Experts

# Geococcyx californianus sebagai paradigma biomekanik dan termodinamik untuk inovasi kejuruteraan maju

Tue, 12/30/2025 - 11:59

*Geococcyx californianus* sering hadir dalam imaginasi popular sebagai watak kartun yang lucu dan hiperbola kelajuan, namun di sebalik citra ringan itu tersembunyi sebuah sistem biologi yang rumit, disiplin dan hampir sempurna dari sudut kejuruteraan alam. Burung ini lahir dan membesar di lanskap gurun Amerika Barat Daya yang ekstrem, suatu ruang ekologikal yang menuntut kecekapan tenaga, ketahanan haba, dan kecerdasan gerak yang melangkaui kebiasaan. Evolusi tidak membentuknya sebagai simbol hiburan, sebaliknya sebagai jawapan senyap kepada persoalan kejuruteraan yang manusia moden masih cuba selesaikan melalui algoritma, robotik dan bahan termaju.

Sejarah hubungan manusia dengan roadrunner memperlihatkan peralihan cara berfikir. Masyarakat peribumi melihatnya sebagai lambang ketangkasan dan kecerdikan alam, manakala sains moden mula meneliti sebagai arkib hidup prinsip biomekanik dan termodinamik. Tubuhnya yang langsing, kaki yang memanjang dan ekor yang sentiasa aktif bukanlah hiasan, tetapi manifestasi falsafah alam tentang kecekapan maksimum dengan sumber minimum. Setiap gerakan lari di atas pasir panas mencerminkan prinsip pengoptimuman pelbagai kekangan yang sering menjadi obsesi jurutera kontemporari.

Keupayaan *roadrunne*r berlari pantas secara bipedal dengan kestabilan yang luar biasa menyingkap kebijaksanaan biomekanik yang sukar ditiru. Kaki yang panjang berfungsi sebagai tuas semula jadi, manakala tendon dan tisu penghubung bertindak sebagai penyimpan tenaga elastik yang dilepaskan semula pada setiap langkah. Fenomena ini mengurangkan kehilangan tenaga hentaman dan meningkatkan jarak langkah tanpa pertambahan kos metabolik. Dari sudut kejuruteraan, tubuh ini beroperasi seolah-olah sistem suspensi pintar yang menggabungkan fungsi spring dan peredam secara organik. Inspirasi sedemikian membuka ruang baharu untuk reka bentuk robot mobiliti kasar yang tidak lagi bergantung sepenuhnya kepada motor berat dan kawalan digital kompleks, sebaliknya memanfaatkan struktur pasif yang cerdas.

Ekor roadrunner pula mengingatkan bahawa kestabilan bukan semata mata soal kekuatan, tetapi soal imbangan dinamik. Ketika berlari atau membelok mengejar mangsa, ekor berfungsi sebagai pengimbang momentum sudut, mengekalkan pusat graviti agar tidak terkeluar daripada paksi gerakan. Prinsip ini selari dengan pencarian sains robotik terhadap kestabilan bipedal yang selama ini menjadi cabaran utama. Alam menunjukkan bahawa keseimbangan boleh dicapai melalui pengagihan jisim dan gerak balas pantas, bukan hanya melalui pengiraan berulang berkelajuan tinggi.

Aspek termodinamik burung ini tidak kurang mengagumkan. Gurun menuntut strategi pengurusan haba yang fleksibel dan hemat tenaga. Roadrunner mengamalkan heterothermy terkawal dengan menurunkan suhu badan pada waktu malam, suatu keputusan fisiologi yang mengurangkan kadar metabolisme tanpa menjejaskan fungsi hidup. Pada waktu siang, kawasan kulit tertentu yang kurang

berbulu membenarkan pelepasan haba melalui perolakan dan radiasi, manakala pernafasan melalui mukosa hidung dan mulut memanfaatkan penyejatan sebagai mekanisme penyejukan tambahan. Gabungan ini membentuk sistem penyejukan hibrid pasif dan aktif yang jauh lebih lestari berbanding teknologi pendingin moden yang rakus tenaga.

Sains bahan dan kejuruteraan haba boleh menimba ilham daripada strategi ini untuk mereka bentuk sistem penyejukan pasif bagi peranti elektronik atau pakaian pelindung dalam iklim tropika Malaysia yang semakin panas akibat perubahan iklim. Konsep bahan berubah fasa yang bertindak balas terhadap suhu persekitaran sejajar dengan falsafah alam yang diamalkan roadrunner, iaitu menyesuaikan diri dengan keadaan tanpa melawan hukum tenaga secara membuta tuli.

Dimensi kognitif dan deria burung ini turut menawarkan pelajaran berharga. Ketika memburu mangsa yang pantas dan berbahaya, roadrunner bergantung kepada koordinasi visuo motor berlatensi rendah yang memintas pemprosesan saraf yang lebih perlahan. Gerak kepala yang pantas membolehkan pengiraan jarak melalui *parallax* visual, lalu menghasilkan tindak balas hampir seketika. Prinsip ini sejajar dengan keperluan sistem autonomi masa kini yang memerlukan keputusan pantas dalam persekitaran tidak berstruktur. Algoritma ramalan berasaskan maklum balas segera yang diinspirasikan oleh biologi boleh meningkatkan keselamatan dan kecekapan kenderaan autonomi serta dron pemantauan.

Dari perspektif budaya dan agama, pemerhatian terhadap makhluk ini menghidupkan kembali wacana tentang alam sebagai kitab terbuka. Tradisi keilmuan Islam dan Nusantara sejak sekian lama menegaskan bahawa alam diciptakan dengan ukuran dan keseimbangan. Roadrunner menjadi peringatan bahawa keagungan ciptaan tidak terletak pada saiz atau kemegahan, tetapi pada keserasian fungsi dan tujuan. Kesedaran ini relevan untuk masyarakat Malaysia kontemporari yang sering terperangkap antara pemujaan teknologi dan pengabaian hikmah alam.

*Geococcyx californianus* akhirnya muncul bukan sekadar sebagai subjek zoologi, tetapi sebagai paradigma pemikiran rentas disiplin. Tubuhnya ialah makmal evolusi yang menggabungkan biomekanik, termodinamik dan kecerdasan deria dalam satu kesatuan yang harmoni. Meneliti burung ini bererti mengakui bahawa inovasi masa depan tidak semestinya lahir daripada makmal berteknologi tinggi semata mata, tetapi juga daripada renungan mendalam terhadap alam yang telah berjuta tahun mendahului kita dalam menyelesaikan masalah kejuruteraan paling kompleks. Kesedaran ini memberi peluang kepada sains dan kejuruteraan Malaysia untuk berkembang secara lebih beretika, lestari dan berakar pada kebijaksanaan semula jadi.



**Oleh: Mohammad Baihaqi Hasni**
**E-mel:** baihaqi@umpsa.edu.my

**Penulis adalah Guru Bahasa Kanan, Pusat Bahasa Moden (PBM), Universiti Malaysia Pahang Al-Sultan Abdullah (UMPSA).**

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

- 44 views

View PDF