



SOLEIN

PANGAN BARU BERPROTEIN TINGGI

Penulis:

Eko Saputro

Widyaiswara

Balai Besar Pelatihan Peternakan – Batu

E-mail: ekosaputrobbppbatu@gmail.com

Protein merupakan bagian yang tak terpisahkan dari pola makanan manusia. Bagaimana protein diproduksi dan dikonsumsi masih memunculkan banyak tantangan, baik dari pola konsumsi secara global maupun dampak sosial, lingkungan, dan ekonominya. Sementara itu, pemerintah, akademisi, dan industri semakin berfokus pada sumber protein alternatif, seperti protein nabati, protein biomassa mikroba (solein), jamur, protein serangga, alga, dan daging hasil kultur jaringan (cultured meat), baik sebagai bahan penyusun maupun produk untuk dikonsumsi langsung. Solein adalah produk protein mikrobial dan sering juga disebut sebagai protein sel tunggal atau single cell protein (SCP). Solein adalah sumber protein alternatif yang ramah lingkungan dan tidak membutuhkan sumber daya lahan dan air yang banyak sebagaimana pertanian dan peternakan.



Gambar 1. Bubuk Solein
Sumber : Eko Saputro

Industri peternakan menghasilkan hampir setengah emisi gas rumah kaca (GRK) dari rantai pasokan pangan. Jika rantai nilai yang ada saat ini tetap dipertahankan, industri pangan akan terus menjadi ancaman utama bagi stabilitas iklim dan keanekaragaman hayati. Populasi penduduk dunia terus bertambah, sehingga menuntut peningkatan produksi pangan secara dramatis. Mengingat pentingnya peran protein dalam pola makan manusia dan dampak lingkungan dari sumber utama protein (peternakan) maka revolusi pangan harus dimulai dengan mengamankan pasokan protein yang lebih berkelanjutan. Untuk itu, Dr. Dilek Ercili-Cura, Anna Häkämies, Laura Sinisalo, Pasi Vainikka, dan Juha-Pekka Pitkänen memperkenalkan sumber protein bakterial baru. Dilek Ercili-Cura adalah peneliti senior di bidang ilmu dan teknologi pangan dari Solar Foods di Finlandia. Bersama tim Solar Foods, dia berupaya

mengembangkan Solein® sebagai bahan protein bakterial berharga bagi industri makanan. Protein bakterial bersel tunggal tersebut hanya membutuhkan karbon dioksida (CO_2) dari udara, air, dan mineral sebagai bahan baku serta menggunakan listrik terbarukan sebagai sumber energi.

Protein bakterial tersebut diberi merek dagang bernama Solein®, produk protein mikrobal yang disebut sebagai protein sel tunggal atau *single cell protein* (SCP). Solein diperoleh dengan menumbuhkan bakteri secara eksklusif yang dipanen dari alam. Proses berlangsung dalam bioreaktor yang dirancang khusus menggunakan fermentasi gas.

Model produksi solein telah mengubah rantai makanan karena produksi protein mikrobal tidak bergantung pada pertanian atau iklim. Produksi solein ini tidak perlu menempati lahan subur dan tidak

terpengaruh oleh campur tangan geopolitik dalam rantai pasok makanan.

PROSES PRODUKSI SOLEIN

Solein adalah protein mikrobal, lebih khusus lagi protein bakterial. Contoh protein mikrobal lain yang lebih dahulu dikenal adalah ragi dalam bentuk bubuk atau olesan ekstrak ragi bekas fermentasi bir. Contoh protein mikrobal lainnya adalah mikroalga (bubuk suplemen spirulina dan chlorella) serta mikoprotein (biomassa jamur dengan merek Quorn).

Solar Foods menggunakan mikroorganisme murni yang dibudidayakan di bioreaktor dengan proses fermentasi yang serupa dengan produksi ragi roti atau bakteri asam laktat. Sebagian besar produk SCP yang tersedia secara komersial memerlukan gula sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan mikroba. Proses produksi solein menggunakan mikroorganisme berupa bakteri pengoksidasi hidrogen (H_2) yang disebut bakteri Knallgas. Bakteri ini dapat memanfaatkan karbon dioksida (CO_2) dari udara sebagai sumber karbon, mirip dengan organisme fotosintetik.

Berbeda dengan tumbuhan atau alga yang membutuhkan sinar matahari untuk katalisis pertumbuhannya, bakteri Knallgas memanfaatkan gas hidrogen (H_2) sebagai sumber energi untuk menghasilkan ATP atau adenosina trifosfat. Adenosina trifosfat adalah suatu nukleotida yang dalam biokimia dikenal sebagai “satuan molekular” pertukaran energi intraselular. Adenosina trifosfat dapat digunakan untuk menyimpan dan mentranspor energi kimia dalam sel. Bakteri Knallgas menggunakan gas hidrogen (H_2) sebagai donor elektron dan oksigen (O_2) sebagai akseptor elektron untuk mengikat karbon dioksida (CO_2) menjadi biomassa. Bakteri pengoksidasi gas hidrogen (H_2) melimpah keberadaannya di alam dan ribuan spesiesnya dapat diisolasi dari lingkungan.

Teknologi ini menawarkan kemajuan yang menjanjikan dalam pengurangan emisi GRK dengan

memanfaatkan kelebihan emisi gas karbon dioksida (CO_2) yang dilepaskan ke atmosfer dengan mengubahnya menjadi makanan atau pakan. Sebenarnya, produksi protein mikrobial dari bakteri pengoksidasi gas hidrogen (H_2) bukanlah konsep baru. Foster dan Litchfield pada tahun 1964 melalui artikelnya yang berjudul "A Continuous Culture Apparatus for the Microbial Utilization of Hydrogen Produced by Electrolysis of Water in Closed-Cycle Space Systems" yang diterbitkan dalam *Jurnal Biotechnology and Bioengineering* serta Schlegel dan Lafferty tahun 1965 dalam artikelnya yang berjudul "Growth of 'Knallgas' Bacteria (*Hydrogenomonas*) Using Direct Electrolysis of the Culture Medium" yang diterbitkan dalam *Jurnal Nature* telah melaporkan tentang produksi protein mikrobial. Oleh karena proses elektrolisis air dan penangkapan karbon dioksida (CO_2) secara langsung memerlukan banyak energi, konsep manufaktur bubuk solein belum dapat dilaksanakan di masa lalu. Saat ini, peningkatan

kapasitas dan penurunan biaya produksi listrik tenaga angin dan surya serta kemajuan dalam penyimpanan kelebihan pasokan energi listrik menjadikan teknologi produksi solein ini layak secara ekonomis untuk produksi sebagai protein paling berkelanjutan di muka bumi.

Hu dan kawan-kawan pada tahun 2020 dalam artikelnya yang berjudul "Microbial Protein Out of Thin Air: Fixation of Nitrogen Gas by an Autotrophic Hydrogen-Oxidizing Bacterial Enrichment" yang diterbitkan dalam *Jurnal Environmental Science and Technology* mengatakan bahwa ada empat unsur kimia: karbon, oksigen, hidrogen, dan nitrogen, yang membentuk 95% tubuh manusia. Unsur-unsur tersebut bisa bersumber dari udara. Sebesar 5% sisanya berasal dari berbagai mineral. Mineral dalam bentuk garam anorganik menyediakan sulfur, fosfor, kalsium, magnesium, dan mineral lain yang diperlukan untuk produksi biomassa. Nitrogen untuk produksi protein bakterial dapat

disediakan dalam bentuk amonia (NH_3) atau langsung dalam bentuk gas nitrogen (N_2) pada beberapa organisme bakteri autotrofik/heterotrofik yang mampu memfiksasi nitrogen dari atmosfer (Hu *et al.*, 2020).

Sintesis NH_3 dari gas hidrogen (H_2) dan N_2 (Proses Haber-Bosch) adalah salah satu proses energi yang paling intensif karena reaksinya memerlukan suhu dan tekanan yang sangat besar (sekitar 500°C dan 20 MPa). Selain itu, hutan juga merupakan sumber langsung emisi karbon dioksida (CO_2) yang sangat besar karena energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas hidrogen (H_2) dipasok dari gas alam, batu bara, atau minyak bumi. Selama produksi solein, sebagian dari gas hidrogen (H_2) terbarukan dapat langsung untuk produksi amonia sehingga menjaga keseluruhan proses tetap netral karbon.

Budi daya dalam bioreaktor berlangsung dalam kondisi yang optimal dan terkendali untuk menjamin efisiensi dan keamanan pertumbuhan



Gambar 2. Bubuk solein mengandung 50 persen protein, 20 hingga 25 persen karbohidrat, dan 5 hingga 10 persen lemak.
Sumber : Gesina Kunkel on Unsplash



Gambar 3. Berbagai macam makanan mulai dari labu, tahu, es krim hingga pengganti daging dapat dibuat dari Solein
Sumber: Solar Foods

maksimum. Pengolahan di hilir terutama terdiri dari proses-proses yang selanjutnya dapat menjamin keamanan, kualitas teknologi, dan nutrisi dari produk akhir. Biomassa bakteri solein adalah bubuk kering yang mengandung 65-75% protein, karbohidrat, lemak, dan zat gizi mikro.

KUALITAS GIZI SOLEIN

Profil nutrisi biomassa bakterial adalah menguntungkan karena merupakan sumber protein (50–80% protein) yang rendah kandungan karbohidrat dan lemak. Kualitas nutrisi atau nilai biologis suatu protein ditentukan oleh komposisi asam aminonya. Banyaknya asam amino esensial dan juga skor pencernaan ditentukan oleh *Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score* (PDCAAS) dan *Digestible Indispensable Amino Acid Score* (DIAAS).

Menurut Ritala dkk dalam artikelnya yang berjudul 'Single Cell Protein-State-of-the-Art: Industrial Landscape and Patents 2001-2016' yang diterbitkan tahun 2017 dalam *Jurnal Frontiers in Microbiology* menyatakan bahwa secara umum, protein mikrobial atau lebih dikenal dengan nama PST (protein sel tunggal) atau SCP (*single cell protein*) adalah protein yang berasal dari mikroorganisme

yang memiliki komposisi asam amino yang baik berdasarkan asupan yang direkomendasikan FAO/WHO untuk asam amino esensial. Asupannya dibatasi oleh kandungan asam amino yang mengandung sulfur, metionin, dan sistein, serta kaya akan lisin. Biomassa bakterial, telah menunjukkan kadar metionin yang lebih tinggi dibandingkan dengan protein mikrobial lainnya. Faktanya, berbagai spesies bakteri yang dihasilkan dari fermentasi gas (bakteri metanotropik) telah berhasil dijadikan pakan ikan karena nilai biologisnya yang tinggi.

Volova dan Barashkov dalam artikelnya yang berjudul 'Characteristics of Proteins Synthesized by Hydrogen-Oxidizing Microorganisms' yang diterbitkan tahun 2010 dalam *Jurnal Applied Biochemistry and Microbiology* menyatakan bahwa profil asam amino protein bakterial, termasuk bakteri pengoksidasi gas hidrogen (H_2), berada di antara protein nabati dan hewani dalam hal kandungan asam amino esensial yang memberikan nilai biologis tinggi. Mereka telah melaporkan bahwa komposisi asam amino dan skor pencernaan protein gas hidrogen (H_2)-biomassa bakteri pengoksidasi lebih mirip dengan protein hewani (kasein) dibandingkan dengan protein nabati (gandum).

Solein memiliki komposisi asam amino esensial yang menguntungkan. Hasil awal menunjukkan bahwa jumlah solein yang lebih kecil akan cukup untuk memenuhi kebutuhan asam amino harian orang dewasa dibandingkan dengan protein kedelai dan mikoprotein (data tidak dipublikasikan). Kecernaan protein mikroba mungkin terhambat oleh struktur membran sel, yang sangat berbeda antara berbagai jenis biomassa, misalnya alga, ragi, jamur, dan bakteri. Proses pengolahan di hilirnya sangat penting untuk mengatasi tantangan terkait nutrisi, nilai biologis, serta keamanan produk protein akhir. Adanya lipopolisakarida dan endotoksin bakteri yang terkait dengan dinding sel bakteri gram negatif merupakan tantangan utama terkait keamanan pangan dan toksikologi untuk biomassa bakterial. Masalah-masalah tersebut perlu ditangani secara tepat dengan tingkat keamanan yang terjamin dari pemrosesan di hulu sampai hilir.

Selain sebagai sumber protein, biomassa mikrobial juga kaya akan senyawa bioaktif yang penting bagi kesehatan. Kebanyakan protein sel tunggal (jamur, alga/ ganggang, ragi, dan bakteri) mengakumulasi vitamin kelompok B, seperti riboflavin, niasin, kolin, asam folat, dan kobalamin (vitamin B12), karotenoid (seperti asthaxanthin), mineral (seperti zat besi dan magnesium), dan asam lemak esensial. Beberapa spesies bakteri, misalnya bakteri pengoksidasi gas hidrogen (H_2) berpigmen kuning, berhubungan dengan pembentukan karotenoid dan dibedakan berdasarkan sistem kuinon dan komposisi ubikuinonnya. Selain kaya akan sumber protein, karakteristik ini menjadikan biomassa bakterial sebagai pengganti yang sempurna produk pangan hewani, yang merupakan sumber utama Vitamin B12 dan zat besi dalam makanan manusia. Studi mengenai ketersediaan hayati atau bioavailabilitas dan kapasitas antioksidan senyawa bioaktif atau senyawa aktif dalam pangan fungsional yang bersumber dari bakteri saat ini sedang dilakukan oleh Solar Foods.

KUALITAS TEKNOLOGI UNTUK APLIKASI PADA MAKANAN

Kualitas teknologi suatu bahan protein mengacu pada kinerjanya sebagai bahan pembentuk struktur/penstabil atau pengaya selama produksi makanan di industri dan juga kenyamanan dalam aspek warna dan cita rasa. Berbagai sifat teknofungsional yang diharapkan dari bahan protein tergantung pada karakteristik matriks makanan. Misalnya, produk dengan kelembapan tinggi, seperti aplikasi yang dapat diminum atau disendok, mendapat manfaat dari kemampuan dispersibilitas, kelarutan, dan juga kemampuan pengemulsi, pembentukan busa, dan pembentuk gel yang tinggi. Produk dengan kadar air sedang atau rendah, seperti roti dan produk ekstrusi, memerlukan kapasitas pengikatan air dan lemak serta sifat pembentukan tekstur yang berbeda. Produk SCP yang beredar di pasaran untuk konsumsi langsung, antara lain olesan ekstrak ragi (Marmite dan Vegemite), bubuk ekstrak ragi (sumber protein dan rasa umami untuk formulasi kaum vegan), ekstrak spirulina atau chlorella (sebagai suplemen nutrisi) dan Quorn®, yang merupakan biomassa jamur yang

dipasarkan dalam berbagai bentuk sebagai pengganti daging.

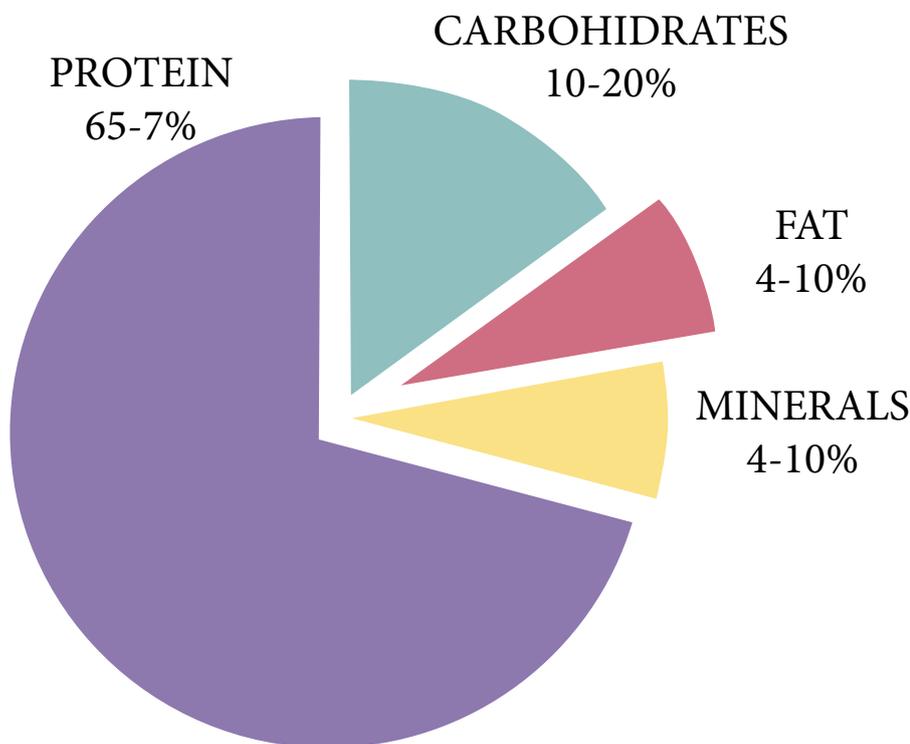
Karakterisasi awal penggunaan solein sebagai bahan pangan menunjukkan potensi yang tinggi sebagai bahan protein dalam berbagai aplikasi pangan dari kadar air tinggi hingga rendah. Ini telah menunjukkan sifat yang sebanding dengan isolat protein kacang polong dalam hal sifat pengikatan air dan minyak serta kapasitas pembentukan buih dan pengemulsi. Produk solein ini dapat bekerja dengan baik selama proses memasak dengan kelembapan tinggi atau dalam matriks hibrida atau campuran dengan protein nabati atau hewani. Solein juga dapat menyediakan sumber protein dan mikronutrien yang kaya untuk memperkaya makanan tanpa mengurangi rasa dan cita rasa di mulut.

Biomassa bakterial dari hasil fermentasi yang menggunakan gas, kemungkinan besar akan menggantikan bahan-bahan yang tidak ramah lingkungan. Selain itu, teknologi ini menawarkan solusi luar biasa untuk melawan malnutrisi global dan menyediakan makanan bergizi dan lezat bagi seluruh dunia.

STATUS REGULASI UNTUK SOLEIN

Saat ini belum ada produk makanan yang terbuat dari bakteri pengoksidasi gas hidrogen (H_2). Produk mirip di pasaran yang tidak bergantung pada bahan baku gula (dari pertanian), adalah sekelompok protein bakterial yang digunakan sebagai pakan ikan. Perusahaan seperti UniBio dan Calysta menggunakan teknologi fermentasi gas untuk mengubah metana menjadi protein pakan ternak menggunakan bakteri methanotrophic (Ritala *et al.*, 2017). Untuk memenuhi syarat sebagai bahan pangan di Uni Eropa (UE), biomassa bakterial yang dihasilkan melalui fermentasi gas perlu memperoleh status Pangan Baru atau *Novel Food* (Peraturan Pangan Baru (EU) 2015/2283), yang menjamin keamanan bahan untuk dikonsumsi manusia. Otoritas Keamanan Pangan Eropa (*European Food Safety Authority* = EFSA) melakukan penilaian risiko secara ilmiah terhadap keamanan makanan baru atas permintaan Komisi. Makanan apa pun yang belum dikonsumsi di UE sebelum tanggal 15 Mei 1997 diklasifikasikan sebagai makanan baru dan memerlukan izin dari Komisi Eropa sebelum dapat dijual di pasar UE untuk konsumsi manusia.

Permohonan otorisasi adalah karakterisasi menyeluruh dari pangan baru termasuk proses produksi, komposisi secara rinci, bukti ilmiah yang menunjukkan bahwa pangan baru tidak menimbulkan risiko terhadap kesehatan manusia dan persyaratan pelabelan secara khusus yang tidak menyesatkan konsumen. Peraturan yang berbeda juga berlaku di belahan dunia lain. Di Amerika Serikat, status Umumnya Diakui Aman (*Generally Recognized as Safe* = GRAS) disetujui oleh Badan Pengawas Obat & Makanan AS (*Food and Drug Administration* = FDA). Di Australia dan Selandia Baru, makanan baru memerlukan penilaian yang dilakukan oleh *Food Standards Australia New Zealand* (FSANZ), dan di Tiongkok, makanan baru diatur oleh Komisi Kesehatan dan Keluarga Berencana Nasional (*National Health and Family Planning Commission* = NHFPC) di bawah Pusat Penilaian Risiko Keamanan Pangan Nasional Tiongkok (*China National Center For Food Safety Risk Assessment* = CFSA).



Gambar 2. Kandungan gizi Solein

Sumber : Eko Saputro

PANGAN YANG BERKELANJUTAN

Menurut Matassa dkk dalam artikelnya yang berjudul 'Microbial Protein: Future Sustainable Food Supply Route With Low Environmental Footprint', yang diterbitkan tahun 2016 di *Jurnal Microbial Biotechnology* menyatakan bahwa Uni Eropa (*European Union* = EU) telah menetapkan target yang ambisius untuk mengurangi emisi GRK sebesar 50% pada tahun 2030 dan mencapai *net-zero carbon* pada tahun 2050. Perubahan iklim yang cepat mengancam ketersediaan air, produktivitas pertanian, dan keanekaragaman hayati. Mengganti sebagian sumber protein saat ini dengan sumber protein yang lebih berkelanjutan dan menciptakan rantai makanan alternatif yang tidak bergantung pada pertanian adalah dua tindakan yang perlu dilakukan. Protein mikrobial menawarkan keuntungan langsung dalam hal penggunaan lahan dan air serta menurunkan emisi GRK yang disebabkan oleh rantai makanan.

Sillman dkk dalam artikelnya yang berjudul 'Bacterial Protein for Food and Feed Generated via Renewable Energy and Direct Air Capture of CO₂: Can It Reduce Land and Water Use?' yang diterbitkan tahun 2019 di *Jurnal Global Food Security* membandingkan kebutuhan lahan dan air dari protein bersumber bakteri pengoksidasi gas hidrogen (H₂) yang diproduksi menggunakan sistem DAC dan 100% sumber energi terbarukan dengan protein kedelai. Kebutuhan lahan untuk produksi protein mikrobial terbukti 30–60 kali lebih sedikit dibandingkan kebutuhan protein kedelai ketika area yang dibutuhkan untuk panel surya atau turbin angin dimasukkan dalam perhitungan. Tidak perlu lahan subur yang ditempati untuk produksi solein. Total kebutuhan air untuk produksi protein mikrobial sekitar sepersepuluh dari kebutuhan air untuk produksi protein kedelai.

Poore dan Nemecek dalam artikelnya yang berjudul 'Reducing Food's Environmental Impacts Through Producers and Consumers' yang diterbitkan tahun 2018 di *Jurnal Science* menyatakan bahwa hasil

awal studi penilaian siklus hidup (*life cycle assessment* = LCA) yang tidak dipublikasikan, efisiensi lahan dan air untuk produksi solein masing-masing sekitar 30-300 kali lebih tinggi dibandingkan protein dari sapi potong dan sapi perah (rata-rata global). Nilai solein dihitung berdasarkan sumber energi campuran dan metode penghitungan penggunaan air dengan pembobotan tegangan.

Boerner dalam artikelnya yang berjudul 'Industrial Ammonia Production Emits More CO₂ than Any Other Chemical-Making Reaction. Chemists Want to Change That' yang diterbitkan tahun 2019 di *Jurnal Green Chemistry* mengungkapkan bahwa emisi GRK dari produksi solein 25 kali lebih rendah dibandingkan produksi sapi potong meskipun menggunakan sumber energi campuran. Jika didasarkan pada 100% energi air terbarukan, maka nilai emisinya mencapai 100 kali lebih rendah (data tidak dipublikasikan). Produksi ammonia, NH₃ bertanggung jawab atas lebih dari 1% emisi karbon dioksida (CO₂) global setiap tahun karena 50% produksi pangan saat ini bergantung pada NH₃ sebagai pupuk.

Proses produksi solein, NH₃ diproduksi dengan nol emisi karbon dioksida (CO₂). Produksi protein mikrobial merupakan cara yang menjanjikan untuk mengurangi *input* atau masukan nitrogen antropogenik yang tinggi karena ketidakefisienan sistem tanah ke tanaman dan penurunan emisi dinitrogen oksida serta eutrofikasi dan kerusakan ekosistem yang terkait

Beberapa manfaat dari produksi protein mikrobial yang dihasilkan dari udara dan air akan berdampak besar pada industri makanan dan cara makanan diproduksi dan dikonsumsi. Pangan berkelanjutan dapat didefinisikan sebagai berikut.

1. Produk dengan proses produksi yang mendorong kelestarian lingkungan dalam hal mitigasi emisi GRK, efisiensi air dan lahan, keanekaragaman hayati dan produktivitas tanah; atau
2. Produk yang menawarkan solusi untuk memastikan kecukupan dan

keamanan pangan global dengan menyediakan pangan yang sehat, terjangkau, dan enak.

3. Solein bertujuan untuk kedua aspek keberlanjutan ini.

Solein bermanfaat bagi lingkungan, nutrisi atau gizi dan industri. Manfaat Solein bagi lingkungan, yakni: (1) protein sel tunggal unik yang dihasilkan dari karbon dioksida (CO₂), H₂O, dan listrik; (2) minimnya penggunaan lahan dan air; (3) tidak memerlukan lahan subur untuk ditempati; (4) tidak menggunakan pestisida, pupuk, atau antibiotik; (5) emisi GRK lebih sedikit 100 kali lipat dibandingkan protein dari budi daya sapi potong; dan (6) produksi pangan yang netral karbon. Manfaat solein bagi nutrisi atau gizi, yakni: (1) nilai gizi tinggi dengan kandungan protein lebih dari 65%; (2) sumber zat gizi mikro: vitamin B dan zat besi; (3) cocok untuk semua pola makan atau diet, termasuk vegan; dan (4) 100% etis, tidak ada hewan yang disembelih. Manfaat solein bagi industri, yakni: (1) protein dengan biaya sumber daya yang hemat; (2) produksi tidak dibatasi oleh kondisi iklim atau sumber daya alam: dapat diproduksi di mana saja; (3) tidak ada fluktuasi harga, produksi terkendali; (4) terdesentralisasi; dan (5) bahan protein fungsional untuk beragam aplikasi makanan.

MULAI PERTANIAN SELULER SEKARANG!

Protein bakterial kemungkinan besar akan menemukan peluang di pasar protein alternatif yang berkembang pesat sebagai sumber protein berkelanjutan. Pada bulan September 2015, Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa, FAO telah mengadopsi 17 tujuan pembangunan berkelanjutan untuk memandu tindakan internasional hingga tahun 2030 dan seterusnya. Pertanian seluler (atau budi daya mikroba) dengan segala elemennya, akan merevolusi rantai makanan dalam waktu dekat dan berkontribusi besar dalam mengamankan pasokan pangan yang aman dan cukup sekaligus memulihkan sumber daya alam di bumi.