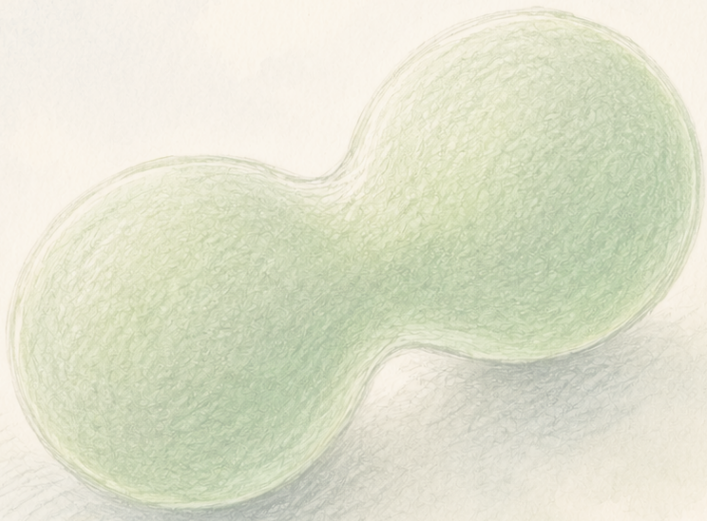


The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Sel sintetik yang makan, membesar dan membahagi — langkah serius, tetapi bukan kehidupan dibina dari kosong

Pasukan University of Minnesota melaporkan titisan lemak yang membawa genom ~90,000 bes, yang makan, menyalin DNAnya, membesar dan membahagi sepanjang lima generasi, dengan mutasi bermanfaat yang diperkenalkan merebak melalui pemilihan. Ini kemajuan sebenar dalam membina sel daripada bahagian terdefinisi dan dimurnikan. Tetapi ia belum disemak rakan sebaya; tidak boleh membuat jentera proteinnya sendiri atau menjalankan metabolisme sendiri; bahagiannya ialah molekul biologi yang dimurnikan, bukan bahan kimia ringkas yang dihimpunkan dari kosong; dan — dalam kata-kata para penulis sendiri — pemilihan itu bukan evolusi Darwin spontan. Versi bersihnya bukan 'sel hidup pertama dibina daripada bahan bukan hidup.'

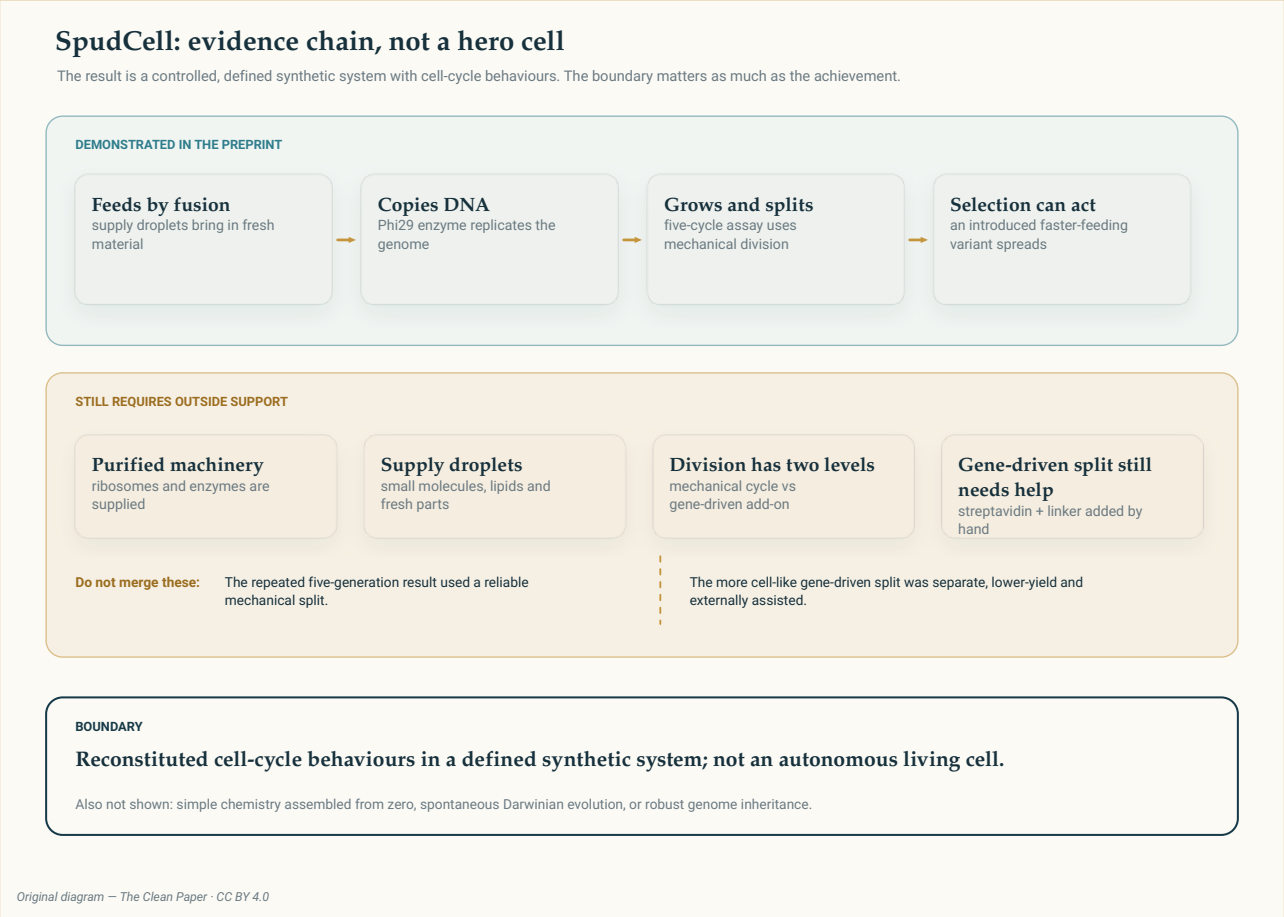
Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *A Chemically Defined Synthetic Cell Capable Of Growth And Replication*, Nathaniel J. Gaut, Christopher Deich, Brock Cash, Tanner Hoog, Aaron E. Engelhart, Katarzyna P. Adamala, Preprint (not peer-reviewed) — University of Minnesota

Kisah “sel sintetik pertama”, dikupas kembali kepada titisan

Tajuk beritanya sangat besar: sel sintetik pertama di dunia dengan kitaran hidup lengkap, kehidupan dibina daripada bahan bukan hidup, satu “detik Sputnik” untuk biologi. Makalah di bawah tajuk itu lebih tenang, dan sejujurnya lebih menarik daripada slogan. Pasukan di University of Minnesota melaporkan satu titisan lemak mikroskopik — jenis gelembung berminyak yang sama asasnya dengan membran sel — yang membawa set arahan genetik dan boleh makan dengan bergabung bersama titisan bekalan yang lebih kecil, menyalin arahan itu, membesar, lalu berpecah menjadi titisan anak, selama beberapa pusingan. Dalam satu eksperimen, perubahan yang membantu pada arahan itu merebak melalui populasi kerana titisan yang membawanya membiak lebih cepat.

Itu kemajuan sebenar dalam erti yang khusus dan jujur: membina sistem menyerupai sel dari bawah ke atas daripada bahagian yang diketahui, lalu membuat pergerakan asas kitaran sel berjalan bersama di satu tempat. Ia juga masih sebuah preprint yang belum melalui semakan rakan sebaya dan — dalam kata-kata para penulis sendiri — bukan organisma yang berdikari serta bukan evolusi Darwin spontan. Versi bersihnya bukan “kehidupan dicipta dari kosong”. Sebaliknya: buat kali pertama, penyelidik menjalankan rutin kitaran sel penuh di dalam titisan sintetik yang ditakrifkan sepenuhnya, menggunakan komponen biologi yang dimurnikan.



Original diagram — The Clean Paper · CC BY 4.0

Rantaian bukti, bukan “sel wira”. Baris atas menunjukkan apa yang **dibuktikan** oleh makalah: titisan terdefinisi yang makan, menyalin genomnya, membesar dan membahagi selama lima generasi, dengan perubahan bermanfaat yang diperkenalkan menyebar melalui pemilihan. Baris tengah menunjukkan apa yang masih

diperlukan dari luar: ribosom dan enzim yang dimurnikan, titisan bekalan dan — untuk pembahagian dipacu gen — bahan tambahan yang dimasukkan secara manual. Baris bawah ialah **sempadan**: ini tingkah laku kitaran sel yang dibina semula dalam sistem sintetik terdefinisi, bukan sel hidup autonomi dan bukan evolusi spontan.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Apa yang dilakukan oleh para penulis

Mulakan dengan bekasnya. Sel sintetik itu ialah **liposom** — titisan yang dibalut lapisan lemak jenis sama seperti yang mengelilingi sel sebenar. Di dalamnya, pasukan meletakkan dua perkara: satu set arahan genetik, dan kit kecil untuk membaca arahan tersebut serta membina protein.

Arahannya ialah genom kira-kira **90,000 huruf DNA** (90 kbp), dibahagikan kepada tujuh gelung kecil (plasmid). Kit pembina protein pula bukan dicipta daripada kosong. Ia ialah campuran terdefinisi daripada *bahagian biologi berfungsi yang dimurnikan* — ribosom, enzim dan seluruh jentera sintesis protein — yang dihimpunkan pada jumlah diketahui. (Dalam bidang ini campuran tersusun semula dan ditentukan sepenuhnya itu dipanggil PURE. "Ditakrifkan secara kimia" di sini bermaksud setiap bahan diketahui dan diukur, bukan bahawa semuanya dibina daripada bahan kimia ringkas.)

Dengan titisan itu, para penulis menunjukkan ia boleh menjalankan langkah asas kitaran sel. Mereka melakukan empat perkara yang saling berkait.

Pertama, mereka membuatnya **memberi makan kepada dirinya sendiri**. Titisan mengambil bahan segar dengan bergabung bersama titisan bekalan yang lebih kecil (liposom "feeder"). Isyarat yang membolehkan penggabungan datang daripada protein membran yang dibina oleh sel daripada genomnya sendiri — jadi proses makan dihidupkan oleh gen sel sendiri, bukannya ditambah secara manual pada setiap pusingan.

Kedua, mereka membuatnya **menyalin DNAnya**, menggunakan enzim penyalin virus (Phi29) yang dikodkan dalam genom.

Ketiga, mereka membuatnya **membesar dan membahagi** — dan pembahagian dilakukan melalui dua cara berbeza, sesuatu yang ternyata penting (lihat di bawah).

Keempat, mereka menunjukkan **pemilihan**. Mereka memperkenalkan perubahan genom yang membuat sel makan dan membesar lebih cepat, kemudian menunjukkan sel lebih pantas ini menghasilkan lebih banyak keturunan dan mengambil alih populasi, terutamanya ketika makanan terhad.

Apa yang mereka temui

Kitaran penuh berjalan bersama. Sepanjang lima "generasi", titisan makan, mereplikasi DNA, membesar dan membahagi sebagai rutin berulang, bukannya demonstrasi berasingan yang dilakukan sekali sahaja. Membuat semua langkah ini berfungsi dalam sistem terdefinisi yang sama, digand-

ingkan kepada ekspresi gen sel sendiri, ialah hasil teras makalah.

Makan dan pembahagian boleh dipacu oleh gen. Sel boleh membuat protein yang mendorong proses makannya sendiri dan — dalam demonstrasi berasingan dengan hasil lebih rendah yang masih memerlukan bahan tambahan dari luar — protein yang mendorong pembahagiannya sendiri. Itu langkah ke arah sistem yang berjalan mengikut arahannya sendiri, bukannya bergantung sepenuhnya pada tangan eksperimen.

Perubahan bermanfaat merebak melalui pemilihan. Varian dengan "suis hidup" yang lebih kuat bagi protein makan (promoter yang lebih aktif) membesar lebih cepat, meninggalkan lebih banyak keturunan dan, ketika sumber terhad, mengatasi versi asal. Ini hubungan sebenar antara perubahan genetik dan kejayaan pembiakan dalam sistem sintetik.

Pewarisan belum sempurna. Selepas lima generasi, hanya minoriti sel yang dianalisis masih membawa set lengkap kesemua tujuh gelung DNA. Membahagikan genom dengan bersih antara titisan anak masih belum boleh dipercayai.

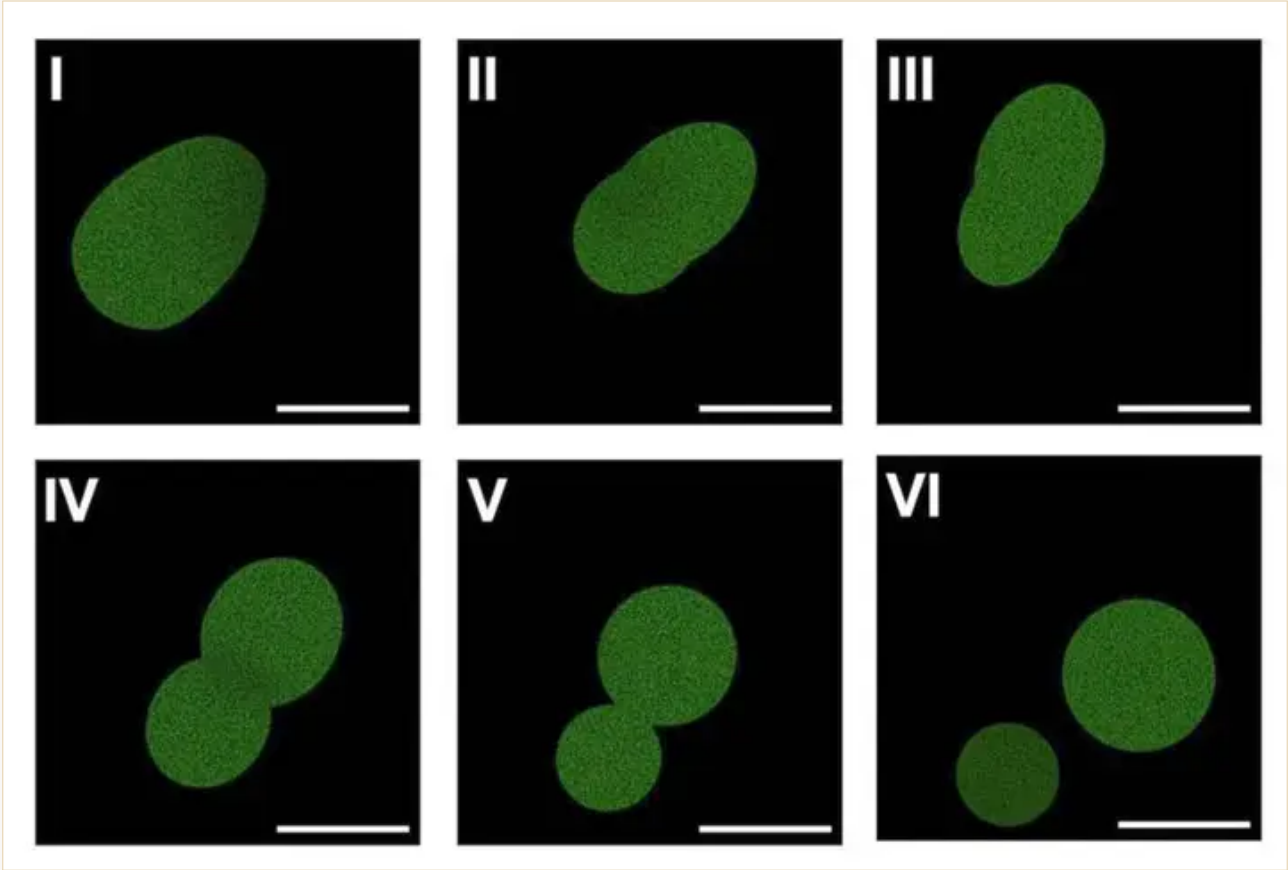
Apa yang berjalan sendiri — dan apa yang tidak

Perkataan yang menanggung beban paling besar dalam tajuk ialah *lengkap*. Dalam makalah, "kitaran sel lengkap" bermaksud langkah operasi — makan, replikasi, membesar, membahagi — telah dibina semula dan diukur bersama. Ia tidak bermaksud sel itu berdikari. Dua had penting, dan para penulis menyatakan kedua-duanya.

Pertama, sel **tidak boleh membuat jentera pembina proteinnya sendiri**. Ribosom dan kebanyakan enzim dibekalkan — dimurnikan lebih awal dan dimasukkan — bukannya dihasilkan oleh sel. Dalam kerangka para penulis, sistem ini mempunyai metabolisme yang sangat terhad dan tidak boleh membuat ribosom; kebebasan metabolik sebenar memerlukan genom jauh lebih besar. Jadi titisan menjalankan kitaran sel, tetapi ia tidak menjalankan keseluruhan biokimianya sendiri dari kosong.

Kedua, pembahagian rutin ialah **mekanikal**. Dalam eksperimen lima generasi, titisan dibelah dengan menolaknya melalui penapis halus — kaedah yang dipilih kerana boleh menghasilkan titisan anak dengan boleh dipercayai. Pembahagian yang lebih menyerupai sel dan *dipacu gen* (di mana protein yang dibuat sel sendiri mendorong pemisahan) ditunjukkan secara berasingan, memerlukan bahan tambahan dari luar (sistem jambatan: streptavidin dan penghubung), dan hasilnya lebih rendah. Para penulis jelas bahawa pembahagian yang lebih teguh, hasil tinggi dan boleh dikawal masih memerlukan kerja — mungkin rangka dalaman sintetik yang sel ini belum miliki.

Sebab itulah rajah memisahkan dua jenis pembahagian: kitaran lima generasi yang menjadi tajuk utama menggunakan pemisahan mekanikal; pemisahan dipacu gen ialah tambahan menjanjikan tetapi rapuh.



Urutan mikroskopi pendarfluor daripada preprint yang dihoskan oleh penulis, menunjukkan satu sel sintetik memanjang dan berpisah menjadi dua titisan dalam demonstrasi pembahagian dipacu gen. Imej ini diterbitkan semula pada resolusi dikurangkan di bawah penggunaan wajar untuk ulasan terhadap hasil pembahagian; rajah rantaian bukti utama artikel di atas memisahkan demonstrasi ini daripada pemisahan mekanikal yang digunakan dalam ujian lima generasi.

Kate Adamala, Adamala Lab Fair use

Pemilihan, bukan evolusi spontan

Hasil pemilihan itu elegan, dan wajar dinyatakan dengan tepat. Satu perubahan bermanfaat — "suis hidup" makan yang lebih kuat — membuat sel membesar lebih cepat, lalu meninggalkan lebih banyak keturunan, lalu perubahan itu merebak. Itu memang pemilihan sebenar yang bertindak atas perbezaan boleh diwarisi.

Tetapi perubahan itu tidak *muncul* sendiri. Para penulis memasukkannya. Dalam kata-kata mereka sendiri, mutasi bermanfaat tidak muncul secara spontan dalam populasi tetapi diperkenalkan secara buatan, yang berbeza daripada evolusi Darwin semula jadi; membiarkan mutasi muncul sendiri disenaraikan sebagai kerja masa depan. Jadi: pemilihan dan persaingan untuk sumber, ya. Evolusi spontan terbuka, belum lagi.

Apa yang tidak dibuktikan oleh kajian ini

- Ia **tidak** menunjukkan sel dicipta daripada kimia bukan hidup. Bahagiannya ialah komponen *biologi yang dimurnikan* — ribosom dan enzim daripada organisma hidup, enzim penyalin virus — yang dihimpunkan menjadi titisan terdefinisi. "Ditakrifkan secara kimia" bermaksud ditentukan sepenuhnya, bukan disintesis dari kosong; Rajah 1 makalah sendiri menerangkan sel sebagai dihimpunkan daripada komponen semula jadi yang dimurnikan satu demi satu.
- Ia **tidak** menunjukkan organisma berdikari. Sel tidak boleh membuat ribosom sendiri atau menjalankan metabolisme sendiri; ia bergantung pada jentera dibekalkan dan titisan feeder.
- Ia **tidak** menunjukkan evolusi spontan. Mutasi bermanfaat diperkenalkan oleh penyelidik, bukan dihasilkan oleh sistem.
- Ia **tidak** menunjukkan pewarisan yang kukuh. Hanya minoriti sel mengekalkan genom lengkap selepas lima generasi.
- Ia **tidak** menunjukkan pembahagian dipacu sel sebagai mekanisme piawai. Kitaran lima generasi berulang bergantung pada pemisahan mekanikal; pembahagian dipacu gen mempunyai hasil lebih rendah dan dibantu dari luar.
- Ia **belum melalui semakan rakan sebaya**. Ini preprint; menurut laporan Science, ia ditolak oleh Cell dan semakan rakan sebaya dikatakan sedang berjalan di tempat lain. Anggap angka khusus sebagai sementara.

Sejauh mana kukuh buktinya?

Bagi dakwaan kejuruteraan teras, buktinya langsung dan besar. Para penulis melaporkan langkah operasi satu kitaran sel berjalan bersama di dalam titisan sintetik terdefinisi, digandingkan kepada ekspresi gen sistem sendiri dan diulang selama beberapa kitaran. Dakwaan itu mempunyai sempadan jelas, boleh diuji dan disokong oleh demonstrasi berangka, walaupun kerja masih berupa preprint.

Ketiadaan kebebasan metabolik dan evolusi spontan tidak patut dianggap sebagai dakwaan yang gagal atau berkeyakinan rendah. Para penulis tidak mendakwa keupayaan tersebut: mereka menerangkannya secara jelas sebagai tiada atau sebagai sasaran kerja masa depan. Ia ialah sempadan penting tentang maksud "kitaran sel lengkap" di sini, bukan bukti menentang hasil yang sebenarnya dilaporkan.

Jadi ketidakpastian utama bukan sama ada kajian ini mencipta kehidupan autonomi; tetapi sejauh mana prestasi kejuruteraan yang dilaporkan akan terbukti teguh dan boleh dihasilkan semula. Sehingga semakan rakan sebaya dan replikasi bebas, anggap bilangan generasi tepat, pecahan pengekalan genom dan hasil pembahagian sebagai sementara. Profil keyakinan yang sesuai ialah kuat untuk integrasi operasi kitaran sel yang ditunjukkan, lebih rendah untuk anggaran prestasi tepat, dan di luar skop bagi dakwaan tentang kehidupan, berdikari atau evolusi spontan.

Apa yang ditambah oleh cerita untuk orang awam — dan mengapa ia penting

Di sini jurang menarik bukan antara makalah dan realiti. Ia antara **makalah** dengan **pakej komunikasi di sekelilingnya**. Manuskrip sendiri berhati-hati tentang sempadan ini; risiko dakwaan berlebihan muncul apabila hasil dipadatkan menjadi "sel hidup", "sel berdikari" atau "kehidupan dari kosong". Membetulkan bacaan tajuk yang berlebihan itu berbeza daripada merendahkan makalah atas dakwaan yang tidak pernah dibuatnya.

Bahasa manuskrip sendiri terkawal. Ia menyebut kerja sebagai langkah menuju komponen minimum yang diperlukan untuk kehidupan, kemungkinan "chassis" bagi sistem masa depan, "asas untuk organisma buatan sepenuhnya" — dan melapik aplikasi besar dengan perkataan seperti *akhirnya* dan *mungkin*. Siaran media University of Minnesota pula bermula dengan "sel sintetik pertama di dunia dengan kitaran hidup lengkap" yang "boleh merevolusikan" biologi, menerangkan sel sebagai dibina daripada komponen bukan hidup, dan menyenaraikan aplikasi dalam perubatan, bahan serta industri. Kaveat ada — tetapi datang selepas bingkai kejayaan besar, ketika ia tidak lagi berfungsi sebagai brek.

Tiada satu pun memerlukan andaian niat buruk. Berkongsi hasil sebelum semakan rakan sebaya boleh menjadi pilihan yang sah, malah murah hati: ia membolehkan makmal lain memeriksa kaedah dan cuba mengulanginya lebih awal, yang memang alasan diberikan para penulis. Penolakan daripada jurnal berprofil tinggi tidak bermaksud kerja itu lemah — hasil yang bercita-cita tinggi dan berisiko ditarik balik memang sukar ditempatkan, dan ketakutan didahului kumpulan lain itu nyata. Tekanan seperti itu manusiawi dan boleh difahami.

Tetapi tepat kerana komunikasinya begitu lantang, dan muncul *sebelum* semakan rakan sebaya, kewajipan untuk tepat menjadi lebih tinggi, bukan lebih rendah. Urutannya ialah perkara utama. Siaran media memilih bacaan maksimum dahulu dan menambah had kemudian. Versi bersih melakukan sebaliknya: nyatakan bukti dan status terlebih dahulu, barulah cita-cita. Tabiat itu — bukti dan status sebelum cita-cita — boleh dibawa pembaca ke "kejayaan besar" seterusnya, bukan hanya cerita ini.

Ringkasan utama

Pasukan University of Minnesota melaporkan sel sintetik terdefinisi sepenuhnya: titisan lemak yang membawa genom ~90,000 bes serta sistem pembina protein yang dimurnikan, yang makan dengan bergabung bersama titisan bekalan, menyalin DNA, membesar dan membahagi sepanjang lima generasi. Mereka menunjukkan bahawa perubahan genetik bermanfaat yang diperkenalkan oleh penyelidik merebak melalui populasi melalui pemilihan, dan bahawa kedua-dua proses makan dan pembahagian boleh dipacu oleh gen sel sendiri. Bahagiannya ialah komponen biologi yang dimurnikan dan dihimpunkan menjadi sistem terdefinisi, bukan kimia yang dibina dari kosong; sel tidak boleh membuat ribosom sendiri atau menjalankan metabolisme sendiri; pembahagian rutin lima generasi bersifat mekanikal, manakala pembahagian dipacu gen berhasilan lebih rendah dan dibantu dari luar; mutasi bermanfaat diperkenalkan bukannya muncul spontan; dan pewarisan genom penuh

belum sempurna. Kerja ini ialah preprint dan belum melalui semakan rakan sebaya.

Semakan tanpa gembar-gembur

Apa yang ditunjukkan oleh makalah: Titisan sintetik terdefinisi yang makan (melalui penggabungan berkod genetik dengan titisan bekalan), mereplikasi genom ~90 kbp, membesar dan membahagi sepanjang lima generasi; demonstrasi berasingan pembahagian dipacu gen; serta pemilihan mutasi bermanfaat yang diperkenalkan, termasuk persaingan dalam keadaan sumber terhad.

Apa yang masih sementara menunggu semakan rakan sebaya: Bilangan generasi tepat, hasil pembahagian dan pecahan sel yang mengekalkan genom penuh; keteguhan serta kebolehulangan kitaran penuh merentasi makmal.

Apa yang tidak ditunjukkan: Sel dibina daripada kimia bukan hidup; organisma berdikari; mutasi spontan atau evolusi Darwin terbuka; pewarisan genom yang kukuh; pembahagian dipacu sel sebagai mekanisme piawai; kesiapsiagaan aplikasi perubatan, bahan atau industri yang disebut dalam bahan media.

Had utama: Belum disemak rakan sebaya; tiada kebebasan metabolik (ribosom dan enzim dibekalkan); kitaran utama menggunakan pembahagian mekanikal; pembahagian dipacu gen berhasilan lebih rendah dan memerlukan komponen tambahan; pewarisan genom tidak sempurna.

Berapa banyak keyakinan patut diberikan pembaca umum? Agak tinggi pada hasil kejuruteraan teras: para penulis menjalankan langkah operasi kitaran sel bersama-sama di dalam titisan sintetik terdefinisi, walaupun kerja masih menunggu semakan rakan sebaya. Sederhana hingga rendah pada bilangan generasi, hasil pembahagian dan kadar pewarisan tepat sehingga semakan rakan sebaya dan replikasi bebas. Makalah tidak mendakwa sistem itu hidup, berdikari atau berevolusi sendiri; semua itu ialah sempadan skop, bukan penemuan berkeyakinan rendah. Sikap yang wajar: langkah mengagumkan dalam membina sel daripada bahagian diketahui, bukan penciptaan kehidupan.

Kemas kini selepas penerbitan

- **Penjelasan · 2026-07-23**

  Menjelaskan pembingkaian keyakinan: sel hidup, berdikari dan berevolusi sendiri berada di luar dakwaan makalah, bukannya penemuan berkeyakinan rendah. Penilaian terhadap hasil kejuruteraan teras tidak berubah.

Sumber

Gaut, Deich, Cash, Hoog, Engelhart & Adamala — 'A Chemically Defined Synthetic Cell Capable Of Growth And Replication', author-hosted preprint (not peer-reviewed), 2026
https://biotic.org

Science — news coverage of the synthetic-cell preprint (2026)
https://doi.org/10.1126/science.zwa8dvz

University of Minnesota — press release
https://twin-cities.umn.edu/news-events/worlds-first-synthetic-cell-complete-life-cycle-could-revolu