

Ancaman Perubahan Iklim dan *Hakisan Tanah*

Kenaikan suhu dunia sebanyak satu darjah Celsius sudah cukup untuk menggugat kehidupan manusia di planet bumi ini. Menurut Program Alam Sekitar Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu (UNEP), dianggarkan peningkatan gas karbon dioksida akan terus meningkat secara purata sebanyak tiga darjah Celsius pada abad ini.

Panel Antara Kerajaan tentang Perubahan Iklim (IPCC) telah menerbitkan laporan *Perubahan Iklim 2022: Impak, Adaptasi dan Kerentanan* yang merumuskan bahawa kerosakan iklim yang bakal berlaku pada masa ini dan beberapa dekad mendatang akan memberikan impak terhadap alam sekitar, sosial dan ekonomi masyarakat dunia. Pada masa yang sama, manusia akan cuba beradaptasi dengan suasana yang serba rencam dan berisiko tanpa dipaksa.

Perubahan iklim telah mendorong kepada peningkatan taburan hujan di merata-rata dunia. Keadaan ini bakal mendorong berlakunya kejadian bencana alam seperti banjir besar dan ribut taufan sehingga menyebabkan kehilangan harta dan nyawa. Satu daripada fenomena alam semula jadi yang dijangkakan meningkat akibat perubahan iklim ialah hakisan tanah.

Hakisan Tanah

Hakisan tanah ditakrifkan sebagai proses pemisahan partikel tanah dan pengangkutannya disebabkan oleh tindakan agen hakisan tanah, iaitu air dan angin. Hakisan tanah ialah proses semula jadi. Walau bagaimanapun, hakisan tanah boleh dipercepatkan melalui tindakan manusia yang membuka kawasan tanah secara berleluasa tanpa sebarang kawalan. Hakisan tanah juga dianggap sebagai satu daripada cabaran terbesar dalam pembangunan lestari.

Terdapat lima faktor utama yang boleh mempengaruhi hakisan tanah, iaitu hujan (R), jenis tanah (K), topografi atau panjang cerun permukaan tanah (LS),

Aktiviti kerja tanah mengganggu hakisan tanah.

tanaman penutup bumi (C) dan amalan tanah di tapak projek (P). Kadar hakisan tanah (A) boleh dianggarkan dengan menggunakan formula seperti yang berikut:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

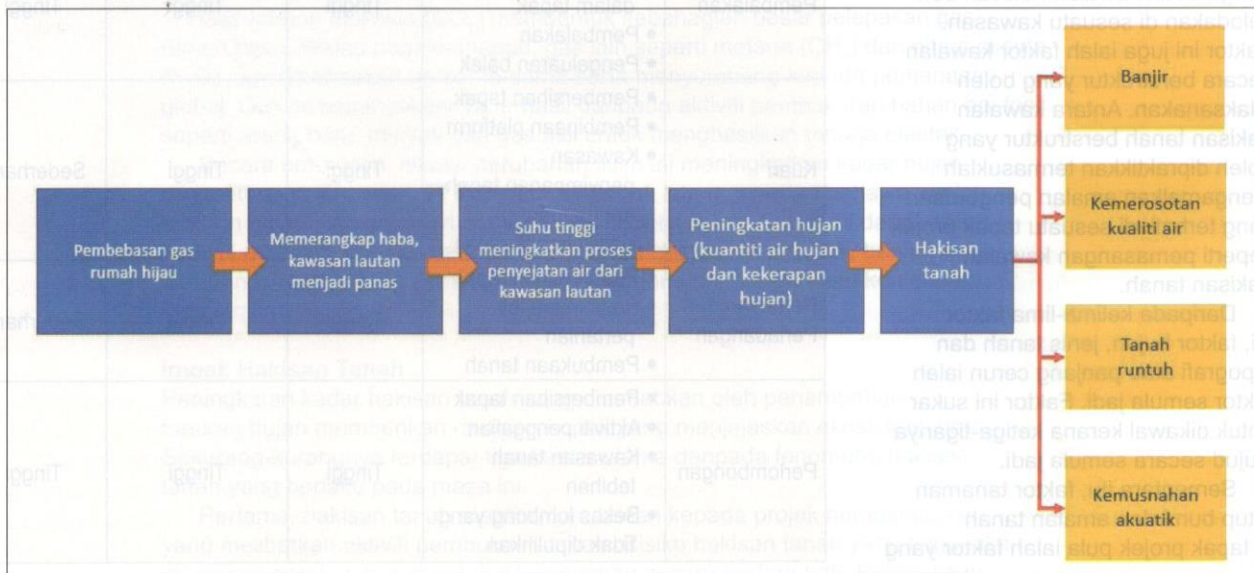
Faktor hujan diukur dari aspek keamatan hujan yang turun dan tenaga kinetik yang terhasil daripada hujan. Hal ini bermaksud semakin tinggi kadar hujan yang turun, maka semakin tinggi risiko hakisan tanah akan berlaku.

Faktor jenis tanah merujuk sifat tanah tersebut secara fizikal menghadapi rintangan untuk terpisah disebabkan oleh tindakan hakisan tanah, iaitu air dan angin. Tanah secara umumnya terdiri daripada pelbagai tekstur dan komposisi yang membentuk sifat kerintangan dan kekuatan terhadap sebarang daya yang boleh meleraikan struktur tanah menjadi partikel yang lebih kecil. Secara umumnya, semakin lemah ikatan antara partikel dalam struktur tanah, semakin mudah partikel tersebut terpisah antara satu sama lain.

Partikel yang membentuk tanah dikategorikan kepada tiga kumpulan mengikut saiz, iaitu pasir, kelodak dan tanah liat. Pasir ialah partikel yang terbesar, manakala tanah liat ialah partikel yang terkecil. Kebanyakan komposisi tanah ialah gabungan daripada ketiga-tiga jenis partikel ini.

Peratusan relatif pasir, kelodak dan tanah liat akan memberikan tekstur kepada tanah. Kepentingan untuk mengenal pasti jenis tanah sangat penting untuk menilai kadar hakisan tanah dan menentukan kawalan yang bersesuaian untuk mengurangkan kandungan pepejal terampai di dalam air.

Faktor topografi pula merujuk kombinasi faktor cerun dan panjang cerun. Sesuatu permukaan tanah yang mempunyai kecerunan yang tinggi boleh mempertingkatkan kelajuan pergerakan air larian permukaan. Air larian permukaan ialah air yang terbentuk semasa hujan turun. Semakin panjang jarak sesuatu cerun, semakin lama masa yang diambil untuk air larian permukaan bersentuhan dengan permukaan tanah. Hal ini sekali gus meningkatkan risiko hakisan tanah untuk berlaku.



Rajah 1 Carta alir proses perubahan iklim yang mendorong kejadian hakisan tanah.

Bagi tanaman pelindung permukaan tanah, hal ini menjadi satu daripada faktor untuk menentukan sejauh mana permukaan tanah menerima tindakan air hujan. Tanaman atau tumbuh-tumbuhan yang melindungi permukaan tanah ialah faktor yang mampu mengawal hakisan tanah daripada berlaku.

Tumbuh-tumbuhan berfungsi dalam dua perkara utama. Pertama, untuk menstabilkan struktur tanah melalui peranan akar yang mencengkam tanah daripada terpisah dan terhakis. Kedua, tumbuh-tumbuhan yang hidup segar atas permukaan tanah berfungsi sebagai penyerap air hujan yang turun. Air hujan yang mengalir atas permukaan tumbuh-tumbuhan akan diserap terus memasuki akar dan zon tanah. Hal ini secara tidak langsung menyebabkan pengurangan pembentukan air larian semasa hujan. Oleh sebab itu, semakin banyak kawasan yang dilindungi oleh tumbuh-tumbuhan, maka semakin kurang berlakunya hakisan tanah.

Bagi faktor amalan tanah, hal ini dapat difahami sebagai amalan pengurusan kawalan hakisan dan kelodakan di sesuatu kawasan. Faktor ini juga ialah faktor kawalan secara berstruktur yang boleh dilaksanakan. Antara kawalan hakisan tanah berstruktur yang boleh dipraktikkan termasuklah mengamalkan amalan pengurusan yang terbaik di sesuatu tapak projek seperti pemasangan kawalan hakisan tanah.

Daripada kelima-lima faktor ini, faktor hujan, jenis tanah dan topografi atau panjang cerun ialah faktor semula jadi. Faktor ini sukar untuk dikawal kerana ketiga-tiganya wujud secara semula jadi.

Sementara itu, faktor tanaman tutup bumi dan amalan tanah di tapak projek pula ialah faktor yang

boleh dikawal dan dilaksanakan oleh manusia. Daripada kelima-lima faktor ini, hujan menjadi satu daripada faktor hakisan tanah yang sangat penting dan sangat berpengaruh dengan perubahan iklim.

Perubahan Iklim dan Fenomena Hakisan Tanah

Perubahan iklim boleh mempengaruhi peningkatan keamatan dan kekerapan hujan. Suhu dunia yang meningkat secara mendadak boleh menyebabkan kawasan lautan menjadi lebih panas (rujuk Rajah 1). Hal ini mendorong kepada peningkatan jumlah air laut yang tersejat ke udara dan lebih banyak udara mengandungi lembapan. Udara ini pula akan bergerak dari suatu kawasan ke kawasan yang lain

sehinggalah awan yang mengandungi air ini menjadi berat lalu mencetuskan kejadian hujan.

Perubahan iklim telah mendorong kejadian hujan yang luar biasa. Peningkatan taburan hujan lebat akibat perubahan iklim boleh berlaku dalam dua keadaan, iaitu berlakunya peningkatan jumlah isi padu air yang dicurahkan ke bumi dan peningkatan kekerapan hujan yang berlaku di sesuatu kawasan.

Menurut Pentadbiran Aeronautik dan Angkasa Kebangsaan (NASA), kebanyakan ramalan model iklim semasa dunia menunjukkan bahawa peningkatan suhu akan meningkatkan kitaran air di planet ini, iaitu proses penyejukan semakin meningkat. Peningkatan proses penyejukan

Jadual 1 Tahap hakisan tanah mengikut jenis projek.

Jenis Projek	Aktiviti yang Menyumbang kepada Hakisan Tanah	Tahap Hakisan Tanah		
		Semasa Kerja Tanah	Semasa Pembinaan/Pengoperasian	Setelah Projek Beroperasi
Pembinaan perumahan	<ul style="list-style-type: none"> • Pembersihan tapak • Pembukaan tanah • Pematangan tanah 	Tinggi	Tinggi	Rendah
Pembalakan	<ul style="list-style-type: none"> • Pembersihan tapak • Pembinaan jalan dalam tapak • Pembalakan • Pengeluaran balak 	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Kuari	<ul style="list-style-type: none"> • Pembersihan tapak • Pembinaan platform • Kawasan penyimpanan tanah dan batuan • Aktiviti pengkuarian 	Tinggi	Tinggi	Sederhana
Pertanian dan Perladangan	<ul style="list-style-type: none"> • Pembersihan tapak • Pembinaan lot pertanian • Pembukaan tanah 	Tinggi	Tinggi	Sederhana
Perlombongan	<ul style="list-style-type: none"> • Pembersihan tapak • Aktiviti penggalian • Kawasan tanah lebihan • Bekas lombong yang tidak dipulihkan 	Tinggi	Tinggi	Tinggi



Kerja pembukaan tanah yang tidak terkawal menyebabkan masalah hakisan tanah yang lebih serius.

akan mengakibatkan ribut serta taufan yang lebih kerap dan mempunyai kekuatan tertentu.

Walau bagaimanapun, kejadian ini juga akan menyumbang kepada pengeringan di beberapa kawasan daratan. Akibatnya, kawasan yang dilanda ribut berkemungkinan akan mengalami peningkatan hujan dan risiko banjir, manakala kawasan yang terletak jauh daripada landasan ribut berkemungkinan mengalami kekurangan hujan dan meningkatkan risiko kemarau.

Para saintis dalam bidang perubahan iklim menyatakan bahawa perkara yang berlaku pada masa ini disebabkan oleh pelepasan gas rumah hijau yang semakin meningkat. Gas rumah hijau mempunyai keupayaan untuk memerangkap haba sehingga menyebabkan proses penyejukan semakin meningkat di kebanyakan bahagian di planet ini.

Gas karbon dioksida (CO_2) membentuk sebahagian besar pelepasan gas rumah hijau. Walau bagaimanapun, gas lain seperti metana (CH_4) dan nitrus oksida (N_2O) juga dibebaskan bersama-sama serta menyumbang kepada pemanasan global. Gas ini kebanyakannya terhasil daripada aktiviti pembakaran bahan api fosil seperti arang batu, minyak dan gas asli untuk menghasilkan tenaga elektrik.

Secara umumnya, situasi perubahan iklim ini meningkatkan kadar hujan di sesetengah kawasan. Di Malaysia misalnya, kita menyedari bahawa jumlah taburan hujan juga semakin meningkat di beberapa lokasi. Hal ini dapat dilihat melalui masalah hakisan tanah, tanah runtuh, gelongsoran tanah, banjir kilat dan banjir lumpur yang semakin kerap didengari dan mengancam kehidupan masyarakat.

Impak Hakisan Tanah

Peningkatan kadar hakisan tanah yang disebabkan oleh penambahan taburan hujan memberikan rangkaian impak yang menjejaskan ekosistem alam. Sekurang-kurangnya terdapat tiga kesan utama daripada fenomena hakisan tanah yang berlaku pada masa ini.

Pertama, hakisan tanah memberikan kesan kepada projek pembangunan yang melibatkan aktiviti pembukaan tanah. Risiko hakisan tanah yang tinggi akan memaksa pembangunan untuk dilaksanakan secara berhati-hati. Pembukaan tanah untuk pelaksanaan sesuatu pembangunan akan berhadapan dengan risiko

hakisan tanah yang besar sekiranya tidak dikendalikan dengan cara yang terbaik. Jadual 1 menunjukkan tahap impak hakisan tanah bagi beberapa aktiviti yang melibatkan pembukaan tanah.

Kedua, hakisan tanah berpotensi memberikan kesan kepada kualiti air sungai. Kehadiran partikel tanah yang terampai hasil daripada proses hakisan tanah boleh menjejaskan kualiti air sungai. Partikel tanah yang terapung dan termendap di dalam air sungai akan menjejaskan fungsi kimia, biologikal dan fizikal sungai.

Jabatan Alam Sekitar (JAS) menjadikan parameter pepejal terampai sebagai petunjuk utama bagi mengenal pasti kejadian hakisan tanah yang berlaku. JAS melalui *Laporan Kualiti Alam Sekeliling 2021* menyatakan bahawa tahap parameter pepejal terampai adalah tinggi di kawasan yang berhampiran dengan kawasan pembinaan, pembalakan dan perlombongan.

Kehadiran pepejal terampai di dalam sungai turut mempengaruhi tahap keterlarutan oksigen di dalam air. Peningkatan pepejal terampai akan menyebabkan kandungan oksigen terlarut semakin menurun. Secara umumnya, oksigen yang terlarut di dalam air amat diperlukan oleh hidupan air untuk kelangsungan kehidupan. Sekiranya pencemaran sungai berlaku disebabkan oleh kandungan pepejal terampai yang tinggi, hal ini akan memberikan implikasi terhadap hidupan di dalam sungai.

Ketiga, hakisan tanah yang berlaku boleh memberikan kesan kepada kehidupan sosial masyarakat. Kemerostotan kualiti air bukan sahaja akan memberikan impak kepada hidupan air, malah terhadap kehidupan manusia. Sering kali kejadian banjir lumpur di sesetengah kawasan yang berhampiran dengan loji rawatan air telah menyebabkan masalah bekalan air berlaku akibat loji tersebut terpaksa ditutup. Bayangkan masalah yang dihadapi oleh masyarakat sekiranya bekalan air tidak dapat disediakan



Pencemaran alur air.



Tanah yang terhakis akan mengalir masuk ke sungai bersama-sama aliran air hujan.

untuk kegunaan harian. Hal ini juga memberikan kesan kepada sektor industri yang memerlukan air untuk tujuan pemprosesan barangan.

Seterusnya, hakisan tanah yang berlaku akan menyebabkan berlakunya risiko banjir di sesetengah kawasan. Pada kebiasaannya, hakisan tanah akan disusuli dengan proses sedimentasi. Proses ini merujuk sedimen yang terbentuk daripada pendedapan pepejal terampai

di dasar sungai. Proses pendedapan adalah bergantung pada saiz partikel terampai tersebut. Semakin besar saiz partikel pepejal terampai, semakin mudah enapan itu termendap.

Proses sedimentasi ini akan menyebabkan penambahan sedimen di dasar sungai dan peningkatan aras dasar sungai. Hal ini seterusnya akan mengakibatkan sungai tidak mampu menanggung isi padu air yang masuk ke dalamnya lalu menyebabkan



Hujan lebat membawa air larian permukaan bersama-sama partikel tanah yang terhakis ke sungai.

limpahan berlaku. Oleh sebab itu, kejadian banjir di kawasan tertentu akan berlaku sekiranya kejadian hujan lebat melanda.

Langkah Pencegahan dan Kawalan Hakisan Tanah

Perubahan iklim dan hakisan tanah boleh dianggap sebagai satu daripada ancaman kepada pembangunan. Oleh itu, keperluan untuk beradaptasi dalam pembangunan haruslah dilaksanakan segera. Aktiviti pembangunan hendaklah dikawal dengan baik dengan menerapkan konsep pembangunan lestari.

Satu daripada cara yang dapat dilaksanakan adalah dengan memastikan bahawa perancangan pembangunan dapat disusun dengan mengambil kira faktor perubahan iklim. Keperluan untuk melakukan aktiviti pembangunan seperti pembukaan tanah bagi tujuan pembangunan hendaklah dilaksanakan pada musim kering bagi mengelakkan impak hakisan tanah yang akan memburukkan keadaan.

Kawasan yang sangat berisiko untuk berlakunya hakisan tanah pada tahap yang tinggi perlu dikenal pasti daripada sekarang. Penggunaan sistem maklumat geografi dan pemodelan iklim boleh meramalkan dan mengenal pasti kawasan yang berisiko untuk menghadapi masalah ini.

Kawasan yang mungkin mempunyai tahap hakisan tanah yang tinggi harus dikekalkan supaya tidak dibangunkan bagi mengelakkan berlakunya hakisan tanah yang lebih teruk pada masa akan datang.

Secara keseluruhannya, terdapat dua pendekatan yang perlu dilaksanakan bagi memastikan pembangunan yang melibatkan pembukaan tanah dapat dilaksanakan dengan baik, iaitu melalui pendekatan amalan pengurusan terbaik berstruktur dan tidak berstruktur.

Pendekatan berstruktur ialah pendekatan yang memberikan penekanan terhadap kawalan berbentuk fizikal dalam pembangunan. Hal ini merujuk kawalan hakisan tanah dan sedimentasi yang perlu dilaksanakan secara berkesan di tapak projek seperti melindungi kawasan permukaan tanah yang telah terdedah. Hal ini dapat dijayakan dengan pemasangan tanaman tutup bumi, kawalan menggunakan hidro sungkupan (*hydromulching*) dan pengalas geotekstil (*geotextile matting*).

Selain itu, air larian permukaan yang terbentuk semasa hujan dapat dikawal dengan pemasangan empangan penyekat (*check dam*), parit parameter dan parit berumput (*swale*) yang dapat membantu mengurangkan risiko hakisan tanah. Alat kawalan ini memainkan peranan dengan

mengurangkan halaju air sungai dan menggalakkan pegenapan bahan yang terhakis bagi mengelakkan hakisan yang melampau.

Pendekatan tidak berstruktur memberikan penekanan tentang aspek pencegahan kawalan hakisan tanah. Hal ini dapat dilakukan dengan memastikan perancangan dan pengawasan aktiviti kerja tanah dijalankan dengan berkesan. Sebagai contohnya, pembukaan tanah hendaklah dibuat secara berperingkat. Pembukaan tanah yang dibuat secara meluas akan mendorong kepada berlakunya hakisan tanah dengan pantas.

Antara pendekatan tidak berstruktur yang lain termasuklah pengawasan alam sekitar. Pendekatan ini dapat menilai dan mengenal pasti keberkesanan dan prestasi kawalan hakisan dan sedimentasi yang telah dilaksanakan.

Pengawasan alam sekitar boleh dilaksanakan dengan melakukan pemeriksaan terhadap kualiti air. Analisis kualiti air dapat menunjukkan kesan atau impak daripada pelaksanaan sesuatu projek, sama ada telah mendatangkan kesan yang signifikan atau tidak kepada kualiti air.

Perubahan iklim telah memberikan kesan yang amat signifikan kepada manusia. Hakisan tanah diramalkan akan terus meningkat disebabkan oleh peningkatan taburan hujan di seluruh dunia.

Oleh sebab itu, kesedaran dan kepekaan pihak penggubal dasar, para saintis dan penggerak projek amatlah penting bagi melaksanakan langkah pencegahan dan kawalan yang berkesan. Pelan tindakan dan kawalan yang berkesan harus disediakan bagi memastikan pembangunan lestari dapat dicapai.®

Ts. Dr. Abdul Rahman Mahmud ialah Penolong Pengarah Kanan di Pusat Penilaian (EIA), Institut Alam Sekitar Malaysia, Bangi, Selangor. Beliau ialah pakar penilai kajian hakisan tanah dan sedimentasi bagi kajian EIA.