

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Indonesia adalah negara dengan komoditas pertanian terbesar, salah satunya adalah ubi kayu. Ubi kayu atau ketela pohon (*Manihot Esculenta Crantz*) merupakan tumbuhan yang berasal dari daerah tropis Amerika Tengah dan Amerika Selatan. Selama berabad-abad, orang Spanyol membawa ubi kayu ke Filipina dari Amerika Utara pada abad ke-16 dan 17, dan sebagian besar yang berkembang di Indonesia adalah pribumi Kepulauan Filipina. Ubi kayu telah dibudidayakan di Indonesia secara turun-temurun oleh masyarakat. Ubi kayu ini merupakan sumber karbohidrat dan berfungsi sebagai bahan makanan dari kelompok umbi-umbian yang umum digunakan sebagai pengganti beras dan di beberapa daerah tanaman ini dianggap sebagai makanan pokok. Hasil produksi ubi kayu Indonesia sebagian besar digunakan untuk kebutuhan pangan dan digunakan sebagai bahan industri (Saleh dan Widodo, 2007).

Pati adalah biopolimer terbarukan yang dihasilkan dari berbagai macam tumbuhan, salah satunya adalah pati yang terbuat dari umbi kayu. Ketersediaan pati cukup melimpah di alam seperti tapioka, sagu, terigu, jagung dan sebagainya. Pada tahun 2012, kebutuhan pati untuk memenuhi kebutuhan industri mencapai 22-25 juta ton (Schrijver & Homburg, 2013) dengan output \$ 48.8 milyar. Saat ini, penggunaan utama pati sekitar 60% digunakan untuk industri pangan (*food*) dan 40% untuk aplikasi industri lain (*non-food*). Jenis industri yang memanfaatkan pati seperti industri pangan, kimia, farmasi, kertas, tekstil dan kosmetik.

Pati alami memiliki kelemahan sebagai bahan baku industri yaitu karakteristiknya (viskositas, kelarutan, ukuran) tidak sesuai dengan kebutuhan industri. Hal tersebut yang mendorong para pelaku industri dan peneliti untuk terus mengembangkan aplikasi pati dalam dunia industri dalam rangka meningkatkan nilai tambah. Salah satu upaya meningkatkan nilai tambah pati adalah memodifikasinya dalam bentuk starch nanopartikel.

Starch nanoparticle (SNP) adalah partikel kecil yang terbuat dari pati alami atau pati termodifikasi. Salah satu sumber pati yang umum digunakan untuk membuat SNP adalah ubi kayu. Ubi kayu mengandung pati yang sangat cocok

untuk diubah menjadi nanopartikel karena memiliki sifat yang sangat fleksibel dan mudah diproses. Teknologi nanopartikel akan memperbaiki karakteristik pati sehingga memiliki viskositas suspensi rendah pada konsentrasi yang relatif tinggi, dan mempunyai kekuatan pengikatan yang tinggi karena luas permukaan aktif yang besar. Penelitian teknologi produksi SNP sudah cukup berkembang. Secara umum produksi nanopartikel dilakukan dengan dua metode yaitu memecah partikel sampai ukuran nanometer (*top down*) dan mensintesa materi berukuran sangat kecil (atom-atom atau molekul-molekul) untuk dirakit (*assembly*) menjadi berukuran nanometer yang dikehendaki (*bottom up*).

Penelitian ini sebelumnya telah dilakukan, dengan perlakuan variasi waktu sonikasi 30, 60 dan 90 menit dan variasi konsentrasi suspensi 1-3% yang dioptimasi menggunakan *Response Surface Method* (RSM). Parameter pengujian berupa nilai transmittan, kejernihan suspensi, ukuran partikel dan nilai rendemen. Namun hasil yang diperoleh dari penelitian tidak optimum yaitu dengan rata-rata nilai transmittan 61,272%, suspensi kurang jernih, ukuran rata-rata partikel 422,9 nm dan nilai rendemen 13,68%. Hal ini terjadi karena suhu yang digunakan terlalu tinggi yaitu sebesar 40°C dan perlakuan hanya menggunakan 1 siklus (Simorangkir, 2022). Oleh sebab itu dilakukan penelitian selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang optimal dan mendapatkan nilai rendemen yang tinggi.

1.2 Tujuan Penelitian

Dari latar belakang diatas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan perlakuan terbaik untuk mendapatkan rendemen tertinggi.
2. Mengidentifikasi pengaruh jumlah siklus dalam menghasilkan PSA tertinggi.

1.3 Kerangka Pemikiran

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil ubi kayu terbesar didunia sehingga dapat digunakan dalam pengembangan produk pangan ataupun kebutuhan industri lainnya. Ubi kayu memiliki sifat kesegaran bahan yang tidak bertahan lama sehingga perlu dilakukan pengolahan lanjutan. Pati merupakan potensi terbesar untuk pengolahan ubi kayu, karena komponen penyusun terbesar pada ubi kayu adalah pati. Pengolahan pati ubi kayu saat ini sangat banyak dan penggunaan pati sudah sangat meluas, seperti digunakan pada industri pangan, kosmetik dan farmasi sehingga perlu dilakukan modifikasi untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Modifikasi yang dilakukan yaitu mengubah pati menjadi ukuran nanopartikel dengan menggunakan metode ultrasonifikasi.

Ultrasonifikasi merupakan salah satu metode untuk memperoleh pati termodifikasi dengan gelombang frekuensi tinggi melalui medium cair ke dalam medium target melalui fenomena kavitasi. Kavitasi adalah pembentukan gelembung kecil di media yang ukurannya bertambah seiring waktu. Setelah gelembung ini mengembang, keadaan gelembung menjadi tidak stabil sehingga gelembung tersebut runtuh atau pecah dan mengeluarkan tenaga yang besar. energi ini digunakan untuk proses kimia seperti pemecahan membrane sel (Wardiyati, 2004).

Metode ultrasonifikasi menjadi salah satu teknologi melalui radiasi gelombang ultrasonik (>20 kHz) yang dapat mengubah struktur fisik biomassa seperti pati. Metode ultrasonik pada sistem suspensi pati mampu merusak dan memperkecil ukuran granula pati melalui generasi mikrojet yang ditimbulkan (Boufi *et al.*, 2018; Zuo *et al.*, 2012).

Pada penelitian ini optimasi proses sonikasi untuk mendapatkan SNP dilakukan dengan variable bebas yaitu suhu sonikasi dan siklus suspensi.

1.4 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Suhu proses sonikasi berpengaruh terhadap karakteristik *starch nanoparticle* yang terbentuk.
2. Siklus suspensi berpengaruh terhadap karakteristik *starch nanoparticle* yang terbentuk.

1.5 Kontribusi Pemikiran

Dari serangkaian kegiatan yang dilakukan, penelitian ini ditargetkan untuk mengetahui kondisi optimum SNP hasil modifikasi dengan metode ultrasonik dengan variasi suhu dan siklus. Penelitian ini diharapkan berkontribusi baik dalam bidang pangan, farmasi, kosmetik dan berbagai bidang lainnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ubi Kayu

Ubi kayu (*Manihot Esculenta*) merupakan salah satu bahan pangan sumber karbohidrat di Indonesia, setelah beras dan jagung. Masyarakat mengkonsumsi ubi kayu karena kandungan karbohidratnya yang tinggi, yaitu sekitar 32,4 gram dan 567 kalori per 100 gram ubi kayu. Selain itu, ubi kayu merupakan umbi-umbian penghasil pati yang tinggi yaitu 96,04%, ubi kayu juga mengandung unsur lain berupa air, protein, mineral, serat kalsium dan fosfat. Ubi kayu merupakan salah satu dari tujuh tanaman pangan (beras, jagung, kedelai, kacang tanah, kacang hijau, ubi kayu, dan ubi jalar) (Cenpukdee *et al.*, 1992).



Gambar 1. Ubi Kayu
(Sumber : <https://www.foreground.com>, 2020)

Menurut Rukmana (1997), dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan, kedudukan tanaman ubi kayu diklasifikasikan sebagai berikut:

- Kingdom : Plantae (tumbuh-tumbuhan)
- Divisi : Spermatophyta (tumbuhan berbiji)
- Subdivisi : Angiospermae (berbiji tertutup)
- Ordo : Euphorbiales
- Famili : Euphorbiaceae
- Genus : *Manihot*
- Spesies : *Manihot Esculenta Crantz sin. M. Utilissima Pohl.*

Berikut merupakan komposisi dari ubi kayu per 100 g :

Table 1. Komposisi Gizi Ubi Kayu per 100 g Ubi Segar

No	Komponen	
1	Kadar Energi Air	157 Kal 60 g
2	Protein	0,8 g
3	Lemak	0,3 g
4	Karbohidrat	37,9 g
5	Kalsium	33 g
6	Fosfor	40 g
7	Besi	0,7 g
8	Vitamin A	385 SI
9	Vitamin B1	0,06 mg
10	Vitamin C	30 mg

Sumber: Widyastuti (2012)

Morfologi tanaman ubi kayu ini memiliki batang yang beruas-ruas, berkayu, panjang dan tinggi sekitar 3 meter. Warna batang bervariasi menurut kulit luar, tetapi kebanyakan pada batang muda hijau. Daun ubi kayu memiliki susunan urat seperti jari cempaka 5-9 helai dan biasanya daun ubi kayu mengandung racun asam sianida terutama pada daun muda. Bunga ubi kayu termasuk *monobitiledes* (pertama) bunga jantan dan betina berada pada tangkai bunga yang berbeda dalam batang untuk setiap tanaman. Akar umbi ubi kayu mengubah operasinya menjadi gudang makanan (Rukmana, 1997).

Tanaman ubi kayu tumbuh optimal pada ketinggian 10-700 mdpl, curah hujan 760-1015 mm/tahun, suhu udara 18-35°C, kelembaban durasi penyinaran matahari 60-65°C 10 jam/hari. Untuk produksi optimal ubi kayu membutuhkan 150-200 mm hujan per 1-3 bulan, 250-300 mm pada usia 4-7 bulan dan 100-150 mm pada pertumbuhan selanjutnya sampai dengan fase pra panen. Ubi kayu merupakan tanaman utama yang ditanam di Indonesia pada lahan kering dengan iklim gersang dan lahan kering dengan iklim lembab. Secara umum ubi kayu cocok ditanam di tanah gembur untuk perkembangan umbi mengoptimalkan dan memudahkan proses pemanenan. pH tanah optimal untuk ubi kayu adalah antara 4,5 dan 8,0 meskipun sebenarnya ada banyak ubi kayu tumbuh di tanah masam (Saleh *et al.*, 2016). Ubi kayu merupakan tanaman yang memiliki kandungan

nutrisi yang tinggi dan bermanfaat bagi kesehatan tubuh. Berikut ini adalah beberapa nutrisi yang terdapat dalam singkong :

- a. Karbohidrat: Singkong mengandung karbohidrat kompleks yang mudah dicerna oleh tubuh. Karbohidrat ini dapat memberikan energi yang dibutuhkan tubuh untuk melakukan aktivitas sehari-hari.
- b. Serat: Singkong juga mengandung serat yang cukup tinggi. Serat dapat membantu melancarkan pencernaan dan mencegah sembelit.
- c. Vitamin B kompleks: Singkong mengandung vitamin B kompleks, seperti vitamin B1 (*tiamin*), vitamin B2 (*riboflavin*), vitamin B3 (*niacin*), dan vitamin B6 (*piridoksin*). Vitamin B kompleks berperan penting dalam metabolisme energi dan fungsi sistem saraf.
- d. Asam folat: Singkong juga mengandung asam folat yang dibutuhkan oleh tubuh untuk pertumbuhan dan perkembangan sel. Asam folat sangat penting bagi ibu hamil karena dapat mencegah cacat tabung saraf pada janin.
- e. Mineral: Singkong mengandung beberapa mineral seperti magnesium, kalium, dan fosfor. Magnesium dapat membantu mengatur tekanan darah dan meningkatkan fungsi otot dan saraf. Kalium berperan penting dalam keseimbangan cairan tubuh dan fungsi jantung. Fosfor berperan penting dalam pertumbuhan dan perbaikan jaringan tubuh.
- f. Antioksidan: Singkong juga mengandung senyawa antioksidan seperti asam askorbat, asam fenolat, dan karotenoid. Senyawa antioksidan ini dapat melindungi sel-sel tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas.

Ubi kayu dapat digunakan untuk makanan, pakan ternak dan keperluan lainnya seperti untuk bahan baku berbagai industri. Oleh karena itu, pemilihan varietas ubi kayu sangat penting disesuaikan dengan tujuannya. Di daerah dimana singkong dikonsumsi secara teratur membutuhkan singkong langsung untuk makanan yang rasanya enak dan konten HCN halus dan rendah. Berdasarkan kandungan HCN, singkong dipisahkan menjadi singkong manis atau tidak pahit, dengan kandungan HCN < 40 mg/kg umbi segar dan singkong pahit dengan kandungan HCN ≥ 50 mg/kg umbi segar. Konsentrasi HCN yang tinggi dapat menyebabkan keracunan pada manusia dan hewan, sehingga sangat tidak

dianjurkan di lapangan tepung singkong atau makanan berbahan dasar pati membutuhkan singkong umbi berwarna putih dan memiliki kandungan bahan kering dan pati yang tinggi.

Ubi kayu adalah salah satu jenis tanaman umbi-umbian yang banyak dibudidayakan di berbagai negara, termasuk Indonesia. Selain dijadikan bahan pangan, ubi kayu juga memiliki berbagai kegunaan, di antaranya:

1. Sumber energi: Ubi kayu mengandung karbohidrat kompleks yang dapat diubah menjadi energi. Selain itu, tepung ubi kayu juga dapat dijadikan bahan bakar alternatif dalam pembuatan bioetanol.
2. Bahan pangan: Ubi kayu dapat diolah menjadi berbagai jenis makanan, seperti kripik, kerupuk, tape, tepung, dan lain sebagainya. Tepung ubi kayu juga sering digunakan sebagai pengganti tepung terigu pada produk roti dan kue-kue.
3. Bahan kemasan: Ubi kayu mengandung bahan pati yang dapat diubah menjadi bahan kemasan yang ramah lingkungan. Bahan kemasan yang terbuat dari ubi kayu dapat diurai secara alami sehingga tidak menimbulkan sampah plastik yang sulit terurai.
4. Bahan baku industri: Ubi kayu juga digunakan sebagai bahan baku industri, seperti industri tekstil, farmasi, dan kosmetik.
5. Tanaman pangan: Selain sebagai bahan pangan, ubi kayu juga dapat dijadikan sebagai tanaman pangan karena dapat tumbuh dengan baik di berbagai kondisi tanah dan iklim.
6. Obat-obatan: Beberapa kandungan senyawa pada ubi kayu dipercaya memiliki sifat antiinflamasi, antioksidan, dan anti-kanker, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai obat-obatan herbal.
7. Kegunaan lainnya: Selain kegunaan-kegunaan di atas, ubi kayu juga dapat digunakan untuk pakan ternak, pupuk organik, dan bahan campuran pada konstruksi bangunan.

Ubi kayu sering digunakan untuk membuat berbagai hidangan. Selain itu, ubi kayu juga dimanfaatkan untuk berbagai bahan baku industri kimia, diolah menjadi fruktosa sebagai pemanis dalam industri minuman untuk bahan baku tekstil, kosmetik, lem, kertas, farmasi dan lain-lain (Cahyono, 2004). Ubi kayu

segar sebagai bahan makanan dapat diolah menjadi berbagai produk termasuk pulp kering, pati, tepung dan makanan ringan. Secara umum, ubi kayu hanya bisa bertahan 2 hari dalam kondisi segar. Bahkan sering terjadi ubi kayu sudah dipanen rusak sebelum dijual. Pemasaran ubi kayu dengan waktu yang lama memerlukan pengolahan menjadi bentuk lain yang dapat bertahan lebih lama, seperti gaplek, tapioka, tapai, peuyeum, keripik ubi kayu dan lain-lain (Koswara, 2009).

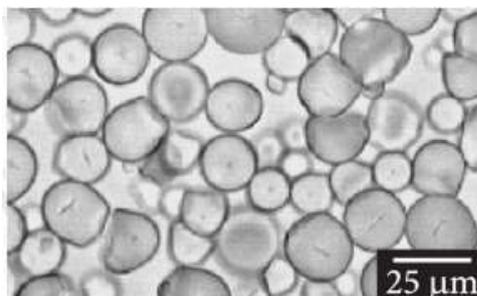
Dari beberapa pengolahan yang disarankan diatas, dengan kadar pati pada ubi kayu yang tinggi maka ubi kayu sangat berpotensi untuk diolah menjadi tepung tapioka. Selain tepung tapioka lebih tahan lama, setiap harinya tepung tapioka banyak digunakan oleh masyarakat untuk membuat olahan makanan dan kebutuhan industri.

2.2 Tepung Tapioka



Gambar 2. Tepung Tapioka
(Sumber : <https://www.budget101.com>, 2020)

Tepung tapioka, tepung ubi kayu, pati atau aci adalah tepung yang diperoleh dari umbi ubi kayu atau biasa disebut dalam bahasa Indonesia ubi kayu. Tapioka memiliki khasiat yang mirip dengan sagu penggunaan keduanya dapat dipertukarkan. Tepung ini sering digunakan untuk memasak, gluten, dan banyak hidangan tradisional pemanfaatan tapioka sebagai bahan baku. Tapioka adalah sebutan untuk produk yang diolah dari akar ubi kayu (ubi kayu). Analisis akar ubi kayu khas diidentifikasi 70% air, 24% pati, 2% serat, 1% protein dan bahan lainnya seperti mineral, lemak, gula sebanyak 3%. Langkah-langkah proses pembuatan tepung tapioka yaitu pati yang diekstrak dengan air ubi kayu, kemudian disaring, hasil saringan kemudian diendapkan. Bagian yang mengendap tersebut selanjutnya dikeringkan dan digiling hingga diperoleh butiran-butiran pati halus (Luthana, 2004).



Gambar 3. Tepung Tapioka Secara Mikroskopis
(Sumber : Rocha, *et al.*, 2010)

Tepung tapioka yang terbuat dari ubi kayu memiliki banyak kegunaan, seperti sebagai pembantu di berbagai industri. Dibandingkan dengan jagung, kentang dan gandum atau tepung terigu, komposisi gizi tepung tapioka yang cukup baik untuk mengurangi kerusakan jaringan juga digunakan sebagai pembantu pewarna putih (Whister, *et al.*, 1984).

Pada dasarnya, membuat tepung tapioka adalah bagaimana dapat mengambil granula-granula pati dari dalam sel dan kemudian dilakukan pemisahan komponen lain untuk mendapatkan pati dalam keadaan murni. Prinsip pengolahannya granula pati dipisahkan dari bagian umbi lainnya sebersih mungkin (Makhfoeld, 1982). Butiran pati dari berbagai sumber memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda-beda. Tepung tapioka (pati singkong) dapat ditemukan di bawah mikroskop berbentuk bulat dengan bagian yang tidak sama, biasanya berdiameter 5 hingga 35 μm , lurik di tengah, lurus atau bercabang tiga, lamellae redup, dan konsentris (Rocha, *et al.*, 2010). Terdapat dua jenis pati yaitu pati alami dan pati modifikasi. Pati dalam bentuk aslinya adalah pati yang tidak mengalami perubahan sifat fisik dan kimia atau diolah secara kimia. Pati alami dapat menyebabkan masalah serupa stabilitas rendah, sehingga pati mengalami transformasi fisik dan kimia. Menurut Wurzburg dalam Amrinola (2015), pati termodifikasi adalah pati yang diberi perlakuan tertentu dengan tujuan menghasilkan sifat yang lebih baik untuk meningkatkan sifat sebelumnya.

Modifikasi fisik pati mendapat lebih banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena pengurangan produk sampingan dan bahan kimia, dan pada saat yang sama menjadikan metode ini lebih berkelanjutan serta ramah lingkungan (Carmona *et al.*, 2016; Krishnakumar dan Sajeev, 2017). Partikel pati tapioka dapat diperkecil menjadi ukuran nanometer melalui hidrolisis asam dan

pengendapan etanol. Hidrolisis asam merupakan awal pembuatan tepung tapioka. Proses ini dilakukan untuk memecah gugus amilosa rantai panjang dan titik percabangan amilopektin, sehingga dihasilkan pati dengan jumlah amilosa rantai pendek yang lebih tinggi (Winarti, 2014).

2.3 *Starch Nanoparticle (SNP)*

Starch nanoparticle (SNP) adalah bahan yang memiliki sifat khas sehingga banyak diminati karena memiliki ukuran sangat kecil (10^{-9} m), sehingga luas permukaannya sangat tinggi. Partikel pati berukuran 1-100 nm dan sebagian besar metode menyarankan ukuran diameter terbaik partikel antara 200-400 nm. Karena memiliki ukuran yang sangat halus, sifat karakteristik dari unsur-unsur tersebut akan muncul dan dapat dimodifikasi misalnya sifat magnetik, optik, listrik, termal dan lain-lain. Penggunaannya juga sudah merambah ke dalam berbagai bidang kehidupan manusia seperti medis, elektronik, otomotif, industri peralatan rumah tangga, energi dan lain-lain. Berikut merupakan beberapa karakteristik dari SNP adalah:

1. SNP memiliki ukuran yang sangat kecil, yaitu kurang dari 100 nanometer. Ukuran ini memungkinkan pati untuk lebih mudah diabsorpsi oleh tubuh manusia dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi.
2. SNP memiliki sifat fisik yang berbeda dari pati biasa karena ukuran yang lebih kecil. Sifat fisik ini termasuk peningkatan kestabilan, kelarutan, dan reaktivitas kimia.
3. SNP memiliki daya serap yang lebih tinggi daripada pati biasa. Hal ini memungkinkan SNP digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan pengikat atau pengisi.
4. SNP memiliki kemampuan untuk menghambat enzim tertentu. Hal ini memungkinkan SNP untuk digunakan dalam aplikasi kesehatan, seperti pengobatan diabetes.
5. SNP memiliki stabilitas termal yang lebih tinggi daripada pati biasa. Hal ini memungkinkan SNP untuk digunakan dalam aplikasi makanan dan minuman yang membutuhkan stabilitas termal yang tinggi.

Nanoteknologi adalah teknologi untuk membuat, mendesain, dan mengubah struktur atau fungsi fisik ukuran nanometer. Perbedaan partikel nano dengan

bahan yang lebih besar adalah ukurannya yang kecil sehingga memiliki perbandingan luas permukaan dan volume yang lebih besar sehingga membuat nanopartikel lebih reaktif. Kemampuan bahan untuk bereaksi ditentukan oleh atom-atom di dalam permukaan, karena hanya atom-atom tersebut yang kontak langsung dengan bahan lainnya. Selain itu, hukum fisika yang berlaku diatur oleh hukum fisika kuantum.

Pengembangan SNP dalam berbagai aplikasi ini menunjukkan potensi besar untuk pengembangan produk-produk baru yang lebih efektif dan efisien dalam industri farmasi, makanan, dan kosmetik. Beberapa aplikasi dari SNP adalah sebagai berikut:

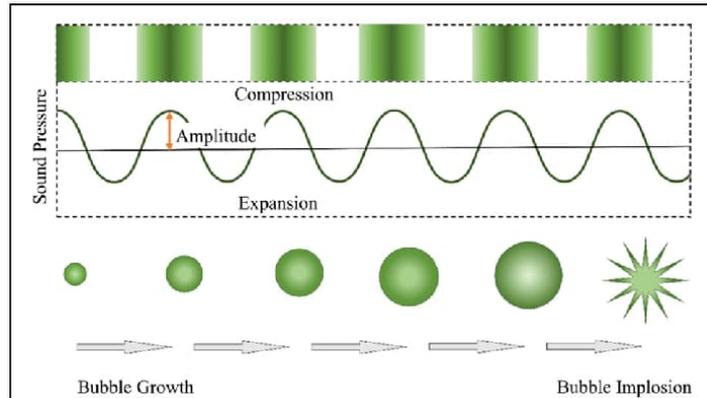
1. Pada industri farmasi, SNP dapat digunakan sebagai bahan pengisi atau pembawa zat aktif dalam obat-obatan. Karena ukurannya yang sangat kecil, SNP dapat menembus membran sel dan masuk ke dalam sel, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penghantaran obat ke sel target. Selain itu, SNP juga dapat digunakan sebagai bahan pembantu dalam produksi tablet obat, karena mampu meningkatkan sifat mekanis dan stabilitas tablet.
2. Pada industri makanan, SNP dapat digunakan sebagai bahan pengisi atau pengental alami. Karena ukurannya yang sangat kecil, SNP dapat menghasilkan tekstur yang lebih halus dan lembut pada produk makanan seperti saus, selai, dan es krim. Selain itu dapat meningkatkan daya serap nutrisi dalam makanan dan meningkatkan kekentalan dan stabilitas produk makanan dan SNP juga dapat meningkatkan daya simpan produk makanan dan mencegah perubahan tekstur dan rasa. Ukuran partikel SNP yang sangat kecil dapat meningkatkan sifat organoleptik makanan, seperti konsistensi, kelembutan, dan kekenyalan.
3. SNP dapat digunakan dalam produk kosmetik untuk meningkatkan stabilitas dan daya lekat. SNP dapat digunakan sebagai bahan pengikat dalam produk kosmetik seperti lipstik dan bedak, sehingga produk kosmetik menjadi lebih tahan lama dan tidak mudah luntur. Selain itu, SNP juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi dalam produk perawatan kulit seperti krim dan losion untuk meningkatkan tekstur dan daya serap.

Nanopartikel bertujuan untuk mengatasi kelarutan zat aktif yang sulit larut, meningkatkan bioavailabilitas yang buruk, terutama untuk meningkatkan stabilitas zat aktif degradasi lingkungan (degradasi enzimatis, oksidasi, hidrolisis), memperbaiki penyerapan senyawa makromolekul dan mengurangi efek iritasi dari bahan aktif pada saluran pencernaan (Mohanraj dan Chen, 2006).

Beberapa keuntungan dari SNP adalah kemampuan untuk menembus ruang-ruang antar sel yang dapat ditembus oleh partikel koloid. Selain itu, SNP bersifat fleksibel menggabungkan dengan berbeda teknik lain. Kemampuan ini akan membuka peluang pengembangan yang luas pada berbagai keperluan dan target. Kelebihan lainnya adalah peningkatan afinitas sistem karena area kontak meningkat dengan jumlah yang sama (Buzea *et al.*, 2007).

2.4 Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik adalah gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 kHz melebihi batas pendengaran telinga manusia. Dalam proses ultrasonik, gelombang suara yang merambat dalam cairan menghasilkan periode tekanan tinggi (kompresi) dan tekanan rendah (pengenceran) yang bergantian, yang kecepatannya bergantung pada frekuensi. Pada siklus bertekanan rendah, intensitas gelombang ultrasonik menciptakan gelembung atau lubang kecil dalam cairan yang disonikasi. Gelembung-gelembung ini mencapai volume maksimum dimana mereka tidak dapat menahan energi lagi dan kemudian pecah dengan hebat pada tekanan tinggi, pecahan gelembung tersebut adalah kavitasi. Efek kavitasi akustik cukup kuat untuk memisahkan kumpulan partikel halus dan mendistribusikannya lebih seragam dalam cairan.



Gambar 4. Mekanisme ultrasonikasi yang melibatkan siklus kompresi dan penghalusan, dan pembentukan gelembung dalam media cair
(Sumber : Shojaeiarani dkk, 2020)

Pada gambar 4 di atas dapat diketahui bahwa proses ultrasonik dimulai dengan sumber gelombang ultrasonik yang biasanya berupa transduser yaitu yang mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara ultrasonik. Gelombang ultrasonik yang dihasilkan merambat melalui medium dan bergerak dengan kecepatan tinggi dan menyebar dalam pola radial. Ketika gelombang ultrasonik bertemu dengan medium tertentu maka terjadi interaksi antara gelombang dan objek yang mencakup pemantulan, penyerapan atau pembelokan gelombang. Selama sonikasi, kekuatan sonikasi, amplitudo, waktu dan luas probe menggambarkan kuantitas. Energi disediakan untuk suspensi dan penerapan perawatan. Ultrasonifikasi yang tidak konsisten lebih mungkin berkontribusi pada perubahan produktivitas.

Gelombang ultrasonik sering digunakan dalam industri pangan karena dapat mengawetkan makanan dan juga dapat menjaga kandungan nutrisi dari produk pangan tersebut. Pengawetan dengan gelombang ultrasonik dilakukan dengan penonaktifan mikroorganisme, banyak produsen makanan telah melakukan ini. bakteri yang bakteri yang tidak aktif pada daging, susu (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* dan *Enterobacteriae*) dan bakteri pengontrol pada air (Suwandi *et al.*, 2015). Ultrasonik selain digunakan pada industri pangan dengan frekuensi 10 kHz - 150 kHz dapat digunakan untuk komunikasi dengan beberapa hewan seperti kelelawar dan lumba-lumba.

Cheeke, (2002) menyebutkan setidaknya dua karakteristik dalam bukunya sifat unik dari gelombang ultrasonik:

1. Gelombang ultrasonik bergerak 100.000 kali lebih lambat dari gelombang suara elektromagnetik sehingga memudahkan untuk mendapatkan informasi cuaca, penundaan variabel dan lainnya saat gelombang ultrasonik merambat.
2. Gelombang ultrasonik dengan mudah melewati bahan kedap air dengan cahaya karena gelombang ultrasonik murah, sensitif dan dapat diandalkan sehingga dapat digunakan untuk menentukan bentuk gambar topografi dari bahan yang tidak tembus cahaya.

Aplikasi gelombang ultrasonik yang paling penting adalah penggunaannya dalam menciptakan efek kavitasi akustik. Efek ini akan digunakan dalam produksi bahan nanometer dengan metode emulsifikasi. Ketika gelombang ultrasonik merambat pada fluida, akan terjadi siklus kerapatan dan regangan. Hal ini disebabkan karena karakteristik gelombang ultrasonik melalui medium menyebabkan osilasi partikel periodik dengan medium amplitudo rata-rata sejajar dalam arah transmisi vertikal sehingga menyebabkan partikel medium membentuk rapatan dan regangan. Tekanan negatif terjadi saat regangan membuat molekul cair tertarik dan vakum terbentuk, kemudian pembentukan gelembung akan diserap energi gelombang suara sehingga bisa mengembang.

2.4.1 Perambatan Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik yang dihasilkan oleh sensor dapat berupa sinyal pulsa atau sinyal kontinu tergantung pada tegangan yang diberikan sensor. Mode yang digunakan tergantung pada metode pengujian yang digunakan.

Sifat gelombang ultrasonik menembus media getaran partikel dengan amplitudo rata-rata sejajar dengan arah gerak dimana partikel media menciptakan kepadatan (regangan) dalam arah memanjang dan ketegangan (stres). Proses berkelanjutan yang menyebabkan pertemuan dan ketegangan di dalam medium disebabkan oleh getaran partikel secara periodik selama dilalui oleh gelombang ultrasonik (Resnick dan Halliday, 1992).

Gelombang ultrasonik dalam material dapat merambat dalam tiga cara jenis pola gelombang yang umum digunakan yaitu gelombang longitudinal, gelombang

geser, gelombang permukaan atau gelombang *rayleigh*. Gelombang longitudinal adalah gelombang yang paling umum digunakan untuk pemeriksaan USG. Keuntungan dari gelombang ini adalah kemampuannya untuk menyebar dalam cairan dan gas sama baiknya seperti pada zat padat. Mekanisme gelombang ini adalah perambatannya sejajar dengan arah gerak atom yang digetarkan.

Gelombang transversal juga merupakan jenis gelombang yang umum digunakan, tetapi tidak seperti gelombang longitudinal, gelombang ini sulit menyebar dalam cairan dan gas karena kurang elastis dan diperlukan gaya yang kuat untuk membuat partikel bergetar. Gelombang ini bisa terjadi ketika gelombang ultrasonik merambat dalam arah vertikal, getaran bergerak ke atas dan ke bawah, pada arah dan bidang gerakan atom yang digetarkan.

2.4.2 Modifikasi Pati Dengan Gelombang Ultrasonik

Modifikasi pati dapat dilakukan secara fisik (mekanik), kimiawi, dan enzimatis (Bemiller dan Huber, 2015; Ulfa *et al.*, 2020). Untuk memodifikasi larutan pati dapat dilakukan perlakuan ultrasonik dengan gelombang berfrekuensi tinggi diatas batas pendengaran manusia (Herceg *et al.*, 2010; Zuo *et al.*, 2012). Ultrasonik pati kentang, beras, tapioka, gandum dan jagung menunjukkan peningkatan kelarutan serta daya kembang pati (Jambrak *et al.*, 2010; Luo *et al.*, 2008; Zheng *et al.*, 2013). Pati tapioka termodifikasi ultrasonik juga menunjukkan peningkatan kemampuan menyarap air (Manchun *et al.*, 2012).

Modifikasi pati dengan gelombang ultrasonik adalah salah satu metode modifikasi pati yang menggunakan energi ultrasonik untuk memodifikasi struktur pati dan meningkatkan sifat fungsionalnya. Teknik ini melibatkan penggunaan gelombang ultrasonik dengan frekuensi tinggi untuk merusak ikatan hidrogen di antara molekul pati dan mengubah morfologi partikel pati.

Dalam modifikasi pati dengan gelombang ultrasonik, pati ditempatkan dalam cairan atau larutan dan kemudian diberikan gelombang ultrasonik dengan frekuensi tinggi. Energi ultrasonik yang dihasilkan akan menyebabkan getaran dan tekanan yang tinggi pada partikel pati, sehingga dapat merusak ikatan-ikatan hidrogen antara molekul pati. Selain itu, gelombang ultrasonik juga dapat menyebabkan pembentukan gelembung-gelembung mikro pada cairan atau larutan, sehingga meningkatkan kontak antara pati dan cairan atau larutan.

Dampak dari modifikasi pati dengan gelombang ultrasonik adalah meningkatnya kecenderungan pati untuk membentuk ikatan hidrogen baru, yang menghasilkan struktur yang lebih terorganisir. Hal ini dapat meningkatkan sifat fungsional pati seperti kemampuan pengikatan air, stabilitas termal, viskositas, daya serap, dan lain sebagainya. Teknik modifikasi pati dengan gelombang ultrasonik juga dianggap sebagai metode yang lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan metode konvensional seperti hidrolisis enzimatis atau kimia.

Modifikasi pati dengan gelombang ultrasonik telah diterapkan dalam berbagai aplikasi seperti dalam produksi makanan, farmasi, dan kosmetik. Misalnya, pati modifikasi dengan gelombang ultrasonik dapat digunakan sebagai bahan pengental pada produk-produk makanan seperti saus, jelly, atau yogurt. Teknik ini juga dapat digunakan untuk menghasilkan pati yang lebih larut, yang dapat digunakan sebagai pengganti gula atau serat pada produk-produk makanan.

Proses ultrasonik memiliki beberapa keuntungan diantaranya prosesnya tidak membutuhkan bahan kimia atau aditif, prosesnya sangat mudah, cepat dan ekonomis (biaya rendah), serta prosesnya tidak membawa perubahan besar struktur kimia (Iida *et al.*, 2008). Ultrasonik dapat menyebabkan kerusakan fisik akibat gangguan regional butiran pati amorf (Sujka dan Jamroz, 2013). Efek kavitasi dan pembentukan radikal hidroksil adalah penyebab terjadinya disrupsi pada pati ultrasonik (Jambrak *et al.*, 2010; Zhu, 2015). Bersama dengan meningkatnya suhu dengan demikian kapasitas mengikat air, daya kembang, dan kelarutan semakin meningkat sampai titik tertentu hingga granula pati mengalami disrupsi (Jambrak *et al.*, 2010; Zheng *et al.*, 2013; Ulfa *et al.*, 2020). Proses sonikasi dapat mempengaruhi proses tersebut karena munculnya gelembung kavitasi (Jambrak *et al.*, 2010; Sujka *et al.*, Jamroz, 2013; Shuo, 2015).

2.5 Particle Size Analyzer (PSA)

Analisis ukuran partikel adalah sebuah sifat fundamental dari endapan suatu partikel yang dapat memberikan informasi tentang asal dan sejarah partikel tersebut. Distribusi ukuran juga merupakan hal penting seperti untuk menilai perilaku granular yang digunakan oleh suatu senyawa atau gaya gravitasi. Partikel secara modern umumnya menggunakan analisis gambar atau beberapa jenis penghitung partikel. Gambar didapatkan secara tradisional dengan

mikroskop elektron atau untuk partikel yang lebih kecil menggunakan SEM (James & Syvitski, 1991).

Penyinaran sinar laser pada analisis ukuran partikel dalam keadaan tersebar. Pengukuran distribusi intensitas difraksi cahaya spasial dan penyebaran cahaya dari partikel. Distribusi ukuran partikel dihitung dari hasil pengukuran. Difraksi sinar laser analisis ukuran partikel meliputi perangkat laser untuk menghasilkan sinar laser ultraviolet sebagai sumber cahaya dan melekatkan atau melepaskan fluorescent untuk mengetahui permukaan *photodiode array* yang menghitung distribusi intensitas cahaya spasial dan penyebaran cahaya selama terjadinya pengukuran (Totoki, 2007).

Particle size analyzer adalah alat yang digunakan untuk mengukur ukuran partikel dalam larutan atau suspensi. Pada umumnya, terdapat beberapa jenis partikel size analyzer yang digunakan, yaitu sebagai berikut :

1. *Laser diffraction*

Laser diffraction adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk mengukur ukuran partikel. Metode ini menggunakan laser untuk mengukur difraksi cahaya dari partikel. Ukuran partikel dihitung berdasarkan pola difraksi yang dihasilkan oleh partikel saat cahaya laser melewatinya. *Laser diffraction* memiliki keunggulan dalam mengukur ukuran partikel yang luas, mulai dari nanometer hingga beberapa milimeter. Beberapa contoh alat yang menggunakan teknologi *laser diffraction* antara lain *Malvern Mastersizer 3000*, *Horiba LA-960*, dan *Beckman Coulter LS 13320*.

2. *Dynamic Light Scattering (DLS)*

Dynamic Light Scattering (DLS) merupakan teknik yang digunakan untuk mengukur ukuran partikel di bawah 1 mikrometer menggunakan cahaya laser. DLS memanfaatkan fluktuasi cahaya yang disebabkan oleh pergerakan partikel dalam larutan atau suspensi. Partikel yang lebih besar dan lebih berat cenderung bergerak lebih lambat, sedangkan partikel yang lebih kecil dan lebih ringan bergerak lebih cepat. Keunggulan dari teknologi DLS adalah dapat mengukur ukuran partikel dalam larutan atau suspensi yang sangat kental, dan dapat mengukur distribusi ukuran partikel yang sangat sempit.

Beberapa contoh alat yang menggunakan teknologi DLS antara lain *Malvern Zetasizer Nano*, *Brookhaven BI-200SM*, dan *Wyatt DynaPro Plate Reader*.

3. *Coulter Counter Particle Size Analyzer*:

Coulter Counter Particle Size Analyzer merupakan alat yang menggunakan prinsip penghitungan partikel secara elektrik untuk mengukur ukuran partikel dalam suatu sampel. Keunggulan dari alat ini adalah kemampuannya untuk mengukur partikel dalam larutan dengan beragam konsentrasi.

4. *Sedimentation Particle Size Analyzer*:

Sedimentation Particle Size Analyzer merupakan alat yang menggunakan prinsip sedimentasi untuk mengukur ukuran partikel dalam suatu sampel. Keunggulan dari alat ini adalah kemampuannya untuk mengukur partikel dalam sampel padatan.

Pengukuran partikel dengan pati biasanya menggunakan PSA-DLS dan menggunakan metode basah. Metode ini dinilai lebih akurat jika dibandingkan dengan metode kering ataupun pengukuran partikel dengan metode ayakan dan analisa gambar. Terutama untuk sampel-sampel dalam orde nanometer dan submicron yang biasanya memiliki kecenderungan aglomerasi yang tinggi. Hal ini dikarenakan partikel didispersikan ke dalam media sehingga partikel tidak saling beraglomerasi menggumpal. Dengan demikian, ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single particle*. Selain itu, hasil pengukuran dimunculkan dalam bentuk distribusi, sehingga hasil pengukuran dapat diasumsikan sudah menggambarkan keseluruhan kondisi sampel (Susanti, 2013). Hal yang diharapkan dari analisis ini adalah, distribusi ukuran SNP yang dihasilkan berada pada rentang nano 100 nm dan memiliki keseragaman homogenitas ukuran yang baik. Keunggulan penggunaan *Particle Size Analyzer* PSA untuk mengetahui ukuran partikel adalah sebagai berikut:

- a. Pengukuran partikel dengan menggunakan PSA lebih akurat dan mudah digunakan jika dibandingkan dengan pengukuran partikel dengan menggunakan alat lain seperti TEM ataupun SEM. Hal ini dikarenakan partikel dari sampel yang akan diuji didispersikan ke dalam sebuah media sehingga ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single particle*.

- b. Hasil pengukuran dalam bentuk distribusi, sehingga dapat menggambarkan keseluruhan kondisi sampel, yang berarti penyebaran ukuran rata-rata partikel dalam suatu sampel.
- c. Rentang pengukuran dari 0,6 nanometer hingga 7 mikrometer (Rusli, 2011).

2.6 Penelitian Terdahulu

Table 2. Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Sheniah Glori Sondang Lestari Simorangkir (2023)	Optimasi Karakteristik <i>Starch Nanoparticle (SNP)</i> Hasil Sonikasi Ultrasonic System Probe	Hasil optimum didapatkan dari perlakuan waktu sonikasi 90 menit dan konsentrasi suspensi 3% dengan rata-rata nilai transmitan 61,272% suspense kurang jernih, ukuran partikel rata-rata 422,9 nm dengan <i>polydispersityindex</i> 0,581 dan nilai rendemen 13,68%.
2	Niken Widya Palupi, Yudi Pranoto, Sutardi (2020)	Pembuatan <i>Starch nanoparticle</i> Jagung dengan Teknik Fotooksidasi Menggunakan H ₂ O ₂ dan Lampu UV-C pada Sistem Tersirkulasi	Hasil uji Dynamic Light Scattering (DLS) Zetasizer yang menunjukkan kurva distribusi normal ukuran partikel di kisaran 100-1000 nm. Kandungan karboksil dan ukurannya yang nano meningkatkan kejernihan pasta dan kelarutan suspensi partikel, namun juga menurunkan viskositas suspensi partikel.
3	Mar'atun Uswah, Ade Heri Mulyati, Christina Winarti (2022)	Modifikasi Dan Karakterisasi <i>Starch Nanopartikel</i> Dari Pati Talas Beneng (<i>Xanthosoma Undipes K.Koch</i>) Dan Garut	Rendemen <i>starch nanopartikel</i> yang tertinggi pada pati garut dengan perlakuan H ₂ SO ₄ 3,16 M waktu hidrolisis selama 5 hari sebesar 33,83% dengan

			(<i>Maranta Arundinacea L</i>) Dengan Metode Hidrolisis Asam		morfologi granula pati tidak teratur, ukuran partikel: 464,4 nm, kristalinitas: 77,5%, ΔH : 65,2330 J/g, daya pengembangan 0,01%, kelarutan 92,45% dan daya cerna pati: 158,11%.
4	Triyani Sumiati, Devi Ratnasari, Dinda Dwi Mutiani (2018)	Sintesis Perak Ekstrak Merah Dan Uji Antibakteri Bakteri	Nanopartikel Menggunakan Kulit Bawang Merah (<i>Allium cepa L.</i>) Terhadap <i>Staphylococcus aureus</i>	Analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa NPAg pada F2 dan F3 berada pada kisaran panjang gelombang 400-500 nm. Ukuran partikel diukur menggunakan PSA pada F1, F2 dan F3 berturut-turut 390,7 nm, 62,34 nm dan 50,63 nm.	
5	Theosobia Grace Orno, Agnes Rantesalu (2019)	Sintesis Perak Alpukat I 175 Tanpa Pemanasan	Nanopartikel Menggunakan Kulit Alpukat I 175 (<i>Persea americana</i>) Dengan Dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa larutan ion perak dapat direduksi oleh ekstrak kulit buah <i>Persea americana</i> , dan pada suhu sintesis 40 °C menghasilkan nanopartikel yang stabil. Ukuran partikel AgNPs yang diperoleh berdasarkan SEM masing-masing untuk suhu 40 dan 27 °C yaitu 50 sampai 200 nm 600 nm. Disimpulkan nanopartikel perak yang disintesis pada suhu 40 °C dengan menggunakan ekstrak kulit buah alpukat (<i>Persea americana</i>) stabil.	