang mencukupi, dan dipandu oleh Jawatankuasa Pakar Bencana Geologi.
 - d. Pusat ini juga bertanggungjawab memperkuuhkan ramalan, pemantauan masa sebenar (*real-time*) dan amaran bencana geologi negara.
2. Mewujudkan Program Pemetaan Sub-Lembangan Berisiko Bencana Geologi Aliran Puing Kebangsaan.
- a. Projek jangka panjang yang akan dilaksanakan secara berterusan untuk meramal bencana geologi aliran puing di masa akan datang
 - b. Objektif utama program ini ialah:
 - i. Mengenal pasti dan mencirikan semua sub-lembangan yang berpotensi bencana geologi aliran puing.
 - ii. Memilih sub-lembangan untuk pemetaan bencana geologi mengikut keutamaan berdasarkan tahap risiko.
 - iii. Membangunkan sistem ramalan, pemantauan dan amaran bencana geologi aliran puing untuk pengurangan risiko bencana termasuk kaedah penghindaran atau mitigasi.
3. Jaringan sistem amaran awal pergunungan berkaitan dengan bencana geologi
- a. Kebanyakan bencana geologi bermula dari kawasan pergunungan namun kawasan ini masih belum mempunyai prasarana untuk ramalan dan amaran.
 - b. Sistem amaran awal masa sebenar (*real-time monitoring system*) yang akan dibangunkan di kawasan risiko tinggi mestilah mempunyai peralatan yang mencukupi untuk mengukur hujan, angin, tekanan air liang, kelembapan dan paras air sungai.
 - c. Jaringan sistem amaran awal diurus oleh Pusat Penyelidikan Bencana Geologi Kebangsaan

- d. Tumpuan akan diberikan kepada komunikasi bencana geologi dan penghebahan berkesan

- 4. Pendekatan pengurangan risiko bencana geologi aliran puing perlu berasaskan mitigasi multi-fungsi dan terintegrasi iaitu melibatkan perangkap puing, sumber air domestik dan pertanian, tenaga mikro-hidro, dan sebagai sumber pemuliharaan warisan biologi (taman eko-rimba). Kawasan ini juga boleh dibangunkan sebagai eko-pelancongan dan tapak rekreasi. Pembangunan prasarana pelbagai fungsi ini hanya boleh dilakukan selepas pemetaan terperinci bencana geologi serta perlu mesra masyarakat dan mesra alam sekitar.

13.3 Pengurangan Risiko Bencana

Pembinaan struktur Empangan Sabo (empangan penahan) di kawasan hulu sungai memang terbukti berkesan untuk mengurangkan impak hentaman puing (bongkah besar dan kayu kayan). Namun begitu, berdasarkan maklumat pandangan awam di kawasan kejadian, fenomena aliran puing yang berlaku dalam **kitaran ulangan lebih 50 tahun sekali** menjadikan kaedah ini kurang sesuai untuk Sungai Kupang, dan sungai lain yang pernah berlakunya fenomena banjir puing. Kajian terperinci mengenai halaju aliran, kuantiti puing, morfologi profil sungai dan kitaran ulangan diperlukan sebelum keputusan membina struktur Empangan Sabo dibina.

Jika struktur Empangan Sabo didapati sesuai digunakan, pendekatan terbaik ialah dengan memperkenalkan perancangan guna tanah terintegrasi mesra alam dan mesra masyarakat iaitu **pembangunan multi-fungsi**, meliputi bekalan air kampung dan pertanian, mini-hidro, kawasan rekreasi dan eko-pelancongan.

13.4 Respons Dasar

1. Bencana Geologi Aliran Puing telah berlaku lebih 25 kali di negara ini sejak tahun 1995 dan mengorbankan 442 nyawa. Ini ialah bencana alam paling merbahaya dan sering disalahtafsirkan kerana manifestasi impak sering dikaitkan dengan fenomena Kepala Air atau Banjir Kilat (dalam pengelasan JPS). Banjir Puing bukan ‘banjir biasa’ tetapi bahagian akhir daripada rangkaian bencana geologi yang dikenali Aliran Puing. Sumber puing yang lampau banyak di dalam air banjir penyebab bencana. Atas dasar ini, kami mengesyorkan satu dasar baharu diperkenalkan iaitu:

- a. Bencana Geologi di Terain Tabii / Kawasan Pergunungan
 - b. Memperkenalkan pendekatan Pengurangan Risiko Bencana (DRR) bencana geologi, khususnya ‘tanah runtuhan dan aliran puing’ yang sering berlaku di kawasan pergunungan/perbukitan yang masih belum mempunyai jalan penyelesaian
 - c. Aliran Puing ialah proses Geologi Berangkai iaitu gelinciran tanah, aliran puing, banjir puing dan banjir lumpur. Banjir Puing bukan banjir kilat seperti dalam pengelasan JPS, kerana banjir kilat tidak membawa bersamanya puing bongkah batuan, kayu kayan, kerikil, pasir dan lodak yang menjadi punca ‘kuasa pemusnah tinggi’.
 - d. Dasar ini membolehkan negara mewujudkan sebuah Pusat Kajian Bencana Geologi Negara. Pusat ini boleh menjalankan survei sub-lembangan yang berpotensi menyebabkan bencana aliran puing pada masa hadapan. Pada masa yang sama, pusat ini bertanggungjawab menjalankan kajian forensik 48 jam dan 30 hari jika berlaku bencana geologi yang bermakna.
2. Proses geomorfologi dalam sebuah lembangan boleh menyebabkan bencana geologi sepanjang cerun tabii dan alur sungai, khususnya Bencana Geologi Aliran Puing. Bencana Geologi Aliran Puing berlaku di kawasan lembah tanah tinggi dan impaknya terjadi di kawasan dataran rendah di hilirnya. Lembangan juga menjadi sumber bekalan air bersih, sumber tenaga keterbaharuhan, kawasan pemuliharaan kepelbagaiannya biologi dan kawasan pertanian yang subur. Atas dasar ini, kami mengesyorkan inisiatif Pengurusan Lembangan Sungai Terintegrasi (IRBM) yang pernah diperkenalkan satu ketika dahulu diperkasakan semula dengan memperkenalkan dasar tambahan iaitu:
- a. Pengurusan Bencana Geologi dalam Lembangan untuk Keselamatan Masyarakat.
 - b. KeTSA menerajui wawasan pembangunan dasar dan perancangan berasaskan lembangan dengan mewujudkan Jawatankuasa Antara Agensi yang terlibat dalam pengurusan sumber dalam lembangan.
 - c. Antara inisiatif yang boleh diperkenalkan ialah pengurusan sumber dalam lembangan secara bersepadu, penyusunan semula kompartmen hutan berasaskan sub-lembangan, mitigasi bencana secara terintegrasi dan memasyarakatkan pengurusan sumber dalam lembangan.

14. KESIMPULAN

Banjir Puing ialah bahagian terakhir daripada fenomena Geologi Berangkai yang berlaku di lembah dataran tinggi. Bencana Banjir Puing ialah tragedi langka di dalam sebuah sub-lembangan, berlaku apabila kandungan air meningkat, mekanisme aliran puing bertukar menjadi banjir puing. Banjir Puing bukan banjir biasa, sebaliknya sebahagian daripada proses geomorfologi yang mengangkut pelbagai jenis bahan puing hasil daripada fenomena tanah runtuh dan aliran puing.

Di Malaysia, Banjir Puing telah dikenali sejak tahun 1996 apabila berlaku di lembah Sungai Dipang, Perak yang mengorbankan 44 nyawa. Sejak itu, lebih 20 fenomena aliran puing yang berkesudahan dengan Bencana Banjir Puing yang telah mengorbankan 442 nyawa. Merupakan bencana cetusan air paling serius dihadapi negara, tetapi paling kurang difahami dan kurang mendapat perhatian sewajarnya.

Laporan ini telah disediakan berdasarkan tinjauan lapangan dengan kerjasama pelbagai agensi teknikal awam, universiti dan badan bukan kerajaan termasuk komuniti setempat. Ini pertama kali institusi pelbagai kepakaran bergabung tenaga mencari penyelesaian jangka panjang kepada isu getis negara yang masih belum menjumpai penyelesaian yang berkesan. Cadangan jangka pendek dan panjang, serta respons dasar dalam laporan ini wajar dipertimbangkan untuk kepentingan negara.

RUJUKAN

- A.F. Abdullah, Aimrun W, N. M. Nasidi, K. Hazari S. A. F, L Mohd. Sidek, Zalilah Selamat.** 2019. Modelling Erosion and Landslides Induced by Farming Activities at Hilly Areas, Cameron Highlands, Malaysia. *Jurnal Teknologi* 81(6):195-204
- Chow, W., Jadid, M.S.M., & Yaacob, S., 1996.** Geological and geomorphological investigations of debris flow at Genting Sempah, Selangor. In Proceedings of the Proc. Geol. Soc. Malaysia, *Forum "Geohazards: Landslide*, 1996: 5.1-5.15.
- Disaster Risk Reduction in Malaysia: Status Report, 2020.** Bangkok, Thailand, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), Regional Office for Asia and the Pacific, 2020.
- European Commission. (n.d.). Malaysia INFORM Risk.** <https://drmkc.jrc.ec.europa.eu/inform-index/INFORM-Risk/Country-Profile>.
- Ghazali, M.A., Rafeq, A.G., Md Desa, K., & Jamaluddin, S., 2013.** Effectiveness of geoelectrical resistivity surveys for the detection of a debris flow causative water conducting zone at KM 9, Gap-Fraser's Hill Road (FT 148), Fraser's Hill, Pahang, Malaysia. *Journal of Geological Research* 2013, 2013, doi:10.1155/2013/721260.
- Hashim, K.B., 2003.** Geological investigation on Ruan Changkul landslide. 2003, 46: 125-132.
- Huat, L.T., Ali, F., Osman, A.R. & Rahman, N.A., 2012.** Web based real time monitoring system along North-South Expressway, Malaysia. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 2012, 17: 623-632.
- Ibrahim Komoo, Che Aziz Ali, Norhayati Ahmad & Abd Rasid Jaapar, 2021.** Kertas Putih Khas Banjir Puing 2021: Kesesuaian Perlaksanaan Pemulihan Semula Kawasan Akibat Aliran Dalam Hutan Simpan Kekal, Laporan disediakan untuk Jabatan Hutan Semenanjung Malaysia.
- Ibrahim Komoo, Che Aziz Ali, Norhayati Ahmad, Lim Choun Sian & Abd Rasid Jaapar. 2021.** Kajian Forensik Banjir Puing 2021 Lembangan Bentung, Pahang - Mekanisme, Faktor Penyebab Utama, Respons Dasar, laporan disediakan untuk Kerajaan Negeri Pahang.
- Jaafar, K., 2012.** Heavy rainfall intensity triggering the landslide at Sungai Ruil Cameron Highland Malaysia-A Case study. In Proceedings of the EGU General Assembly Conference Abstracts, 2012: 13728.
- Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia. 2021.** Garis Panduan Kajian Forensik dan Pemetaan Geologi Kejuruteraan Aliran Puing di Malaysia, JMG.GP.32 (dalam penerbitan)
- Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia & Department of Mineral Resources, Thailand. 2010.** Geology of the Pengkalan Hulu-Betong Transect Area Along The Malaysia-Thailand Border.
- Jamaludin, S. & Hussein, A.N., 2006.** Landslide hazard and risk assessment: The Malaysian experience. *Notes* 2006.

- Jamaludin, S., Abdullah, C.H. & Kasim, N., 2014.** Rainfall Intensity and Duration for Debris Flow Triggering in Peninsular Malaysia. *In Landslide Science for a Safer Geoenvironment*, Springer: 167-172.
- Joe, E.J., Tongkul, F. & Roslee, R., 2018.** ENGINEERING PROPERTIES OF DEBRIS FLOW MATERIAL AT BUNDU TUHAN. *Pakistan Journal of Geology (PJG) 2018*, 2: 22-26, doi:10.26480/pjg.02.2018.22.26.
- Kasim, N., Abu Taib, K., Mukhlisin, M., 2013.** Comparison of Debris Flow Simulation Model with Field Event in Kuala Kabu Baru, Malaysia.
- Kasim, N., Taib, K.A., Mukhlisin, M. & Kasa, A., 2016.** Triggering mechanism and characteristic of debris flow in Peninsular Malaysia. *American Journal of Engineering and Research 2016*: 112-119.
- Komoo, I., 2015.** Pembinaan Ambil Kira Aliran Debris Mampu Kurang Risiko. Available online:<https://origin.bharian.com.my/taxonomy/term/61/2015/11/97519/pembinaan-ambil-kira-aliran-debris-mampu-kurang-risiko>.
- Kuraoka, S., Abdullah, C.H., Jamaluddin, S., Kasim, N., Nazri, M. & Sze, L.T., 2016.** Study on the Mechanisms of Debris Flows that Damaged Flexible Barriers in the Channel of Fraser Hill, Malaysia. *In Proceedings of the Civil Engineering Conference in the Asian Region (CECAR7)*, Waikiki, Oahu, Hawaii.
- Lay, U.S. & Pradhan, B., 2017.** Identification of Debris Flow Initiation Zones Using Topographic Model and Airborne Laser Scanning Data. *In Proceedings of the Global Civil Engineering Conference*: 915-940.
- Loh, A.I. & Leen, C.L., 2014.** Heavy rains cause mud flood in Camerons, one dead. The Star Online 2014.
- Mohammadreza Gharibreza, John Kuna Raj, Ismail Yusoff, Zainudin Othman, Wan Zakaria Wan Muhamad Tahir, Muhammad Aqeel Ashraf.** (2013). Land use changes and soil redistribution estimation using ^{137}Cs in the tropical Bera Lake catchment, Malaysia, *Soil and Tillage Research* 131: 1-10
- Public Work Department., 2009.** Malaysia: Sectoral Report - National Slope Master Plan 2009 - 2023; Public Work Department (PWD): 2009.
- Rahman, H.A., 2014.** An Overview of Environmental Disaster in Malaysia and Prepa-redness Strategies. *Iranian Journal of Public Health 2014*, 43: 17-24.
- Rosli, M.I., Che Ros, F., Razak, K.A., Ambran, S., Kamaruddin, S.A., Nor Anuar, A., Marto, A., Tobita, T., Ono, Y., 2021.** Modelling Debris Flow Runout: A Case Study on the Mesilau Watershed, Kundasang, Sabah. *Water 2021*, 13, 2667. <https://doi.org/10.3390/w13192667>
- Roy C. Sidle, Alan D. Ziegler, Junjiro N. Negishi, Abdul Rahim Nik, Ruyan Siew, Francis Turkelboom.** 2006. Erosion processes in steep terrain—Truths, myths, and uncertainties

- related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management* 224:199-225
- Singh, H., Huat, B.B. & Jamaludin, S., 2008.** Slope assessment systems: A review and evaluation of current techniques used for cut slopes in the mountainous terrain of West Malaysia. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 2008, 13, 1-24.
- Sum, C.W. & Mohamad, Z., 2003.** Debris slide at Kampung Sg. Chinchin, Gombak, Selangor.
- Tan, B. & Ting, W., 2008.** Some Case Studies on Debris Flow in Peninsular Malaysia. In *Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation*; Springer: 2008: 231-235.
- Tongkul, F., 2016.** The 2015 Ranau Earthquake: Cause and Impact. *Sabah Society Journal 2016*: 32, 1-28

LAPORAN AGENSI

- Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (JMG), 2022.** Bencana Geologi Aliran-Banjir Puing 2022 Sungai Kupang, Kedah, (tidak diterbitkan)
- Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (JMG), 2022.** Laporan Pemeriksaan Tapak Bencana Geologi Aliran Puing di Gunung Inas, Baling (tidak diterbitkan)
- Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS), 2022.** Laporan Bencana Geologi Aliran Puing di Gunung Inas, Baling Kedah Pada 4 Julai 2022 (tidak diterbitkan)
- Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS), 2022.** Ringkasan Kejadian Banjir di Sungai Kupang bagi tempoh 2011 hingga 4 Julai 2022 (tidak diterbitkan)
- Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia (JPSM), 2022.** Kajian Bencana Banjir Puing 2022 di Sungai Kupang, Kedah (tidak diterbitkan)
- Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia (JPSM), 2022.** Laporan Awal Jawatankuasa Siasatan Dalaman Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia Ke Atas Kejadian Banjir dan Kepala Air di Kampung Iboi, Daerah Baling, Kedah dan Langkah-Langkah Mitigasi Segera (tidak diterbitkan)
- Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM), 2022.** Laporan Keadaan Topografi Mukabumi di Kawasan Bencana Geologi Aliran Puing di Gunung Inas, Daerah Baling, Kedah (tidak diterbitkan)
- Agensi Angkasa Malaysia (MYSA), 2022.** Laporan Insiden Kepala Air dan Banjir Lumpur Di Baling, Kedah (tidak diterbitkan)
- Kementerian Pembangunan Luar Bandar (KPLB), 2022.** Laporan Projek-Projek KPLB Bencana - Tragedi Baling 2022 (tidak diterbitkan)
- Jabatan Kajicuaca Meteorologi Malaysia (METetMalaysia), 2022.** Laporan Cuaca Berkaitan Kejadian Ribut Petir dan Hujan Lebat Di Baling, Kedah Pada 4 Julai 2022 (tidak diterbitkan)

Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM), 2022. Aspek Hidraulik Sungai Kupang (tidak diterbitkan)

Pejabat Daerah dan Tanah Baling, 2022. Ringkasan Jumlah Keseluruhan Pasca Bencana Kepala Air Pada 4 Julai 2022 (Cut Off 28 Julai 2022) (tidak diterbitkan)

Jabatan Perlindungan Hidupan Liar dan Taman Negara (PERHILITAN), 2022. Penyediaan Laporan Bencana Geologi Aliran Puing di Gunung Inas, Daerah Baling, Kedah (tidak diterbitkan)

Jabatan Perlindungan Hidupan Liar dan Taman Negara (PERHILITAN), 2022. Biodiversity Patrolling & Protection Programme (Operasi Bersepadu Khazanah dan Vetoa) Di Sekitar Kawasan Hutan Simpan Gunung Inas, Kedah (tidak diterbitkan)

Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara (SPAN), 2022. Laporan Kajian Bencana Banjir Puing 2022 di Sungai Kupang, Kedah, Maklumbalas Suruhanjaya Perkhidmatan Air Negara Berkaitan Kos Pembaikan Pasca Banjir (tidak diterbitkan)

Pejabat Setiausaha Kerajaan Negeri Kedah, 2022. Input Penyediaan Laporan Bencana Geologi Aliran Puing Di Gunung Inas, Daerah Baling, Kedah (tidak diterbitkan)

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur ke atas hadrat llahi yang dengan limpah kurniaNya, Laporan Kajian Bencana Geologi Banjir Puing Tahun 2022 Sungai Kupang, Baling, Kedah ini berjaya disiapkan dalam tempoh masa yang singkat. Penghasilan laporan ini merupakan komitmen, kerjasama dan gabungan kepakaran pelbagai pihak dari Kerajaan Persekutuan yang merentasi kementerian, jabatan dan agensi, Kerajaan Negeri Kedah, institusi penyelidikan dan badan berkanun.

Justeru, Kementerian Tenaga dan Sumber Asli (KeTSA) yang mengetuai Pasukan Khas Siasatan Bencana Tragedi Baling, merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada jabatan dan agensi teknikal serta pihak-pihak berkenaan, yang telah bertungkus lumus menyediakan laporan dan input teknikal, penglibatan bengkel dan perbincangan. Penghargaan juga diberikan kepada komuniti-komuniti di Kampung Iboi yang telah terjejas akibat tragedi ini dan telah memberi maklumat asas di lapangan.



Kementerian Tenaga dan Sumber Asli



Kementerian Tenaga dan Sumber Asli | Tel: 03- 8000 8000 | Faks: 03 – 8889 4763 | Web: www.ketsa.gov.my



KeTSAMalaysia



KeTSAMalaysia



ketsa.malaysia

Selamatkan
Harimau Malaya



#KELUARGA
MALAYSIA

