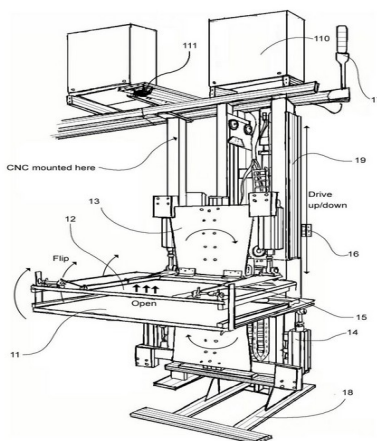


(20)	RI Permohonan Paten	(11)	No Pengumuman : 2022/06033	(13)	A
(19)	ID				
(51)	I.P.C : B 23H 1/02				
(21)	No. Permohonan Paten : P00202009416	(71)	Nama dan Alamat yang Mengajukan Permohonan Paten :		
(22)	Tanggal Penerimaan Permohonan Paten : 04 Desember 2020		EDMUND FRANKLEN ANDERSON Taman Anggrek Residences Tower Azalea CTA 39G, Jakarta Barat. Australia		
(30)	Data Prioritas :	(72)	Nama Inventor :		
(31) Nomor	(32) Tanggal	(33) Negara	EDEN STEVEN, ID RAY ANDREW OBAJA SINURAT, ID ALVIUS TINAMBUNAN, ID EDMUND FRANKLEN ANDERSON, AU CALVIN, ID ANDREW DWIJANTO WIDJAJA, ID JOSAVAN EZEKHIEL, ID JASON KEN ADHINARTA, ID		
(43)	Tanggal Pengumuman Paten : 19 Oktober 2022	(74)	Nama dan Alamat Konsultan Paten :		
			Anna S.Si., M.Si., Jl. Utan Kayu Raya No. 65 Jakarta Timur		

(54) **Judul Invensi :** METODE ROBOTIK UNTUK MEMANTAU, MENGHIDRASI, MELATIH PERTUMBUHAN JAMUR BARU DAN MENGOBATI INFEKSI BAKTERI ATAU JAMUR PADA KULTUR JAMUR BARU UNTUK MENGHASILKAN JARINGAN LATERAL YANG PADAT SEPERTI LEMBARAN DARI BAHAN JAMUR

(57) **Abstrak :**  
 Invensi ini mengenai metode robotik untuk memantau, menghidrasi, melatih pertumbuhan jamur baru, dan mengobati infeksi bakteri atau jamur dari kultur jamur baru untuk menghasilkan jaringan lateral yang padat seperti lembaran dari bahan jamur. Untuk mengurangi resiko keselamatan pekerja dan meningkatkan efisiensi produksi lembaran jamur, invensi ini mencakup juga sistem pemuatan, pengangkatan, pembalikan wadah secara otomatis yang dikontrol dengan Programmable Logic Controller (PLC). Selanjutnya, untuk proses hidrasi dan pelatihan pertumbuhan jamur (perawatan) permukaan dilakukan dengan menggunakan sistem penyemprotan dan perawatan oleh jari-jari yang berputar dan bersentuhan langsung dengan permukaan jamur baru yang dipasang pada mesin Computer Numerical Control (CNC) 3-sumbu termodifikasi yang dikontrol dengan Single Board Computer (SBC). Sistem ini juga dilengkapi dengan sistem pembersih jari otomatis menggunakan sonikator dan rendaman disinfektan untuk mencegah kontaminasi silang antara wadah satu dengan lainnya. Sistem pemantauan dan disinfeksi terdiri dari sistem vision yang dikontrol dengan SBC dengan teknik pemrosesan gambar yang sesuai untuk menentukan deteksi infeksi, nosel penyemprot otomatis untuk mendistribusikan disinfektan secara merata pada bagian yang terinfeksi. Keseluruhan sistem terintegrasi oleh perangkat lunak yang menggabungkan komunikasi antara PLC, SBC, dan database di cloud untuk penyimpanan data dan pemantauan.



Gambar 1

Deskripsi

**METODE ROBOTIK UNTUK MEMANTAU, MENGHIDRASI, MELATIH PERTUMBUHAN  
JAMUR BARU DAN MENGOBATI INFEKSI BAKTERI ATAU JAMUR PADA KULTUR  
5 JAMUR BARU UNTUK MENGHASILKAN JARINGAN LATERAL YANG PADAT  
SEPERTI LEMBARAN DARI BAHAN JAMUR**

**Bidang Teknik Invensi**

Invensi ini mengenai metode robotik untuk memantau,  
10 menghidrasi, melatih pertumbuhan jamur baru dan mengobati infeksi  
bakteri atau jamur pada kultur jamur baru untuk menghasilkan  
jaringan lateral yang padat seperti lembaran dari bahan jamur.

**Latar Belakang Invensi**

15 Kemajuan ilmiah selama beberapa tahun terakhir dalam bahan  
berbasis jamur telah membuka wadah baru dalam pengolahan produk  
berbasis miselium. Produk berbasis miselium tersedia dalam  
berbagai bentuk, sebagai batu bata untuk bahan konstruksi, produk  
cetakan untuk *furniture* atau kemasan makanan, dan lembaran sebagai  
20 bahan kulit. Dibandingkan dengan bahan berbasis bio lainnya, kulit  
berbasis miselium bersifat unik karena tekstur alami yang  
dihasilkan oleh jalinan filamennya. Kulit secara tradisional  
diproduksi dari kulit binatang atau dari polimer sintetis. Masing-  
masing proses produksi kulit yang disebutkan diatas memiliki  
25 implikasi negatif dari etika dalam kasus berbasis kulit hewan serta  
perspektif lingkungan dalam kasus berbasis polimer sintetis yang  
tidak dapat terurai secara hayati. Di sisi lain, kulit berbasis  
miselium adalah bahan yang organik tetapi tanpa implikasi negatif  
secara etika serta memiliki kualitas yang setara dengan kulit yang  
30 berbasis polimer sintetis tetapi lebih dapat terurai secara  
hayati.

Walaupun kulit berbasis miselium memiliki kualitas dan  
keuntungan diatas kulit yang berbasis polimer sintetis, produksi  
kulit berbasis miselium yang berkelanjutan pada skala besar dapat  
35 menimbulkan beberapa tantangan. Sebagai contoh, biasanya dalam

pembuatan produk berbasis miselium, pertama-tama sebuah wadah atau cetakan dikemas dengan substrat seperti serpihan kayu, sekam padi, dan lain-lain. Kultur miselium lalu diinokulasi di dalam substrat ini. Ketika miselium tumbuh dan masuk ke dalam matriks substrat, miselium membentuk jaringan filamen yang mengikat substrat bersama-sama sehingga menghasilkan produk bio-komposit yang tangguh. Untuk produksi kulit berbasis miselium, proses dasarnya sama dengan produksi kulit sintetis tetapi dengan modifikasi tambahan. Pada produksi kulit berbasis miselium, selembar kain diletakkan di permukaan atas substrat yang diinokulasi dimana miselium didorong untuk tumbuh keluar melalui lapisan kain. Selama tahap pertumbuhan ini, tindakan hidrasi dan perawatan fisik sangatlah penting untuk mendapatkan lembaran miselium yang padat dan homogen untuk produksi *bio-leather*. Proses ini melelahkan dan memakan waktu karena biasanya dilakukan setiap hari atau setiap dua hari sekali. Pematatan substrat di dalam wadah sukar untuk dilakukan karena wadah memiliki bobot maksimal tertentu. Terlebih lagi, proses manual tidak efisien untuk dilakukan di fasilitas besar yang dapat memproses ribuan wadah per hari. Beberapa masalah seperti keterbatasan manusia dan tingginya resiko cedera dapat menghalangi pekerja untuk memproses beberapa wadah secara berurutan dan konsisten. Terlebih lagi, penting untuk dapat mendeteksi wadah miselium yang terkena kontaminasi atau infeksi sejak dini sehingga dapat ditangani sedini mungkin untuk menghentikan penyebaran infeksi. Dalam proses manual, deteksi infeksi dapat dilakukan dengan meminta operator untuk memeriksa sampel secara visual untuk setiap tanda infeksi. Di fasilitas besar, pemantauan manual seperti ini terhadap ribuan wadah miselium dengan cepat menjadi tidak efisien. Karena itu, kami menemukan metode dan peralatan robotik untuk melakukan pengangkatan berat, hidrasi, pelatihan, disinfektasi, dan pemantauan pertumbuhan jamur baru. Sistem ini secara signifikan akan mengurangi risiko operasional terhadap para pekerja dan memaksimalkan hasil dan efisiensi produk.

Metode yang diuraikan dalam paten ini mencapai efisiensi sekitar 5 menit per wadah miselium dan hanya memerlukan sedikit campur tangan manusia. Hal ini sangat penting karena beberapa proses mungkin memerlukan penanganan wadah miselium (mencakup 5 bahan organik dan wadah) yang beratnya dapat mencapai 100 kilogram. Karena proses perawatan yang otomatis, konsistensi dan kualitas dari produk akhir dapat terjamin.

Saat ini, terdapat beberapa penemuan mengenai produksi kulit berbasis miselium. Invensi yang relevan dengan produksi kulit berbasis miselium diungkapkan pada paten dengan nomor 10 WO2018014004A1 tanggal 28 Januari 2018 dengan judul Metode Produksi Bahan Jamur dan Benda yang Terbuat dari Jamur. Dalam paten ini, inventor mengklaim proses menumbuhkan bahan jamur (i.e. filamen miselium) menjadi objek dengan geometri yang dapat 15 dibentuk dengan terlebih dahulu diuntai menjadi lembaran. Dalam invensi ini, proses perawatan diperlukan untuk mencegah pembentukan jaringan sklerotik, primordium, *fruiting bodies*, dan jaringan lain. Terlebih lagi, proses perawatan diperlukan untuk memanipulasi hasil kepadatan, pemerataan, dan kekuatan dari bahan 20 yang dihasilkan. Namun proses perawatan dalam invensi ini dilakukan dengan menekan lapisan paling atas hifa yang tumbuh ke lapisan perantara di bawahnya. Dalam invensi kami, proses perawatan dilakukan dengan metode otomatis dalam upaya untuk mengurangi jumlah tenaga kerja yang diperlukan serta meningkatkan 25 konsistensi keseluruhan pada produk akhir.

Sistem pada invensi kami dibangun di atas kerangka CNC atau *Computer Numerical Control* (e.g. rel linier) untuk memosisikan bagian kepala seperti dengan cara yang dikemukakan pada paten dengan nomor US6326586B1 tanggal 4 Desember 2001 dengan judul 30 Sistem Pemotongan Laser untuk mengarahkan sinar laser. Desain nozel penyemprot di dalam invensi kami menggunakan semprotan disinfektan (i.e. hidrogen peroksida) yang dikontrol dengan katup solenoida yang terhubung ke bagian *reservoir*. Berbeda dengan invensi-invensi yang telah ada sebelumnya, kami memanfaatkan 35 bagian kepala untuk dua tujuan, yaitu pelatihan pertumbuhan jamur

(perawatan) sehingga tumbuh rata dan lateral (menggunakan sistem perawatan dengan jari-jari berputar secara otomatis) dan disinfeksi (menggunakan sistem nozel penyemprot otomatis). Dalam proses disinfeksi, kami menggunakan penargetan berbasis penglihatan (*vision*) untuk menetapkan koordinat secara adaptif tergantung pada kondisi wadah miselium tanpa memerlukan *action* yang telah diprogram sebelumnya.

Sistem *vision* yang kami kemukakan di invensi ini serupa dengan yang tertera pada paten dengan nomor WO2017/194276A1 tanggal 16 November 2017 dengan judul Sistem dan Metode untuk Mendeteksi Penyakit Tanaman. Akan tetapi, pada invensi yang kami kemukakan, kami secara eksplisit telah memperhitungkan bayangan untuk mendapatkan representasi *foreground* dan tidak menerapkan "kekonstanan warna". Selain itu, meskipun kami mengelompokkan objek latar depan untuk mendapatkan wilayah yang terinfeksi seperti pada paten dengan nomor WO2017/194276A1, invensi kami tidak menerapkan pengklasifikasian *Bayesian* dan cukup menyaring *cluster* berdasarkan ukuran, sirkularitas, dan konveksitasnya untuk mendapatkan situs disinfeksi. Langkah-langkah deteksi kontaminasi otomatis juga diungkapkan dalam paten dengan nomor US9406212B2 tanggal 2 Agustus 2016 dengan judul Pemantauan dan Pengendalian Otomatis Aktivitas Kontaminasi di Area Produksi. Akan tetapi, berbeda dengan paten WO2017/194276A1 dan US9406212B2, sistem *vision* kami terintegrasi dengan bagian lain dari mesin sehingga dapat melampaui fungsi yang diungkapkan di kedua paten tersebut.

### **Uraian Singkat Invensi**

Invensi ini mencakup sistem robotik yang dikembangkan untuk melakukan hidrasi permukaan, pelatihan pertumbuhan (perawatan) dan mengobati infeksi bakteri atau jamur dalam proses perkembangan kultur jamur (e.g. filamen miselium) di dalam wadah untuk menghasilkan jaringan lateral bahan jamur seperti lembaran yang padat. Selanjutnya, untuk memasukkan lembaran jamur ke dalam proses produksi, beberapa mekanisme meliputi pemuatan, pengangkatan, dan pembalikan wadah perlu dikembangkan.

Proses hidrasi dan perawatan dilakukan dengan menggunakan sistem CNC yang dimodifikasi dengan penyemprotan dan pemutaran jari kepala CNC. Proses perawatan yang melingkupi perataan lapisan paling atas hifa yang tumbuh, dilakukan untuk membentuk lembaran filamen miselium dengan sifat yang diinginkan (e.g. kerapatan, kerataan, dan kekuatan). Jari-jari yang dipakai untuk perawatan dapat memosisikan dirinya secara otomatis dan dapat beradaptasi dengan profil permukaan material. Sistem pembersihan otomatis juga dikembangkan untuk membersihkan jari secara otomatis setelah proses perawatan untuk meminimalkan kontaminasi silang. Proses perawatan otomatis yang diungkapkan pada invensi ini menunjukkan kebaharuan dan dapat diaplikasikan dalam industri besar karena mengurangi tenaga kerja manusia yang dibutuhkan serta meningkatkan konsistensi hasil yang dihasilkan.

Proses disinfeksi pada invensi ini dilakukan dengan menyemprotkan larutan disinfektan pada titik infeksi untuk menghilangkan kontaminasi (i.e. jamur dan bakteri) sehingga perubahan warna pada lembaran yang dihasilkan dapat dicegah. Proses disinfeksi otomatis yang diungkapkan pada invensi ini dikembangkan untuk memungkinkan integrasi dalam proses perawatan, memerlukan sesedikit mungkin campur tangan manusia, serta mengurangi paparan disinfektan pada manusia.

### **Uraian Singkat Gambar**

Gambar 1 menunjukkan sketsa bagian pertama dari invensi ini. Sebagian dari sistem, yaitu sistem CNC dijelaskan pada Gambar 2 secara lebih terinci. Rel linier vertikal *slider* (19) dipasang pada fondasi mesin (18) sebagai pemandu linier untuk menggerakkan *flipper* naik dan turun. *Flipper* terdiri dari dua *flipper door* (11 dan 12) yang digerakkan oleh *pneumatic actuators* (14). Baik *flipper door* dan *pneumatic actuators* dipasang pada braket yang dihubungkan ke motor *servo* yang dikodekan untuk menggerakkan aksi membalik *flipper*. Untuk memuat dan membalik *flipper door* yang berisi sampel, *flipper door* bagian atas dibuka dengan memperpanjang *pneumatic actuators*. Wadah kemudian dimuat ke *flipper door* bagian bawah

dengan sistem konveyor konvensional yang terpisah. Selanjutnya, *flipper door* bagian atas ditutup dengan menarik *pneumatic actuators* dan kunci solenoid otomatis (13) diaktifkan untuk mengamankan kedua *flipper door* bagian atas dan bawah. Setelah itu, *flipper* (11, 12, 13, 14, dan 15) diputar oleh penggerak *servo* dan diikuti dengan penonaktifan kunci *solenoid* dan pembukaan *flipper door*. Penggerak *servo* lain digunakan untuk menggerakkan *flipper* ke atas menuju sistem CNC sepanjang rel linier (19) hingga sensor jarak (16) diaktifkan pada ketinggian yang telah ditetapkan. Beberapa sensor jarak digunakan untuk mengatur posisi ketinggian wadah yang diinginkan, misalnya untuk menempatkan posisi ketinggian wadah untuk memulai proses perawatan, proses hidrasi, proses pembersihan, proses pemuatan wadah, dan proses *unloading* wadah. Tanda peringatan operasi (17) digunakan untuk memastikan proses yang aman. Semua sirkuit terdapat di dalam kotak panel listrik (110). Kamera (111) untuk sistem *vision* dipasang di atas sistem CNC.

- 11: *flipper door* 1
- 20 12: *flipper door* 2
- 13: braket putar untuk memasang plat wadah dan piston. Braket putar dihubungkan ke pengindeks putar melalui *pillow block*.
- 14: *pneumatic actuators* untuk membuka atau menutup *flipper door*.
- 15: kunci solenoida untuk menahan kedua *flipper door*.
- 25 16: Sensor jarak untuk mengatur berbagai ketinggian untuk berbagai tindakan.
- 17: tanda peringatan operasi.
- 18: fondasi mesin.
- 19: Rel geser linier.
- 30 110: panel kontrol listrik yang berisi sirkuit untuk mesin.
- 111: kamera untuk sistem *vision*.

Gambar 2 mengilustrasikan invensi yang telah disederhanakan. Invensi ini mencakup kepala CNC, rakitan penyemprot (mencakup selang cairan (215), pemandu selang (214) dan nosel semprot (213))

dan aparatus perawatan (jari dengan selongsong *silicone* (212) serta *finger mount* (211)) yang dipasang ke motor *gearbox* dan *rotary encoder* di dalam *rotary box* (24). Motor *stepper* sumbu X yang terletak di belakang (24), dua motor *stepper* sumbu Y (27), dan

5 motor *stepper* sumbu Z (23) digunakan untuk menggerakkan kepala CNC pada arah sumbu X-, Y-, dan Z. Empat batang diperpanjang dari sudut *rotary box* yang mengelilingi rakitan jari yang bertindak sebagai sakelar batas kontinuitas listrik (210). Keempat batang tersebut digunakan baik sebagai perlindungan darurat atau sebagai mekanisme

10 kalibrasi yang diaktifkan saat bersentuhan dengan tepi wadah logam. Kabel I/O dan daya diperpanjang di seluruh rel di dalam pengatur kabel (21) dari sistem CNC ke panel kontrol listrik utama (110). Terlebih lagi, rel CNC terdiri dari rel slot-V (22) dengan sakelar batas (26 dan 28) untuk rel sumbu X dan Y. Dua sakelar

15 batas sumbu Z digunakan dan kedua sakelar tersebut terletak di belakang *rotary box* untuk menunjukkan perjalanan sumbu Z maksimum dan minimum.

21: klip untuk pengatur kabel yang digunakan untuk

20 mendistribusikan daya, I/O, dan cairan.

22: rel slot V sumbu X dipasang di atas rel slot V sumbu Y untuk memberikan mobilitas bagian kepala perawatan untuk melintasi sumbu X.

23: penggerak *worm drive motor stepper* sumbu Z untuk menyediakan

25 mobilitas bagian kepala aparatus perawatan melintasi sumbu Z.

24: *rotary box* yang berisi motor dan *rotary encoder* untuk memutar jari.

25: koneksi I/O ke *power supply* dan SBC-mikrokontroler.

26: sakelar end limit untuk sumbu X.

30 27: motor *stepper* sumbu Y dipasang pada plat *gantry* untuk memberikan mobilitas sumbu Y.

28: sakelar batas akhir untuk sumbu Y.

29: sakelar batas *intermediate* untuk sumbu Y.

210: sakelar kontinuitas listrik di sekitar jari-jari.



211: dudukan jari untuk jari yang berputar yang dapat menyesuaikan tingkat kerataan secara otomatis.

212: jari dengan sleeve *silicone* untuk perawatan.

213: nosel penyemprotan untuk disinfeksi dan semprotan air.

5 214: panduan selang penyemprotan.

215: selang cairan untuk mendistribusikan air untuk cairan hidrasi atau disinfeksi untuk perawatan ke area yang ditargetkan.

216: wadah sanitasi (sebagai contoh, dapat diisi dengan air di satu wadah dan alkohol di wadah lain, atau kombinasi larutan disinfeksi apapun).

217: saluran masuk cairan.

218: saluran keluar cairan.

Gambar 3 mengilustrasikan mekanisme yang menggerakkan putaran jari yang dapat menyesuaikan tingkat kerataannya secara otomatis (212) yang dipasang ke slot pemasangan jari (211) yang dihubungkan ke *shaft* motor DC (31), dengan *shaft coupler* (33) dan *bearings* (34) untuk memberikan stabilitas dan mengurangi gesekan. Selanjutnya, *shaft* dipasang pada *rotary encoder* (32), agar *rotary encoder* dapat mendeteksi orientasi jari-jari yang berputar.

31: *shaft* motor DC ganda untuk menggerakkan putaran jari.

32: *rotary encoder* untuk mendeteksi posisi sudut jari.

33: *shaft coupler*.

25 34: *bearings*.

Gambar 4 mengilustrasikan tabung cairan (41 dan 42) yang digunakan untuk membersihkan jari-jari yang digunakan untuk perawatan. Setiap tabung cairan dapat diisi dengan cairan pembersih yang diinginkan, misalnya, larutan pembersih berbasis air dan alkohol untuk menghilangkan kontaminan kimiawi. Unit pembersih ultrasonik (43) digunakan untuk menghilangkan kontaminan partikulat. Selanjutnya cairan pembersih secara otomatis diambil dari saluran masuk (44) dan dikeringkan dari lubang pembuangan (45) melalui serangkaian katup solenoid yang dikontrol SBC.

Sakelar apung (46) digunakan untuk menunjukkan tingkat pengisian maksimum sehingga pengeluaran dan pengisian cairan dapat dilakukan tanpa campur tangan manusia. Dasar wadah dibuat miring ( $\theta$ ) untuk memastikan drainase cairan selalu dalam keadaan penuh selama  
5 tindakan pertukaran cairan otomatis.

41: tabung cairan dengan unit pembersih ultrasonik.

42: tabung cairan.

43: pembersih ultrasonik.

10 44: saluran masuk cairan yang terhubung ke katup solenoid yang dikontrol SBC.

45: lubang pembuangan yang terhubung ke katup solenoid yang dikontrol SBC.

15 46: sakelar apung untuk menunjukkan kondisi berhenti selama tindakan pengisian cairan otomatis.

Gambar 5 mengilustrasikan *shaft* jari yang dapat memposisikan dirinya secara otomatis dan berputar bebas (212a) serta variasi selongsong jari silicon yang dicetak (212b dan 212c). Selanjutnya,  
20 bentuk selongsong dapat disesuaikan tergantung pada penggunaan yang diinginkan.

212a: *shaft* jari. *Shaft* jari dipasang secara longgar ke braket untuk memungkinkan Gerakan geser vertical selama proses perawatan,  
25 sehingga jari dapat tetap memposisikan dirinya secara sejajar meskipun ketinggian permukaan tidak rata. *Shaft* jari juga berputar bebas untuk mengurangi gesekan pada kontak dinding. Bentuk selongsongnya juga dapat disesuaikan.

212b: lengan jari silicon berbentuk tentakel. Permukaan tentakel  
30 yang halus memastikan cakupan media yang rata di bagian tepi wadah tanpa menggores ujung wadah.

212c: desain dasar lengan jari berbentuk silinder.

Gambar 6 mengilustrasikan rakitan penyemprot yang terdiri  
35 dari nozel penyemprot (213), pemandu selang (214), selang (215),

dan adaptor segel (61 dan 62). Adaptor segel antara nosel dan pemandu selang dapat diorientasikan sesuai dengan sudut yang diinginkan untuk mengubah arah semprotan (62).

- 5 61: adaptor segel antara selang dan pemandu selang.  
62: adaptor segel antara pemandu selang dan nosel semprot.

Gambar 7 mengilustrasikan bagaimana rel linier sumbu X dan Y dibuat. Motor *stepper* (73) dipasang pada plat *gantry* (74) dengan  
10 roda (72) yang dipasang pada rel slot-V (71). Motor *stepper* (73) menggerakkan mesin dengan menerapkan gaya pada *timing belt* (75).

- 71: rel slot V.  
72: roda.  
15 73: motor *stepper*.  
74: plat *gantry*.  
75: *timing belt*.

Gambar 8 mengilustrasikan algoritma untuk proses deteksi  
20 infeksi.

- 801: *raw image*.  
802: perspektif gambar yang dikoreksi.  
803: gambar yang sudah dihapus bayangannya.  
25 804: gambar klasifikasi infeksi biner.  
805: gambar koordinat infeksi.

Gambar 9 mengilustrasikan diagram alir yang telah disederhanakan dari interaksi tiga arah antara sistem *flipping*  
30 berbasis PLC, sistem *vision* berbasis SBC, dan sistem CNC berbasis SBC. Rincian tugas juga ditampilkan pada invensi ini untuk sistem CNC berbasis SBC. Secara umum, sistem *flipping* PLC memuat wadah ke *flipper door* (11 dan 12). Pemuatan wadah ke plat *flipper* memicu sistem *vision* SBC yang secara otomatis menganalisis situs infeksi  
35 dari gambar kamera. Gambar yang belum diolah (*raw image*), koordinat

infeksi (jika ada titik infeksi), dan metadata yang menyertainya (*barcode*, waktu pemrosesan, ID wadah, dan data lain yang diperlukan oleh pengguna) kemudian diunggah ke *buffer database* dalam SBC dan ke penyimpanan *cloud* untuk penyimpanan data jangka panjang. Jika  
5 ada infeksi yang terdeteksi, koordinat yang diekstraksi dari sistem untuk titik infeksi kemudian diteruskan ke sistem SBC-CNC selama tindakan disinfeksi. Setelah sistem *vision* menyelesaikan prosedurnya, sistem *flipping* PLC melanjutkan proses dengan mengirimkan pemicu ke sistem SBC-CNC untuk melakukan tindakan yang  
10 tersisa seperti tindakan penyemprotan, perawatan, pembersihan, pengisian ulang, dan disinfeksi tergantung pada urutan tindakan yang sedang dieksekusi.

Gambar 10 mengilustrasikan variasi lintasan jari yang berputar menggunakan pola *single-pass* (tipe A) dan pola *multi-pass*  
15 (tipe B) dimana kedua tipe tersebut mampu mencakup 100% permukaan sampel (jari silikon berbentuk tentakel). Lengan jari (212b) membantu memastikan sampel di bagian ujung wadah juga terawat sepenuhnya.

## 20 **Uraian Lengkap Invensi**

Invensi ini akan secara lengkap diuraikan dengan mengacu kepada gambar yang menyertainya.

Untuk memungkinkan otomasi penuh dari proses perawatan dan disinfeksi, sistem hidrolik dikembangkan untuk memanipulasi wadah  
25 menjadi siap untuk diproses. Langkah-langkah yang termasuk di dalam sistem hidrolik yaitu memuat, membalik, dan menaikkan wadah. Pemuatan wadah memungkinkan seluruh sistem untuk dipasang ke jalur produksi berbasis konveyor. Pembalikan wadah memungkinkan kedua sisi blok miselium dirawat secara homogen dengan hidrasi,  
30 perawatan, dan disinfeksi. Penaikkan wadah kemudian dilakukan untuk menaikkan wadah ke ketinggian yang optimal berdasarkan hasil konfigurasi untuk proses perawatan, hidrasi, dan disinfeksi dalam rangka CNC.

Setiap wadah memiliki *barcode* unik untuk memungkinkan  
35 integrasi di masa mendatang dengan sistem basis data yang

menentukan proses (i.e. hidrasi, disinfeksi, perawatan) yang diperlukan untuk wadah tertentu tanpa diperlukannya campur tangan manusia, meskipun subsistem ini tidak dirinci dalam invensi ini.

*HMI interface* disertakan pada mesin untuk menjalankan berbagai tindakan (i.e. memuat, membongkar, membalik dan menaikkan wadah, menangkap dan menganalisis hasil *vision*, menghidrasi, merawat, membersihkan, mendisinfeksi permukaan sampel) dan memberikan pembaharuan status (i.e. tanggal, ID wadah, tinggi wadah, persentase penyelesaian hidrasi, disinfeksi, atau perawatan), memungkinkan perubahan parameter (i.e. *rotation per minute* jari yang berputar, kecepatan gerak motor, akselerasi), pesan kesalahan jika terdapat kesalahan yang terdeteksi serta pilihan untuk melanjutkan operasi setelah terjadi kesalahan, tombol *system override*, dan konfirmasi manual untuk disinfeksi daerah yang menangani *false positives* atau *false negatives*.

### **Sistem Kontrol State Machine**

Pada awalnya, gambar diambil dengan menggunakan kamera yang dipasang pada bingkai pemuat wadah. Gambar tersebut kemudian dimasukkan ke dalam sistem *database* untuk tujuan pemantauan pertumbuhan. Kemudian, sistem *vision* digunakan untuk mendeteksi lokasi infeksi dan koordinat penyemprotan. Sebelum sistem dimulai, kepala CNC dikalibrasi ulang menggunakan *limit switches* untuk memastikan bahwa posisinya dipertahankan jika ada getaran eksternal yang menyebabkan *offset* selama tugas apapun dan platform wadah kemudian dinaikkan ke ketinggian yang sesuai untuk tugas tersebut (i.e. menyemprot/mendisinfeksi, perawatan, membersihkan).

Dalam kasus di mana posisi infeksi terdeteksi, koordinat dicatat dalam *database*, dan kepala CNC berpindah ke setiap lokasi untuk menyemprotkan cairan disinfeksi ke setiap lokasi infeksi untuk jangka waktu tertentu sebelum melanjutkan ke lokasi berikutnya. Urutan posisi yang dikunjungi tergantung pada

*Travelling Salesman Problem-optimizer* yang meminimalkan jarak total yang ditempuh untuk menghemat waktu.

Untuk proses hidrasi, nozel penyemprot diaktifkan terus menerus dengan kepala CNC mengikuti jalur yang dapat disesuaikan (i.e. kecepatan, percepatan) yang melapisi keseluruhan permukaan miselium.

Proses perawatan juga mengikuti proses yang hampir identik dengan proses hidrasi. Akan tetapi, pada proses perawatan, jari-jari diturunkan hingga menyentuh permukaan sampel dan terus berputar untuk meniru tindakan perawatan jari manusia. Jari-jari dirancang untuk dapat *self-leveling* sehingga dapat mengkompensasi permukaan yang tidak rata atau beberapa perubahan tinggi sampel selama periode pertumbuhan. Selain itu, jalur kepala CNC juga dapat disesuaikan untuk meratakan hifa ke seluruh permukaan.

Setelah proses perawatan, kepala CNC diarahkan ke lokasi yang ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai tabung sanitasi (216). Sonikator (43) seperti yang digambarkan pada Gambar 4 diaktifkan oleh sinyal dari SBC yang mengendalikan relai *power supply* sonikator dan jari-jari diturunkan ke dalam wadah disinfeksi untuk jangka waktu tertentu. Jari-jari kemudian diangkat dan daya sonikator diputus. Jari-jari tersebut kemudian berpindah ke wadah kedua untuk bilasan terakhir dengan larutan disinfektan. Tabung sanitasi (Gambar 4) juga dilengkapi dengan sistem pengisian dan pengeringan cairan baik secara manual maupun otomatis. Setelah proses perawatan, wadah kemudian diturunkan dan diarahkan kembali ke koveyor untuk disimpan atau diproses lebih lanjut.

### **Sistem Vision**

Deteksi dan disinfeksi daerah yang terinfeksi dapat sepenuhnya di otomatisasi dalam sistem ini. Deteksi dan disinfeksi daerah yang terinfeksi bertujuan untuk mencegah perubahan warna lebih lanjut pada daerah tersebut serta menjaga kualitas lembaran miselium. Sistem automasi dalam invensi ini meminimalisir paparan manusia terhadap larutan disinfeksi dan mengurangi tenaga kerja

manusia. Selain itu, sistem *vision* yang dikembangkan pada invensi ini juga sudah dikembangkan sehingga tidak terpengaruh oleh penempatan kamera, bayangan, wadah yang tidak berbentuk persegi panjang sempurna (i.e. sudut membulat), dan wilayah dengan kepadatan titik warna yang tinggi. Sistem *vision* hanya menggunakan gambar *grayscale* untuk menyederhanakan komputasi. Meskipun sistem *vision* mampu mentolerir efek bayangan, sistem ini sulit untuk mengimbangi efek refleksi cahaya yang intens. Oleh karena itu, penggunaan permukaan yang bersifat reflektif di dalam wadah harus dikurangi.

Sistem pemrosesan sistem *vision* dapat dibagi menjadi 5 langkah:

1. Transformasi perspektif 4 titik. Hal ini bertujuan agar keempat sudut wadah mengisi keempat sudut pada gambar.
2. Koreksi bayangan/pencahayaan dan ekstraksi *foreground*. Hal ini bertujuan untuk memisahkan daerah yang terinfeksi dari substrat miselium.
3. *Binary thresholding*. Hal ini bertujuan untuk mengklasifikasikan wilayah yang akan didisinfeksi.
4. Deteksi gumpalan. Hal ini dilakukan dengan mengelompokkan kelompok wilayah yang terinfeksi ke titik pusatnya.

Mengingat bahwa input gambar menyerupai pada (801), transformasi perspektif 4 titik dilakukan terlebih dahulu dengan menerapkan *Gaussian blur* untuk mengurangi *noise* frekuensi tinggi yang dihasilkan oleh kamera dan untuk menyederhanakan kontur dalam gambar. Selanjutnya, *Canny edge detection* dilakukan untuk mengekstrak kontur yang kontinu (simpul terhubung) dalam gambar yang diburamkan. Kontur dengan area cembung terbesar dipilih dan dianggap sebagai kerangka wadah dengan asumsi bahwa objek terbesar dalam gambar adalah wadah. Area digunakan sebagai kriteria dan bukan garis keliling. Hal ini dilakukan karena pengurutan menurut garis keliling akan menyebabkan pola seperti labirin yang dipilih dan bukan kontur persegi panjang besar. Setelah itu, detektor garis (*probabilistic Hough line transform*) diterapkan pada area cembung

dari kontur yang dipilih untuk mengekstraksi setidaknya 4 garis. Jika sistem mendeteksi kurang dari 4 garis, tingkat kesalahan akan meningkat. Semua perpotongan yang valid (i.e. dalam batasan gambar) antara semua kemungkinan pasangan garis terdeteksi  
5 dihitung untuk mendapatkan kandidat potensial untuk koordinat sudut-sudut wadah. Terakhir, *k-means cluttering* dengan 4 kluster yang mewakili masing-masing sudut wadah diterapkan ke koordinat kandidat ini untuk mendapatkan 4 koordinat terakhir dsari sudut wadah, yang diwakili oleh pusat kluster. Titik-titik ini digunakan  
10 untuk menerapkan transformasi perspektif pada gambar sehingga wadah mengisi keseluruhan gambar. Hasil akhir dari proses ini adalah (802).

Representasi latar belakang perlu dibangun terlebih dahulu untuk mendeteksi anomali warna. Gambar yang sudah diubah dilatasi  
15 secara morfologis dan dikaburkan mediannya untuk mendapatkan representasi latar belakang dengan pewarnaan yang relatif homogen tetapi tetap menyertakan bayangan di dalam gambar. *Foreground* diperoleh dengan mengurangi latar belakang dari gambar di langkah 1 dan kemudian menerapkan operator nilai absolut. Penerapan  
20 operator nilai absolut dilakukan untuk menangani nilai negatif. Kemudian, warnanya dibalik sehingga anomali lebih gelap daripada latar belakang. Lalu, untuk memaksimalkan rentang penuh spektrum skala abu-abu (i.e. 0-255), gambar dinormalisasi min-maks ke rentang ini. Hasil akhir dari proses ini adalah (803).

25 Untuk mengklasifikasikan titik mana yang ditetapkan sebagai wilayah dan latar yang terinfeksi, dari gambar yang diperoleh pada langkah 2, metode Otsu (*thresholding*) diterapkan. Metode Otsu digunakan sebagai pengganti proses *thresholding* dengan parameter *threshold* yang berubah-ubah karena adaptif dan tahan terhadap  
30 *noise*. Selain itu, Otsu tidak memiliki parameter yang dapat disetel. Hal ini menyederhanakan penyempurnaan parameter yang diperlukan dalam mengadaptasi kamera ke lingkungan baru. Akhir dari proses ini adalah (804). Di proses ini, semua bentuk terisi penuh.



Setelah representasi biner gambar diperoleh, koordinat penyemprotan dapat diperoleh. Koordinat penyemprotan diperoleh dengan menggunakan detektor gumpalan yang mengelompokkan titik positif terdekat (i.e. bagian yang terinfeksi). Karena sifat pengelompokkan *blob detector*, titik-titik yang dapat disemprotkan secara bersamaan akan digabungkan. Koordinat penyemprotan ditunjukkan dalam (805). Untuk memilih gumpalan, gumpalan disaring berdasarkan area maksimum (i.e. gumpalan tidak boleh lebih besar dari 4 cm<sup>2</sup>), sirkularitas (i.e. infeksi berbentuk lingkaran), dan lain-lain. Hasil dari proses ini adalah daftar koordinat.

### **Aksi Penyemprotan, Perawatan, Pembersihan dan Disinfeksi**

Sumbu x dan y di dalam pengaturan CNC digunakan untuk memposisikan jari-jari yang merawat dan nosel penyemprot pada target tertentu. Selain itu, 2 sakelar batas yang dipasang pada masing-masing dari tiga sumbu memungkinkan kalibrasi sistem koordinat (i.e. posisi minimum dan maksimum) sehubungan dengan panjang CNC atau rel sekrup bola. Hal ini memungkinkan sistem untuk kembali ke kondisi awal bahkan setelah listrik padam. Sumbu z digunakan untuk memanipulasi ketinggian jari. Pemanipulasian ketinggian jari penting untuk transisi antar tugas yang berbeda. Sebagai contoh, jari-jari ditarik selama proses hidrasi/disinfeksi untuk mencegah terhalangnya garis pandang penyemprot dan jari-jari diturunkan selama proses perawatan. Selain itu, jari-jari ditarik selama transisi antara proses perawatan ke proses pembersihan jari untuk mencegah benturan dengan sisi wadah dan jari-jari diturunkan ke dalam wadah sanitasi.

Untuk melakukan hidrasi, nosel penyemprot dapat dipasang dalam orientasi vertikal atau dalam posisi miring agar sistem perawatan dan sistem hidrasi dapat berbagi sistem koordinat yang sama (i.e. tidak ada *offset* di antara keduanya). Cairan disuplai dari pompa dari wadah cairan. Pompa diafragma tambahan dapat digunakan untuk memberi tekanan pada cairan.

Agar dapat melakukan proses perawatan secara optimal, jari-jari yang terpasang pada sistem harus dapat memenuhi sifat-sifat berikut:

- 5 a) Jari-jari harus dapat bergerak ke atas dan ke bawah untuk menyesuaikan dengan permukaan substrat miselium yang tidak rata.
- b) Jari-jari harus memiliki komponen yang fleksibel yang dapat mencapai sudut-sudut wadah perawatan.
- 10 c) Jari-jari harus dapat melakukan gerakan memutar untuk meniru gerakan tangan melingkar.
- d) Jari-jari harus memiliki berat antara 70 hingga 150 gram per jari. Berat ini sudah termasuk dengan berat bagian lengan dan badan. Hal ini bertujuan untuk memberikan tekanan yang cukup selama perawatan untuk mendesak miselium bertumbuh secara lateral tanpa mengalami perobekan selama masa perawatan.
- 15

Beberapa persyaratan yang disebutkan diatas dapat dipenuhi dengan memasang 2 jari secara longgar pada *slot*, *slot* diberi kemampuan untuk dapat berputar, lengan silikon dibuat berbentuk tentakel, dan jari-jari dibuat agar dapat ditambahkan beban sesuai dengan kebutuhan.

- 20

Sistem yang dikembangkan dalam invensi ini memiliki tindakan pencegahan untuk mencegah kontaminasi silang antar wadah. Sebelum melakukan perawatan, jari-jari dicelupkan ke dalam tabung sanitasi yang dilengkapi dengan sonikator saat berpindah dari satu wadah perawatan ke wadah perawatan lainnya. Selanjutnya, cairan yang tersisa di dalam tabung sanitasi setelah proses sanitasi jari-jari dapat dibuang dan diisi ulang secara otomatis dengan menggunakan katup solenoida. Tingkat air di dalam tabung sanitasi dapat disesuaikan dengan kebutuhan dengan menggunakan sakelar apung.

- 25

Sistem CNC untuk sumbu x dan y memungkinkan penyesuaian jalur (Gambar 10), kecepatan, serta percepatan. Sistem CNC juga memungkinkan untuk proses hidrasi penuh dan merawat keseluruhan wadah. Selain itu, *Travelling Salesman Problem* (TSP) digunakan untuk meminimalkan total panjang jalur yang diperlukan untuk menangani semua wilayah yang terinfeksi dalam wadah miselium.

- 30
- 35

**Klaim**

- 1) Sistem robotik terintegrasi berdasarkan hidraulik yang dikontrol Programmable Logic Controller (PLC), Computer Numerical Control (CNC) 3-sumbu termodifikasi yang dikontrol Single Board Computer (SBC), dan sistem penglihatan yang dikontrol SBC yang digunakan untuk melatih pertumbuhan material berbasis jamur menjadi jaringan lateral seperti lembaran yang padat terdiri dari sub-sistem untuk melaksanakan tugas-tugas berikut:
- a) Pemuatan dan manipulasi wadah berisi substrat dan jamur secara otomatis.
  - b) Hidrasi substrat dan jamur secara otomatis melalui nosel semprot.
  - c) Pelatihan pertumbuhan jamur secara otomatis melalui perawatan dengan jari yang berputar.
  - d) Pembersihan otomatis jari-jari yang digunakan untuk pelatihan pertumbuhan jamur.
  - e) Pemantauan pertumbuhan jamur secara otomatis melalui sistem *vision*.
  - f) Disinfeksi otomatis melalui sistem penyemprotan disinfektan yang terintegrasi dengan sistem *vision*.
- 2) Sistem hidraulik yang dikontrol oleh PLC yang dimaksudkan dalam Klaim 1 terdiri dari satu set *power supply* yang terisolasi, *Human Machine Interface* (HMI), tombol dan indikator, *servos*, piston hidraulik, pengindeks putar, sensor optik jarak, pembaca *barcode*, *slider*, engsel, *bearings*, serta profil struktural lainnya yang mengaktifkan pemuatan, membalik, membuka, dan menaikkan atau menurunkan wadah secara otomatis sesuai dengan permintaan.
- 3) Sistem CNC 3-sumbu termodifikasi yang dikontrol SBC pada Klaim 1 terdiri dari sistem *positioning* untuk kepala CNC, sistem penyemprot, sistem perawatan, sistem pembersihan otomatis, dan HMI *interface*. Algoritme perangkat lunak digunakan untuk mengelola interaksi antar sistem ini.

- 4) Sistem *positioning* untuk kepala CNC yang dimaksudkan pada Klaim 3 terdiri dari motor *stepper* sumbu x, motor *stepper* sumbu y ganda, dan rel linier *ball-screw* sumbu z dan penggeraknya dengan akselerasi, kecepatan, dan perlambatan yang dapat disesuaikan. Slider linier sumbu x dan y terdiri dari *gantry*, rel slot V, roda, roda gigi, *timing belt*, dan *bearings*. Sakelar batas dipasang pada rel linier dan di sekitar kepala CNC untuk berbagai tujuan seperti mengkalibrasi sistem koordinat kepala CNC, bertindak sebagai batas keamanan untuk menonaktifkan motor ketika terjadi kesalahan.
- 5) Sistem penyemprot yang dimaksudkan pada Klaim 3 tertanam di dalam kepala CNC di Klaim 3 dan 4. Sistem ini terdiri dari nosel penyemprot yang dipasang ke salah satu ujung rakitan penyemprot. Selang menghubungkan unit penyemprot ke sumber air bertekanan tinggi melalui katup solenoida yang dikendalikan oleh mikrokontroler SBC.
- 6) Sistem pelatihan pertumbuhan jamur di Klaim 3 juga tertanam di dalam kepala CNC di Klaim 3 dan 4. Sistem ini terdiri dari motor *gearbox* DC dengan enkoder putar yang terhubung ke jari-jari melalui *shaft*. Kerangka jari-jari di dalam sistem pelatihan ini memiliki dua atau lebih badan jari yang bisa memposisikan dirinya secara otomatis. Bagian tubuh jari-jari dalam sistem pelatihan dibalutkan dengan *finger sleeve*.
- 7) Unit jari dalam sistem *tending* (mencakup kerangka dan *finger sleeve*) memiliki bobot yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan yang dapat berkisar dari 50 hingga 200 gram per unit jari.
- 8) *Finger sleeve* yang dimaksudkan dalam Klaim 6 adalah potongan *silicone* yang dibentuk dan memiliki fisik yang padat dengan bagian lengan yang panjang dan fleksibel.
- 9) Sistem pembersihan otomatis yang dimaksudkan dalam Klaim 3 digunakan untuk membersihkan *finger sleeve* secara otomatis setelah proses pelatihan pertumbuhan jamur. Sistem

pembersihan otomatis terdiri dari tabung sanitasi yang diisi dengan cairan pembersih dan dilengkapi dengan unit pembersih sonikator. Tabung sanitasi juga dilengkapi dengan sakelar pelampung yang terhubung ke SBC, bersama dengan katup solenoida pengisi cairan dan katup solenoida penguras cairan yang dikendalikan oleh SBC. Dua atau lebih wadah sanitasi dapat diatur tergantung pada berapa banyak cairan pembersih yang diinginkan.

- 5
- 10) Sistem *vision* yang dikontrol SBC pada Klaim 1 terdiri dari *power supply* yang terisolasi, HMI, satu set profil mekanis dan kamera digital.
- 10
- 11) Arsitektur komputer *vision* pada Klaim 10 dapat secara otomatis mendeteksi dan menemukan titik pertumbuhan jamur yang tidak normal dengan mengumpulkan algoritma yang terdiri dari:
- 15
- a) Koreksi perspektif dengan mendeteksi kerangka wadah.
  - b) Penghapusan bayangan.
  - c) Deteksi dan pengelompokan blob jamur.
  - d) Koordinasi ekstraksi wadah yang terinfeksi.
- 20
- 12) Sistem disinfeksi otomatis bekerja dengan mengambil koordinat titik-titik yang terinfeksi dari sistem *vision* yang dikendalikan SBC sebagai posisi target untuk sistem penyemprot pada Klaim 5 yang kemudian menyemprotkan larutan disinfektan pada titik-titik yang terinfeksi.
- 25
- 13) Komunikasi antar hidraulik yang dikontrol PLC, CNC 3-sumbu modifikasi yang dikontrol SBC, dan sistem *vision* yang dikontrol SBC pada Klaim 1 dilakukan melalui koneksi I/O langsung, protokol TCP/IP, sistem *cloud*, atau kombinasinya.
- 30
- 14) Sistem CNC memiliki beberapa variabel yang dapat disesuaikan seperti jalur penyemprotan, jalur *tending*, kecepatan linier kepala CNC, percepatan atau perlambatan kepala CNC, kecepatan putaran jari, dan durasi pembersihan.
- 35
- 15) Arsitektur perangkat lunak CNC 3-sumbu modifikasi yang dikontrol SBC didasarkan pada algoritma mesin status *multi-thread*.