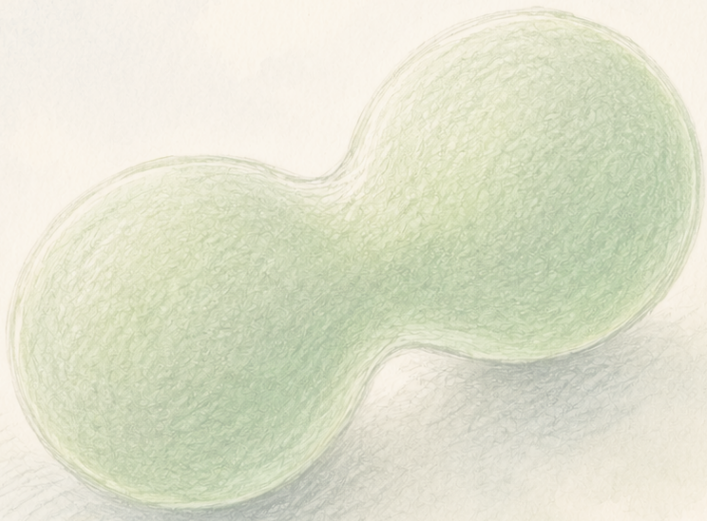


The
CLEAN PAPER

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

Sel sintetis yang makan, tumbuh, dan membelah — langkah serius, tetapi bukan kehidupan yang dibangun dari nol

Tim University of Minnesota melaporkan tetesan lemak dengan genom ~90.000 basa yang makan, menyalin DNA, tumbuh, dan membelah selama lima generasi, dengan mutasi menguntungkan yang diperkenalkan menyebar melalui seleksi. Ini kemajuan nyata dalam membangun sel dari komponen terdefinisi dan dimurnikan. Namun pekerjaan belum melalui peer review; sistem tidak dapat membuat mesin proteinnya sendiri atau menjalankan metabolismenya sendiri; komponen-nya adalah molekul biologis yang dimurnikan, bukan bahan kimia sederhana yang dirakit dari nol; dan — dalam kata-kata penulis sendiri — seleksinya bukan evolusi Darwin spontan. Versi bersihnya bukan 'sel hidup pertama yang dibangun dari materi tak hidup.'

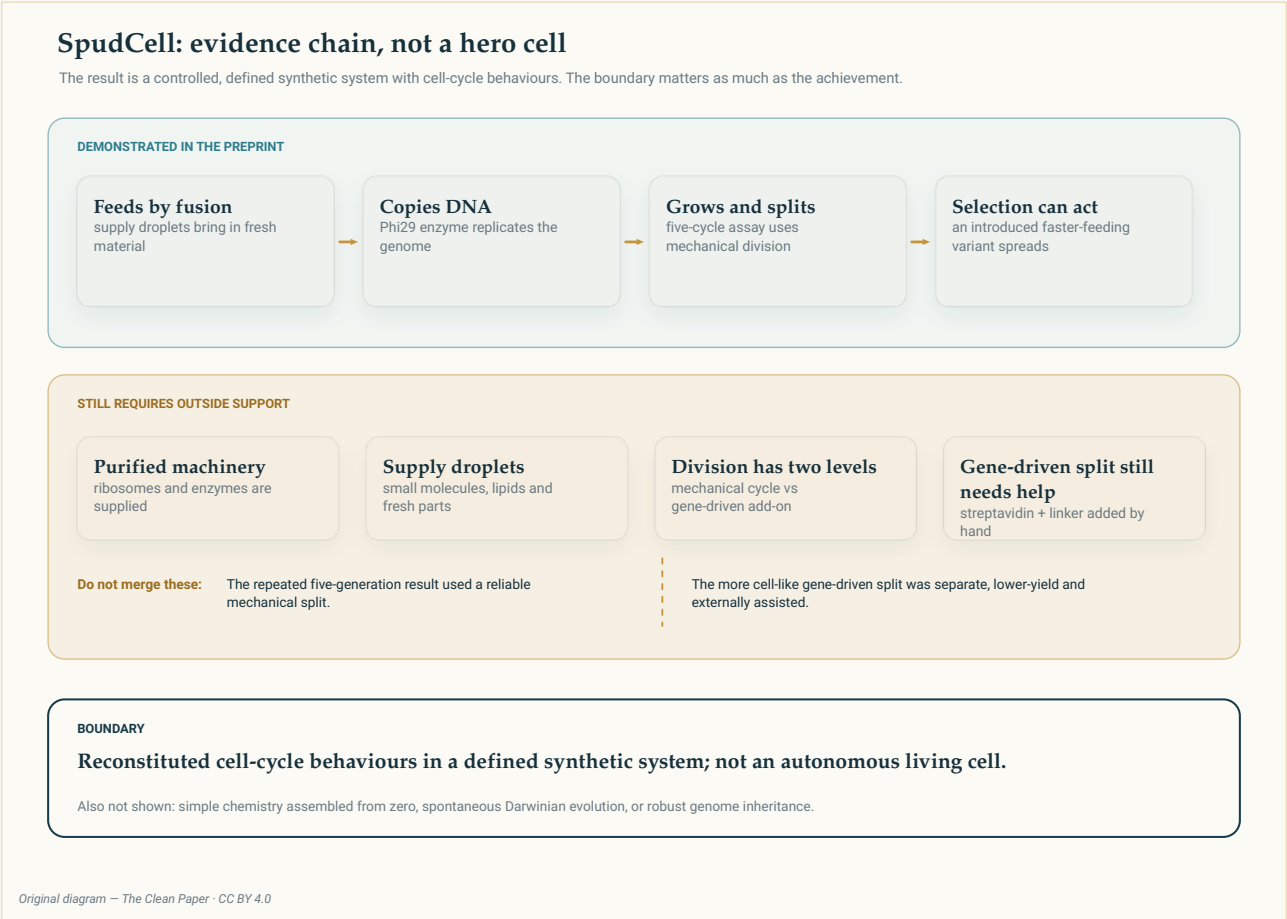
Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

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Nathaniel J. Gaut, Christopher Deich, Brock Cash, Tanner Hoog, Aaron E. Engelhart, Katarzyna P. Adamala, Preprint (not peer-reviewed) — University of Minnesota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 sintetis pertama”, dikembalikan ke tetesan lemak

Judul beritanya sangat besar: sel sintetis pertama di dunia dengan siklus hidup lengkap, kehidupan dibangun dari materi tak hidup, “momen Sputnik” untuk biologi. Makalah di bawahnya lebih tenang, dan sejujurnya lebih menarik daripada slogannya. Tim University of Minnesota melaporkan sebuah tetesan lemak mikroskopis — jenis gelembung berminyak yang menjadi dasar membran sel — yang membawa seperangkat instruksi genetik dan dapat makan dengan bergabung bersama tetesan suplai yang lebih kecil, menyalin instruksinya, tumbuh, lalu membelah menjadi tetesan anak selama beberapa putaran. Dalam satu eksperimen, perubahan instruksi yang menguntungkan menyebar melalui populasi karena tetesan yang membawanya bereproduksi lebih cepat.

Itu kemajuan nyata dalam arti yang spesifik dan jujur: membangun sistem mirip sel dari bawah ke atas, dari bagian-bagian yang diketahui, lalu membuat gerakan dasar siklus sel berjalan bersama di satu tempat. Ini juga masih sebuah pracetak yang belum melalui telaah sejawat dan — dalam kata-kata penulis sendiri — bukan organisme mandiri serta bukan evolusi Darwin spontan. Versi bersihnya bukan “kehidupan diciptakan dari nol”. Versinya adalah: untuk pertama kalinya, peneliti menjalankan rutinitas siklus sel penuh di dalam tetesan sintetis yang sepenuhnya terdefinisi, menggunakan komponen biologis yang dimurnikan.



Original diagram — The Clean Paper · CC BY 4.0

Rantai bukti, bukan satu “sel pahlawan”. Baris atas adalah yang **ditunjukkan** makalah: tetesan terdefinisi yang makan, menyalin genomnya, tumbuh, dan membelah selama lima generasi, dengan perubahan menguntungkan yang diperkenalkan peneliti menyebar melalui seleksi. Baris tengah adalah yang masih **dibutuhkan dari luar**:

ribosom dan enzim yang dimurnikan, tetesan suplai, serta — untuk pembelahan yang digerakkan gen — bahan tambahan yang dimasukkan dengan tangan. Baris bawah adalah **batasnya**: ini perilaku siklus sel yang direkonstitusi dalam sistem sintetis terdefinisi, bukan sel hidup otonom dan bukan evolusi spontan.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Apa yang dilakukan para penulis

Mulailah dari wadah. Sel sintetis ini adalah **liposom** — tetesan yang dibungkus lapisan lemak sejenis dengan yang mengelilingi sel sungguhan. Di dalamnya, tim menempatkan dua hal: seperangkat instruksi genetik dan kit mini untuk membaca instruksi tersebut serta membangun protein.

Instruksinya berupa genom sekitar **90.000 huruf DNA** (90 kbp), dibagi ke tujuh lingkaran kecil (plasmid). Kit pembuat protein tidak diciptakan dari ketiadaan. Ia adalah campuran terdefinisi dari *komponen biologis aktif yang dimurnikan* — ribosom, enzim, dan mesin sintesis protein lainnya — yang dirakit dalam jumlah diketahui. (Di bidang ini, campuran reconstituted yang seluruh komponennya ditentukan disebut PURE. “Chemically defined” di sini berarti setiap bahan diketahui dan diukur, bukan dibuat dari bahan kimia sederhana.)

Dengan tetesan itu, para penulis menunjukkan bahwa sistem dapat menjalankan langkah dasar siklus sel. Mereka melakukan empat hal yang saling terhubung.

Pertama, mereka membuatnya **memberi makan dirinya sendiri**. Tetesan mengambil material segar dengan bergabung bersama tetesan suplai kecil (“feeder” liposome). Sinyal yang memungkinkan fusi adalah protein membran yang dibangun sel dari genomnya sendiri — jadi pemberian makan diaktifkan oleh gen sel, bukan ditambahkan secara manual setiap putaran.

Kedua, mereka membuatnya **menyalin DNA**, memakai enzim penyalin virus (Phi29) yang dikodekan di genom.

Ketiga, mereka membuatnya **tumbuh dan membelah** — dan pembelahan dilakukan dengan dua cara berbeda, yang ternyata penting (lihat di bawah).

Keempat, mereka menunjukkan **seleksi**. Mereka memperkenalkan perubahan genom yang membuat sel makan dan tumbuh lebih cepat, lalu menunjukkan bahwa sel lebih cepat itu meninggalkan lebih banyak keturunan dan mengambil alih populasi, terutama ketika makanan terbatas.

Apa yang mereka temukan

Siklus penuh berjalan bersama. Selama lima “generasi”, tetesan makan, mereplikasi DNA, tumbuh, dan membelah sebagai rutinitas berulang, bukan demonstrasi satu kali yang terpisah-pisah. Membuat semua langkah ini berjalan dalam sistem terdefinisi yang sama dan terhubung dengan ekspresi gen sel sendiri adalah hasil inti makalah.

Makan dan pembelahan dapat digerakkan oleh gen. Sel dapat membuat protein yang mendorong proses makannya sendiri dan — dalam demonstrasi terpisah dengan hasil lebih rendah yang masih membutuhkan bahan tambahan dari luar — protein yang menggerakkan pembelahannya sendiri. Ini langkah menuju sistem yang bekerja berdasarkan instruksinya sendiri, bukan terus bergantung pada tangan peneliti.

Perubahan menguntungkan menyebar melalui seleksi. Varian dengan "sakelar hidup" yang lebih kuat untuk protein pemberian makan (promoter yang lebih aktif) tumbuh lebih cepat, menghasilkan lebih banyak keturunan, dan dalam kondisi kekurangan sumber daya mengalahkan tipe asli. Itu hubungan nyata antara perubahan genetik dan keberhasilan reproduktif di dalam sistem sintetis.

Pewarisan belum sempurna. Setelah lima generasi, hanya sebagian kecil sel yang dianalisis masih membawa set lengkap ketujuh lingkaran DNA. Membagi genom dengan bersih di antara tetesan anak belum dapat diandalkan.

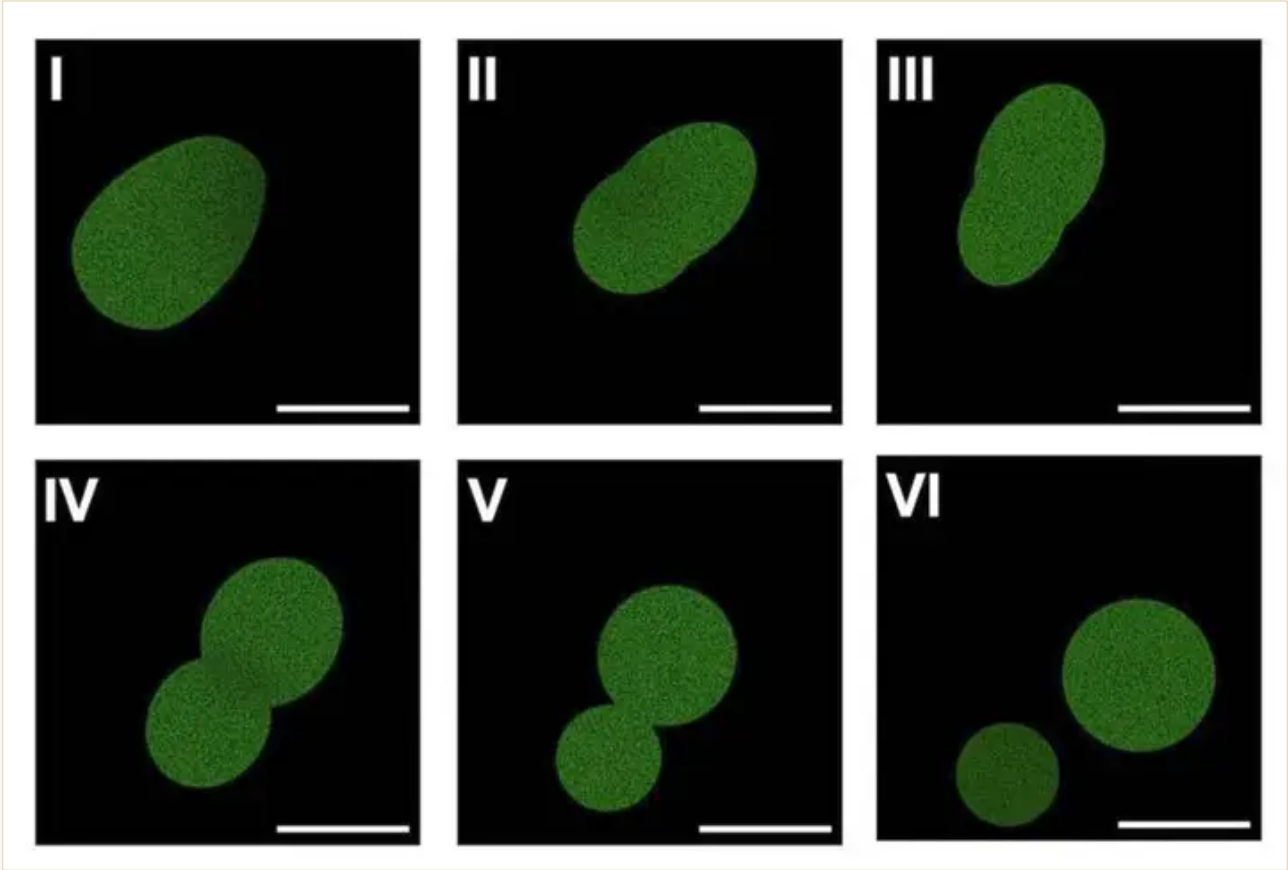
Apa yang berjalan sendiri — dan apa yang tidak

Kata yang memikul beban paling besar di judul adalah *lengkap*. Dalam makalah, "siklus sel lengkap" berarti langkah operasional — makan, mereplikasi, tumbuh, membelah — direkonstitusi dan diukur bersama. Itu tidak berarti sel mandiri. Ada dua batas penting, dan para penulis menyatakan keduanya.

Pertama, sel **tidak dapat membuat mesin pembuat proteinnya sendiri**. Ribosom dan sebagian besar enzim disuplai — dimurnikan sebelumnya dan diberikan — bukan diproduksi sel. Dalam framing penulis, sistem memiliki metabolisme yang sangat terbatas dan tidak dapat membuat ribosom; kemandirian metabolik sungguhan akan membutuhkan genom yang jauh lebih besar. Jadi tetesan menjalankan siklus sel, tetapi tidak menjalankan seluruh biokimianya dari nol.

Kedua, pembelahan sehari-hari bersifat **mekanis**. Dalam eksperimen lima generasi, tetesan dipisahkan dengan didorong melalui filter halus — metode yang dipilih karena andal menghasilkan anak. Pembelahan yang lebih mirip sel dan *digerakkan gen* (protein yang dibuat sel mendorong pemisahan) ditunjukkan secara terpisah, membutuhkan bahan ekstra dari luar (sistem penghubung: streptavidin dan linker), dan memiliki hasil lebih rendah. Para penulis jelas mengatakan bahwa pembelahan yang lebih tangguh, ber-yield tinggi, dan dapat dikontrol masih perlu dikembangkan — mungkin memerlukan kerangka internal sintetis yang belum dimiliki sel.

Inilah mengapa gambar memisahkan dua jenis pembelahan: siklus lima generasi yang menjadi judul utama memakai pemisahan mekanis; pembelahan digerakkan gen adalah tambahan menjanjikan tetapi rapuh.



Urutan mikroskopi fluoresensi dari pracetak yang dihosting penulis, menunjukkan sel sintetis memanjang lalu terpisah menjadi dua tetesan dalam demonstrasi pembelahan yang digerakkan gen. Gambar ini direproduksi dengan resolusi lebih rendah berdasarkan fair use untuk komentar terhadap hasil pembelahan; diagram rantai bukti utama di atas memisahkan demonstrasi ini dari pembelahan mekanis yang digunakan pada uji lima generasi.

Kate Adamala, Adamala Lab Fair use

Seleksi, bukan evolusi spontan

Hasil seleksi elegan dan layak dinyatakan presisi. Perubahan menguntungkan — "sakelar" pemberian makan yang lebih kuat — membuat sel tumbuh lebih cepat, sehingga meninggalkan lebih banyak keturunan, sehingga perubahan tersebut menyebar. Itu adalah seleksi nyata yang bekerja pada perbedaan yang dapat diwariskan.

Tetapi perubahan itu tidak *muncul* dengan sendirinya. Para penulis memasukkannya. Dalam kata-kata mereka sendiri, mutasi menguntungkan tidak muncul spontan dalam populasi tetapi diperkenalkan secara artifisial, yang berbeda dari evolusi Darwin alami; memungkinkan mutasi muncul sendiri disebut sebagai pekerjaan masa depan. Jadi: seleksi dan kompetisi untuk sumber daya, ya. Evolusi spontan yang terbuka, belum.

Apa yang *tidak* dibuktikan

- Ini **tidak** menunjukkan sel yang diciptakan dari kimia non-hidup. Komponennya adalah *komponen biologis yang dimurnikan* — ribosom dan enzim dari organisme hidup, enzim penyalin virus — yang dirakit ke dalam tetesan terdefinisi. "Chemically defined" berarti seluruh komponen diketahui, bukan disintesis dari nol; Figure 1 makalah sendiri menggambarkan sel sebagai rakitan komponen alami yang dimurnikan satu per satu.
- Ini **tidak** menunjukkan organisme mandiri. Sel tidak dapat membuat ribosomnya sendiri atau menjalankan metabolisme sendiri; ia bergantung pada mesin yang disuplai dan pada feeder droplets.
- Ini **tidak** menunjukkan evolusi spontan. Mutasi menguntungkan diperkenalkan oleh peneliti, bukan dihasilkan oleh sistem.
- Ini **tidak** menunjukkan pewarisan yang tangguh. Hanya sebagian kecil sel mempertahankan genom lengkap setelah lima generasi.
- Ini **tidak** menggunakan pembelahan yang digerakkan sel sebagai mekanisme standar. Siklus lima generasi berulang bergantung pada pemisahan mekanis; pembelahan digerakkan gen memiliki yield lebih rendah dan dibantu dari luar.
- Makalah ini **belum melalui telaah sejawat**. Ini pracetak; menurut pelaporan *Science*, naskah pernah ditolak oleh *Cell* dan disebut sedang menjalani telaah sejawat di tempat lain. Perlakukan angka spesifik sebagai sementara.

Seberapa kuat buktinya?

Untuk klaim rekayasa sentral, buktinya langsung dan substansial. Para penulis melaporkan langkah operasional siklus sel berjalan bersama di dalam tetesan sintetis terdefinisi, terhubung ke ekspresi gen sistem sendiri dan diulang selama beberapa siklus. Klaim itu terbatas, dapat diuji, dan didukung demonstrasi terukur, meskipun pekerjaan masih pracetak.

Ketiadaan kemandirian metabolik dan evolusi spontan pada sistem tidak seharusnya diperlakukan sebagai klaim yang gagal atau berkeyakinan rendah. Para penulis tidak mengklaim kemampuan itu: mereka secara eksplisit menyebutnya tidak ada atau target pekerjaan masa depan. Itu batas penting tentang arti "siklus sel lengkap" di sini, bukan bukti melawan hasil yang benar-benar dilaporkan.

Jadi ketidakpastian utama bukan apakah studi menciptakan kehidupan otonom; melainkan seberapa tangguh dan dapat direproduksi performa rekayasa yang dilaporkan. Sampai telaah sejawat dan replikasi independen, anggap jumlah generasi, fraksi retensi genom, dan tingkat keberhasilan pembelahan sebagai sementara. Profil keyakinan yang tepat adalah kuat untuk integrasi operasi siklus sel yang didemonstrasikan, lebih rendah untuk angka performa tepat, dan di luar cakupan untuk klaim tentang kehidupan, kemandirian, atau evolusi spontan.

Apa yang ditambahkan cerita publik — dan mengapa itu penting

Di sini kesenjangan menarik bukan antara makalah dan realitas. Ia berada antara **makalah** dan **paket komunikasi di sekelilingnya**. Manuskrip sendiri berhati-hati terhadap batas ini; risiko klaim berlebihan muncul ketika hasil dipadatkan menjadi "sel hidup", "sel mandiri", atau "kehidupan dari nol". Mengoreksi pembacaan judul utama seperti itu berbeda dari menurunkan nilai makalah atas klaim yang tidak pernah dibuatnya.

Bahasa manuskrip sendiri terukur. Ia menyebut pekerjaan ini sebagai langkah menuju komponen minimum yang diperlukan untuk kehidupan, "chassis" potensial bagi sistem masa depan, "fondasi untuk organisme sepenuhnya artifisial" — dan menahan aplikasi besar dengan kata seperti *ultimately* dan *may*. Siaran pers University of Minnesota justru membuka dengan "sel sintetis pertama di dunia dengan siklus hidup lengkap" yang "dapat merevolusi" biologi, menggambarkan sel sebagai dibangun dari komponen tak hidup, dan menyebut aplikasi di kedokteran, material, serta industri. Batasannya ada — tetapi datang setelah framing terobosan, ketika fungsinya sebagai rem sudah jauh berkurang.

Tidak perlu mengasumsikan niat buruk. Berbagi hasil sebelum telaah sejawat bisa menjadi pilihan sah dan bahkan murah hati: laboratorium lain dapat memeriksa metode serta mencoba mereproduksinya lebih cepat, yang memang menjadi alasan para penulis. Penolakan dari jurnal berprofil tinggi juga tidak berarti penelitian lemah — hasil ambisius dan berisiko tinggi untuk ditarik kembali memang sulit ditempatkan, dan ketakutan "disalip" kelompok lain nyata. Tekanan itu manusiawi dan dapat dipahami.

Namun justru karena komunikasinya begitu keras dan datang *sebelum* telaah sejawat, kewajiban presisi menjadi lebih besar, bukan lebih kecil. Urutannya adalah inti persoalan. Siaran pers memilih pembacaan maksimal terlebih dahulu lalu menambahkan batas belakangan. Versi bersih melakukan kebalikannya: bukti dan statusnya lebih dulu, baru kemudian ambisi. Kebiasaan "bukti dan status sebelum ambisi" adalah sesuatu yang dapat dibawa pembaca ke "terobosan" berikutnya, bukan hanya yang ini.

Singkatnya

Tim University of Minnesota melaporkan sel sintetis terdefinisi penuh: tetesan lemak dengan genom ~90.000 basa dan sistem pembuat protein yang dimurnikan, yang makan dengan bergabung bersama tetesan suplai, menyalin DNA, tumbuh, dan membelah selama lima generasi. Mereka menunjukkan bahwa perubahan genetik menguntungkan yang diperkenalkan peneliti menyebar melalui populasi lewat seleksi, dan bahwa makan serta pembelahan dapat digerakkan oleh gen sel sendiri. Komponennya adalah bagian biologis yang dimurnikan dan dirakit menjadi sistem terdefinisi, bukan kimia sederhana yang dibangun dari nol; sel tidak dapat membuat ribosom sendiri atau menjalankan metabolismenya sendiri; pembelahan rutin dalam lima generasi bersifat mekanis, sedangkan pembelahan digerakkan gen memiliki tingkat keberhasilan lebih rendah dan

dibantu dari luar; mutasi menguntungkan diperkenalkan alih-alih muncul spontan; dan pewarisan genom lengkap belum sempurna. Pekerjaan ini adalah pracetak dan belum melalui telaah sejawat.

Penilaian tanpa berlebihan

Apa yang ditunjukkan makalah: Tetesan sintetis terdefinisi yang makan (melalui fusi dengan tetesan suplai yang dikodekan gen), mereplikasi genom ~90 kbp, tumbuh, dan membelah selama lima generasi; demonstrasi terpisah pembelahan digerakkan gen; serta seleksi terhadap mutasi menguntungkan yang diperkenalkan, termasuk kompetisi dalam kondisi sumber daya terbatas.

Apa yang masih sementara sambil menunggu telaah sejawat: Jumlah generasi tepat, tingkat keberhasilan pembelahan, dan fraksi sel yang mempertahankan genom lengkap; ketangguhan serta reproduksibilitas siklus penuh lintas laboratorium.

Apa yang tidak ditunjukkan: Sel yang dibangun dari kimia tak hidup; organisme mandiri; mutasi spontan atau evolusi Darwin terbuka; pewarisan genom yang tangguh; pembelahan digerakkan sel sebagai mekanisme standar; kesiapan aplikasi kedokteran, material, atau industri yang disebut dalam materi pers.

Keterbatasan utama: Belum ada telaah sejawat; tidak ada kemandirian metabolik (ribosom dan enzim disuplai); siklus judul utama memakai pembelahan mekanis; pembelahan digerakkan gen beryield rendah dan memerlukan komponen tambahan; pewarisan genom tidak sempurna.

Seberapa besar keyakinan yang layak dimiliki pembaca umum? Cukup tinggi pada hasil rekayasa sentral: penulis menjalankan langkah operasional siklus sel bersama-sama di dalam tetesan sintetis terdefinisi, meskipun pekerjaan masih menunggu telaah sejawat. Keyakinan sedang hingga rendah pada jumlah generasi, tingkat keberhasilan pembelahan, dan tingkat pewarisan yang tepat sampai telaah sejawat serta replikasi independen. Makalah tidak mengklaim sistem ini hidup, mandiri, atau berevolusi sendiri; itu batas cakupan, bukan temuan berkeyakinan rendah. Sikap yang tepat: langkah mengesankan dalam membangun sel dari bagian-bagian yang diketahui, bukan penciptaan kehidupan.

Pembaruan setelah publikasi

- **Klarifikasi · 2026-07-23**
  Memperjelas framing keyakinan: sel hidup, mandiri, dan berevolusi sendiri berada di luar klaim makalah, bukan temuan berkeyakinan rendah. Penilaian atas hasil rekayasa sentral 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