Experts

Bahaya Senyap di Sebalik Konkrit Bertetulang: Ancaman Kakisan dan Keperluan Pemeriksaan Struktur Secara Berkala

Wed, 01/28/2026 - 16:39

Bangunan tinggi menjulang, jambatan megah yang merentasi sungai dan lautan, dan lebuh raya bertingkat yang sibuk dan itulah wajah Malaysia yang mempunyai infrastruktur moden dan progresif. Konkrit dan besi tetulang adalah bahan utama dalam pembinaan infrastruktur ini yang sering kita anggap sebagai lambang kekukuhan dan kekuatan. Namun, di sebalik fasad yang kukuh ini, mungkin tersembunyi satu proses kemerosotan konkrit yang beransur-ansur dan senyap iaitu kakisan besi tetulang di dalam konkrit.

Ancaman ini tidak berbahaya seperti kebakaran atau gempa bumi yang datang secara tiba-tiba. Ia lebih mirip kepada ‘penyakit kronik’ yang membiak perlahan-lahan, melemahkan ‘tulang’ struktur bangunan kita selama bertahun-tahun, sehingga satu hari nanti ia boleh mencapai tahap kritikal. Artikel ini bertujuan untuk membuka mata kita semua termasuklah pemilik struktur bangunan atau jambatan dan pihak berkuasa tentang bahaya senyap ini serta mengapa amalan pemeriksaan struktur secara berkala bukan lagi satu pilihan, tetapi satu kemestian bagi keselamatan awam dan kelestarian aset negara.

Memahami Musuh yang Tidak Kelihatan: Bagaimana Kakisan Besi Tetulang Berlaku?

Konkrit dan besi tetulang adalah pasangan yang sempurna. Konkrit sangat kuat terhadap daya mampatan, manakala besi (tetulang) sangat kuat terhadap daya tegangan. Konkrit juga menyediakan persekitaran alkali semula jadi yang melindungi besi tetulang daripada ejen kakisan dengan membentuk satu lapisan pelindung pasif.

Namun, perlindungan ini boleh terjejas. Dua ejen utama yang memulakan proses kakisan adalah:

1. Serangan Klorida: Ini adalah punca utama di persekitaran Malaysia yang berpantai dan lembap. Garam dari air laut (bagi struktur berhampiran pantai), akan meresap masuk ke dalam liang pori konkrit. Apabila ion klorida mencapai kepekatan tertentu di permukaan besi tetulang, ia akan memusnahkan lapisan pelindung pasif besi tersebut.

Kesan kakisan yang berlaku kepada struktur jambatan pejalan kaki di pesisir pantai akibat serangan klorida.

2. Pengkarbonatan Konkrit: Karbon dioksida (CO?) dari atmosfera masuk ke dalam konkrit dan bertindak balas dengan air (H2O) dan menghasilkan asid karbonik. Asid Karbonik secara beransur-ansur bertindak balas dengan kalsium hidroksida di dalam konkrit, dan seterusnya mengurangkan kealkalian konkrit tersebut. Proses ‘pengkarbonatan’ ini akan berlaku secara berterusan di

permukaan besi sehingga pH konkrit berkurangan di bawah paras 10 dan akhirnya lapisan pelindung pasif besi tetulang akan musnah.

Kesan kakisan yang berlaku kepada struktur bangunan (papak dan tiang) akibat pengkarbonatan konkrit.

Apabila lapisan pelindung telah musnah, ejen kakisan iaitu air (H2O) dan oksigen (O2) masuk ke dalam konkrit dan seterusnya menyebabkan tindakbalas elektro-kimia terjadi di permukaan besi (Ferum) dan menghasilkan karat. Karat yang terbentuk dari tindak balas tersebut akan mempunyai isipadu yang lebih besar (sehingga enam kali ganda) daripada diameter besi asal. Oleh yang demikian, tekanan dalaman akan terhasil di sekeliling besi tersebut dan ini akan menyebabkan retakan membujur pada konkrit. Apabila retakan telah berlaku, ia akan menyebabkan air dan oksigen masuk ke permukaan besi dengan mudah, sekali gus mempercepatkan lagi proses kakisan. Kekuatan ikatan antara konkrit dan keluli juga akan menurun akibat daripada terhasilnya karat, dan diameter besi tetulang berkenaan akan berkurangan. Secara teknikalnya, apabila berlakunya pengurangan diameter besi tetulang akibat daripada aktiviti kakisan tersebut, ia akan mengurangkan keupayaan struktur untuk menanggung beban di atas struktur tersebut.

Mengapa Malaysia Berisiko Tinggi?

Malaysia berada pada risiko yang tinggi berhadapan dengan ancaman kakisan besi tetulang dalam konkrit disebabkan oleh beberapa faktor persekitaran dan ketidakpatuhan spesifikasi semasa pembinaan.

Pertamanya, iklim tropika lembap negara kita menjadi pemangkin utama. Suhu yang tinggi sepanjang tahun, digabungkan dengan kelembapan relatif yang kerap mencecah melebihi 80 peratus, mewujudkan 'makmal' semula jadi yang mempercepatkan semua proses kimia yang merosakkan. Keadaan panas dan lembap ini bukan sahaja memudahkan penyerapan air ke dalam konkrit, malah ia juga secara drastiknya meningkatkan kadar pengaratan keluli itu sendiri.

Kedua, kedudukan geografi Malaysia sebagai sebuah negara maritim dengan garis pantai yang panjang mendedahkan ribuan struktur kepada ancaman langsung air dan udara dari laut. Udara masin laut yang mengandungi ion klorida mudah meresap masuk ke dalam liang pori-pori konkrit bagi struktur bangunan dan jambatan di kawasan persisiran pantai. Pendedahan berterusan ini menjadikan kakisan yang dipacu oleh ion klorida sebagai satu kebiasaan, bagi struktur-struktur di lokasi berkenaan.

Ketiga, era pembangunan pesat negara, terutamanya pada tahun 80-an dan 90-an, meninggalkan kesan legasi. Dalam tempoh pertumbuhan pesat itu, terdapat banyak projek pembinaan yang dilaksanakan. Walaupun banyak yang mematuhi piawaian, terdapat kemungkinan di sesetengah projek di mana mutu konkrit seperti ketumpatan dan ketebalan penutup konkrit (*concrete cover*) yang melindungi tetulang mungkin tidak setanding dengan spesifikasi ketat dan kawalan kualiti masa kini. Amalan kerja pembinaan yang kurang sempurna pada masa itu juga mungkin menyebabkan ketidaksempurnaan kualiti konkrit yang meningkatkan pendedahan struktur terhadap kakisan.

Keempat, pencemaran udara di kawasan bandaraya yang pesat membangun turut menyumbang kepada masalah ini. Tahap karbon dioksida (CO?) dan bahan pencemar lain yang lebih tinggi akibat

daripada kesesakan lalu lintas dan aktiviti perindustrian mempercepatkan proses pengkarbonatan konkrit. Proses ini mengurangkan kealkalian konkrit, seterusnya menjadikan struktur di pusat-pusat bandar lebih terdedah kepada pengkarbonatan konkrit.

Gabungan kesemua faktor ini seperti iklim, geografi, ketidakpatuhan spesifikasi pembinaan, dan alam sekitar akan menjadikan infrastruktur Malaysia mudah terdedah kepada kakisan. Oleh yang demikian, penekanan terhadap kepentingan untuk melaksanakan pemeriksaan dan penyelenggaraan struktur secara proaktif dan berkala adalah perlu.

Tanda-tanda Amaran yang Perlu Diperhatikan

Walaupun proses kakisan besi tetulang berlaku secara tersembunyi di dalam konkrit, ia tidak dapat disembunyikan sepenuhnya. Struktur yang sedang mengalami kemerosotan akan memberikan beberapa tanda-tanda amaran yang jelas sekiranya kakisan tersebut telah memasuki fasa sederhana mengikut pengkelasan kerosakan. Tanda-tanda tersebut dapat dilihat dengan mata kasar oleh inspektor yang berpengalaman. Kewaspadaan terhadap tanda-tanda ini merupakan langkah pertama yang kritikal dalam pencegahan awal.

Salah satu petunjuk paling biasa adalah kemunculan retakan membujur pada permukaan elemen struktur konkrit seperti rasuk, tiang, atau papak. Retakan ini selalunya kelihatan selari dengan arah tetulang utama yang berada di dalam konkrit, seolah-olah mengikuti 'jejak' besi tersebut. Retakan ini terjadi akibat tekanan dalaman yang terhasil daripada pengembangan isi padu karat, dan penemuannya tidak boleh dipandang ringan.

Apabila proses kakisan berterusan tanpa dikawal, tekanan dari karat yang semakin membesar akan mencapai tahap yang menyebabkan kepingan atau kulit konkrit tertanggal (*spalling*) secara fizikal. Keadaan ini adalah tanda kerosakan yang lebih serius, di mana bahagian permukaan konkrit terlerai dan tercabut, seterusnya mendedahkan besi tetulang di dalamnya kepada persekitaran luar. Pendedahan ini akan mempercepatkan lagi kadar kakisan tersebut kerana ejen kakisan dengan mudahnya sampai ke permukaan besi tetulang tersebut. Selain itu juga, pada permukaan konkrit, terutamanya di sekitar kawasan yang retak atau spall, tompok karat atau kesan perangan (*staining*) yang berwarna coklat kemerahan sering kelihatan. Tompok ini adalah akibat daripada air yang mengandungi karat meresap keluar melalui liang dan retakan konkrit.

Penting untuk difahami bahawa tanda-tanda ini tidak boleh diabaikan atau sekadar ditampal dengan simen baharu. Setiap isyarat tersebut merupakan 'gejala' bagi 'penyakit' struktur yang lebih mendalam, dan memerlukan diagnosis profesional oleh jurutera struktur untuk menentukan tahap kerosakan dan tindakan pembaikan yang sewajarnya.

Pemeriksaan Berkala: Vaksin untuk Struktur

Langkah paling berkesan untuk menangani ancaman kakisan ini adalah melalui program pemeriksaan dan penilaian struktur secara berkala. Ini bukan sekadar ‘melihat-lihat’, tetapi satu proses sistematik yang perlu dilakukan oleh jurutera struktur yang berpengalaman.

Pemeriksaan ini biasanya mempunyai tiga peringkat iaitu:

1. Pemeriksaan Awalan Secara Visual (Fasa 1): Pemeriksaan menyeluruh untuk mengenal pasti semua tanda kerosakan yang kelihatan, didokumentasikan dengan foto dan lakaran.

2. Pemeriksaan Terperinci Tidak Memusnah (Fasa 2): Menggunakan alat-alat pengujian untuk menilai keadaan dalaman tanpa merosakkan struktur (*Non- Destructive Test*). Antara ujian yang boleh dijalankan adalah:

- Uji Tukul Pantulan (*Rebound Hammer Test*): Menguji kekuatan permukaan konkrit.
- Pengesan Tetulang dan Pengukur Penutup Konkrit (*Covermeter Test*): Untuk memastikan ketebalan penutup konkrit mencukupi.
- Ujian Potensi Separuh Sel (*Half-Cell Potential Test*): Mengukur kebarangkalian aktiviti kakisan sedang berlaku pada tetulang.
- Ujian Kandungan Klorida dan Kedalaman Pengkarbonatan: Mengambil sampel teras (*core sample*) kecil untuk analisis makmal dan di lapangan.

3. Penilaian Struktur Terperinci (*Detail Structural Assessment*): Berdasarkan data yang dikumpul, jurutera akan menganalisis semula keupayaan struktur semasa, membandingkannya dengan beban yang diperlukan, dan menentukan perkelasan kesihatan struktur (Sebagai contoh: Baik, Sederhana, Lemah atau Kritikal).

Dasar, Tanggungjawab dan Langkah ke Hadapan

Malaysia mempunyai garis panduan dan piawaian yang baik dalam mengatasi masalah kakisan di peringkat rekabentuk struktur. Namun, pelaksanaan pemeriksaan berkala masih belum menjadi amalan universal dan mandatori bagi semua jenis bangunan sedia ada, terutamanya bangunan strata perumahan dan komersial swasta yang berusia. Piawaian terhadap kaedah pemantauan struktur juga perlu dipertingkatkan selaras dengan kemajuan teknologi. Oleh itu, perlu ada usaha kolektif daripada semua pihak.

Pihak Berkuasa Tempatan (PBT) dan Kerajaan Pusat memainkan peranan penggerak yang paling kritikal. Mereka mempunyai kuasa perundangan untuk mencipta perubahan sistematik. Satu langkah transformatif yang boleh dipertimbangkan adalah mewajibkan Sijil Kesesuaian Struktur (*Fitness-for-Purpose Certificate*) yang dikeluarkan oleh Jurutera Awam Profesional, sebagai prasyarat untuk urus niaga tertentu. Contohnya, sijil ini boleh diwajibkan untuk bangunan yang melebihi usia tertentu (misalnya 30 atau 40 tahun), atau semasa proses penjualan bangunan lama, dan untuk pembaharuan lesen perniagaan bagi premis komersial. Di samping itu, pengenalan insentif cukai, seperti rebat untuk perbelanjaan penyelenggaraan dan pengukuhan struktur yang disahkan, dapat menggalakkan pemilik bangunan untuk bertindak secara proaktif daripada sekadar menunggu sehingga berlakunya masalah kemerosotan konkrit.

Jabatan Kerja Raya (JKR) dan badan-badan kerajaan lain sebenarnya telah mempelopori amalan baik dalam penyelenggaraan infrastruktur awam seperti jambatan, bangunan kerajaan dan hospital. Program pemeriksaan berkala mereka perlu diperkukuh, didokumentasikan dengan baik, dan dijadikan model rujukan serta latihan untuk sektor swasta. Perkongsian data dan pengalaman daripada program ini amat berharga bagi membangunkan pangkalan data kebangsaan mengenai prestasi struktur dalam Malaysia.

Kesimpulan: Melindungi Keselamatan dan Kelestarian Struktur

Konkrit mungkin kelihatan kukuh sepanjang masa sekiranya ia diberikan pemantauan secara berkala dan penyelengaraan yang bersesuaian. Ancaman kakisan adalah realiti sains yang tidak boleh diabaikan. Tragedi seperti keruntuhan sebahagian bangunan atau jambatan di negara lain sering berpunca daripada pengabaian penyelenggaraan jangka panjang.

Melabur dalam pemeriksaan struktur berkala adalah jauh lebih murah berbanding kos pembaikan besar-besaran, apatah lagi kos nyawa yang tidak ternilai. Ia adalah pelaburan dalam keselamatan, kelestarian, dan ketahanan. Marilah kita bersama-sama mengubah minda daripada budaya ‘baik-baik sahaja’ atau ‘tunggu sehingga rosak’ kepada budaya ‘cegah sebelum parah’ dan ‘selenggara secara strategik’.

Dengan berbuat demikian, kita bukan sahaja melindungi pelaburan kewangan kita, tetapi lebih penting, kita memastikan bandar dan negara kita selamat untuk didiami generasi hari ini dan akan datang. Bahaya itu mungkin senyap, tetapi tindakan kita tidak seharusnya demikian.



Oleh: Ir. Dr. Khairul Anuar Shahid
E-mel: khairulanuars@umpsa.edu.my

Penulis ialah Ketua Jabatan Teknologi Pembinaan & Pengurusan Fasiliti di Fakulti Teknologi Kejuruteraan Awam, Universiti Malaysia Pahang Al-Sultan Abdullah (UMPSA). Beliau memperoleh Ijazah Doktor Falsafah (PhD) dalam bidang Pemantauan Kesihatan Struktur dari Universiti Sains Malaysia (USM) dan merupakan Jurutera Profesional dalam bidang Kejuruteraan Awam.

Rencana ini merupakan pandangan peribadi penulis dan tidak menggambarkan pendirian rasmi Universiti Malaysia Pahang Al-Sultan Abdullah (UMPSA).

- 152 views

View PDF