

4. POTENSI DAN TANTANGAN PRODUK *MEAT ANALOG*

4.1. Eksplorasi Bahan

Daging pada umumnya dikonsumsi untuk menjadi sumber protein dari makanan sehari-hari. *Meat analog* juga harus mengadaptasi hal demikian, sehingga dibutuhkan komponen nabati yang menjadi tulang punggung untuk memenuhi kecukupan protein dari produk. Tentunya saat ini sudah ada beberapa jenis protein yang umumnya dipakai untuk membuat *meat analog*, seperti bentuk isolat atau konsentrat dari kedelai, gandum, dan kacang polong. Seiring perkembangan zaman dan meningkatnya riset, bahan pangan yang dipilih sebagai sumber protein tidak terbatas pada jenis tersebut. Saat ini sudah terdapat berbagai literatur yang memaparkan penelitian mengenai potensi sumber protein non-daging yang baru. Kumpulan dari berbagai penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

4.1.1. Serangga

Serangga secara umum dikenal memiliki kandungan protein yang tinggi dan kualitasnya yang baik. Nutrisi yang terkandung dalam serangga antara lain seperti protein, asam lemak tak jenuh, dan beragam mikronutrien (seng, zat besi, tembaga, magnesium, mangan) (Kim *et al.*, 2017; Mintah *et al.*, 2020). Alam *et al.* (2019) menguji kombinasi tepung serangga (*Hermetia illucens*) dan tepung jagung dalam memproduksi ekstrudat *meat analog* dengan metode *hot moisture extrusion*. Karakteristik ekstrudat tepung serangga yang dihasilkan yaitu berlapis-lapis, sehingga mirip dengan *meat analog* berbahan isolat atau konsentrat kedelai. Ekstrudat yang dihasilkan oleh tepung serangga dalam penelitian ini memiliki ciri yaitu berserat dan *fragile*, sedangkan tepung jagung menghasilkan karakteristik *glassy* dan lebih homogen. Keberadaan tepung serangga menyebabkan produk memiliki warna yang semakin gelap, pada penelitian ini ditunjukkan warna cokelat tua ($L^*=54.5$, $a^*=2.8$, $b^*=13.8$). Hasil yang serupa juga didapatkan dalam penelitian Smetana *et al.* (2017), kombinasi tepung *Alphitobius diaperinus* dengan kedelai mengalami penurunan nilai L^* ketika jumlah tepung serangga semakin banyak.

Tabel 6. Penelitian mengenai potensi sumber protein non-daging yang baru

No	Bahan	Jenis <i>Meat Analog</i>	Inkorporasi Bahan	Pokok Bahasan	Temuan Utama	Penulis
1.a.	Lalat hitam (<i>Hermetia illucens</i>)	Ekstrudat <i>meat analog</i>	100%, 50%, 25%,	Pengolahan tepung lalat hitam secara <i>hot melt extrusion</i>	Tepung lalat hitam memberikan warna coklat dan mempengaruhi karakteristik pasta dalam formulasi. Tepung lalat hitam berpotensi sebagai produk protein alternatif melalui pengolahan ekstrusi.	Alam <i>et al.</i> (2019)
1.b.	Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>) dan ulat kandang (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	<i>Minced meat</i>	83,8%	Analisis <i>microbial count</i> pada proses produksi dan penyimpanan <i>minced meat like product</i> yang terbuat dari ulat hongkong dan ulat kandang.	Ulat hongkong dan ulat kandang dapat digunakan untuk menghasilkan <i>minced meat like product</i> dengan <i>microbial count</i> yang rendah.	Stoops <i>et al.</i> (2017)
1.c.	Ulat kandang (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	Ekstrudat <i>meat analog</i>	15-50%	Pengujian pembuatan <i>meat analog</i> berbahan campuran protein konsentrat ulat kandang dan kedelai secara <i>high moisture extrusion</i> .	Kombinasi protein konsentrat protein kedelai dan ulat kandang (15-50%) dapat menghasilkan produk dengan <i>hardness</i> dan komposisi yang mirip dengan daging konvensional. Kombinasi terbaik adalah 40% protein serangga dan 60% protein kedelai.	Smetana <i>et al.</i> (2017)
2.a.	Jamur tiram (<i>Pleurotus sajor-caju</i>)	Ekstrudat <i>meat analog</i>	7,5%, 15%, 25%, dan 35%.	Menemukan kondisi ekstrusi terbaik untuk menghasilkan <i>meat analog</i> berbahan kombinasi jamur tiram dan protein kedelai.	Ekstrudat terbaik didapat dengan kombinasi suhu ekstrusi 140 °C, screw speed 100-160 rpm, dan penambahan jamur tiram sejumlah 7.5% dan 15%.	Mazlan <i>et al.</i> (2020)

2.b.	Jamur kancing (<i>Agaricus bisporus</i>)	Isian <i>taco</i> dan <i>carne asada</i> (<i>steak</i>)	50% dan 80%	Analisis sensori substitusi jamur kancing pada hidangan <i>beef taco</i> dan <i>carne asada</i>	Penambahan 50% dan 80% jamur dapat meningkatkan <i>flavor</i> secara keseluruhan dari hidangan. Karena mengandung <i>flavor</i> umami, maka jamur kancing dapat menjadi agen peningkat rasa ketika jumlah garam yang digunakan dikurangi.	Miller <i>et al.</i> (2014)
3.a	Quinoa (<i>Chenopodium quinoa Willd</i>) dan Buckwheat (<i>Fagopyrum esculentum Moench</i>)	Burger	15% dan 30%.	Penelitian mengenai karakteristik fisikokimia, nutrisi, dan sensori dari <i>beef</i> burger, yang mengandung quinoa dan tepung buckwheat sebagai pengganti protein kedelai dan <i>bread crumb</i> .	Quinoa dan buckwheat burger memiliki mineral seperti magnesium, fosfor, besi, dan seng yang lebih tinggi dari burger protein kedelai. Penerimaan dan penilaian <i>taste</i> dari burger tersebut juga positif. Quinoa dan buckwheat memiliki potensi menggantikan protein kedelai dan <i>breadcrumb</i> dalam <i>beef</i> burger.	Bahmanyar <i>et al.</i> (2021)
3.b	Kacang babi/ <i>faba bean</i> (<i>Vicia faba</i>)	Ekstrudat <i>meat analog</i>	63,5%	Menguji kelayakan produksi <i>meat analog</i> dari protein konsentrat kacang babi dengan <i>high moisture extrusion</i> (HME).	Penelitian membuktikan bahwa dapat diproduksi <i>meat analog</i> hanya dengan protein konsentrat kacang babi yang diolah dengan <i>dry fractionation</i> .	Carmo <i>et al.</i> (2021)
4.a.	Mikroalga <i>Auxenochlorella protothecoides</i>	Ekstrudat <i>meat analog</i>	5-50%	Mencari formulasi terbaik dalam pembuatan ekstrudat <i>meat analog</i> dengan penambahan mikroalga	Ekstrudat terbaik didapatkan dengan kombinasi 30% mikroalga dan moisture content sebanyak 60%.	Caporgno <i>et al.</i> (2020)

Ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) dan ulat kandang menjadi sampel dalam penelitian Stoops *et al.* (2017) dalam pembuatan *minced meat-like product*. Penelitian ini berfokus pada jumlah mikroba pada sampel selama proses produksi dan penyimpanan. Proses produksi *minced meat like* berbahan ulat hongkong dilakukan dalam beberapa tahap yaitu: pemanasan 1 (pengukusan), penghalusan, penambahan bahan lain, pengadukan, dan pemanasan 2 (penumisan). Produksi sampel yang berbahan ulat kandang dilakukan dalam beberapa langkah mulai dari pemanasan 1 (sangrai), penghalusan, penambahan bahan lain, pencampuran, dan pemanasan 2 (penumisan). Jika melihat dari sisi mikroba yang ada pada produk, terdapat perbedaan antara *minced meat* asli dan *minced meat* serangga. Berdasarkan jumlah, *total aerobic count* pada daging cincang segar berkisar antara 4,6-4,9 log CFU/g. *Minced meat* serangga pada penelitian ini memiliki *aerobic count* yaitu 0,5; 2,4; 2,5 dan 3,8 CFU/g. Selain jumlah yang berbeda, jenis mikroba yang ada pada sapi dan serangga juga berbeda. Perbedaan mikroba pada dua sampel ini berbeda karena dipengaruhi dari *raw material* (sapi atau serangga) dan proses produksi (pada *minced meat* serangga terdapat proses pemanasan). Pengemasan dengan metode *modified atmosphere packaging* (MAP) dapat mempertahankan produk berbahan ulat kandang selama 14 hari dan produk berbahan ulat hongkong selama 28 hari, tanpa penambahan pengawet.

Smetana *et al.* (2017) mengolah konsentrat protein serangga dan kedelai dengan *twin screw high moisture extrusion* sehingga dapat dihasilkan *meat analog* yang berserat. Formulasi terbaik adalah 40% konsentrat protein *Alphitobius diaperinus* dan 60% konsentrat kedelai. Proses ekstrusi terbaik juga ditunjang dengan penambahan air pada adonan, dimana dapat membentuk tekstur yang tidak kaku dan menurunkan *hardness*. Sampel dengan penambahan 50-70% konsentrat protein serangga memiliki struktur yang lebih “bulky”. Penambahan 40% protein serangga lebih menghasilkan tekstur yang berlapis.

Serangga menunjukkan potensi menjajikan melihat dari beberapa penelitian yang telah berhasil dibuat menjadi *meat analog*. Produk yang dihasilkan sudah memiliki karakteristik berlapis dan dapat pula digunakan untuk *minced meat*. Namun, masih terdapat beberapa rintangan dari sisi penampilan dan masih dibutuhkannya protein tambahan dari jenis lain.

4.1.2. Jamur

Tidak hanya dapat dikonsumsi sebagai pelengkap hidangan, jamur juga berpotensi sebagai sumber protein yang baik. Jamur juga mengandung serat yang tinggi, rendah lemak, asam amino esensial, vitamin dan mineral. Umumnya jamur terdiri dari 50%-65% karbohidrat, 19-35% protein, 2-6% *fat* (didominasi *unsaturated fatty acid*), vitamin larut lemak dan ergosterol yang merupakan sumber vitamin D bagi vegetarian (Derbyshire, 2020). Kombinasi protein kedelai dan jamur tiram dapat menghasilkan *meat analog* yang berserat pada penelitian Mazlan *et al.* (2020). Perlakuan suhu 140° C, *screw speed* 100-160 rpm, penambahan jamur sejumlah 7,5% dan 15% dapat menghasilkan produk terbaik. Namun, penambahan protein jamur menyebabkan penurunan rasio pengembangan pada *meat analog* yang dihasilkan. Ekstrudat yang menggunakan jamur memiliki kandungan air lebih tinggi (34,77-37,93%) daripada ekstrudat dengan protein kedelai saja (26,99-32,33%). Penelitian Wong *et al.*, (2019) yang membandingkan substitusi jamur *Agaricus bisporus* dengan protein kedelai juga menunjukkan nilai moisture content yang lebih tinggi pada sampel jamur. Namun, inkorporasi jamur dalam penelitian ini juga menurunkan kekuatan mekanis dari produk. Keberadaan jamur meningkatkan terbentuknya serat pada ekstrudat. Hasil pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa sampel dengan penambahan jamur memiliki *air cell* yang lebih kecil daripada sampel dengan protein kedelai saja.

Miller *et al.*, (2014) melakukan substitusi daging sapi dengan jamur kancing, membuktikan bahwa penggantian 80% daging dengan jamur dapat diterima secara baik pada hidangan taco. Bahkan pada pengujian Miller *et al.*, (2014), substitusi 80% jamur juga dilakukan pada hidangan yang jumlah garamnya dikurangi sebanyak 25%. Hasilnya menunjukkan bahwa jamur dapat menjadi *flavor enhancer* dan mengimbangi *flavor* dari hidangan meskipun dikurangi jumlah garamnya. Jamur memiliki senyawa *flavor umami* sehingga meningkatkan penerimaan produk oleh konsumen, selain itu *juiciness* atau *moistness* dari jamur juga dapat meningkatkan persepsi rasa asin dari produk daging. Wong *et al.*, (2019) dalam penelitiannya juga menyimpulkan bahwa inkorporasi jamur dapat menurunkan penggunaan garam dan menghasilkan produk yang lebih sehat.

Produk *meat analog* dengan jamur memiliki nutrisi dan karakteristik sensoris yang cukup baik. Penambahan jamur juga meningkatkan *moisture content* pada produk *meat analog*, serta menurunkan penggunaan garam. Meskipun demikian, masih terdapat rintangan seperti efek menurunnya rasio pengembangan dan kekuatan mekanis yang harus diteliti lebih lanjut agar dapat dihasilkan *meat analog* berbahan jamur yang optimal.

4.1.3. *Pseudocereal* dan *Legume*

Bahmanyar *et al.* (2021) melakukan percobaan substitusi protein kedelai dengan quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) dan *buckwheat* (*Fagopyrum esculentum Moench*). Quinoa dan *buckwheat* masuk dalam kelompok *pseudo-cereal*. Quinoa dapat menjadi sumber pati, protein, lemak, serat pangan, mineral, vitamin, dan mikronutrien lain (kalsium, seng, magnesium, besi). Quinoa mengandung protein berkualitas karena memiliki kandungan asam amino tidin dan lisin yang tinggi. Keunggulan quinoa lainnya adalah tidak mengandung gluten, sehingga cocok untuk konsumen yang memiliki alergi atau mengidap *celiac disease* (Li & Zhu, 2018). *Buckwheat* dapat menjadi sumber protein, serat pangan, flavonoid, vitamin, dan mineral. Asam amino yang banyak terkandung dalam *buckwheat* yaitu lisin dan arginin. Selain menjadi sumber protein yang baik, *buckwheat* juga mengandung berbagai vitamin seperti B₁, C, dan E (Park *et al.*, 2016). Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa *burger* dengan quinoa dan *buckwheat* memiliki kandungan mineral yang lebih tinggi, penerimaan sensori lebih baik dan *shelf-life* yang lebih lama. Meskipun begitu, *burger* dengan protein kedelai masih memiliki *moisture retention* dan WHC yang lebih baik.

Faba bean atau kacang babi merupakan legum yang tinggi protein dan dapat menjadi alternatif protein untuk *meat analog*. Kacang babi memiliki kandungan lemak yang rendah (1-2%), tinggi serat (7-9%), dan sumber asam amino lisin (Multari *et al.*, 2015). Carmo *et al.* (2021) menggunakan *faba bean protein concentrate* (FBPC) untuk membuat *meat analog* dengan *high moisture extrusion* (HME). Melalui fraksinasi kering, FBPC dapat memiliki kandungan protein 55-65% (berat kering)(Carmo *et al.*, 2021). *Meat analog* yang dihasilkan dengan *moisture content* tinggi memiliki warna kekuningan, sedangkan perlakuan suhu yang semakin tinggi menyebabkan warna kemerahan. Warna

merah ini berasal dari adanya reaksi mailard (Kaleda *et al.*, 2020), karena interaksi antara gula pereduksi dengan gugus amin pada asam amino. Kombinasi yang menunjukkan hasil terbaik dengan FBPC adalah ekstrusi dengan suhu medium-tinggi (130-140 °C), *moisture content* yang sedang, dan dengan *feed rate* 11 rpm (1.1 kg/jam). Produk yang dihasilkan dari parameter diatas paling mendekati karakteristik sensori yang diinginkan yaitu memiliki elastisitas tinggi, berserat, kepadatan dan tingkat *juiciness* sedang.

Legum sudah banyak diteliti untuk dijadikan protein alternatif, tetapi hanya berkisar pada jenis-jenis tertentu saja. Kelompok *pseudocereal* juga menjadi potensi baru menjadi bahan pangan yang kaya nutrisi. Penelitian yang menggunakan *pseudocereal* sebenarnya sudah banyak, tetapi sebagian besar masih fokus pada pengolahan setelah menjadi tepung (Fernández-López *et al.*, 2021). Diharapkan kedepannya lebih banyak penelitian yang menggunakan bahan pangan dalam bentuk *whole grain* untuk dijadikan produk *meat analog*.

4.1.4. Single Cell Protein

Protein juga dapat berasal dari mikroorganisme atau umum disebut sebagai *single cell protein* (SCP). Alga, fungi (fungi berfilamen dan *yeast*), dan bakteri semua dapat menjadi SCP (Ritala *et al.*, 2017). Mikroalga memiliki kemampuan untuk tumbuh dengan cepat dan produktivitas tinggi per area jika dibandingkan kedelai, legum atau gandum. Protein mikroalga dapat terakumulasi >50% dalam bentuk kering (Caporgno *et al.*, 2020). Produk *meat analog* dengan *single cell* fungi yang masih ada saat ini adalah Quorn™, produk tersebut menggunakan mycoprotein dari *Fusarium venenatum*. *Yeast* dan bakteri juga merupakan jenis SCP paling umum. Namun, karena kandungan asam nukleat keduanya yang terlalu tinggi (*yeast*: 7-10%, bakteri 8-12%) untuk dikonsumsi maka dibutuhkan proses pengolahan lebih lanjut (Ritala *et al.*, 2017). Caporgno *et al.* (2020) menggunakan mikroalga (*Auxenochlorella protothecoides*) dalam bentuk bubuk yang dikombinasikan dengan SPI untuk menghasilkan *meat analog*. Mikroalga *Auxenochlorella protothecoides* memiliki ciri khas memberikan warna kuning muda pada produk. Proses pengolahan dalam penelitian Caporgno *et al.* (2020) dibagi menjadi dua yaitu *dry extrusion* dan *high moisture extrusion* (HME). Formulasi yang digunakan dalam

pengolahan secara *dry extrusion* dalam penelitian ini adalah 0%, 14%, 29% dan 44% (berat kering). Ekstrusi dengan bahan SPI saja dapat menghasilkan tekstur yang berserat, tetapi seiring bertambahnya mikroalga yang ditambahkan tekstur serat semakin berkurang. Pembentukan jaringan berserat dari bahan mentah berbasis protein umumnya melibatkan proses *swelling*, *dissolving*, dan *unfolding* dari protein (Caporgno *et al.*, 2020). Selain itu protein harus berada pada fase *aqueous* dan tidak tertutupi oleh struktur sel yang padat.

Pengolahan secara HME dalam penelitian ini menggunakan kombinasi mikroalga dan *moisture content* yaitu (0%:65%), (5%:65%), (10%:65%), (20%:60%), (30%:60%), (40%:55%) dan (50%:55%). Sampel dengan penambahan 50% mikroalga memiliki kohesi internal yang rendah karena berkurangnya protein *cross-linking*. Karena ekstrudat tidak memiliki struktur internal yang kuat maka harus dilakukan pengurangan *moisture content* pada campuran. Kombinasi ekstrudat paling potensial adalah 30% mikroalga dengan *moisture content* 60%.

Berdasarkan aspek nutrisi, penambahan mikroalga menyebabkan penambahan lemak pada produk *meat analog* yang dihasilkan (dari 1,6% (hanya SPI) menjadi 6,3% pada penambahan 50% mikroalga). Mikroalga *Auxenochlorella protothecoides* juga kaya akan vitamin B1, B2 dan E yang dapat menambahkan mikronutrien produk. *Auxenochlorella protothecoides* juga mengandung karotenoid seperti lutein dan zeaxanthin yang berguna dalam menjaga kesehatan mata (Hu *et al.*, 2018).

4.2. Nutrisi dan Kesehatan

Mengetahui kandungan nutrisi pada produk yang dikonsumsi tentunya menjadi salah satu faktor penting dalam suatu produk pangan. Tiap produk *meat analog* memiliki komposisi yang berbeda, sebagai contoh mayoritas produk PBM yang dijual di Amerika Serikat memiliki sumber protein dari kedelai dan gandum (49 dari 56 sampel)(Fresán *et al.*, 2019).

Tabel 7. Perbandingan nutrisi berbagai jenis *meat analog* dan daging sapi dalam takaran saji 100 gram.

Produk	Energi (kcal)	Protein (g)	Total <i>fat</i> (g)	MUFAs (g)	PUFAs (g)	Karbohidrat (g)	Serat (g)	Na (mg)	Fe (mg)	Sumber
PBM Wheat	176,52	21,68	5,68	1,44	3,05	10,95	1,35	251,20	2,38	Fresán <i>et al.</i> , (2019)
PBM Soy	234,62	24,96	6,63	1,64	3,63	20,31	6,35	267,06	6,05	
PBM Wheat/Soy	185,52	21,44	5,64	1,47	3,01	13,94	2,71	189,65	3,06	
PBM Nuts	204,60	18,12	11,59	5,13	4,11	9,63	3,01	162,18	3,62	
PBM dengan telur	202,11	19,87	8,15	2,17	4,38	13,91	2,57	206,99	3,23	
Beyond Burger®	221,24	17,70	15,93	-	-	2,65	1,77	345,13	3,72	
Impossible™	212,39	16,81	12,39	-	-	7,96	2,65	327,43	3,72	
MorningStar Farm®	203,13	25,00	7,81	-	-	12,50	6,25	609,38	1,72	
Daging sapi giling mentah	152,00	20,85	7,00	-	-	0,00	0,00	66,00	2,33	Bohrer (2019)
Daging sapi giling matang	182,00	25,56	8,01	-	-	0,00	0,00	72,00	2,82	
McDonald's® <i>beef patty</i>	266,67	23,33	20,00	-	-	0,00	0,00	400,00	3,33	

Bohrer (2019) melalui penelitiannya merangkum berbagai *meat analog* dan membandingkan nutrisinya dengan daging sapi yang tersaji dalam Tabel 7. *Meat analog* dari berbagai merk terkenal seperti Beyond Burger®, Impossible™, dan MorningStar Farm® memiliki kandungan protein, *total fat*, dan zat besi yang cenderung mendekati produk daging sapi. Akan tetapi, terdapat perbedaan jelas pada kandungan karbohidrat yang tidak terdapat pada daging sapi. Kadar garam pada *meat analog* tersebut juga cenderung tinggi, jika dibandingkan dengan daging sapi.

Berdasarkan survei Fresán *et al.*, (2019) yang ditampilkan dalam Tabel 7, PBM dari kedelai memiliki rata-rata kandungan protein (24,96 g), asam lemak omega-3 (0,24 g), serat (6,35 g), vitamin B1 (0,26 µg), B6 (0,24 µg) dan asam folat (121,33 µg) yang paling tinggi jika dibandingkan PBM dengan bahan lain (gandum, campuran gandum dan kedelai, kacang-kacangan). Produk PBM yang berbahan dasar campuran gandum dan kedelai mengandung vitamin B12 dengan rata-rata tertinggi (2,24 µg). Produk dengan sumber protein kacang-kacangan memiliki keunggulan pada kandungan *monounsaturated fatty acids* (MUFAs) (5,13 g), vitamin A (17,08 µg) dan niasin (2,47 µg). Terdapat variasi dalam produk PBM, salah satunya dengan penambahan telur. Keberadaan telur dalam produk dapat meningkatkan karakteristik sensori dan secara signifikan meningkatkan jumlah *polyunsaturated fatty acids* (PUFAs).

Survei pada produk *burger*, sosis, daging diling, ayam, *seafood*, dan jenis *meat analog* lainnya di pasar Australia dilakukan oleh Curtain & Grafenauer (2019). Rata-rata produk *meat analog* yang didapatkan memiliki komposisi garam dibawah 500mg/100g, namun juga ditemukan produk yang mengandung hingga 1200 mg/100g. Konsumsi garam yang terlalu tinggi juga dapat memberikan efek buruk bagi kesehatan, Badan Kesehatan Masyarakat Inggris memasukan *meat alternatives* dalam target makanan yang harus dikurangi kandungan garamnya, sejumlah 250 mg untuk '*plain meat alternatives*' (*meat-free mince*, *plain pieces* dan *fillets*) dan 360 mg untuk produk *meat alternatives* lainnya (sosis, burger, *bites*) (Curtain & Grafenauer, 2019). Konsumsi garam berlebih dapat menyebabkan peningkatan tekanan darah dan menyebabkan berbagai penyakit kardiovaskuler (Hendriksen *et al.*, 2014).

Komposisi mikronutrien pada *meat analog* yang disurvei menunjukkan hanya 24% produk *meat analog* di Australia yang terfortifikasi vitamin B12, 20% terfortifikasi zat besi dan

18% dengan seng. 81% dari produk yang diteliti memberikan klaim “vegetarian”, “vegan”, “*plant based*” dan “*meat free*”. 77% produk sebenarnya dapat mencantumkan klaim “*high protein*” yang berbasis pada lebih dari 5 g tiap sajian, namun hanya 60% produk yang mencantumkannya. Sedangkan 26% dari produk memberikan klaim “*dairy free*” dan “*gluten free*”.

Berdasarkan data National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 2007–2010 dengan panelis penduduk Amerika Serikat usia diatas 19 tahun, ditemukan bahwa unggas berkontribusi sebesar 10% dan daging sapi sebesar 9,5% dalam asupan protein harian, sedangkan *plant based foods* hanya berkontribusi sebesar 3,2% (Vatanparast *et al.*, 2020).

Pangan hewani berkontribusi masih lebih banyak dalam pemenuhan protein daripada protein dari pangan nabati. Penelitian Vatanparast *et al.*, (2020) melakukan penggantian konsumsi PBM (100%) dan mengurangi konsumsi daging sebesar (-50 %) mengakibatkan berkurangnya protein yang diserap oleh tubuh sejumlah 4,4 g/ hari (77,8 menjadi 73,4 g). Pengurangan konsumsi daging (-50%) juga mengakibatkan penurunan serapan seng sejumlah (-0,9 mg/ hari) dan vitamin B12 sejumlah 0,59 mcg/hari Vatanparast *et al.*, (2020). Meskipun dengan konsumsi PBM protein yang diserap tidak sebanyak daging, jumlah protein yang terserap masih diatas standar asupan protein mengacu pada RDA (*Recommended Dietary Allowance*). Penelitian ini juga menemukan bahwa menurunkan konsumsi daging merah dan olahan sebanyak 50% maka akan menurunkan kolesterol sebanyak 22,8 mg/hari. Skema pengurangan konsumsi daging (-50%) tidak menunjukkan penurunan pada zat besi, dalam studi (Sharma *et al.*, 2013) yang melakukan penelitian terhadap penduduk dewasa Amerika Serikat ditemukan bahwa konsumsi daging merah berkontribusi sebesar 19,7%-40% untuk vitamin B12 dan 11,1-29,3% untuk seng, serta untuk zat besi menunjukkan angka yang lebih kecil yaitu 4,3-14,2%.

Keunggulan nutrisi dari PBM tentunya rendah lemak jenuh, bebas lemak trans dan kolesterol (Bohrer, 2019). PBM juga mengandung karbohidrat seperti serat, pati, oligosakarida. Daging memang masih menjadi sumber mikronutrien penting seperti seng, besi dan vitamin B12 yang menjadi perlu menjadi perhatian jika hanya mengonsumsi *meat analog* saja. Kacang dan biji-bijian juga tinggi akan zat besi, tetapi bentuknya adalah

non-heme. Zat besi-*non heme* memiliki tingkat penyerapan lebih rendah dari zat besi-*heme*. Beberapa legum juga memiliki kandungan fitat yang dapat mempengaruhi penyerapan zat besi *non-heme* dan seng, sehingga harus menjadi perhatian (Vatanparast *et al.*, 2020). Usaha meningkatkan kualitas *meat analog* dari kacang-kacangan dan sereal dilakukan oleh Kaleda *et al.*, (2020). Bahan kacang-kacangan dan sereal dapat mengandung asam fitat, sehingga dilakukan fermentasi dan penambahan enzim fitase untuk mengurangi keberadaan zat tersebut (Kaleda *et al.*, 2020). Umumnya kandungan asam fitat pada bahan-bahan tersebut hanya berkisar antara 0.5-5%, tapi efeknya dapat menurunkan bioavailabilitas mikronutrien. Asam fitat dikatakan sebagai antinutrien karena dapat mengikat berbagai ion seperti Ca, Fe, Zn, Na, K, Cu, Co, dan Mg (Thavarajah *et al.*, 2009).

Penelitian mengenai nutrisi serangga dilakukan oleh Payne *et al.* (2016). Lebah madu dan jangkrik memiliki rata-rata kandungan zat besi yaitu 18,5 mg dan 5,46 mg yang lebih tinggi dari daging sapi (1,95 mg). Berdasarkan penemuan ini, jangkrik, lebah madu, ulat sutra, *mopane caterpillar*, *palm weevil larvae*, dan ulat kandang, memiliki kandungan kalsium dan riboflavin yang lebih tinggi dari hewan-hewan ternak (sapi, ayam, babi). Secara garis besar, serangga masih memiliki beberapa kekurangan untuk menggantikan daging asli, karena beberapa jenis serangga memiliki kandungan lemak jenuh dan natrium yang tinggi. Jangkrik dewasa mengandung natrium sejumlah 152 mg / 100 g, sedangkan daging sapi mengandung natrium sejumlah 60 mg / 100 g. *Palm weevil larvae* juga mengandung lemak jenuh sejumlah 9,84 g / 100 g, dibandingkan 3,8 g / 100 g pada daging sapi. Karena alasan tersebut, maka kurang tepat jika serangga diusulkan sebagai pengganti daging dengan harapan ingin mengurangi resiko penyakit jantung. Penggunaan serangga dalam pembuatan *meat analog*, harus dipilih jenis serangga yang sesuai agar produk yang dihasilkan memiliki nilai nutrisi yang sesuai.

4.3. Karakteristik Sensori

Karakteristik sensori pada *meat analog* menjadi faktor penting dalam menghasilkan produk yang sesuai keinginan konsumen. Karena hal tersebut, maka penulis merangkum penilaian sensori pada berbagai penelitian dengan sampel *meat analog*. Kamani *et al.* (2019) melakukan substitusi protein pada sosis dengan protein nabati. Secara penampilan,

rasa dan tekstur, sosis daging dengan 40% protein nabati memiliki perbedaan yang signifikan dengan sampel lainnya (80 dan 100%). Sampel 80% dan 100% protein nabati memiliki keunggulan dalam segi penampilan dan tekstur, tetapi sampel sosis daging 40% protein nabati sangat unggul dari sisi rasa. Danowska-Oziewicz, (2014) menyebutkan bahwa jenis kedelai (pasta kedelai, SPI atau *textured soy protein*) yang ditambahkan dapat memberikan *flavor "beany"* dalam *meat analog*. Kamani *et al.* (2019) juga menganjurkan bahwa *flavor "beany"* dapat ditutupi dengan penambahan berbagai jenis bumbu dan rempah-rempah dalam jumlah tertentu.

Yuliarti *et al.*, (2021) melakukan pengujian sensori dengan 42 panelis pada pembuatan *meat analog* dengan bahan protein kacang polong dan gandum secara *freeze structuring*. Sampel PP4 (4% protein kacang polong, 13% protein gandum) memiliki preferensi tertinggi dari sisi tekstur, memiliki tekstur lebih berserat dan nilai *hardness* rendah. Sedangkan sampel dengan jumlah PPI tinggi (17%) kurang disukai, kemungkinan penyebabnya tekstur yang cenderung terlalu lunak dan serat yang berlebihan.

Uji coba perlakuan penambahan berbagai cairan yang berbeda ke dalam *meat analog* dilakukan oleh Wi *et al.*, (2020). Berdasarkan intensitas *juiciness*, perlakuan yang mendapat nilai tertinggi adalah penambahan air dan terendah pada penambahan minyak canola. Perlakuan penambahan air secara tekstur juga menghasilkan *firmness*, *elastisitas* dan *compactness* dengan intensitas tinggi. Perlakuan penambahan emulsi *oil in water* (O/W) memiliki skor tinggi pada parameter tekstur dan *overall*, karena perlakuan emulsi O/W memiliki struktur paling halus dan pori-pori paling kecil serta karakter yang homogen. Mayoritas konsumen mempertimbangkan *tenderness* sebagai kriteria yang penting dalam penerimaan dan kualitas produk daging.

Dampak sensoris perlakuan fermentasi dan perlakuan fitase terhadap pembuatan *meat analog* diteliti oleh Kaleda *et al.*, (2020). Panelis menyebutkan terdapat perbedaan pada sampel kontrol dan perlakuan fitase, tapi tidak signifikan. Perlakuan fitase memiliki tekstur yang lebih keras, warna yang lebih menyala dan *off-odor* yang lebih jelas dari kontrol. Keunikan dari sampel perlakuan fitase, beberapa panelis menyebutkan dapat mengidentifikasi rasa manis, "*bready*", "*roasty*" dan "*ashy odors*". Sampel fermentasi menunjukkan memiliki nilai tinggi secara statistik pada karakteristik seperti: intensitas *overall taste*, aroma dan *taste* asam, *cereal and legume taste*, pahit, *off odor* dan *off-taste*.

Nilai *springiness*, *chewiness*, *cohesiveness* dan *moistness* pada sampel fermentasi masuk kategori rendah. Rendahnya *water holding capacity* (WHC) mempengaruhi sampel sehingga berdampak pada *moistness* yang rendah. Catatan tambahan dari panelis menunjukkan karakteristik sampel fermentasi sebagai: kering, mudah hancur, terasa seperti obat-obatan, “rasa fermentasi”, “*soapy*” dan “*citrus off flavor*”. Fermentasi dapat memberikan beberapa *flavor* baru dalam bahan pangan dan dapat meningkatkan *taste* secara keseluruhan, tetapi dapat pula terbentuk senyawa yang memiliki *taste* tidak diinginkan seperti pahit atau sereal.

Percobaan de Angelis *et al.* (2020) menggunakan *dry fractionated pea protein* (DFPP) dan *oat protein* (OP) dalam membuat *meat analog* secara ekstrusi. Secara pengamatan visual oleh panelis, penggunaan protein isolat menghasilkan produk mengarah ke abu-abuan. Sedangkan DFPP menghasilkan produk berwarna coklat kehijauan. Penggunaan DFPP memberikan pengaruh aroma dengan intensitas tertinggi, dengan penjelasan sebagai aroma sereal, *sweet* dan *meat like odor*. DFPP masih memiliki komponen volatil yang berperan memberikan aroma legum yang tidak disukai oleh panelis. Penggunaan rempah dan bumbu umumnya digunakan untuk menutupi *flavor* tersebut de Angelis *et al.* (2020). Penambahan 30% OP dapat melembutkan intensitas aroma dan meningkatkan karakter sensori. Berdasarkan segi rasa, kombinasi DFPP dan OP menghasilkan intensitas tertinggi dan dengan catatan *taste* sereal, umami, *bitter* dan *aftertaste*.

Semakin tinggi suhu pengolahan maka dapat mempengaruhi intensitas aroma dan rasa. Rasa yang tidak diinginkan dalam protein nabati adalah pahit dan sepat, yang dapat berasal dari senyawa antinutrisional seperti saponin, atau fenolik seperti tannin dan katekin (de Angelis *et al.*, 2020). DFPP biasanya memiliki lebih banyak senyawa antinutrisional daripada isolat protein. Karena alasan tersebut, sampel DFPP diinterpretasikan lebih banyak rasa pahit. Tentunya keberadaan rasa pahit menjadi penghalang untuk memperkenalkan *meat analog* ke lebih banyak konsumen. *Off taste* juga dipaparkan oleh responden yang dideskripsikan dengan “*soapiness*”, tapi intensitasnya cenderung rendah. Panelis dalam penelitian de Angelis *et al.*, (2020) juga menyatakan bahwa sampel *meat analog* berbahan DFPP lebih lunak daripada *meat analog* dengan bahan SPI dan PPI.

Elzerman *et al.*, (2011) menyebutkan bahwa penting untuk mengetahui *meat analog* menjadi fokus utama dalam suatu hidangan atau sebagai pelengkap saja. Umumnya *meat analog* dalam bentuk *patty* untuk *burger* akan menjadi fokus utama, meskipun dimakan dengan roti. Karena menjadi titik berat dalam hidangan, *taste* dari *patty* tersebut harus menyerupai *beef patty* pada umumnya. Berbeda halnya jika *meat analog* tersebut ditambahkan dengan bentuk daging cacahan pada pasta dengan saus atau salad, maka persepsi orang terhadap tingkat kemiripannya dapat berbeda. Pemberian *breadcrumb coating*, marinasi dan saus dapat berperan penting dalam menyajikan produk *meat analog*, karena dapat menambahkan kenikmatan sensoris (Michel *et al.*, 2021).

4.4. Dampak lingkungan

Produksi daging sapi dikategorikan sebagai “*resource-intensive*” yang berarti membutuhkan banyak sumber daya seperti air, lahan, energi dan kebutuhan lainnya. *Meat analog* dipercaya dapat menjadi alternatif sumber protein yang memiliki dampak berkelanjutan, karena menggunakan sumber daya yang lebih sedikit (Van Loo *et al.*, 2020). Konsep protein alternatif juga dapat dihubungkan dengan program PBB mengenai “*The 17 Sustainable Development Goals (SDGs)*” (Gambar 4.) pada tahun 2015 yang bertujuan meningkatkan kesehatan, kesejahteraan dan pengelolaan sumber daya alam yang lebih baik. Pengurangan konsumsi daging dapat mengurangi intensitas penggunaan lahan dan konsumsi air (*goal 6* dan *15*), serta menurunkan *non-communicable diseases* (*goal 3*). Penurunan permintaan daging dapat berpotensi menurunkan harga makanan (*goal 1* dan *2*), menurunkan *greenhouse gas emissions* (GHGE) dari sektor pangan dan konsumsi pangan yang lebih bertanggung jawab (*goal 12*) (Happer & Wellesley, 2019). Penelitian Shepon *et al.*, (2016) memberikan pandangan mengenai konversi dari pakan hewan ternak menjadi daging yang siap konsumsi oleh manusia, secara keseluruhan <10% kalori pakan ternak yang terkonversi nantinya menjadi kalori dalam daging (Gambar 5.). *Plant based diet* dapat menjadi pengganti produk dari hewan ternak. Namun, menyadari bahwa seluruh populasi tidak mungkin seluruhnya langsung mengadopsi protein nabati maka unggas dan telur menjadi pilihan tepat (Shepon *et al.*, 2016). Unggas dan telur memiliki efisiensi konversi yang lebih baik dibandingkan daging sapi, seperti yang ditampilkan Gambar 5.



Gambar 4. United Nations Sustainable Development Goals (Sumber: <https://sdgs.un.org/goals>)

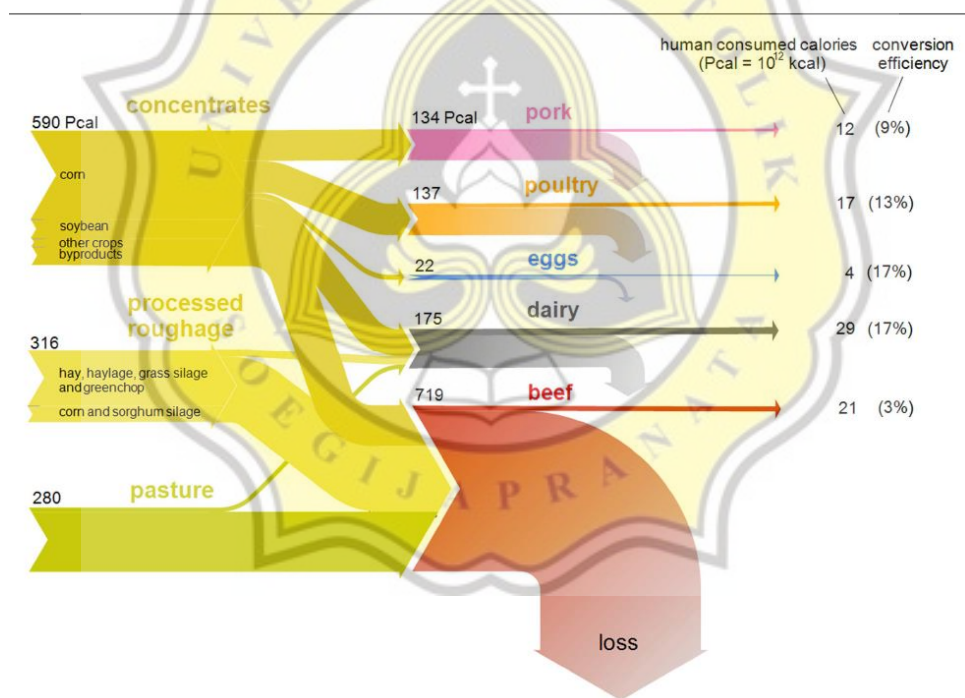


Figure 1. A Sankey flow diagram of the US feed-to-food caloric flux from the three feed classes (left) into edible animal products (right). On the right, parenthetical percentages are the food-out/feed-in caloric conversion efficiencies of individual livestock categories. Caloric values are in Pcal, 10^{12} kcal. Overall, 1187 Pcal of feed are converted into 83 Pcal edible animal products, reflecting a weighted mean conversion efficiency of approximately 7%.

Gambar 5. Skema konversi kalori pakan ternak hingga dikonsumsi manusia (Shepon *et al.*, 2016)

Heller & Keoleian (2018) melakukan penelitian *life cycle assessment* dengan konsep “*cradle-to-distribution*” pada merk salah satu *meat analog* terkemuka di Amerika Serikat

yaitu Beyond Burger[®]. Jangkauan penelitian meliputi produksi dan masuknya bahan mentah, pengolahan, pengemasan, *cold storage*, hingga distribusi untuk penjualan. Khan *et al.*, (2019) juga melakukan analisis sejenis namun dengan subjek yang berbeda yaitu pesaingnya, *meat analog* merk Impossible[™]. Perbandingan dampak lingkungan dari Beyond Burger[®] *patty*, Impossible[™] *patty* dan *beef patty* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan *life cycle assessment* antara Beyond Burger[®] *patty*, Impossible[™] *patty* dan *beef patty*.

Produk (1 kg)	GHGE (Kg CO ₂ eq.)	Energi yang digunakan (MJ)	Lahan yang digunakan (m ² a eq.)	Sumber
Beyond Burger [®] <i>patty</i>	3.53	53.79	2.64	(Heller & Keoleian, 2018)
Impossible [™] <i>patty</i>	3.50	-	2.5	(Khan <i>et al.</i> , 2019)
<i>Beef patty</i>	32.63	100.53	33.51	(Heller & Keoleian, 2018)

Hasil perbandingan lahan yang digunakan menunjukkan, tanpa beternak maka lahan yang digunakan sangat kecil dan tidak dibutuhkan lahan untuk menanam pakan ternak. *Greenhouse gasses emission* (GHGE) yang dihasilkan juga berkurang, tidak ada emisi dari kotoran hewan ternak dan pengangkutan ke rumah potong hewan dan sebagainya (Khan *et al.*, 2019).

Adopsi *meat analog* skala nasional di Amerika Serikat dapat menghasilkan pengurangan GHGE, konsumsi air, dan penggunaan lahan untuk pertanian. Gerakan 50% konsumsi protein nabati secara nasional di A.S. diprediksikan dapat mengurangi GHGE sebesar 22,78 – 45,42 Mt CO₂e, konsumsi air sebesar 6,50 – 12,00 km³, dan menurunkan penggunaan lahan seluas 111.800-190.100 km² (Goldstein *et al.*, 2017)

Perhitungan GHGE dari empat kategori sumber protein *meat analog* dilakukan oleh Fresán *et al.*, (2019). *Meat analog* dengan sumber protein gandum menghasilkan rata-rata 0,21 kg CO₂e per 100 g; kedelai rata-rata 0,21 kg CO₂e per 100 g; campuran gandum dan kedelai rata-rata 0,23 kg CO₂e per 100 g; dan berbasis kacang rata-rata 0,21 kg CO₂e per 100 g. Nilai yang berbeda dihasilkan ketika terdapat inkorporasi telur menghasilkan nilai GHGE yang lebih tinggi senilai 0,27 kg CO₂e per 100 g.


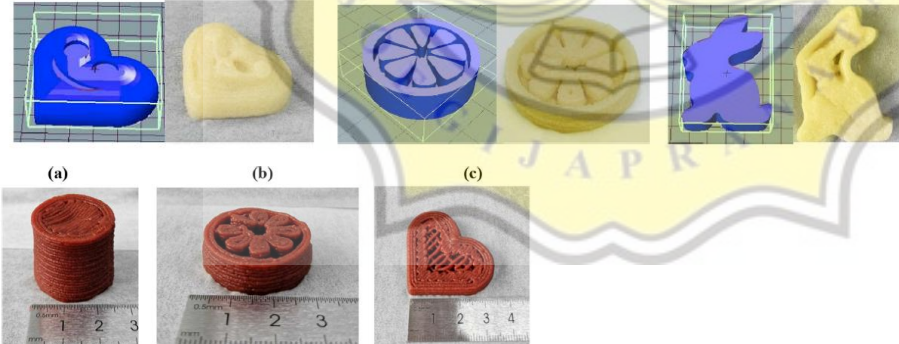
Smetana *et al.*, (2015) melakukan *life cycle assessment* terhadap beberapa jenis *meat analog*. Protein berbasis kedelai dan serangga memiliki dampak lingkungan paling rendah, dengan catatan pengembangbiakan serangga dilakukan dengan teknik yang lebih berkualitas dan efisien.

4.5. Teknologi Baru















Teknologi pengolahan pangan semakin bervariasi dari waktu ke waktu, salah satu teknologi yang mendisrupsi saat ini adalah munculnya *3D printing*. *Meat analog* juga memiliki potensi untuk dapat dihasilkan secara lebih baik melalui teknologi tersebut. Saat ini memang belum ada penelitian *3D printing* yang memang secara spesifik mengarah pada pembuatan *meat analog*. Namun, penulis menemukan beberapa penelitian tentang *3D printing* dengan material yang mirip atau kedepannya berpotensi digunakan dalam pengolahan *meat analog*. Penelitian tersebut disajikan dalam Tabel 9 disertai dengan keterangan bahan yang digunakan dan tampilan sampel jika tersedia.

Phuhongsung *et al.*, (2020b) melalui penelitiannya membuktikan bahwa SPI dapat digunakan dalam *3D printing* dengan penambahan *xanthan gum* 0.5 g /30 g SPI dan larutan NaCl 1 g / 100 ml dapat menjadi material yang menjanjikan. Berdasarkan hasil penelitian Phuhongsung *et al.*, (2020b) (Tabel 9, nomor 1, bagian A) ditampilkan bahwa semua perlakuan material dapat dicetak dengan baik, kecuali pada SPI yang tidak ditambahkan larutan apapun (S). SPI dengan penambahan larutan NaCl dapat dengan mudah ter-ekstrusi dari *nozzle* karena memiliki viskositas yang rendah, sedangkan SPI tanpa larutan memiliki karakteristik menyerupai padatan dan fluiditas buruk. Kandungan larutan NaCl yang terlalu tinggi pada larutan juga dapat merusak hasil pencetakan. Sampel SXN-3 memiliki kadar larutan NaCl tertinggi menghasilkan kekuatan mekanis yang rendah karena viskositas yang rendah (Liu *et al.*, 2018). Gel SPI tidak dapat menahan kekuatan lapisan yang terdeposit di atasnya sehingga proses pencetakan lapisan selanjutnya menjadi tidak akurat.

Tabel 9. Berbagai penelitian 3D-printing dengan sumber protein yang bervariasi

No	Bahan	Hasil	Penulis
1	SPI, xanthan gum, NaCl	<p data-bbox="539 341 591 373">(A)</p>  <p data-bbox="568 756 651 804">Designed images</p> <p data-bbox="757 756 775 778">S</p> <p data-bbox="909 756 949 778">SX</p> <p data-bbox="1061 756 1128 778">SXN-1</p> <p data-bbox="1227 756 1294 778">SXN-2</p> <p data-bbox="1393 756 1460 778">SXN-3</p>	(Phuhongsung <i>et al.</i> , 2020b)
2	SPI, <i>beetroot</i> <i>powder</i>	<p data-bbox="568 852 607 884">(B)</p>  <p data-bbox="555 1107 584 1129">(a)</p> <p data-bbox="757 1107 786 1129">(b)</p> <p data-bbox="965 1107 994 1129">(c)</p>	(Phuhongsung <i>et al.</i> , 2020a)

3 SPI

Designed images		
S		
SA		
SAG-2		
SAG-6		
SAG-10		
SG-10		

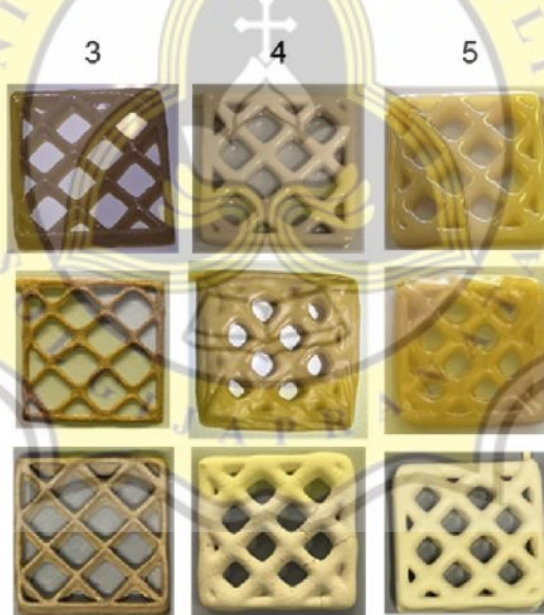
(Chen *et al.*,
2019)

- 4 Tepung jamur dan tepung gandum



(Keerthana *et al.*, 2020)

- 5 Oat protein concentrate (OPC), Faba bean protein concentrate (FBPC), dan Rye Bran



(Lille *et al.*, 2018)

6 Tepung terigu dan tepung larva serangga

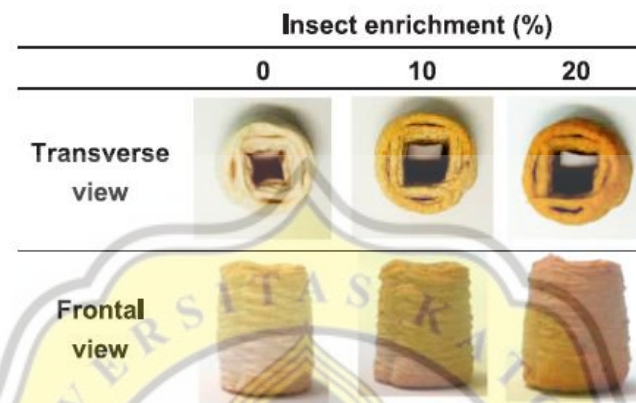


Fig. 3. 3D printed snacks with different formulations baked at 200 °C for 22 min.

(Severini *et al.*, 2018)



Campuran *xanthan gum* 0.5 g/30 g SPI dan larutan NaCl 1 g / 100 ml juga memiliki kemampuan reologis dan tekstur yang baik karena dapat mencetak bentuk yang kompleks (Tabel 9, nomor 1, bagian B) (Phuhongsung *et al.*, 2020b). Tentu hal seperti ini sangat berguna dalam pembuatan *meat analog* dengan wujud yang menyerupai daging asli, contohnya daging sapi yang memiliki *marbling* jaringan lemak. Wang *et al.* (2018) juga menyebutkan bahwa karakteristik bahan yang baik untuk penggunaan *3D printing* yaitu memiliki kekuatan mekanis yang cukup dan viskositas yang tepat agar dapat mengalir melalui *nozzle*, serta bisa terdeposit lapisan per lapisan.

Phuhongsung *et al.*, (2020a) juga melakukan penelitian kombinasi SPI, bit, dan labu untuk adonan makanan dengan *3D printing*. Penelitian ini memfokuskan pada dampak perubahan pH terhadap produk yang dihasilkan. Kombinasi SPI dan bit yang memberikan warna dapat menjadi gambaran dalam pengolahan *meat analog* berbasis *3D printing* kedepannya. Saat ini beberapa perusahaan seperti Beyond Meat® juga menggunakan bit sebagai salah satu sumber warnanya. Perlakuan untuk mengetahui perubahan warna pH produk dilakukan dengan penyemprotan larutan dengan pH tertentu. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan warna ketika pH produk berada atau lebih tinggi dari nilai 6.

Kombinasi penggunaan SPI dan hidrokoloid untuk *3D printing* diteliti oleh Chen *et al.*(2019). Hidrokoloid yang menunjukkan hasil terbaik adalah campuran gelatin dan natrium alginat. Penambahan 2, 6, dan 10% gelatin (SAG 2, SAG 6, SAG 10) disertai natrium alginat 0.5% dapat menghasilkan kombinasi campuran terbaik. Penambahan natrium alginat dan gelatin menyebabkan peningkatan viskositas dan kekuatan mekanis campuran. Sampel tanpa penambahan gelatin (S dan SA) dapat terekstrusi lebih mudah (Tabel 9, nomor 3), tetapi menghasilkan bentuk yang kurang baik karena tidak memiliki kekuatan mekanis yang cukup (Liu *et al.*, 2018). Penambahan gelatin dapat meningkatkan kekuatan mekanis, kualitas penampilan struktur, dan stabilitas dari objek yang dicetak (Chen *et al.*, 2019)

Penelitian Severini *et al.* (2018) menambahkan tepung larva serangga untuk membuat *snack* melalui *3D printing*. Penambahan tepung serangga sebanyak 20 g /100 g menghasilkan adonan yang lebih lembut. Secara nutrisi, dengan penambahan tepung

serangga meningkatkan total asam amino esensial dari 32,5 (tanpa penambahan) menjadi 38,2 (10% penambahan) dan 41,3 (20% penambahan) g/100g protein.

Tidak terbatas pada SPI saja, isolat dan konsentrat dari bahan lain juga diteliti penggunaannya dalam *3D printing*. Lille *et al.* (2018) meneliti penggunaan *rye bran*, *oat protein concentrate* (OPC), dan *faba bean protein concentrate* (FBPC). Bahan-bahan yang digunakan ini memiliki kandungan pati sehingga dapat tergelatinisasi ketika dipanaskan. Rye bran dapat membentuk pasta yang sesuai untuk *3D printing* dengan 30% komponen padatan. OPC dapat tercetak dengan baik dengan formulasi 35% komponen padatan. FBPC membutuhkan komponen padatan yang lebih tinggi yaitu 45% untuk dapat menghasilkan produk terbaik. Faktor seperti komposisi bahan, ukuran dan bentuk partikel tak larut, serta efek bahan terhadap panas mempengaruhi karakteristik reologis pasta yang digunakan dalam *3D printing* (Lille *et al.*, 2018).

Keerthana *et al.* (2020) melakukan penelitian *3D printing* dengan material bubuk jamur dan tepung terigu. Formulasi bubuk jamur dengan konsentrasi 20% menghasilkan produk terbaik. Inkorporasi bubuk jamur dalam tepung terigu meningkatkan *printability* dari campuran, karena terdapat interaksi antara jaringan serat dari jamur dengan gluten dari tepung terigu. Penelitian ini memfokuskan pada pembuatan *snack*, dengan proses pencetakan secara *3D-printing* dan pemanasan dengan *microwave*. Berdasarkan analisis proksimat didapatkan hasil bahwa produk memiliki kandungan protein sejumlah 14.9 g/ 100 g dan serat sejumlah 5.3 g/ 100 g. Memang produk yang dihasilkan berbeda, namun hasil ini dapat dijadikan gambaran mengenai penggunaan jamur dalam pengolahan *meat analog*.

3D-printing menjadi terobosan baru dalam pengembangan *meat analog*, masih diperlukan banyak penelitian lanjutan untuk menyempurnakan produk yang dihasilkan. Mengingat bahwa dalam daging umumnya terdapat dua komponen utama yang harus “diduplikasi” yaitu otot, dan lemak, maka diperlukan penelitian yang lebih spesifik. Berdasarkan hasil penelitian yang telah ada saat ini, protein isolat atau konsentrat dapat memiliki viskositas dan hasil produk yang baik dengan formulasi tepat. Namun, penulis masih belum menemukan penelitian yang mengarah pada penelitian penggunaan lemak nabati dalam produk *3D-printing*.