

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pangan Fungsional

Pangan fungsional didefinisikan sebagai produk makanan atau minuman yang mempunyai kandungan nutrisi yang memiliki manfaat lebih kepada manusia bisa melampaui kandungan nutrisinya saja, baik untuk meningkatkan status kesehatan atau untuk mencegah terjadinya berbagai kasus penyakit yang mungkin terjadi. Pangan fungsional bukan hanya bahan makanan yang dikonsumsi dalam saluran pencernaan, tetapi sudah menjadi salah satu cara atau media untuk mencegah bahkan bisa sebagai media untuk mengobati beberapa penyakit tertentu. Hal ini dikarenakan adanya beberapa kandungan esensialnya, pangan fungsional dapat memberikan dampak positif bagi kesehatan manusia jika dikonsumsi dengan teratur dan bervariasi dalam menu diet setiap hari (Abbas, 2020).

Food for Specified Health Uses (FOSHU) mengklasifikasikan komponen komposisi utama dengan fungsi spesifiknya bagi kesehatan seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Kandungan utama pangan fungsional

No	Fungsi spesifik terhadap kesehatan	Komponen ingredien utama
1.	Pangan untuk memodifikasi kondisi saluran pencernaan (gastrointestinal)	Oligosakarida, bakteri asam laktat, laktosa, bifidobakteria, serat pangan, dekstrin yang tercerna, polidekstrin, guar gum, biji pelapis psillium, dsb.
2.	Pangan yang berhubungan dengan level kolesterol darah	Kitosan, protein kedelai, natrium alginat yang terdegradasi
3.	Pangan yang berhubungan dengan level gula darah	Dekstrin yang tidak tercerna, albumin gandum, polyphenol dari jambu dan teh, L-arabiosa, dsb.
4.	Pangan yang berhubungan dengan tekanan darah	Laktotripeptida, asam geniposidik, kasein dodekanepitida, peptide sarden, dsb.

5.	Pangan yang berhubungan dengan kesehatan gigi	Paratinosa, maltitiosa, erithritol, dsb.
6.	Pangan yang berhubungan dengan kondisi saluran pencernaan (gastrointestinal) serta hubungannya dengan kolesterol dan triasilgliserol	Natrium alginat yang dapat terdegradasi, serat pangan dari dedak biji psyllium, dsb.
7.	Pangan yang berhubungan dengan absorpsi mineral	Kalsium sitrat malat, kasein fosfopeptida, besi hem, frakuto-oligosakarida, dsb.
8.	Pangan yang berhubungan dengan osteogenesis	Isoflavon kedelai, protein berbasis susu, dsb.
9.	Pangan yang berhubungan dengan triasilgliserol	Asam lemak rantai sedang, dsb.

Sumber: (FOSHU, 1984)

Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu tentang pangan fungsional.

Tabel 2.2 Penelitian terlebih dahulu untuk pangan fungsional

No	Sumber pangan	Senyawa Bioaktif	Hasil penelitian	Peneliti
1.	Bekatul Beras	Asam ferulat, asam fitat, kampesterol, asam linoleate, γ Oryzanol, α Tokoferol, asam salisilat, asam kafeat, asam koumarat, Tocotrienol, dan β sitosterol.	<i>Superfood</i> pangan fungsional mengandung bekatul beras yang mengandung senyawa bioaktif yang bisa bersinergi membentuk efek positif untuk kesehatan	(Estiasih et al., 2021)
2.	Talas Beneng	Inulin	Pati Talas Beneng termodifikasi Inulin	(Anjani & Indirani, 2022)
3.	Tempe	Zat besi, asam folat, dan vitamin B12,	Tempe sebagai pangna fungsional dalam meningkatkan kadar hemoglobin	(Pinasti et al., 2020)

			remaja penderita anemia	
4.	Daun Torbangun	Protein, vitamin B, vitamin C, dan Zn	Keripik Daun Torbangun	(Sembiring, 2020)
5.	Temulawak	Kragenan dan gula	<i>Jelly Drink</i>	(Hartati & Djauhari, 2017)

Dalam peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan No.HK.00.05.52.0685 tahun 2005 pada pasal 5 ayat 1 disebutkan bahwa komponen dari pangan fungsional dikelompokkan dalam empat belas golongan sebagai berikut:

Tabel 2.3 Sumber utama komponen bioaktif

No	Komponen Bioaktif	Sumber utama
1.	Vitamin	Sayuran, buah, susu, talas, telur, keju, daging, hati, gandum, kacang-kacangan dan ragi
2.	Mineral	Daging, alga, kacang-kacangan, sayur dan buah
3.	Gula alkohol	Jagung
4.	Asam lemak tidak jenuh	Minyak ikan
5.	Peptida dan protein tertentu	Rumput laut, susu, daging dan telur
6.	Asam amino	Daging, telur, susu alga
7.	Serat pangan	Sayuran, buah kelapa
8.	Prebiotik	Oats, asparagus, pisang, buah berry, bawang putih dan bawang merah
9.	Probiotik	Susu, daging, buah dan sayur
10.	Kolin, Lestin dan Inositol	Sayuran dan daging
11.	Karnitin dan Skualen	Minyak ikan
12.	Isoflavon (Kedelai)	Kacang kedelai, talas dan katuk
13.	Fitosterol dan Fisotanol	Kacang tanah, buah delima dan katuk
14.	Polifenol	Daun katuk, talas, kulit buah manggis, alga dan pisang
15.	Inulin	Umbi dahlia, bawang putih, bawang merah, pisang dan asparagus

Sumber: (Abbas, 2020; Fuadi et al., 2018; Handito et al., 2019)

2.2 Pati

Pati adalah salah satu dari jenis karbohidrat yang biasanya terdapat di alam dan dapat diperoleh dari bagian tubuh tumbuhan seperti umbi, biji, akar dan batang. Pati menjadi salah satu sumber karbohidrat primer dan merupakan sebuah bahan baku dalam industri pangan, farmasi atau kosmetik. Beberapa industri banyak menggunakan pati jagung, singkong, gandum dan kentang (Aryanti et al., 2014).

Pati bisa digunakan dalam makanan. Pati bisa dipakai dalam bentuk murni yang menjadi tambahan *cereal*. Pati juga bisa dipakai untuk pengental dan membentuk gel dengan mengguakan fungsi gelatinisasinya. Pada prinsipnya fungsi pati adalah sebagai peyerap air yang menyerap banyak air bebas yang tersedia dan sebagai penyedia struktur dan tekstur yang diinginkan dalam makanan (Daniel et al., 1985).

Selain itu, pati juga merupakan salah satu sumber dari pangan fungsional. Beberapa penelitian yang telah memanfaatkan pati sebagai pangan fungsional berikut adalah data dari penelitian terlebih dahulu.

Tabel 2.4 Hasil penelitian pati terlebih dahulu

No	Jenis Pati	Hasil penelitian	Peneliti
1.	Garut dari petani Malang	Penambahan penstabil CMC dan Gum Arab terhadap karakteristik cookies fungsional dari pati garut termodifikasi	(Hartatik & Damat, 2017)
2.	Pati sagu, tempe dan beras hitam	<i>Snack bar</i>	(Puspita et al., 2020)
3.	Pati jagung	Mie jagung	(Rasyid & Zainuddin, 2018)
4.	Pati kimpul modifikasi	Mie instan komposit terigu-Pati Kimpul modifikasi	(Putra et al., 2019)
5.	Tepung Talas Beneng	Mie basah	(Lestari & Susilawati, 2015)
6.	Pati resisten dari beras	Pangan fungsional	(Rozali et al., 2018)

2.3 Talas Beneng

Salah satu sumber pati di Indonesia yang belum banyak dimanfaatkan tetapi mempunyai nilai gizi dan ekonomi yang tinggi adalah pati dari Talas Beneng yang banyak tumbuh di daerah Banten. Talas Beneng memiliki keunggulan yang tidak dimiliki talas lain, yang paling utama adalah ukuran umbi dari talas beneng yang cukup besar. Selain itu, Talas Beneng juga memiliki kandungan protein yang cukup tinggi dibandingkan talas lainnya. Di Pandeglang, Banten Talas Beneng juga dimanfaatkan sebagai makanan alternatif dan tangkai daunnya juga dapat dimanfaatkan sebagai sayuran. Kemudian, Talas Beneng juga memiliki kandungan air yang rendah sehingga memiliki umur simpan yang baik. (Susilawati et al., 2021).

Secara rinci kandungan nutrisi dari Talas Beneng disajikan pada tabel berikut

Tabel 2.5 Kandungan nutrisi Talas beneng

No	Jenis Analisa	Satuan	Hasil
1.	Kadar Air	%	6,10
2.	Kadar Abu	%	6,11
3.	Kadar Lemak	%	0,39
4.	Kadar Protein	%	6,70
5.	Karbohidrat	%	80,70
6.	Energi	Kkal/100mg	353,13
7.	Serat Pangan	%	2,43
8.	Total Karoten	ppm	6,92
9.	Asam Oksalat	Ppm	648,87
10.	Fe	Mg/100g	16,24
11.	Zn	Mg/100g	7,49
12.	TPC	cfu/g	$2,1 \times 10^6$
13.	Kapang	Cfu/g	$7,6 \times 10^5$
14.	E Coli	apm/g	>1100
15.	Kadar Serat	%	6,01
16.	Kadar pati basis kering	%	79,67

Sumber: (Budiarto & Rahayuningsih, 2017; Susilawati et al., 2021)

Berikut ini adalah gambar dari tanaman Talas Beneng yang tumbuh di Pandeglang, Banten. Umbi dari Talas Beneng memiliki daging yang berwarna kuning seperti gambar dibawah ini (Susilawati et al., 2021).



Gambar 2.1 Talas Beneng (Susilawati et al., 2021)

2.4 Bawang Putih

Bawang putih adalah umbi berwarna putih yang mempunyai khasiat antimikroba bahan penambah cita rasa dan pengawet alami makanan. Umbi bawang putih memiliki kandungan lebih dari 100 metabolit sekunder yang komponen terbesar terdiri dari senyawa organosulfur allisin sebesar 70-80% dari total tiosulfinat. Senyawa organosulfur bawang putih berpotensi sebagai antimikroba dengan menghambat pertumbuhan beberapa mikroba seperti jamur dan bakteri (Mouliya et al., 2018).



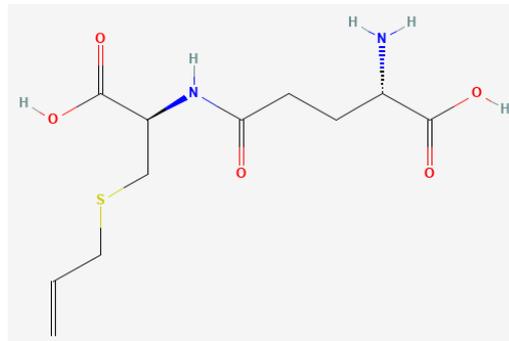
Gambar 2.2 Bawang Putih (National Institutes of Health, 2020)

Berikut ini adalah aplikasi dari pemanfaatan bawang putih berdasarkan sumber dari penelitian terdahulu.

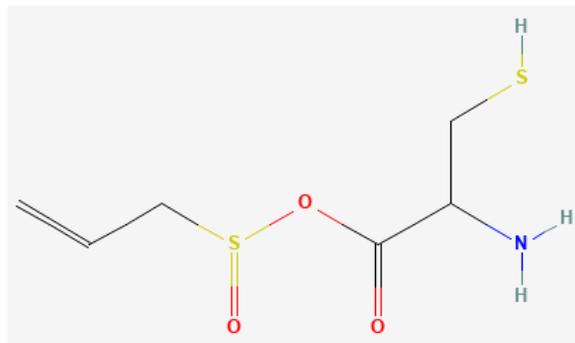
Tabel 2.6 Pemanfaatan Bawang Putih

No	Pemanfaatan	Sumber
1.	Menghambat bakteri <i>Aggregatibacter Actinomycetemcomitans</i> Penyebab Gingivitis	(Sutiyono, Triagus Nursasongko et al., 2019)
2.	Sebagai antimikroba	(Moulia et al., 2018)
3.	Sebagai antioksidan	(Prasanto et al., 2017)
4.	Menurunkan tekanan darah dan kolestrol	(Varshney & Budoff, 2016)
5.	Mempengaruhi rasa dan aroma	(Hernawan & Setyawan, 2003)
6.	Terapi alternatif diabetes melitus tipe 2	(Lisiswanti & Haryanto, 2017)

Senyawa pada Bawang Putih kebanyakan mengandung belerang yang mempengaruhi rasa, aroma dan sifat farmakologi bawang putih. Dua senyawa organosulfur yang paling penting dalam umbi bawang putih adalah asam amino non-volatil, yaitu γ -glutamil-S-alk(en)il-L-sistein dan minyak atsiri S-alk(en)il-sistein sulfoksida atau alliin (Hernawan & Setyawan, 2003). Berikut adalah gambar dari senyawa organosulfur yang terkandung dalam Bawang Putih.



Gambar 2.3 *gamma-Glutamyl-S-allylcysteine* (National Center for Biotechnology Information, 2022a)



Gambar 2.4 *S-Allyl-cysteine-sulfoxide* (National Center for Biotechnology Information, 2022b)

Berikut adalah kandungan nutrisi pada Bawang Putih yang disajikan dalam tabel.

Tabel 2.7 Kandungan nutrisi Bawang Putih

No.	Gizi	Satuan	Jumlah
1.	Air	g	58,58
2.	Energi	kcal	149
3.	Protein	g	6,36
4.	Total lipid	g	0,50
5.	Karbohidrat	g	33,06
6.	Serat	g	2,1
7.	Total gula	g	1,00
Mineral			
8.	Kalsium	mg	181
9.	Besi	mg	1,70

10.	Magnesium	mg	25
11.	Fosfor	mg	153
12.	Potasium	mg	401
13.	Sodium	mg	17
14.	Zinc	mg	1,16
Lipid			
15.	Total asam lemak jenuh	g	0,089
16.	Total asam lemak tidak jenuh-mono	g	0,011
17.	Total asam lemak tidak jenuh-poly	g	0,249
18.	Total asam lemak trans	g	0
19.	Kolesterol	mg	0
Vitamin			
20.	Vit. C	mg	31,2
21.	Tiamin	mg	0,200
22.	Riboflavin	mg	0,110
23.	Niacin	mg	0,700
24.	Vit. B6	mg	1,235
25.	Folat	µg	3
26.	Vit. B12	µg	0
27.	Vit. A, RAE	µg	0
28.	Vit. A, IU	IU	9
29.	Vit. E	mg	0,08
30.	Vit. D (D2+D3)	µg	0
31.	Vit. D	IU	0
32.	Vit K	µg	1,7

Sumber: (Moulia et al., 2018)

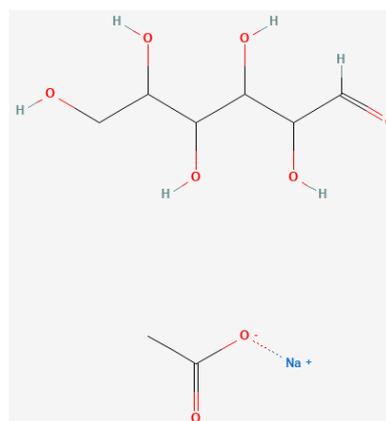
2.5 Na-CMC

Carboxymethyl Cellulose Sodium (Na-CMC) merupakan salah satu senyawa turunan selulosa yang dapat larut dalam air. Na-CMC banyak digunakan sebagai zat aditif pada industri seperti industri makanan, farmasi, detergen, tekstil dan produk kosmetik sebagai pengental, penstabil emulsi atau suspensi serta bahan pengikat. Proses dari sintesis Na-CMC ini melalui dua tahap yaitu tahap pertama adalah tahap alkalisasi dan tahap kedua adalah karboksimetilasi. Tahap Alkalisasi dengan menggunakan NaOH yang bertujuan

mengaktifkan gugus -OH pada senyawa selulosa. Pada proses karboksimetilasi, gugus -OH pada struktur selulosa akan tergantikan oleh $\text{ClCH}_2\text{COONa}$ (*Sodium chloroacetate*), hal ini sebagai tanda bahwa senyawa Na-CMC terbentuk. Penggunaan *Sodium chloroacetate* (NaMCA) dengan jumlah optimal akan meningkatkan karakteristik dari senyawa Na-CMC (Salimi et al., 2021).

Na-CMC memiliki gugus natrium akan berwarna putih hingga hampir putih, tidak berbau dan berasa, bubuk granular serta bersifat higroskopis setelah melewati proses pengeringan. Praktis tidak larut di dalam aseton, Etanol (95%), Eter, serta Toluena. Mudah terdispersi dalam air pada semua suhu yang akan membentuk larutan koloid jernih. Kelarutan di dalam air bervariasi tergantung dari derajat substitusi. Viskositas larutan Na-CMC bernilai 5-2000 mPa (5-2000 cP). Seiring meningkatnya konsentrasi maka akan menghasilkan viskositas larutan yang meningkat. Larutan kental dari Na-CMC stabil di pH 4-10 dan optimum di pH netral (Salimi et al., 2021).

Na-CMC berfungsi sebagai *stabilizer* yang bisa mengendalikan perpindahan air dalam adonan mie saat dimasak, sehingga adonan mie menjadi lebih kompak serta tidak mudah hancur. Selain itu bisa berfungsi untuk mencegah sinerisis, yaitu pecahnya gel karena perubahan suhu (Mariyani, 2011).



Gambar 2.5 *Natrium-carboxymethyl-cellulose (National Center for Biotechnology Information, 2022c)*

Dalam tepung terigu terkandung protein yang mempunyai gluten, sedangkan untuk kandungan protein dalam tepung lainnya tidak memiliki gluten. Gluten digunakan untuk memberikan hasil elastisitas dan tekstur pada mie. Gluten memberikan sifat elastisitas pada mie yang membuat mie tahan terhadap penarikan dalam proses pembuatannya. Untuk pengganti gluten pada tepung agar mie yang dihasilkan memiliki karakteristik yang kenyal dan elastis maka digunakan bahan tambahan, yaitu Na-CMC. Na-CMC dapat meningkatkan daya serap air serta memperbaiki tekstur mie yang diproduksi dari tepung yang tidak memiliki gluten. Na-CMC pada mie kering bisa menjadi pengikat bahan-bahan lainnya dan memberikan tekstur yang halus setelah mie direbus (Noviliani & Kanetro, 2019).

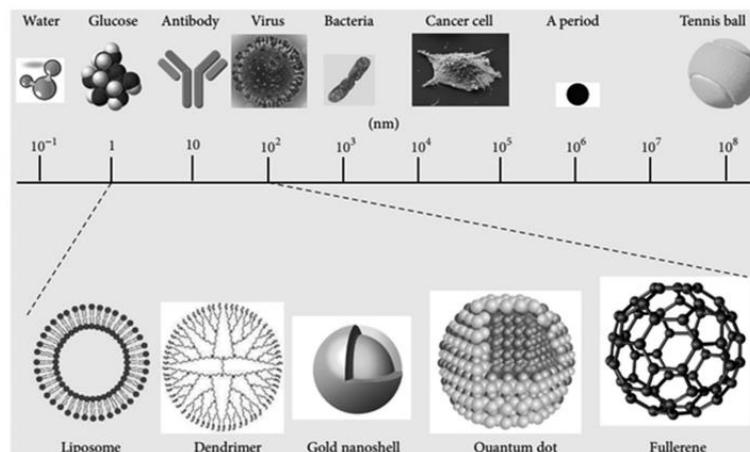
2.6 Nanoteknologi

Nanoteknologi merupakan ilmu multidisiplin yang mengkombinasikan antara bioteknologi, kimia, mesin dan elektronika untuk mempelajari rekayasa dan pembuatan sistem atau perangkat dengan level atom/ molekul/ supramolekul dengan fungsi dan properti yang luar biasa. Penemuan nanoteknologi dikaitkan dengan Dr. Richard Phillips Feynman, seorang fisikawan dari Amerika dan pemenang Nobel yang telah mempresentasikan makalah yang berjudul "There's Plenty of Room at the Bottom" pada pertemuan tahunan American Physical Society di California Institute of Technology. Namun, Dr. Feynman tidak menjelaskan secara rinci istilah dari "nanoteknologi". Kemudian, pada tahun 1974, Dr. Taniguchi menggunakan istilah "nanoteknologi" dalam sebuah makalah berjudul "On the Basic Concept of Nanotechnology" (Anandharamkrishnan & Parthasarathi, 2019).

National Nanotechnology Initiative (NNI) yang berbasis di Amerika Serikat mendefinisikan nanopartikel menjadi sebuah penelitian dan pengembangan teknologi pada skala atom, molekuler dan makromolekul yang mengarah pada penciptaan dan penggunaan struktur, perangkat dan sistem yang dikontrol dengan skala ukuran sebesar 100 nm. British Standards Institution

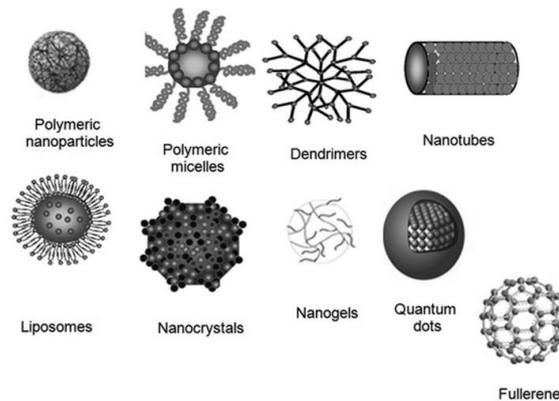
mendefinisikan nanoteknologi sebagai desain, karakterisasi, produksi, perangkat, sistem dan penerapan struktur yang dikontrol dengan bentuk dan ukuran pada skala nano. Ukuran dari nanopartikel umumnya berukuran 100 nm atau kurang dari 100 nm. Nanopartikel memiliki perbedaan sifatnya dari sifat pada ukuran besarnya (Anandharamakrishnan & Parthasarathi, 2019).

Penyebab dari perbedaan sifat ini dikarenakan partikel berukuran nano memungkinkan interaksi pada tingkat molekuler dan membuat bahan dari ukuran nanopartikel lebih efisien daripada ukurnya *bulk*-nya. Rasio permukaan terhadap. Rasio permukaan yang tinggi terhadap inti merupakan karakteristik unik dari nanopartikel yang bisa mewakili lebih banyak atom di permukaan nanopartikel daripada jauh di dalam intinya. Permukaan atom ini memiliki potensi menciptakan ikatan baru dan kuat yang menghasilkan sifat yang lebih reaktif daripada partikel mikro dan makro (Anandharamakrishnan & Parthasarathi, 2019).



Gambar 2.6 Ukuran relatif nanopartikel dan bahan lainnya
(Anandharamakrishnan & Parthasarathi, 2019)

Berikut adalah beberapa gambar dari contoh aplikasi nanopartikel yang sudah banyak dikembangkan (Anandharamakrishnan & Parthasarathi, 2019).



Gambar 2.7 Nanomaterial dalam aplikasinya

Dalam perkembangannya nanopartikel bisa diaplikasikan dalam industri pangan. Dalam industri pangan nanopartikel bisa meningkatkan sifat dari gizi, stabilitas fisik dan ketersediaan hayati. Nanoteknologi mempunyai potensi besar untuk mengembangkan ilmu pangan konvensional dan industri makanan. Berikut adalah beberapa aplikasi nanopartikel di bidang industri:

- *Smart Agriculture: nanofertilizer* mengandung zink, silika, besi dan lainnya untuk mengontrol pelepasan pupuk dan memperbaiki kualitas, serta *nanopesticide* untuk mengurangi dosis dan meningkatkan khasiat dari pengendalian hama
- *Nanobiosensors*: mendeteksi patogen, zat toksik dan zat kontaminan di makanan
- *Smart field sensing systems*: untuk memantau pertumbuhan tanaman dan kondisi dilapangan lainnya. Seperti, gizi, suhu, kesuburan tanah dan tingkat kelembaban
- *Nano-bases nutrient delivery system*: pengiriman mikronutrien dan senyawa bioaktif yang sensitive dengan efektif
- *Nanotechnology-based equipment-insulation coating material*: untuk mengurangi *heat loss* dalam industri makanan
- *Biodegradable nanocomposite-based food packaging material*: untuk meningkatkan sifat mekanik dan sebagai *barrier* (Anandharamkrishnan & Parthasarathi, 2019).

Berikut adalah beberapa aplikasi dari nanoteknologi yang dikembangkan dalam industri pangan

Tabel 2.8 Aplikasi nanoteknologi di industri pangan

No	Bidang	Aplikasi
1	Agrikultur	Peptisida
		Pupuk
2	Pengolahan makanan (<i>interactive smart food</i>)	Nanosensor
		Nanoenkapsulasi
		Nanoemulsi
3	Gizi (<i>food fortification and modification</i>)	Electrospraying
		Nanopartikel solid lipid
		Pengiriman nutrisi dan zat lainnya (<i>nutraceutical</i>)
		Proteksi mineral dan vitamin
4	Material kemasan (<i>smart packaging and food tracking</i>)	Pemurnian air minum
		Proteksi UV
		Antimikroba
		Zat sensor

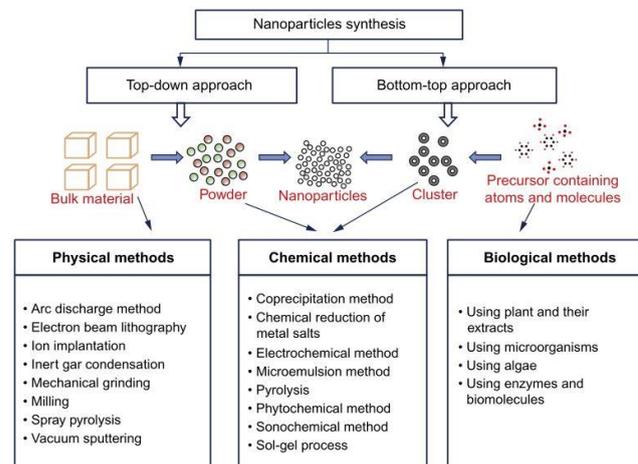
Sumber: (Anandharamakrishnan & Parthasarathi, 2019)

Nanopartikel memiliki beberapa keuntungan, yaitu bentuk ukuran yang lebih kecil sehingga bisa meningkatkan luas permukaan dan menghasilkan penyebaran zat aktif lebih cepat di lingkungan yang berair seperti pada tubuh manusia dan dapat meningkatkan bioavailabilitas yang lebih besar. Nanopartikel juga dapat diaplikasikan pada pengiriman obat, peraba gas, peraba kimia dan biologis, penangkapan CO₂ dan antioksidan (Muchtaromah et al., 2020).

2.7 Teknik Pembuatan Nanopartikel

Sintesis dari nanopartikel dibagi menjadi dua kategori, yaitu metode *top-down* dan *bottom-up*. Membentuk material dari ukuran besar menjadi ukuran nano disebut dengan *top-down*. Sedangkan membuat nanomaterial dari ukuran atomnya disebut dengan *bottom-up*. Sifat dari nanomaterial, seperti elektrik, mekanik, kimia dan sifat cahayanya, sangat bergantung pada ukuran, bentuk,

morfologi, komposisi, kristalinitas dan lainnya. Pemilihan metode yang baik diperlukan untuk menyintesis nanomaterial dengan sifat yang diinginkan (Anandharamakrishnan & Parthasarathi, 2019).



Gambar 2.8 Klasifikasi teknik pembuatan nanopartikel (Devatha & Thalla, 2018)

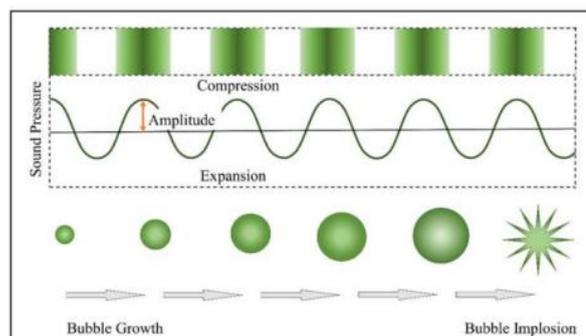
Pada metode *top-down* menggunakan prinsip mengambil bagian dari material dengan metode fisika untuk membuat struktur nano yang diinginkan. Dalam metode *top-down* digunakan untuk memperluas teknologi saat ini dalam merencanakan perangkat dengan fitur desain ukuran yang lebih kecil. Contoh yang paling umum digunakan adalah pembuatan *chip* semikonduktor berdasarkan litografi yang mencoba mencapai “*down*” sebanyak mungkin ke ukuran atom (Milev et al., 2005).

Ultrasonikasi sering digunakan untuk memecahkan atau menggumpalkan partikel dalam larutan dengan efek mekanisnya, seperti *shock waves*. Tabrakan dengan kecepatan yang tinggi di antara partikel-partikel tersebut disebabkan oleh *shock waves* yang intens, dengan demikian antar partikel terbentuk pencairan lokal (Okitsu et al., 2005).

Ultrasonikasi merupakan teknik penggunaan gelombang ultrasonic terutama akustik dengan frekuensi lebih besar dari 20 kHz. Gelombang ultrasonik adalah rambat energi dan momentum mekanik sehingga membutuhkan sebuah medium untuk merambat sebagai interaksi dengan molekul-molekul. Aplikasi dari

gelombang ultrasonik adalah dalam pemanfaatan yang menimbulkan efek kavitasi akustik. Efek ini digunakan untuk pembuatan nanopartikel dengan metode emulsifikasi (Kurniawan, 2013).

Dalam proses ultrasonikasi, gelombang yang merambat masuk ke dalam cairan menghasilkan siklus tekanan tinggi (kompresi) dan tekanan rendah (pencairan) bolak balik, dengan kecepatan tergantung pada frekuensi. Dalam siklus tekanan rendah gelembung kecil yang terbentuk dalam cairan sonikasi sebagai hasil dari gelombang ultrasonikasi intensitas tinggi. Gelembung-gelembung mencapai volume maksimum dimana mereka tidak dapat lagi menyerap energi dan kemudian pecah selama siklus tekanan tinggi (Shojaeiarani et al., 2020).



Gambar 2.9 Mekanisme pembuatan nanopartikel dengan metode ultrasonikasi (Shojaeiarani et al., 2020)

Energi yang masuk saat peristiwa regangan dan keluar saat peristiwa rapatan energi yang keluar lebih kecil daripada energi yang masuk ke dalam gelembung, sehingga gelembung akan memuai sedikit demi sedikit selama peristiwa regangan kemudian akan menyusut selama peristiwa rapatan. Ukuran kritis dari gelembung ini bisa disebut ukuran resonan yang tergantung pada fluida serta frekuensi suara. Dalam kondisi ini, gelembung tidak mampu lagi menyerap energi dengan efisien. Tidak adanya energi yang masuk, gelembung tidak akan bisa mempertahankan dirinya, fluida di sekitarnya akan menekannya serta gelembung akan mengalami ledakan hebat yang menghasilkan tekanan sangat besar. Peristiwa ini bisa dianalogikan dengan tekanan di dasar lautan serta suhu yang sangat tinggi dianalogikan dengan suhu pada permukaan matahari

(Kurniawan, 2013). Dimana suhu lokalnya mencapai 5.000-25.000 K dan tekanannya mencapai 1.000 bar (Anandharamakrishnan & Parthasarathi, 2019).

2.8 Nanokomposit

Bahan komposit adalah bahan multifase yang diperoleh dengan kombinasi buatan dari bahan yang berbeda, sehingga mencapai sifat-sifat yang tidak dimiliki dari masing-masing komponen itu sendiri. Material komposit dapat meningkatkan sifat kekuatan satu bahan dengan penambahan bahan lain serta ketangguhan, penurunan koefisien ekspansi termal, dan peningkatan konduktivitas termal atau listrik (Chung, 2015).

Sifat dari material komposit dipengaruhi oleh bahannya, yaitu mencakup matriks dan *fiber*, *filler*, bentuk, ukuran, jumlah, susunan pengepakan dan urutan penumpukan dari *fiber/filler* dan interaksi diantara komponennya. Matrix dan *fiber/fillers* memiliki komposisi masing masing, yaitu: (Akay, 2015)

Matrix:

1. Untuk menyatukan *fiber* pada susunan tertentu
2. Untuk melindungi permukaan *fiber* dari kerusakan
3. Untuk mengirimkan tekanan ke *fiber*
4. Untuk memberikan hasil akhir yang baik pada produk

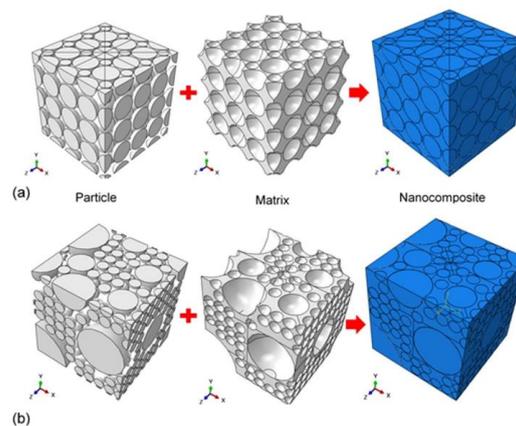
Fiber:

2. Untuk memberikan kekuatan
3. Untuk memberikan kekakuan
4. Untuk menghambat keretakan
5. Untuk mengurangi biaya pada beberapa *fillers*

Nanokomposit adalah komposit matrik yang mengandung bahan yang mempunyai ukuran dibawah 100 nm, ukuran yang kecil menawarkan beberapa performa kinerja yang bisa dikontrol yang berbeda dari harapan pengembangan di dunia makro. Keuntungan dalam mencapai skala nano adalah menguatkan sifat mekanik atau untuk meningkatkan sifat yang diinginkan. Nanokomposit

bisa merekayasa atom sedemikian rupa sehingga memiliki sifat mekanik, kimia, listrik, magnetik atau optik yang baru (Gupta et al., 2010).

Material komposit banyak digunakan di berbagai bidang seperti bidang penerbangan, otomotif, kelautan, infrastruktur, militer, elektronik, pangan dan industri. Nanokomposit yang baru dikembangkan memperluas aplikasi di berbagai bidang industri. Dengan partikel berukuran nanometer hal ini bisa menunjukkan peningkatan dari sifat kekakuan, *Heat Distortion Temperature* (HDT), stabilitas dimensi, penghalang gas, konduktivitas listrik dan tahanan api (Gupta et al., 2010).



Gambar 2.10 Model matriks nanokomposit (a) susunan partikel teratur (b) susunan partikel tidak teratur (Karimzadeh et al., 2019)