

Skripsi

**SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR
EKSTRAK DAUN BELIMBING WULUH (*Averrhoa bilimbi* Linn) YANG
DIMODIFIKASI L-SISTEIN DAN POTENSINYA SEBAGAI
PENDETEKSI MELAMIN**

ASRIANDY RAMADHAN

H311 12 290



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2017

**SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR
EKSTRAK DAUN BELIMBING WULUH (*Averrhoa bilimbi* Linn) YANG
DIMODIFIKASI L-SISTEIN DAN POTENSINYA SEBAGAI
PENDETEKSI MELAMIN**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah-satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains*

Oleh:

**ASRIANDY RAMADHAN
H311 12 290**



MAKASSAR

2017

SKRIPSI

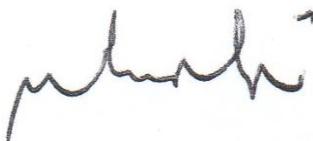
**SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK MENGGUNAKAN BIOREDUKTOR
EKSTRAK DAUN BELIMBING WULUH (*Averrhoa bilimbi* Linn) YANG
DIMODIFIKASI L-SISTEIN DAN POTENSINYA SEBAGAI
PENDETEKSI MELAMIN**

Disusun dan diajukan oleh:

**ASRIANDY RAMADHAN
H311 12 290**

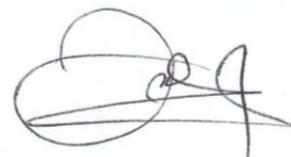
Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Utama



**Dr. Muhammad Zakir, M.Si
NIP. 19701103 199903 1 001**

Pembimbing Pertama



**Dr. Indah Raya, M.Si
NIP. 19641125 199002 2 001**

LEMBAR PERSEMBAHAN

مَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَطْلُبُ فِيهِ عِلْمًا سَهَّلَ اللَّهُ بِهِ
طَرِيقًا مِنْ طُرُقِ الْجَنَّةِ

*Rasulullah Bersabda : “Barangsiapa yang menapaki
suatu jalan dalam rangka mencari ilmu maka Allah
akan memudahkan baginya jalan ke Surga.*

[H.R. Ibnu Majah & Abu Dawud]

*“Science is the process that takes us from
confusion to understanding”*

— Brian Greene

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim. Alhamdulillah rabbil alamin.

Segala puji dan syukur bagi **Allah SWT**, Tuhan seluruh alam yang telah menciptakan semesta dan segala keteraturannya. Rasa syukur penulis ucapkan pada-Nya, yang telah melimpahkan nikmat dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan sebuah hasil penelitian dengan judul “**Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) yang Dimodifikasi L-Sistein dan Potensinya Sebagai Pendeteksi Melamin**” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar. Shalawat dan salam kepada Nabi Besar Rasulullah **Muhammad SAW** yang telah menjadi teladan bagi seluruh umat di Bumi ini.

Ibarat pepatah, “*Jalan hidup boleh saja berliku, terjal, dan melelahkan tetapi percayalah selalu ada akhir dan tujuan bagi hidup yang terarah*”. Penulis menyadari bahwa begitu banyak hambatan dan rintangan dalam menyelesaikan tulisan ini, namun adanya berbagai dukungan dan masukan dari berbagai pihak menjadi motivasi bagi penulis untuk menyelesaikan tulisan ini. Tiada hal yang dapat membalasnya selain doa yang dapat penulis ucapkan semoga kebahagiaan dan kesuksesan selalu menyertai. Oleh karena itu, melalui tulisan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Kedua orangtuaku, Ayahanda **Abu Salehe** dan Ibunda **Rahmawati**, serta kakak-kakakku **Arham** dan **Armawati S.P** yang senantiasa mendukung, menyemangati, dan menasihati penulis selama penelitian hingga selesainya tulisan ini.

2. Bapak **Dr. Muhammad Zakir M.Si** selaku Pembimbing Utama dan Ibu **Dr. Indah Raya M.Si** selaku Pembimbing Pertama yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya dalam memberikan masukan dan mengarahkan penulis dari penyusunan proposal hingga selesainya skripsi ini.
3. Ketua jurusan Ibu **Dr. Indah Raya, M.Si**, sekretaris Jurusan Bapak **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** dan seluruh dosen yang telah membimbing, membagi ilmunya yang bermanfaat selama perkuliahan serta staf Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin atas bantuan dan kerjasamanya selama menuntut ilmu di Universitas Hasanuddin.
4. Tim Dosen Penguji Ujian Sarjana Kimia: **Drs. Fredryk Welliam Mandey, M.Sc, Dr. Asmawati, M.S,** dan **Dr. Abd. Karim, M.Si**, terima kasih atas bimbingan dan saran-saran yang diberikan.
5. Ibu **Dr. Indah Raya, M.Si** selaku Penasehat Akademik, terima kasih telah memberikan nasehat dan bimbingan selama mengikuti proses perkuliahan di Jurusan Kimia.
6. Seluruh analis laboratorium di Jurusan Kimia FMIPA UNHAS terutama analis laboratorium penelitian, Bapak **Sugeng Asrofin S.TP** yang telah banyak membantu penulis selama penelitian.
7. Petugas perpustakaan FMIPA: Ibu **Misnawati S.Hum** dan kak Rana yang selalu bersabar menghadapi kelakuan nakal Angkatan 2012, termasuk saya juga ;).
8. Rekan-rekan penelitian bidang Kimia Fisika: Rahmayanti Rara (rekan curhat), Kak Ekhy, Irma, dan Fitri, serta Kak Nisa (rekan peneliti S2) teman ketawa-ketiwi, cerita, dan bergosip. Dan tak lupa Kak Irwan (rekan peneliti

S2) dan Pak Wayan (rekan peneliti S3) yang selalu memberikan semangat dan sarannya hingga selesainya penelitian ini.

9. Rekan-rekan Kimia angkatan “**012**” “**H312Oes**” terima kasih atas cerita-ceritanya semasa bangku kuliah. Sama-sama berjuang melewati masa-masa senang dan sulit di kampus merah ini, terutama masa-masa MABA, tentunya (^). *Thank’s a lot.*
10. Rekan-rekan anak UMMI dan teman karaokean. Baso, Sultan James, K’Anty, K’Tina Lopang, Icha, Ria, Fely, Ayu, dan Nini, serta Kak Linda dan Kak Hannah, tempat bagi saya untuk berbagi cerita. *Thank’s a lot.*
11. “**Wahidah Coddling S.ST**” dan “**Chaerul Dahlan S.Kom, M.Kom**”, terima kasih atas tempat dan fasilitas yang telah diberikan selama ini. *Thank’s a lot.*
12. Semua pihak yang tidak sempat tersebut namanya yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan doa kepada penulis.

Penulis sadar bahwa apa yang disajikan dalam hasil penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak. Akhirnya, penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada para peneliti bidang nanoteknologi terbaru selanjutnya.

Penulis,

2017

ABSTRAK

Sintesis nanopartikel perak telah dilakukan dengan metode reduksi menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh yang dimodifikasi dengan L-sistein untuk pendeteksi melamin. Nanopartikel perak yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, FTIR, PSA, dan XRD. Hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa telah terbentuk nanopartikel perak dengan munculnya serapan pada λ_{\max} 427,50 nm. Kestabilan nanopartikel perak tanpa modifikasi berada pada serapan λ_{\max} 427,50-429,00 nm, sedangkan nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM berada pada serapan λ_{\max} 419,50-423,00 nm. Berdasarkan karakterisasi menggunakan FTIR, adanya serapan tajam pada bilangan gelombang $349,21\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya interaksi Ag-S. Ukuran rata-rata partikel nanopartikel perak tanpa modifikasi yaitu 69,1 nm dan termodifikasi L-sistein 0,5 mM yaitu 67,5 nm. Selanjutnya karakterisasi dengan XRD menunjukkan empat *peak* khas dengan intensitas tertinggi pada sudut 2θ (*2-theta*) yaitu $37,83^\circ$, $44,06^\circ$, $64,43^\circ$, dan $77,56^\circ$ menunjukkan difraktogram dari nanopartikel perak. Berdasarkan hasil analisis pengujian, nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM dapat mendeteksi keberadaan melamin secara kolorimetri dengan berubahnya warna larutan dari kuning kecoklatan menjadi kemerahan dan ditandai dengan menurunnya absorbansi nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM seiring meningkatnya konsentrasi melamin.

Kata Kunci : Nanopartikel perak, belimbing wuluh, L-sistein, dan melamin

ABSTRACT

The synthesis of silver nanoparticles has been carried out by reduction method using starfruits leaf extract modified by L-cysteine to detecting melamine. The result of silver nanoparticles were characterized by using UV-Vis spectrophotometer, FTIR, PSA, and XRD. The UV-Vis spectrophotometer characterization results indicated that silver nanoparticles had been formed, the result show that the absorbance at maximum wavelength 427,50 nm. The stability of silver nanoparticle without modified showed the absorbance at maximum wavelength 427,50-429,00 nm and silver nanoparticle modified by L-cysteine 0,5 mM showed the absorbance at maximum wavelength 419,50-423,00 nm. Based on the result of FTIR characterized, there are the sharp spectrum at wavelength numbers $349,21\text{ cm}^{-1}$ showed that interaction of Ag-S. The average size of silver nanoparticle without modified is 69,1 nm and modified by L-cysteine 0,5 mM is 67,5 nm. While characterized by XRD appeared four peaks with highest intensity at 2θ diffraction is $37,83^\circ$, $44,06^\circ$, $64,43^\circ$, and $77,56^\circ$ were indicated the presence of silver nanoparticle. The application of silver nanoparticles for detecting melamine showed that modified silver nanoparticle can be used for detecting melamine at concentration around 0,1-1000 ppm, it was marked with a color change and decrease of absorbance were measured by UV-Vis spectrophotometer.

Keywords: Silver nanoparticle, starfruit, L-cysteine, and melamine.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Nanosains dan Nanoteknologi	7
2.2 Nanopartikel Perak.....	9
2.3 Metode-Metode Sintesis Nanopartikel Perak	10
2.3.1 Metode Fotokimia.....	10
	x

2.3.2 Metode Sonokimia	10
2.3.3 Metode Aerosol.....	11
2.3.4 Metode Reduksi Kimia	11
2.4 <i>Green Synthesis</i> Nanopartikel Perak.....	12
2.5 Kolorimetri Berbasis Nanopartikel Perak	15
2.6 Modifikasi Nanopartikel Perak Menggunakan L-Sistein	17
2.7 Pendeteksian Melamin Menggunakan Nanopartikel Perak	19
2.8 Tanaman Belimbing Wuluh (<i>Averrhoa bilimbi</i> Linn)	21
2.9 Karakterisasi Nanopartikel Perak	23
2.9.1 Spektrofotometer UV-Vis	23
2.9.2 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	24
2.9.3 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	25
2.9.4 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	26
2.9.5 <i>Fourier Transform Infa Red</i> (FTIR)	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Bahan Penelitian	29
3.2 Alat Penelitian.....	29
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.4 Prosedur Penelitian	30
3.4.1 Pembuatan Larutan Stok Melamin 1.000 ppm dan Larutan Standar Melamin.....	30
3.4.2 Pembuatan Larutan AgNO ₃ 0,5 mM, 1 mM, 2 mM, 5 mM, dan 10 mM	30
3.4.3 Pembuatan Larutan L-Sistein 0,5 mM	31
3.4.4 Pembuatan Ekstrak Daun Belimbing Wuluh	31
3.4.5 Sintesis Nanopartikel Perak	31

3.4.6 Modifikasi Nanopartikel Perak	32
3.4.7 Pengujian Deteksi Melamin Menggunakan Nanopartikel Perak	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Biosintesis Nanopartikel Perak	34
4.1.1 Penentuan Konsentrasi Optimum Larutan AgNO ₃	34
4.2 Karakterisasi Nanopartikel Perak	36
4.2.1 Karakterisasi Warna dan pH	36
4.2.2 Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis	38
4.2.3 Karakterisasi Menggunakan <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	43
4.2.4 Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	46
4.2.5 Karakterisasi Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	47
4.3 Aplikasi Nanopartikel Perak Sebagai Pendeteksi Melamin.....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema pembentukan nanopartikel logam dengan metode <i>top down</i> dan <i>bottom up</i>	12
2. Mekanisme pendeteksian melamin menggunakan nanopartikel perak.....	16
3. Struktur kimia L-sistein	17
4. Interaksi nanopartikel perak dengan L-sistein	18
5. Struktur kimia melamin	20
6. Interaksi nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein dengan melamin.....	21
7. Tanaman belimbing wuluh	22
8. Pola XRD nanopartikel perak	26
9. Spektrum UV-Vis penentuan konsentrasi optimum larutan AgNO ₃	35
10. Karakterisasi warna larutan nanopartikel perak tanpa modifikasi dan yang dimodifikasi L-sistein selama 8 hari	37
11. Spektrum UV-Vis masing-masing larutan prekursor dan larutan nanopartikel perak.....	39
12. Spektrum UV-Vis kestabilan (a) nanopartikel perak tanpa modifikasi dan (b) nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM.....	41
13. Hubungan waktu terhadap absorbansi nanopartikel perak	43
14. Spektrum IR (a) ekstrak daun belimbing wuluh (b) nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM.....	44
15. Mekanisme reaksi oksidasi reduksi ion perak dengan senyawa bioaktif polifenol dalam ekstrak daun belimbing wuluh (<i>Averrhoa bilimbi</i> Linn)	45
16. Skema pembentukan nanopartikel perak dari polimer Ag.....	46
17. Difraktogram nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein.....	46
18. Hasil analisis penentuan ukuran nanopartikel perak (a) tanpa modifikasi, dan (b) yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM	48

19. Hasil pengamatan (a) nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM (b) terhadap melamin berbagai konsentrasi	49
20. Spektrum UV-Vis pengujian nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM terhadap larutan analit melamin berbagai konsentrasi	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daftar tumbuhan yang dimanfaatkan dalam biosintesis nanopartikel perak.....	14
2. Daftar beberapa penelitian tentang modifikasi nanopartikel perak dengan menggunakan ligan L-sistein.....	19
3. Nilai panjang gelombang maksimum (λ_{\max}) dan absorbansi larutan nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi larutan AgNO_3	36
4. Hasil analisis spektrum UV-Vis kestabilan nanopartikel perak	42
5. Perbandingan data difraktogram nanopartikel perak hasil sintesis dengan	47
6. Perubahan panjang gelombang maksimum (λ_{\max}) dan absorbansi larutan nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM setelah penambahan larutan analit melamin berbagai konsentrasi.....	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Pembuatan larutan stok melamin 1000 ppm dan larutan standar melamin.....	61
2. Pembuatan larutan AgNO ₃ 0,5 mM, 1 mM, 2 mM, 5 mM, dan 10 mM...	62
3. Pembuatan larutan L-sistein 0,5 mM	62
4. Pembuatan ekstrak daun belimbing wuluh	63
5. Sintesis nanopartikel perak	64
6. Modifikasi nanopartikel perak dengan L-sistein 0,5 mM.....	65
7. Pengujian deteksi melamin menggunakan nanopartikel perak	66
8. Dokumentasi hasil penelitian	67
a. Gambar penentuan konsentrasi optimum larutan AgNO ₃	67
b. Gambar pengamatan perubahan warna larutan nanopartikel perak dari awal hingga hari ke-8.....	67
c. Gambar hasil sentrifugasi larutan nanopartikel perak.....	68
d. Gambar serbuk nanopartikel perak	68
9. Dokumentasi instrumen yang digunakan.....	69
a. Gambar Spektrofotometer UV-Vis	69
b. Gambar <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR).....	69
c. Gambar <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	69
d. Gambar <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	70
e. Gambar Sentrifius	70
10. Spektrum UV-Vis penentuan konsentrasi optimum larutan AgNO ₃	71
11. Spektrum UV-Vis larutan prekursor	73

12. Spektrum UV-Vis kestabilan nanopartikel perak tanpa modifikasi.....	75
13. Spektrum UV-Vis kestabilan nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM.....	78
14. Spektrum UV-Vis pengujian deteksi melamin	81
15. Hasil karakterisasi dengan menggunakan <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	84
16. Hasil karakterisasi dengan menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	86
17. Perhitungan ukuran partikel berdasarkan persamaan Debye Scherrer.....	89
18. Hasil karakterisasi dengan menggunakan <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i> .	91

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
AgNP	Nanopartikel Perak
CMC	<i>Carboxy Methyl Cellulose</i>
CTAB	<i>Cethyl Trimethyl Amonium Bromide</i>
DLS	<i>Dynamic Light Scattering</i>
DPPH	<i>2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infra Red</i>
IC	<i>Inhibitor Concentration</i>
LSPR	<i>Localized Surface Plasmon Resonance</i>
NaDDBS	Natrium Dodesilbenzen Sulfonat
nm	nanometer
PAA	<i>Poly Acrylic Acid</i>
PAH	<i>Poly Allylamine Hydrochloride</i>
pH	Potensial Hidrogen (Derajat Keasaman)
ppm	<i>Part Per Million</i>
PSA	<i>Particle Size Analyzer</i>
PVA	<i>Poly Vinyl Alcohol</i>
PVP	<i>Poly Vinyl Pyrrolidone</i>
SDS	<i>Sodium Dodecyl Sulfate</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
SPR	<i>Surface Plasmon Resonance</i>
UV-Vis	<i>Ultraviolet - Visible</i>
XRD	<i>X-ray Diffraction</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi telah membangkitkan perhatian yang sangat besar dari para ilmuwan di seluruh dunia, dan saat ini merupakan bidang riset yang banyak diteliti khususnya pada bidang fisika dan kimia. Nanoteknologi adalah ilmu dan rekayasa dalam penciptaan material, struktur fungsional, maupun piranti dalam skala nanometer (Abdullah, 2008). Nanopartikel sebagai “*building blocks*” dari nanoteknologi memiliki banyak aplikasi potensial dalam berbagai bidang. Nanopartikel yang banyak dikembangkan saat ini adalah nanopartikel perak dan emas (Nagarajan dan Hatton, 2008).

Nanopartikel perak memiliki sifat yang lebih unggul dibandingkan material perak dalam bentuk *bulk*-nya, karena dalam skala nanometer, logam perak memperlihatkan sifat-sifat optik yang lebih efisien dan mirip dengan sifat optik dalam bentuk atomnya dibandingkan material *bulk*-nya yang sangat jauh berbeda sifat optiknya (Caro dkk., 2010).

Sintesis nanopartikel perak dapat dilakukan dengan metode fisika maupun kimia. Metode kimia lebih populer digunakan karena lebih mudah dibandingkan dengan metode fisika dan dapat memproduksi nanopartikel dalam skala yang besar, namun metode kimia menggunakan zat-zat yang bersifat toksik dan berpotensi menimbulkan masalah pada lingkungan. Biosintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak tanaman merupakan pilihan yang layak selain metode fisika dan kimia. Penggunaan ekstrak tanaman dalam proses biosintesis karena kandungan senyawa organik dalam ekstrak tanaman dapat bertindak sebagai

agen pereduksi yang mampu mereduksi ion Ag^+ dalam larutan menjadi Ag^0 (Isaac dkk., 2013).

Tanaman belimbing wuluh merupakan salah satu tanaman yang banyak ditemukan di Indonesia. Berdasarkan pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, ekstrak daun belimbing wuluh memiliki aktivitas antibakteri, antiinflamasi, antihipertensi, dan antioksidan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mukhlisoh (2010), ekstrak kasar daun belimbing wuluh mengandung senyawa tanin, flavonoid, dan triterpenoid. Kandungan senyawa aktif itulah yang diperkirakan dapat menjadi agen pereduksi dalam sintesis nanopartikel perak.

Nanopartikel perak memiliki kecenderungan untuk saling beragregasi satu sama lain karena luas permukaannya yang sangat besar, sehingga diperlukan suatu ligan untuk memodifikasi permukaan logam. Modifikasi permukaan nanopartikel logam dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kestabilan serta sensitivitas dan selektivitas nanopartikel dengan molekul analit. Molekul ligan yang terikat pada permukaan nanopartikel dapat mencegah agregasi nanopartikel. Syarat ligan sebagai pemodifikasi adalah harus memiliki gugus yang dapat berinteraksi dengan nanopartikel logam sehingga dapat melindungi permukaan logam, salah satunya adalah zat yang memiliki gugus tiol (-SH) seperti L-sistein dan asam-3-merkaptopropanoat. Pada penambahan ligan L-sistein, diduga terjadi efek stabilisasi oleh gugus tiol dari ligan L-sistein terhadap nanopartikel logam (Caro dkk., 2010).

Modifikasi nanopartikel perak dengan ligan L-sistein telah dilakukan oleh Haibing dan Yinghui (2009) untuk analisis kolorimetri senyawa histidin. Sementara Handayani (2011) telah memodifikasi nanopartikel perak dengan ligan

L-sistein untuk mendeteksi keberadaan logam berat Zn^{2+} sebagai salah satu logam pencemar.

Nanopartikel perak telah banyak digunakan sebagai media yang sensitif dan selektif dalam mendeteksi berbagai jenis cemaran seperti logam berat dan pestisida, serta substansi biologis seperti DNA. Selain sebagai pendeteksi logam berat dan pestisida, nanopartikel perak juga telah banyak digunakan untuk mendeteksi melamin (Caro dkk., 2010).

Beberapa tahun silam hingga saat ini, sangat banyak terjadi berbagai tindak kejahatan yang salah satunya yaitu penyalahgunaan beberapa zat-zat kimia ke dalam pangan. Beberapa kasus yang pernah tercatat seperti penyalahgunaan melamin dalam pangan telah banyak dilakukan. Pada tahun 2007, ditemukan kontaminasi melamin dalam gluten gandum dan konsentrat protein beras yang diimpor USA dari Cina sebagai pakan hewan peliharaan, sehingga menyebabkan kematian sejumlah besar anjing dan kucing. Selanjutnya salah satu kasus terbesar yang terjadi adalah kasus kontaminasi melamin pada susu formula bayi di Cina pada tahun 2008 yang menyebabkan kematian sejumlah besar bayi akibat gagal ginjal (WHO, 2009).

Penambahan melamin secara ilegal pada susu bertujuan untuk meningkatkan kadar nitrogen yang telah menurun pada saat proses pengenceran susu. Hal ini karena melamin memiliki kandungan nitrogen yang tinggi (66 %) sehingga pada saat susu diperiksa seolah-olah susu mempunyai kandungan protein yang tinggi (Sun dkk., 2010).

Setelah maraknya kasus kontaminasi melamin dalam pangan, mengakibatkan dibutuhkan metode analisis untuk menentukan keberadaan melamin. Beberapa metode yang telah dikembangkan menggunakan instrumen

antara lain kromatografi gas (GC), kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC), dan kromatografi cair kinerja tinggi/spektroskopi massa (HPLC/MS). Metode tersebut memiliki sensitivitas yang tinggi, namun terdapat beberapa kekurangan yaitu waktu dan preparasi sampel yang lama dan rumit, penggunaan instrumen yang mahal. Beberapa kekurangan tersebut membatasi penerapan metode tersebut, sehingga diperlukan metode khusus yang lebih sederhana dan cepat namun efisien, salah satunya dengan penggunaan nanopartikel perak yang berbasis kolorimetri (Ping, 2012).

Beberapa penelitian tentang pendeteksian melamin berbasis nanopartikel perak telah dilakukan. Ma dkk. (2011), memodifikasi nanopartikel perak menggunakan dopamin. Han dan Li (2010), memodifikasi nanopartikel perak menggunakan *p*-nitroanilin untuk mendeteksi melamin dalam susu formula. Ping dkk. (2012), memodifikasi nanopartikel perak menggunakan natrium sitrat.

Berdasarkan pada uraian di atas dan beberapa penelitian sebelumnya, maka dilakukan penelitian tentang potensi ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) sebagai agen bioreduktor dalam sintesis nanopartikel perak kemudian menentukan konsentrasi optimum larutan AgNO₃ sebagai prekursor, pengaruh lama waktu penyimpanan dan penambahan ligan L-sistein terhadap sifat nanopartikel perak serta potensi pemanfaatannya sebagai pendeteksi melamin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan masalah yaitu:

1. Apakah nanopartikel perak dapat disintesis dengan menggunakan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn)?

2. Bagaimana pengaruh lama waktu penyimpanan dan penambahan ligan L-sistein terhadap sifat nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) ?
3. Bagaimana karakteristik nanopartikel perak yang telah disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) tanpa modifikasi dan yang telah dimodifikasi dengan ligan L-sistein ?
4. Bagaimana potensi pemanfaatan nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) sebagai pendeteksi melamin ?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) sebagai agen bioreduktor dalam sintesis nanopartikel perak, pengaruh lama waktu penyimpanan dan penambahan ligan L-sistein terhadap sifat nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) serta potensi pemanfaatannya sebagai pendeteksi keberadaan cemaran melamin.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Mensintesis nanopartikel perak dengan menggunakan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn).
2. Menentukan pengaruh lama waktu penyimpanan dan penambahan ligan L-sistein terhadap sifat nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn).

3. Menentukan karakterisasi nanopartikel perak yang telah disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) tanpa modifikasi dan yang telah dimodifikasi dengan ligan L-sistein.
4. Mengidentifikasi potensi nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) sebagai pendeteksi melamin.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai potensi ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel perak yang ramah lingkungan dan L-sistein sebagai agen penstabil dalam sintesis nanopartikel perak serta analisis pemanfaatan nanopartikel perak yang telah disintesis sebagai pendeteksi melamin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanosains dan Nanoteknologi

Nanosains adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari segala sesuatu yang berkaitan dengan materi yang berukuran 1-100 nm, sedangkan nanoteknologi merupakan teknologi yang berusaha mengembangkan dan memanfaatkan semua yang sudah dipelajari dalam nanosains. Nanoteknologi dapat mengubah suatu bahan/material yang tidak berguna dengan menyusun kembali susunan unsur-unsurnya (Poli, 2006).

Nanoteknologi adalah teknologi yang didasarkan pada rekayasa sifat-sifat material yang berukuran nanometer. Nanoteknologi tidak hanya bermakna pengecilan ukuran material ke dalam skala nanometer. Jika suatu material ukuran besar (*bulk*) ditumbuk hingga mencapai ukuran nanometer, langkah tersebut belum dapat dikatakan nanoteknologi. Ketika ukuran material direduksi, harus ada sifat-sifat baru yang dieksploitasi atau diciptakan, dan eksploitasi sifat baru itulah yang digolongkan dengan nanoteknologi. Perbedaan antara nanomaterial dengan material konvensional tidak hanya didasarkan pada ukuran dimana salah satunya mempunyai ukuran yang sangat kecil dan yang lain memiliki ukuran besar. Pengelompokan juga didasarkan pada seberapa besar rekayasa atau manipulasi yang dilakukan pada material untuk menghasilkan sifat atau fungsi baru. Sehingga nanoteknologi juga harus menyangkut rekayasa sifat dalam ukuran tersebut (Abdullah, 2012).

Nanoteknologi merupakan disiplin ilmu yang tidak hanya berkembang pesat pada bidang fisika dan kimia, namun juga pada bidang biologi. Berdasarkan

pada perkembangan pesat aplikasi dari nanoteknologi, di antara para ilmuwan tertarik mengkaji lebih dalam melakukan penelitian nanoteknologi dalam ketiga disiplin ilmu yang penting ini (Leela dan Vivekananda, 2008). Menurut Rocco (2003), seluruh komponen baik itu biologi maupun sistem buatan manusia, tersusun mulai dari materi pada skala nano. Hal tersebut menjadi inspirasi untuk ditiru (*biomimetic*) dalam pengembangan dan aplikasi suatu teknologi. Nanoteknologi memiliki jangkauan keilmuan yang bersifat interdisipliner. Sebagai contoh, ilmu fisika terkait dengan ilmu kimia menghasilkan berbagai aplikasi dalam bidang medis, alat rumah tangga, militer, dan lainnya. Ilmu-ilmu fisika dan biologi saling berkaitan untuk menghasilkan teknologi di bidang lingkungan hidup, sedangkan ilmu kimia dan biologi saling berkaitan untuk menghasilkan kemajuan di bidang kosmetik. Sehingga, jangkauan nanosains dan nanoteknologi sebenarnya sangat luas (Dwandaru, 2012).

Nanoteknologi merupakan revolusi teknologi baru dan kunci kendali ekonomi selama abad ke-21, memberikan manfaat sosial yang signifikan termasuk diagnosa medis, sumber energi yang lebih efisien, bahan murah, produk elektronika, dan air bersih (Abdullah, 2012). Nanoteknologi telah mengubah cara pandang terhadap kemajuan teknologi karena setiap materialnya disusun dalam level atom atau molekul sehingga didapatkan suatu bahan yang memiliki sifat khas yang lebih unggul daripada material yang sudah ada. Keunikan dan kegunaan yang baru dari material berukuran nano ini memiliki daya tarik tidak hanya bagi ilmuwan tetapi juga bagi pengusaha, sehingga nanoteknologi sangat berpotensi besar dalam bidang ekonomi. Nanoteknologi juga telah diterapkan dalam industri tekstil karena dapat memberikan daya tahan yang tinggi terhadap kain dibandingkan produksi dengan cara konvensional (Wong dkk., 2006).

2.2 Nanopartikel Perak

Perak merupakan logam berwarna putih dan berkilau serta memiliki nomor atom 47 dan massa atom 107,8682 g/mol dalam tabel periodik unsur. Kerapatannya sekitar 10,5 g/mL dan melebur pada suhu 960,5 °C. Perak memiliki 4 jenis tingkat oksidasi yaitu, Ag^0 , Ag^+ , Ag^{2+} , dan Ag^{3+} , dua bentuk pertama sangat melimpah, sedangkan dua bentuk berikutnya cenderung tidak stabil, terutama dalam lingkungan air (Nordberg dan Gerhardsson, 1988).

Perkembangan nanopartikel logam mulia berkembang pesat akhir-akhir ini, terutama aplikasinya dalam berbagai bidang seperti katalis, biosensor, elektronik, dan optik. Sifat optik dari nanopartikel logam mulia seperti emas dan perak bergantung pada penyerapan dalam spektrum tampak, yang disebut dengan pita plasmon (Moore dan Goettmann, 2006).

Serapan dari nanopartikel perak berada pada panjang gelombang 400-500 nm. Hal ini dapat dilakukan karena serapan cahaya antara bentuk nanopartikel dengan bentuk ukuran yang bukan nanopartikel, memiliki panjang gelombang yang jauh berbeda (Hosokawa, 2007). Terbentuknya koloid nanopartikel perak ditandai dengan perubahan warna larutan dari bening menjadi kuning kecoklatan akibat eksitasi vibrasi permukaan plasmon pada nanopartikel perak (Shankar dkk., 2004).

Perak telah digunakan untuk pengobatan penyakit medis selama lebih dari 100 tahun karena memiliki sifat alami sebagai antibakteri dan jamur. Pengembangan perak dalam skala nanometernya diharapkan lebih reaktif dibandingkan dalam ukuran besarnya. Nanopartikel perak memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga meningkatkan kontak dengan bakteri dan jamur. Ukuran nanopartikel perak yang sangat kecil juga memudahkan terjadinya

penetrasi ke dalam membran sel bakteri yang selanjutnya melakukan menyerang rantai pernapasan bakteri, hingga pada akhirnya sel tersebut menjadi mati (Ristian, 2013).

2.3 Metode-Metode Sintesis Nanopartikel Perak

2.3.1 Metode Fotokimia

Pembuatan nanopartikel perak dengan menggunakan metoda fotokimia didasari oleh transformasi kimiawi perak klorida pada permukaan kain menjadi logam perak dengan bantuan radiasi tinggi dari sinar UV sebagai agen fotoreduksi. Ukuran nanopartikel perak yang dihasilkan sebanding dengan waktu dan kekuatan radiasi dari sumber sinar. Penggunaan radiasi yang tinggi dapat menurunkan muatan positif ion logam sehingga membentuk nanopartikel perak (Zaarour dkk., 2014).

Nanopartikel perak terbentuk dalam matriks karet alam atau zeolit alam melalui fotoinduksi pada film tipis dari karet alam yang mengandung garam perak. Ukuran yang diperoleh berkisar 4 hingga 10 nm (Ghorbani dkk., 2011).

2.3.2 Metode Sonokimia

Metode sonokimia umumnya diperuntukkan dalam medium cair. Suara ultrasonik yang digunakan sebesar 20 KHz – 1 MHz. Suara ultrasonik yang menjalar di dalam medium cair dapat membentuk gelembung atau rongga (*cavity*) mikroskopik dengan cepat dan dapat memisahkan ikatan Van der Waals. Pada saat proses sonikasi, air akan terkonveksi menjadi hidrogen peroksida. Selanjutnya, gelembung yang terbentuk akan membesar karena ada difusi dari perak. Pada saat volume maksimum, gelembung-gelembung tersebut akan pecah dan akan meningkatkan temperatur menjadi 5000 K dengan tekanan beratus-ratus

atm. Pada keadaan itu ikatan kimia pada perak akan terlepas menjadi bentuk nanopartikel (Gedanken, 2003).

2.3.3 Metode Aerosol

Metode lain yang digunakan dalam sintesis nanopartikel perak yaitu metode aerosol. Metode ini akan mendispersikan partikel perak dalam gas, sehingga muatan pada ion perak akan lebih stabil di dalamnya. Zat-zat yang umum digunakan seperti material yang mengandung perak dan *carrier* gas (gas pembawa) seperti gas N₂. Sebuah wadah keramik yang mengandung sejumlah kecil perak, diuapkan dalam *furnace* pada suhu yang tinggi sekitar 1300-1400 °C. Uap yang mengandung perak akan dibawa oleh suatu gas pembawa seperti N₂ menuju *chamber* koagulasi, Karena terjadinya penurunan suhu secara drastis setelah proses penguapan di dalam *furnace*, Uap yang mengandung perak mengalami kondensasi dan beraglomerasi membentuk partikel-partikel nanometer berukuran 20 nm yang terjadi di dalam *chamber* koagulasi (Harra dkk., 2012).

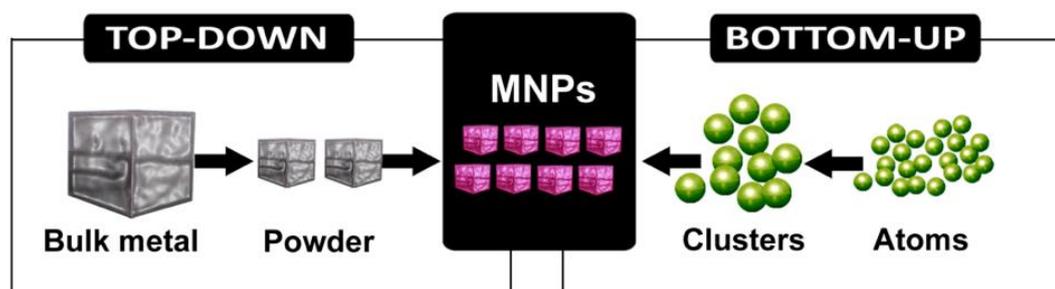
2.3.4 Metode Reduksi Kimia

Pada proses sintesis nanopartikel dengan metode reduksi kimia digunakan zat pereduksi dan zat pelindung/penstabil untuk menentukan keseragaman dispersi dari nanopartikel. Zat pereduksi yang umum digunakan adalah natrium borohidrat (NaBH₄) atau hidrazin (N₂H₄) yang keduanya merupakan zat pereduksi kuat, formaldehid (zat pereduksi yang bersifat medium), dan glukosa (zat pereduksi yang bersifat lemah) (Lu dan Chou, 2008). Sintesis nanopartikel logam dengan metode kimia dilengkapi dengan penggunaan surfaktan atau polimer yang membentuk susunan teratur (*self-assembly*) pada

permukaan nanopartikel logam. Zat yang dapat digunakan untuk menstabilkan ukuran nanopartikel adalah polimer. Polimer diharapkan mampu menjadi dinding penghalang terjadinya proses aglomerasi dan proses oksidasi yang tidak diinginkan. Beberapa jenis surfaktan seperti NaDDBS, SDS, dan CTAB juga beberapa polimer seperti PVP, PAA, PAH, CMC telah digunakan dalam sintesis nanopartikel (Bae dkk., 2011).

2.4 Green Synthesis Nanopartikel Perak

Secara garis besar, pembentukan nanopartikel logam dapat dilakukan dengan metode *top down* (fisika) dan *bottom up* (kimia). Metode fisika (*top down*) yaitu dengan cara memecah padatan logam menjadi partikel-partikel kecil berukuran nano. Sedangkan metode kimia (*bottom up*) dilakukan dengan cara menumbuhkan partikel-partikel nano mulai dari atom logam yang didapat dari prekursor molekular atau ionik, prekursor yang digunakan adalah garam AgNO_3 dan suatu reduktor tertentu. Metode fisika dianggap kurang efisien sehingga metode kimia lebih sering digunakan (Fernandez, 2011). Skema pembentukan nanopartikel logam secara *top down* dan *bottom up* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pembentukan nanopartikel logam dengan metode *top down* dan *bottom up* (Caro dkk., 2010).

Beberapa metode digunakan untuk produksi nanopartikel perak, seperti yang telah disebutkan metode reduksi kimia lebih populer karena metode sintesis

yang lebih mudah, murah, dan kemampuan produksi nanopartikel dalam skala yang besar. Perlu diketahui bahwa penggunaan metode reduksi kimia dengan zat-zat pereduksi kuat tertentu dapat memunculkan masalah baru karena pelarut yang digunakan bersifat toksik sehingga menghasilkan limbah yang berbahaya bagi lingkungan, membutuhkan banyak energi, dan mahal. Maka dari itu, diperlukan suatu pendekatan baru dalam hal sintesis nanopartikel yang ramah lingkungan yaitu dengan pendekatan *green synthesis* dengan menggunakan zat pereduksi organik yang bersifat alami seperti bakteri, jamur, alga, ragi, atau tanaman. Penggunaan bakteri sebagai zat pereduksi lebih sulit karena proses isolasi dan kultur yang cenderung rumit sehingga penggunaan ekstrak tanaman lebih populer digunakan (Thakkar dkk., 2010).

Pemanfaatan beberapa jenis tanaman dalam sintesis nanopartikel perak telah dilakukan oleh Handayani (2011), dalam penelitian yang dilakukan digunakan 8 jenis tumbuhan yaitu *Murayya paniculata* (Kemuning), *Cerbera manghas* (Bintaro), *Dillenia indica* (Dilenia), *Centella asiatica* (Pegagan), *Azadiracta indica* (Mimba), *Diospyros blancoi* (Bisbul), dan *Pometia pinnata* (Matoa), dan *Phalleria marcocarpa* (Mahkota Dewa). Tujuh jenis tumbuhan dapat digunakan dalam sintesis nanopartikel perak. Hal ini dapat dilihat pada perubahan warna larutan secara visual dan hasil spektrum UV-Vis yang menunjukkan adanya puncak pada kisaran pada panjang gelombang 425-450 nm yang merupakan nilai SPR dari nanopartikel perak. Sedangkan pada penggunaan ekstrak tanaman Mahkota Dewa tidak terdapat adanya puncak pada kisaran panjang gelombang 425-450 nm. Hal ini karena daun Mahkota Dewa tidak mengandung metabolit sekunder terpenoid yang merupakan zat yang dianggap berperan sebagai pereduksi dalam sintesis nanopartikel perak.

Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Logeswari dkk. (2012), digunakan 5 jenis tumbuhan yaitu *Ocimum tenuiflorum* (Kemangi), *Solanum tricobatum* (Ranti), *Syzygium cumini* (Jamblang), *Centella asiatica* (Pegagan), dan *Citrus sinensis* (Jeruk). Pada penelitian tersebut, ke-5 jenis tumbuhan dapat digunakan dalam biosintesis nanopartikel perak dengan hasil spektrum UV-Vis yaitu berada pada puncak kisaran 420 nm dengan ukuran rata-rata nanopartikel perak yaitu 22,3-65 nm.

Beberapa daftar pemanfaatan berbagai jenis tumbuhan dalam biosintesis nanopartikel perak dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Daftar tumbuhan yang dimanfaatkan dalam biosintesis nanopartikel perak

Sumber dan Tahun	Tumbuhan	Agen Biosintesis	Ukuran nanopartikel
Veerasamy dkk., 2011	<i>Garcinia mangostana</i>	Ekstrak Daun	6-57 nm
Pratama, 2014	<i>Ipomoea batatas</i>	Ekstrak Buah	92,64 nm
Ibrahim, 2015	<i>Musa paradisiaca</i>	Ekstrak Kulit	23,7 nm
Kirthiga dan Mary, 2015	<i>Momordica charantia</i>	Ekstrak Daun	20-50 nm
Nethradevi dkk., 2012	<i>Datura metel</i>	Ekstrak Bunga	20-35 nm
Satyavathi, 2010	<i>Coriandrum sativum</i>	Ekstrak Daun	8-75 nm
Jagtap dan Bapat, 2013	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Ekstrak Biji	3-25 nm

Pada biosintesis nanopartikel perak, terjadi proses oksidasi-reduksi antara AgNO_3 dengan senyawa metabolit sekunder yang bersifat antioksidan dalam ekstrak tanaman. Mekanisme proses oksidasi-reduksi yang terjadi dalam larutan yaitu senyawa metabolit sekunder mengalami oksidasi dalam larutan dengan melepaskan elektron. Elektron yang dilepas dalam larutan akan mereduksi Ag^+

menjadi Ag^0 (Isaac dkk., 2013). Atom-atom Ag yang terbentuk selanjutnya mengalami nukleasi sehingga terbentuk kluster yang merupakan nanopartikel perak (Kumar dan Yadav, 2009).

2.5 Kolorimetri Berbasis Nanopartikel Perak

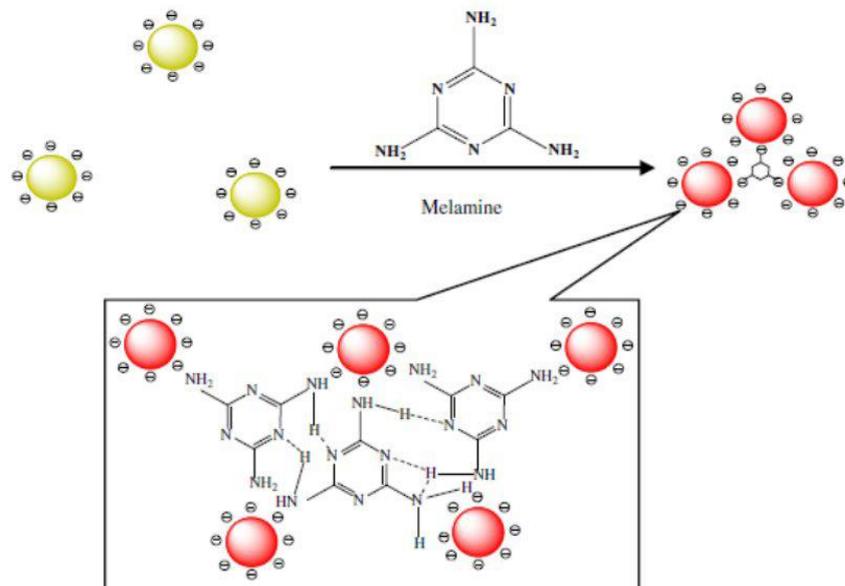
Pengembangan sensor kolorimetri yang selektif dan memiliki sensitivitas yang tinggi menggunakan nanopartikel logam mulia telah banyak dilakukan, terutama nanopartikel perak dan emas. Penggunaan kedua logam mulia tersebut karena sifatnya yang telah diketahui memiliki koefisien ekstinsi yang tinggi dan sifat optik yang bergantung pada jarak dan ukuran partikel. Kolorimetri berbasis nanopartikel didasarkan pada agregat yang dihasilkan. Sebagai contoh, dispersi nanopartikel perak dalam larutan memiliki warna kuning cerah atau kuning kecoklatan, sedangkan dalam bentuk agregatnya berwarna merah dalam larutan (Yao dkk., 2010).

Metode kolorimetri nanopartikel perak telah diteliti oleh Bakir (2011) dalam mendeteksi keberadaan logam berat Cu^{2+} . Nanopartikel perak yang disintesis menggunakan agen bioreduktor daun Bisbul (*Diospyrous blancoi*) yang dimodifikasi oleh PVA memberikan perubahan warna kuning menjadi keunguan pada penambahan larutan analit Cu^{2+} 1000 ppm. Perubahan juga terdapat pada puncak spektrum UV-Vis yang mengalami pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih besar dan melebar.

Ping dkk. (2012), telah melakukan penelitian mengenai pengembangan nanopartikel perak sebagai sensor melamin berbasis kolorimetri dengan penggunaan yang sederhana. Nanopartikel yang telah disintesis diujikan untuk mendeteksi keberadaan melamin dalam susu mentah. Pengujian didasarkan pada

fakta bahwa melamin dapat menginduksi agregasi nanopartikel perak. Hasil yang diperoleh yaitu berubahnya warna larutan nanopartikel perak dari kuning menjadi merah. Keberadaan melamin dalam susu dapat diamati secara visual atau dengan pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Perubahan warna terjadi karena interaksi antara molekul melamin sebagai analit dengan ligan pada permukaan nanopartikel perak. Penelitian serupa yang telah dilakukan oleh Borase dkk. (2015), biosintesis nanopartikel perak dari bioreduktor tumbuhan jarak merah (*Jatropha gossypifolia*) untuk mendeteksi melamin juga menghasilkan perubahan warna yang sama.

Perkiraan mekanisme interaksi melamin dan nanopartikel perak dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut.



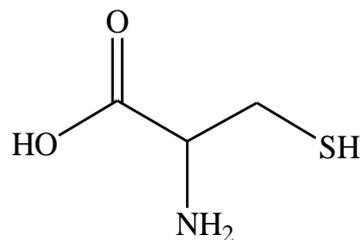
Gambar 2. Mekanisme pendeteksian melamin menggunakan nanopartikel perak (Ping dkk., 2012).

Pengembangan nanopartikel perak sebagai sensor optik juga telah dilakukan oleh Pratama (2014), dalam penelitian yang dilakukan nanopartikel perak diujikan dengan pestisida Diazinon dan Triazofos. Berdasarkan hasil yang

diperoleh, nanopartikel perak tidak sensitif dalam mendeteksi Diazinon namun cukup sensitif dalam mendeteksi Triazofos. Sensor berbasis nanopartikel perak dapat digunakan untuk menentukan kadar Triazofos pada sampel X menggunakan persamaan regresi linear dari hasil pengujian sensitivitas sensor pestisida terhadap masing-masing larutan standar Triazofos. Hasil penentuan kadar sampel Triazofos sampel X menggunakan sensor pestisida berbasis nanopartikel perak menunjukkan hasil yang mirip dengan pengujian menggunakan instrumen GC.

2.6 Modifikasi Nanopartikel Perak Menggunakan L-Sistein

L-sistein dengan rumus molekul $C_3H_7NO_2S$ adalah salah satu asam amino nonesensial yang memiliki gugus tiol pada rantai sampingnya. L-sistein memiliki nama lain yaitu Asam-2-Amino-3-Sulfanilpropanoat dengan berat molekul yaitu 121,16 g/mol. Struktur asam amino L-sistein dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut (Weast dan Robert, 1981).

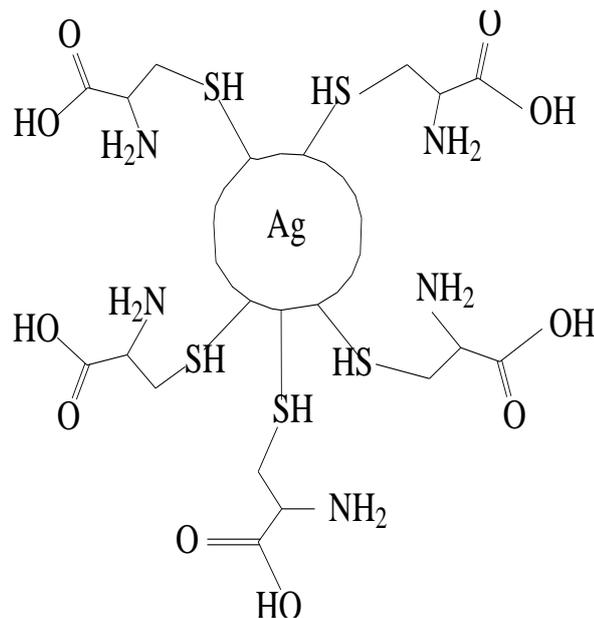


Gambar 3. Struktur kimia L-sistein (Weast dan Robert, 1981)

L-sistein merupakan salah satu asam amino yang digunakan sebagai ligan untuk memodifikasi nanopartikel. Selain sebagai ligan, L-sistein juga berperan sebagai agen penstabil dan pereduksi dalam sintesis nanopartikel. Keberadaan gugus aktif seperti $-NH_2$, $-COOH$, $-SH$, diperlukan dalam sintesis nanopartikel. Hal ini diduga pada gugus ini, terjadi interaksi dengan nanopartikel sehingga dapat terstabilkan (Zhanfang dan Hongliang, 2007). L-sistein sebagai ligan

penstabil membentuk interaksi penstabilan antara nanopartikel logam dan sulfur pada ligan L-sistein. Selain gugus tiol, gugus amina juga berperan menstabilkan dan mengontrol ukuran nanopartikel (Caro dkk., 2010).

Gambaran interaksi nanopartikel perak dengan ligan L-sistein dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Interaksi nanopartikel perak dengan ligan L-sistein (Rakhmania, 2012 setelah diolah kembali)

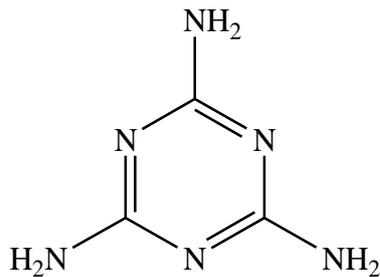
L-sistein telah banyak digunakan sebagai agen penstabil sekaligus ligan pemodifikasi dalam sintesis nanopartikel perak. Nanopartikel perak yang telah dimodifikasi dapat digunakan sebagai basis elemen sensor/pendeteksi keberadaan cemaran logam berat, pestisida, dan substansi biologis seperti DNA, asam amino, maupun protein (Moores dan Goettman, 2006). Beberapa penelitian yang telah berhasil dilakukan mengenai modifikasi nanopartikel perak dengan menggunakan ligan L-sistein disajikan dalam Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Daftar beberapa penelitian tentang modifikasi nanopartikel perak dengan menggunakan ligan L-sistein.

Sumber dan Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Haibing dan Yinghui, 2009	Analisis Kolorimetri Senyawa Histidin dalam Larutan Menggunakan Nanopartikel Perak Termodifikasi L-Sistein dengan Kehadiran Ion Logam Hg ²⁺	Ion logam Hg ²⁺ dapat mengompleks dengan baik pada sistein dari nanokomposit Ag-sistein maupun dengan histidin dibandingkan dengan asam amino lain, yang ditandai dengan perubahan warna larutan sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi senyawa histidin.
Handayani, 2011	Pemanfaatan Tumbuhan Tropis Untuk Biosintesis Nanopartikel Perak dan Aplikasinya Sebagai Indikator Kolorimetri Keberadaan Logam Berat	PVA dan L-sistein dapat digunakan sebagai ligan pemodifikasi. PVA selektif terhadap keberadaan ion logam berat Cu ²⁺ sedangkan L-sistein selektif terhadap ion logam berat Zn ²⁺ .
Nova, 2012	Modifikasi Zeolit Alam Terimobilisasi Nanopartikel Perak Dengan L-Sistein dan Asam-3-Merkaptopropanoat Sebagai Adsorben Ion Logam Berat	Imobilisasi nanopartikel perak termodifikasi ligan L-sistein dan asam-3-merkaptopropanoat ke dalam zeolit alam bersifat stabil dan selektif dibanding zeolit yang hanya diaktivasi terhadap ion logam Pb ²⁺ dan Co ²⁺ dengan daya adsorpsi paling besar dibanding ion logam lain.

2.7 Pendeteksian Melamin Menggunakan Nanopartikel Perak

Melamin adalah senyawa basa organik dengan rumus kimia C₃H₆N₆ dan memiliki nama kimia 1,3,5-triazina-2,4,6-triamina dengan massa molekul 126 g/mol, bentuknya yaitu berupa serbuk kristal putih. Melamin hanya sedikit larut dalam air. Melamin adalah trimer dari sianamida, dan seperti sianamida, melamin mengandung 66 % nitrogen (berdasarkan massa) (Litzau dkk., 2008). Struktur melamin dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut.

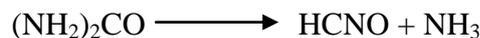


Gambar 5. Struktur Kimia Melamin (*Merck Index*)

Melamin pertama kali disintesis oleh seorang ahli kimia dari Jerman bernama Justus von Liebig (1834). Pada produksi awal, kalsium sianamida dikonversi menjadi disianamida, lalu dipanaskan di atas titik leburnya untuk menghasilkan melamin. Pada saat ini, kebanyakan industri menggunakan cara ini untuk menghasilkan melamin.



Hal ini dapat dimengerti dalam dua tahapan, pertama urea terdekomposisi menjadi asam sianat dan amonia dalam suatu reaksi endotermik seperti pada reaksi berikut.



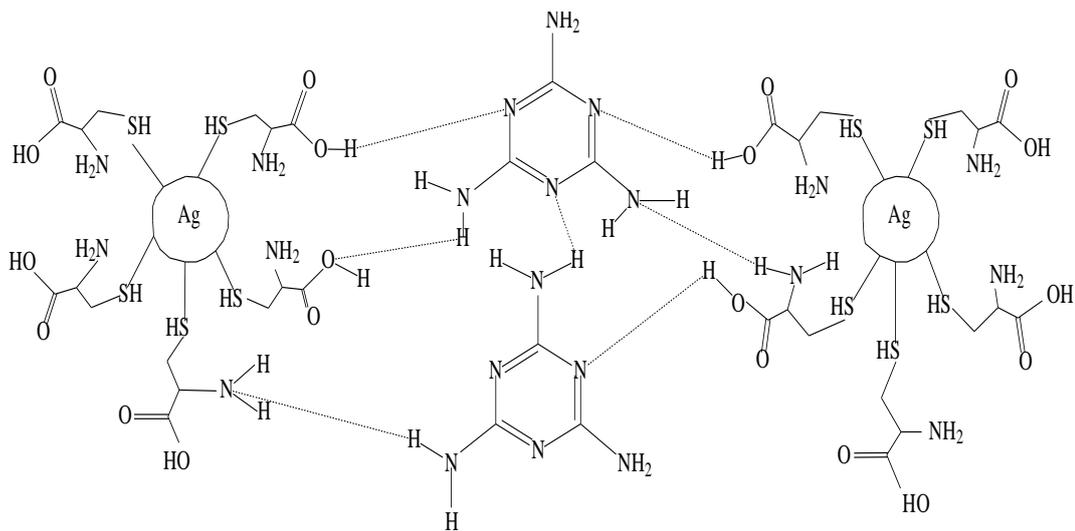
Lalu, asam sianat berpolimerisasi untuk menghasilkan melamin dan karbon dioksida (WHO, 2009):



Melamin berbahaya jika terminum, terhirup, dan terserap melalui kulit. Paparan secara kronis dapat menyebabkan efek kanker dan kerusakan sistem reproduksi. Para ahli FDA (*Food and Drug Administration*) menjelaskan ketika melamin dan asam sianurat terserap dalam darah, maka akan terkonsentrasi dan berinteraksi di dalam saluran kelenjar ginjal, lalu akan mengkristal berupa kristal kuning yang akan memblok dan merusak sel kelenjar ginjal yang akhirnya akan menutup saluran ginjal sehingga menyebabkan malfungsi ginjal (WHO, 2008).

Pendeteksian melamin berbasis nanopartikel perak telah banyak dilakukan seperti Ma dkk. (2011), memodifikasi nanopartikel perak menggunakan dopamin. Song dkk. (2014), memodifikasi nanopartikel menggunakan asam sulfanilik. Han dan Li (2010), memodifikasi nanopartikel perak menggunakan *p*-nitroanilin untuk mendeteksi melamin dalam susu formula. Ping dkk. (2012), memodifikasi nanopartikel perak menggunakan natrium sitrat.

Nanopartikel dapat pula dimodifikasi dengan ligan L-sistein untuk mendeteksi melamin. Ilustrasi interaksi nanopartikel perak yang dimodifikasi ligan L-sistein dengan melamin dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut.



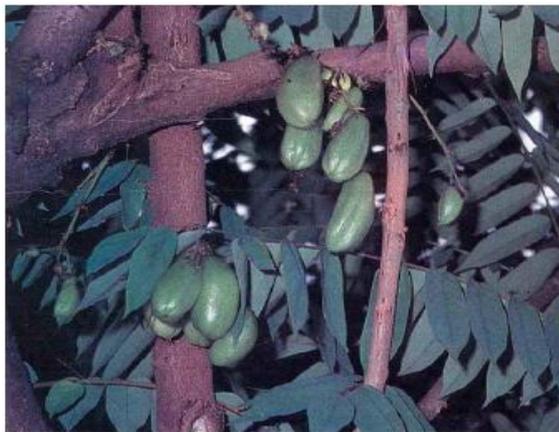
Gambar 6. Interaksi pengikatan melamin dengan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein (Rakhmania, 2012)

2.8 Tanaman Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn)

Tanaman belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) merupakan tanaman yang umum tumbuh di Indonesia. Belimbing wuluh secara tradisional dipercaya dapat mengobati penyakit hipertensi, diabetes melitus, demam, dan batuk. Pohonnya dapat mencapai 10 meter. Daun berbentuk bulat telur memanjang, warna hijau, dan bertangkai. Berbunga kecil-kecil, berbentuk bintang, dan warna

ungu kemerahan. Buah berbentuk bulat lonjong, berwarna hijau-kekuningan, mengandung banyak air, dan rasanya yang asam. Menurut Dasuki (1991), taksonomi tanaman belimbing wuluh adalah sebagai berikut.

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Geraniales
Familia : Oxalidaceae
Genus : *Averrhoa*
Spesies : *Averrhoa bilimbi* Linn



Gambar 7. Tanaman Belimbing Wuluh (Thomas, 1989)

Lidyawati dkk. (2006), menunjukkan bahwa hasil penapisan fitokimia pada simplisia dan ekstrak metanol dari daun belimbing wuluh mengandung flavonoid, saponin, tanin, dan steroid/triterpenoid. Fajarani (2009), menunjukkan bahwa ekstrak daun belimbing wuluh mengandung flavonoid, saponin, dan tanin. Flavonoid yang terkandung dalam ekstrak daun belimbing wuluh yaitu luteolin dan apigenin (Zakaria dkk., 2007). Dalimarta dan Soedibyo (1999), menjelaskan bahwa selain tanin di dalam daun belimbing wuluh juga mengandung peroksidase,

kalsium oksalat, dan kalium sitrat. Bahan aktif pada daun belimbing wuluh yang dapat dimanfaatkan sebagai obat adalah tanin.

Ekstrak daun belimbing wuluh diketahui juga memiliki aktivitas antioksidan, penelitian yang dilakukan oleh Kunchahyo dan Sunardi (2007), mengatakan bahwa fraksi eter dan fraksi air dari ekstrak metanol daun belimbing wuluh memiliki aktivitas antioksidan terhadap radikal bebas DPPH dengan nilai IC_{50} yaitu 50,36 ppm untuk fraksi eter dan IC_{50} yaitu 44,01 ppm untuk fraksi air.

2.9 Karakterisasi Nanopartikel Perak

2.9.1 Spektrofotometer UV-Vis

Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengetahui nanopartikel perak telah terbentuk atau belum. Terbentuknya nanopartikel perak ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi kuning cerah/kuning kecoklatan dan diperkuat dengan terbentuknya puncak absorpsi pada daerah panjang gelombang 400-500 nm yang merupakan serapan khas nanopartikel perak (Solomon dkk., 2007).

Terjadinya perubahan warna larutan menjadi kuning dan terbentuknya puncak absorpsi pada daerah panjang gelombang 400-500 nm merupakan efek dari fenomena *Localized Surface Plasmon Resonance* (LSPR). LSPR merupakan fenomena yang teramati terkait dengan terbentuknya nanopartikel dalam larutan. LSPR merupakan osilasi gabungan dari elektron konduksi pada nanopartikel. Eksitasi LSPR diinduksi oleh medan listrik dari adanya cahaya datang (Moores dan Goettman, 2006). Ketika sinar mengenai nanopartikel logam, maka elektron-elektron pada logam akan berkumpul pada permukaan membentuk awan elektron yang selanjutnya mengalami resonansi. Peristiwa tersebut menyebabkan

terjadinya eksitasi pada elektron. Penyerapan energi dari sinar menyebabkan berkurangnya intensitas sinar yang diteruskan sehingga serapan yang terdeteksi pada alat spektrofotometer UV-Vis meningkat dan muncul puncak pada spektrum serapan (Merwe, 1993).

Selain itu, spektrofotometer UV-Vis digunakan juga untuk memonitor perubahan nanopartikel dari waktu ke waktu. Ketika nanopartikel mengalami agregasi, partikel-partikel logam akan mengalami *coupling* secara elektronik sehingga LSPR-nya akan berbeda dari partikel individual (Merwe, 1993).

2.9.2 Particle Size Analyzer (PSA)

Metode PSA merupakan metode dengan prinsip *dynamic light scattering* (DLS). Metode PSA merupakan metode basah dengan menggunakan media pendispersi. Pengukuran PSA menggunakan metode basah agar partikel tidak mengalami aglomerasi (penggumpalan) seperti pada metode kering. Metode basah dinilai lebih akurat dibanding dengan metode ayakan dan metode analisa gambar, terutama pada sampel berorde nanometer hingga submikron yang memiliki kecenderungan beraglomerasi yang tinggi (Ristian, 2013). Ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single particle*. Data ukuran partikel yang didapatkan berupa tiga distribusi yaitu *intensity*, *number*, dan *volume distribution*, sehingga dapat diasumsikan menggambarkan keseluruhan kondisi sampel (Nikmatin dkk., 2011).

Prinsip kerja DLS memanfaatkan hamburan inframerah. Hamburan inframerah ditembakkan oleh alat ke sampel sehingga sampel akan bereaksi menghasilkan gerak Brown (gerak acak dari partikel yang sangat kecil dalam cairan akibat dari benturan dengan molekul-molekul yang ada dalam zat cair).

Gerak inilah yang kemudian dianalisis oleh alat, semakin kecil ukuran molekul maka akan semakin cepat gerakannya (Ristian, 2013).

2.9.3 X-Ray Diffraction (XRD)

Max Von Laude menyatakan bahwa kristal dapat digunakan sebagai kisi tiga dimensi untuk difraksi radiasi elektromagnetik. Ketika radiasi elektromagnetik melewati suatu materi, terjadi interaksi dengan elektron dalam atom dan sebagian dihamburkan ke segala arah. Pada beberapa arah, gelombang berada dalam satu fasa dan saling memperkuat satu sama lain sehingga terjadi interferensi konstruktif sedangkan sebagian tidak satu fase dan saling meniadakan sehingga terjadi interferensi dekonstruktif. Interferensi konstruktif tergantung pada jarak antar bidang (d) dan berlangsung hanya apabila memenuhi hukum Bragg (Gunlazuardi, 2005):

$$n\lambda = 2d \sin \Theta$$

Keterangan:

n = orde difraksi

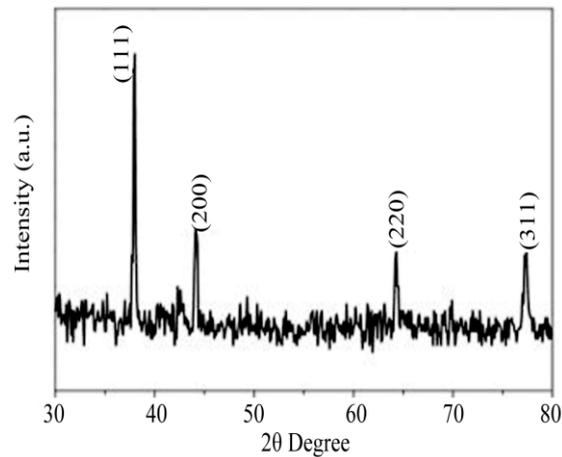
λ = panjang gelombang difraksi

d = jarak antar dua bidang kisi

Θ = sudut difraksi

XRD merupakan alat yang digunakan untuk karakterisasi struktur dan ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik. Material yang disintesis dapat diketahui dengan membandingkan hasil difraktogram yang diperoleh dengan data standar difraktogram *International Centre for Diffraction Data* (Dewi dkk., 2014).

Pola XRD nanopartikel perak menunjukkan 4 *peak* pada sudut 2θ yaitu $38,048^\circ$, $44,133^\circ$, $64,303^\circ$, dan $77,326^\circ$ yang memiliki indeks Miller (hkl) berturut-turut yaitu {111}, {200}, {220} dan {311}. Berdasarkan data tersebut, nanopartikel perak memiliki bentuk kristal yang kubik. Pola difraktogram standar dari nanopartikel perak dapat dilihat pada Gambar 8 sebagai berikut (Bykkam dkk., 2015).



Gambar 8. Pola XRD nanopartikel perak (Bykkam dkk., 2015)

2.9.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron yang berenergi tinggi. Permukaan benda yang terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Tetapi ada satu arah berkas elektron dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor di dalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Syarat agar SEM dapat menghasilkan citra yang tajam yaitu permukaan benda harus bersifat sebagai pemantul elektron atau dapat melepaskan elektron sekunder ketika ditembakkan

dengan berkas elektron. Salah satu material yang memiliki sifat tersebut yaitu logam, sehingga SEM digunakan dalam karakterisasi nanopartikel (Abdullah dan Khairurrijal, 2009).

Hasil visualisasi SEM lebih baik bila dibandingkan dengan mikroskop cahaya konvensional. SEM memiliki jangkauan pandang yang luas terhadap objek yang diamati sehingga menghasilkan gambar detail dengan permukaan objek yang jelas. Hal ini dikarenakan sumber cahaya yang digunakan SEM berupa elektron yang memiliki energi yang sangat besar yaitu 1000 kali lebih kuat dibandingkan dengan energi dari cahaya tampak (2-3 eV). SEM mampu memperbesar bayangan hingga 400000 kali (Balaz, 2008).

2.9.5 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Pancaran inframerah pada umumnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnetik yang terletak di antara daerah tampak dan daerah gelombang mikro. Sebagian besar kegunaannya terbatas di daerah antara 4000 cm^{-1} hingga 666 cm^{-1} (2,5-15,0 μm). Akhir-akhir ini muncul perhatian pada daerah inframerah dekat, $14290\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ (0,7-2,5 μm) dan daerah inframerah jauh, $700\text{-}200\text{ cm}^{-1}$ (14,3-50 μm) (Silverstein, 1967).

Setiap molekul memiliki harga energi tertentu. Bila suatu molekul menyerap sinar inframerah, maka tingkatan energi di dalam molekul akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Sesuai dengan tingkatan energi yang diserap, maka yang akan terjadi pada molekul itu adalah perubahan energi vibrasi yang akan diikuti oleh perubahan energi rotasi yang selanjutnya menghasilkan spektra IR. Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus-gugus organik yang kemungkinan berperan dalam ekstrak

pada sintesis nanopartikel perak. Adanya pergeseran bilangan gelombang dan perubahan intensitas pada gugus tertentu dapat mengindikasikan bahwa gugus tersebut berperan dalam proses oksidasi-reduksi (Sable dkk., 2012). Pada teknik menggunakan instrumentasi FTIR, padatan diuji dengan cara merefleksikan sinar inframerah yang melalui tempat kristal sehingga terjadi kontak dengan permukaan cuplikan (Kroschwitz, 1990).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah padatan AgNO_3 (*Merck*), daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn), padatan L-sistein (*Merck*), aluminium foil, akuades, akuabides, padatan melamin (*Merck*), kertas saring Whatman No. 42, *wrap*, dan kertas pH universal.

3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan analitik, timbangan kasar, *hot-plate*, pipet volume, pipet skala, batang pengaduk, corong, botol-botol kecil, oven, penyaring buchner, botol semprot, labu ukur, gelas ukur, *magnetic stirrer*, erlenmeyer, gelas kimia, serta instrumen untuk keperluan analisis dan karakterisasi yaitu sentrifius MX-305, spektrofotometer UV-Vis 2600 Series, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Prestige-21, *X-Ray Diffraction* (XRD) Rigaku MiniFlex, dan *Particle Size Analyzer* (PSA) Horiba SZ-100.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan sampel daun belimbing wuluh berasal dari sekitar perumahan warga di daerah BTN Antara, Perintis Kemerdekaan III, Makassar pada bulan Desember 2016. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Fisika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar, pada bulan Desember 2016 – April 2017. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Kimia Terpadu Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin,

Laboratorium Pengembangan Sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Laboratorium Pusat Penelitian Kimia LIPI Serpong, dan Laboratorium Bioteknologi Terpadu Jurusan Peternakan Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan Larutan Stok Melamin 1000 ppm dan Larutan Standar Melamin

Larutan stok melamin 1000 ppm dibuat dengan menimbang 0,05 gram padatan melamin dan dilarutkan dengan akuabides dan dihipitkan hingga tanda batas dalam labu ukur 50 mL kemudian dihomogenkan. Larutan melamin 100 ppm selanjutnya dibuat dengan mengambil 10 mL larutan stok melamin 1000 ppm dan diencerkan dengan akuabides dalam labu ukur 100 mL hingga tanda batas dan dihomogenkan. Selanjutnya dari larutan melamin 100 ppm diambil 10 mL, 1 mL, dan 0,1 mL, kemudian dimasukkan masing-masing ke dalam labu ukur 100 mL dan diencerkan dengan akuabides hingga tanda batas. Sehingga diperoleh larutan melamin 10 ppm, 1 ppm, dan 0,1 ppm.

3.4.2 Pembuatan Larutan AgNO_3 0,5 mM, 1 mM, 2 mM, 5 mM, dan 10 mM

Larutan AgNO_3 dengan variasi konsentrasi dibuat dengan menimbang 0,425 gram padatan AgNO_3 dan dilarutkan dengan akuabides dalam labu ukur 50 mL kemudian dihomogenkan sehingga diperoleh larutan induk AgNO_3 50 mM. Selanjutnya, dari larutan induk AgNO_3 50 mM diambil sebanyak 1 mL, 2 mL, 4 mL, 10 mL, dan 20 mL kemudian dihipitkan dengan akuabides dalam labu ukur 100 mL. Larutan AgNO_3 dengan variasi konsentrasi digunakan untuk penentuan konsentrasi optimum dalam sintesis nanopartikel perak.

3.4.3 Pembuatan Larutan L-Sistein 0,5 mM

Larutan L-sistein 50 mM dibuat dengan menimbang 0,3029 gram padatan L-sistein dan dilarutkan dengan akuabides kemudian dihimpitkan hingga tanda batas dalam labu ukur 50 mL. Selanjutnya, larutan L-sistein 0,5 mM dibuat dengan memipet 1 mL larutan L-sistein 50 mM dan ditambahkan dengan akuabides pada labu ukur 100 mL kemudian dihomogenkan (Rakhmania, 2012).

3.4.4 Pembuatan Ekstrak Daun Belimbing Wuluh

Daun yang telah dipetik dicuci bersih dengan air dan dikeringkan hingga air cucian tiris. Daun tersebut kemudian dipotong-potong, diblender, dan diayak. Kemudian, serbuk daun yang diperoleh ditimbang sebanyak 10 gram dan dipanaskan dengan 200 mL akuabides dalam gelas kimia 500 mL hingga mendidih. Setelah mencapai suhu ruang, selanjutnya air rebusan disaring dengan kertas saring Whatmann No. 42. Ekstrak air daun belimbing wuluh dapat langsung digunakan untuk sintesis nanopartikel perak dan disimpan dalam lemari pendingin jika tidak langsung digunakan. Selanjutnya, untuk karakterisasi menggunakan FTIR, ekstrak air daun belimbing wuluh disentrifugasi dengan kecepatan 10000 rpm selama 30 menit. Serbuk yang diperoleh dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C. Serbuk yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi menggunakan FTIR.

3.4.5 Sintesis Nanopartikel Perak

Sintesis nanopartikel perak dilakukan dengan mencampurkan pereaksi yaitu larutan AgNO₃ dengan larutan ekstrak daun belimbing wuluh. Sebanyak 1 mL ekstrak daun belimbing wuluh dicampurkan dengan 25 mL larutan AgNO₃ konsentrasi optimum di dalam erlenmeyer 100 mL, kemudian larutan campuran

diaduk selama 2 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Karakterisasi warna, pH, dan spektrum serapan UV-Vis dilakukan pada waktu 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari, 5 hari, dan 8 hari. Penentuan ukuran partikel larutan campuran dilakukan dengan menggunakan PSA. Setelah dikarakterisasi menggunakan PSA, larutan campuran kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 10000 rpm selama 30 menit. Serbuk yang diperoleh dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C dan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD dan FTIR (Bakir, 2011).

3.4.6 Modifikasi Nanopartikel Perak Dengan L-Sistein

Sebanyak 1 mL ekstrak daun belimbing wuluh dicampurkan dengan 25 mL larutan AgNO₃ konsentrasi optimum di dalam erlenmeyer 100 mL, Selanjutnya, larutan diaduk selama 1 jam. Setelah 1 jam, ditambahkan 1 mL larutan L-sistein 0,5 mM dan diaduk kembali dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam Karakterisasi warna, pH, dan spektrum serapan UV-Vis dilakukan pada waktu 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari, 5 hari, dan 8 hari. Penentuan ukuran partikel larutan campuran dilakukan dengan menggunakan PSA. Setelah dikarakterisasi menggunakan PSA, larutan campuran kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 10000 rpm selama 30 menit. Serbuk yang diperoleh dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C dan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD dan FTIR (Bakir, 2011).

3.4.7 Pengujian Deteksi Melamin Menggunakan Nanopartikel Perak

Larutan melamin dengan berbagai konsentrasi diambil sebanyak 2 mL kemudian ditambahkan ke dalam 10 mL larutan nanopartikel perak termodifikasi L-sistein, lalu campuran larutan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Diamati perubahan warna yang terjadi, lalu larutan kemudian

diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Lestari, 2012).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Biosintesis Nanopartikel Perak

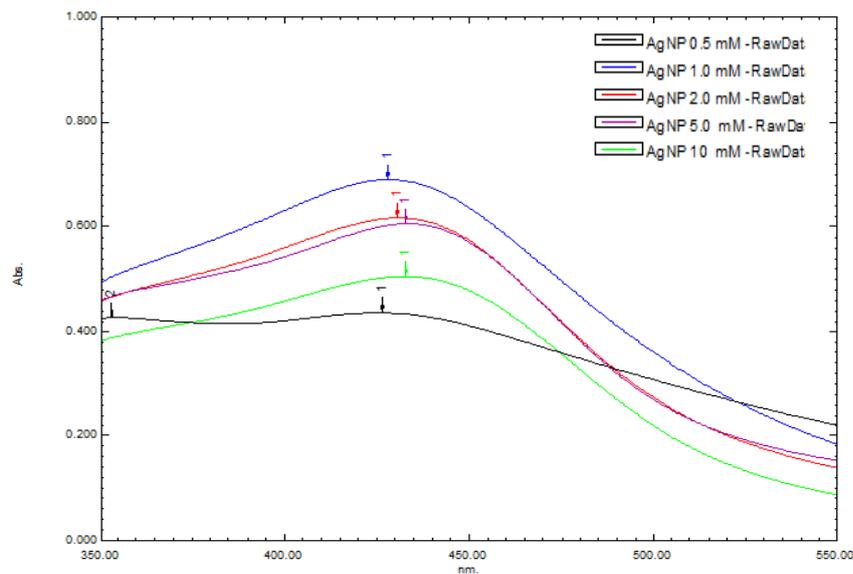
4.1.1 Penentuan Konsentrasi Optimum Larutan AgNO₃

Sintesis nanopartikel perak dimulai dengan menentukan konsentrasi optimum larutan AgNO₃. Penentuan konsentrasi optimum larutan AgNO₃ dilakukan untuk mengetahui rasio perbandingan konsentrasi larutan AgNO₃ yang tepat dengan konsentrasi ekstrak daun belimbing wuluh yang digunakan sebagai variabel tetap. Konsentrasi larutan AgNO₃ yang dibuat adalah 0,5 mM, 1 mM, 2 mM, 5 mM, dan 10 mM.

Berdasarkan pada hasil pengamatan, ekstrak daun belimbing wuluh dapat mereduksi larutan AgNO₃ pada setiap variasi konsentrasi setelah diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Hal ini dibuktikan dengan perubahan warna larutan hasil pencampuran larutan AgNO₃ dengan ekstrak daun belimbing wuluh dari warna bening menjadi kuning cerah hingga kuning kecoklatan. Menurut Solomon dkk. (2007), perubahan warna menjadi kuning hingga kuning kecoklatan menunjukkan indikasi awal telah terbentuknya nanopartikel perak. Setelah dibiarkan bereaksi selama 1 hari, diperoleh perbedaan warna yang jelas pada setiap variasi konsentrasi larutan AgNO₃. Pada larutan AgNO₃ dengan konsentrasi 2 mM, 5 mM, dan 10 mM memiliki warna larutan kuning cerah dengan adanya endapan berwarna kuning kecoklatan hingga kehitaman yang menandakan bahwa pada konsentrasi tersebut larutan telah jenuh dan nanopartikel perak yang terbentuk tidak terdistribusi di dalam larutan. Endapan yang terbentuk setelah 1 hari diperkirakan akibat pertumbuhan

nanopartikel perak yang tidak stabil. Hal tersebut menyebabkan nanopartikel perak mengalami aglomerasi antar nanopartikel sehingga tidak terdispersi dengan baik di dalam larutan. Pada larutan AgNO_3 dengan konsentrasi 1 mM memiliki warna larutan yang kuning kecoklatan, sedangkan larutan AgNO_3 dengan konsentrasi 0,5 mM memberikan warna larutan kuning cerah dan tidak menunjukkan perubahan warna yang signifikan setiap harinya.

Pada waktu reaksi 1 hari, masing-masing larutan nanopartikel perak diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Spektrum serapan UV-Vis pada masing-masing larutan nanopartikel perak dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Spektrum UV-Vis penentuan konsentrasi optimum larutan AgNO_3

Berdasarkan pada spektrum serapan UV-Vis, dapat ditentukan bahwa konsentrasi larutan AgNO_3 yang optimum digunakan dalam sintesis nanopartikel perak adalah larutan AgNO_3 1 mM dengan nilai absorbansi paling tinggi yaitu 0,689. Panjang gelombang maksimum (λ_{max}) dari semua larutan nanopartikel perak yaitu 426,50-433,00 nm. Menurut Bakir (2011), nilai absorbansi

menunjukkan korelasi jumlah nanopartikel perak yang terbentuk, semakin tinggi nilai absorbansi maka semakin banyak jumlah nanopartikel yang terbentuk atau konsentrasi nanopartikel dalam larutan semakin banyak. Nilai panjang gelombang maksimum (λ_{\max}) dan absorbansi dari masing-masing larutan nanopartikel perak ditunjukkan pada Tabel 3.

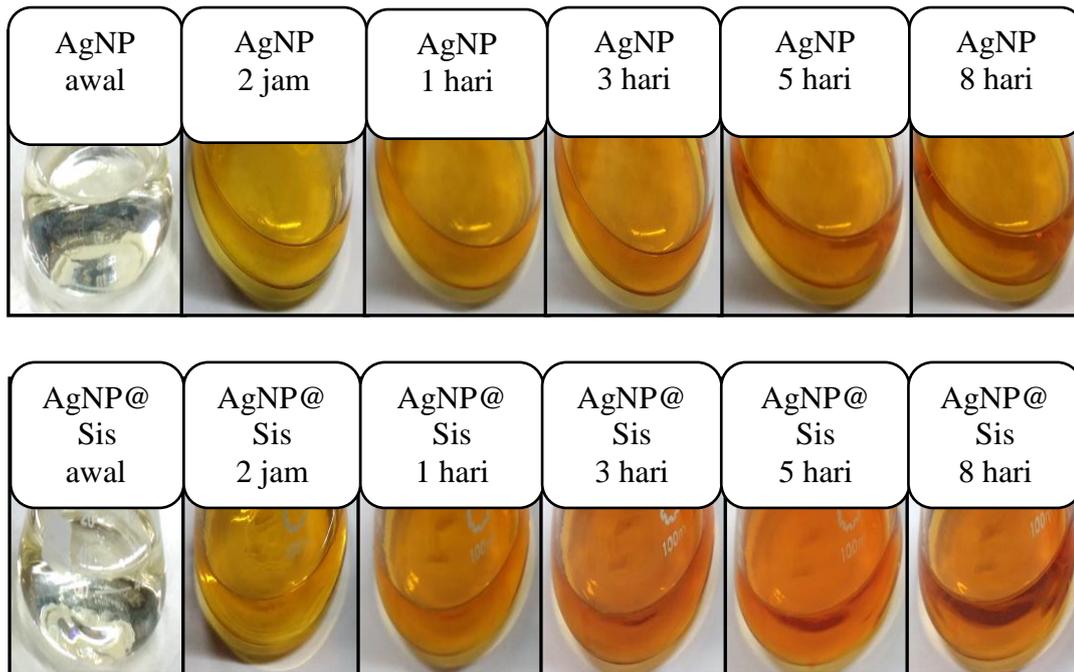
Tabel 3. Nilai panjang gelombang maksimum (λ_{\max}) dan absorbansi larutan nanopartikel perak dengan variasi konsentrasi larutan AgNO₃

Konsentrasi Larutan AgNO ₃ (mM)	λ_{\max} (nm)	Absorbansi
0,5	426,50	0,435
1	428,00	0,689
2	430,50	0,616
5	433,00	0,605
10	433,00	0,504

4.2 Karakterisasi Nanopartikel Perak

4.2.1 Karakterisasi Warna dan pH

Karakterisasi warna larutan nanopartikel perak dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu lama penyimpanan setelah sintesis terhadap pembentukan nanopartikel perak. Pembentukan nanopartikel perak ditandai dengan perubahan warna larutan dari bening menjadi kuning cerah hingga kuning kecoklatan seiring perubahan waktu. Karakterisasi warna dan pH dilakukan terhadap nanopartikel perak tanpa modifikasi dan yang dimodifikasi dengan larutan L-sistein 0,5 mM dari awal sintesis hingga hari ke-8. Perubahan warna larutan nanopartikel perak seiring dengan pertambahan waktu dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Karakterisasi warna larutan nanopartikel perak tanpa modifikasi dan yang dimodifikasi L-sistein selama 8 hari.

Larutan AgNO_3 berwarna bening, sedangkan ekstrak daun belimbing wuluh berwarna coklat. Pada saat pencampuran kedua larutan dengan rasio volume larutan AgNO_3 1 mM dan ekstrak daun belimbing yaitu 25 : 1 yang disertai dengan pengadukan selama 2 jam diperoleh larutan berwarna kuning cerah pada larutan nanopartikel perak tanpa modifikasi dan larutan berwarna kuning kecoklatan pada larutan nanopartikel perak yang dimodifikasi dengan L-sistein 0,5 mM. Adanya perlakuan mekanik berupa pengadukan selama 2 jam membuktikan bahwa pengadukan dapat mempercepat proses biosintesis nanopartikel perak. Menurut Solomon dkk. (2007), perubahan warna ini menunjukkan bahwa telah terjadi proses reduksi ion perak menjadi perak tidak bermuatan. Ketika berada dalam bentuk ionnya, perak akan saling tolak-menolak karena pengaruh muatan sejenis, namun setelah direduksi menjadi perak netral, maka memungkinkan atom perak akan saling mendekat dan berinteraksi satu

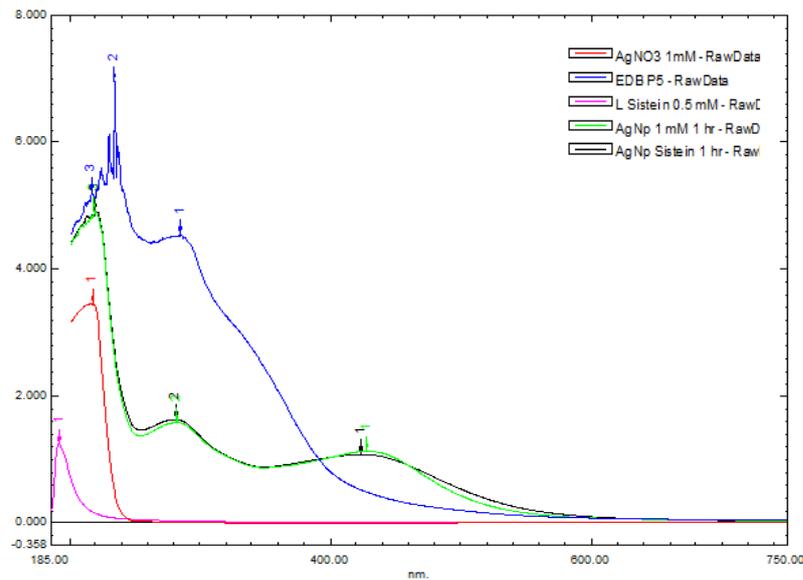
sama lain melalui ikatan antar logam membentuk suatu kluster yang berukuran nanometer. Kedua jenis larutan nanopartikel perak mengalami perubahan warna yang semakin pekat seiring bertambahnya waktu. Larutan yang semakin pekat mengindikasikan bahwa jumlah nanopartikel perak yang terbentuk semakin banyak.

Nilai pH pada masing-masing larutan sampel diukur dari awal setelah sintesis hingga hari ke-8. Kedua larutan sampel menunjukkan nilai pH 5 hingga hari ke-8.

4.2.2 Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Pembentukan nanopartikel perak tidak hanya ditandai dengan adanya perubahan warna larutan dari bening menjadi kuning cerah atau kuning kecoklatan. Namun, yang menjadi indikator penentu dalam monitoring terbentuknya nanopartikel perak adalah pembentukan spektrum puncak absorpsi maksimum atau panjang gelombang maksimum yang spesifik pada karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai *Localized Surface Plasmon Resonance* (LSPR) nanopartikel perak menunjukkan terbentuknya panjang gelombang maksimum pada rentang 400-500 nm (Solomon dkk., 2007).

Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis diawali dengan mengukur panjang gelombang maksimum masing-masing larutan pereaksi yaitu larutan AgNO₃ 1 mM, ekstrak daun belimbing wuluh, dan larutan L-sistein 0,5 mM. Pengukuran panjang gelombang maksimum larutan bertujuan untuk membandingkan perubahan panjang gelombang maksimum setelah terbentuk nanopartikel perak Nilai λ_{\max} pada masing-masing larutan pereaksi dan larutan nanopartikel perak dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Spektrum UV-Vis larutan AgNO_3 1 mM, ekstrak daun belimbing wuluh, larutan L-sistein 0,5 mM, dan larutan nanopartikel perak

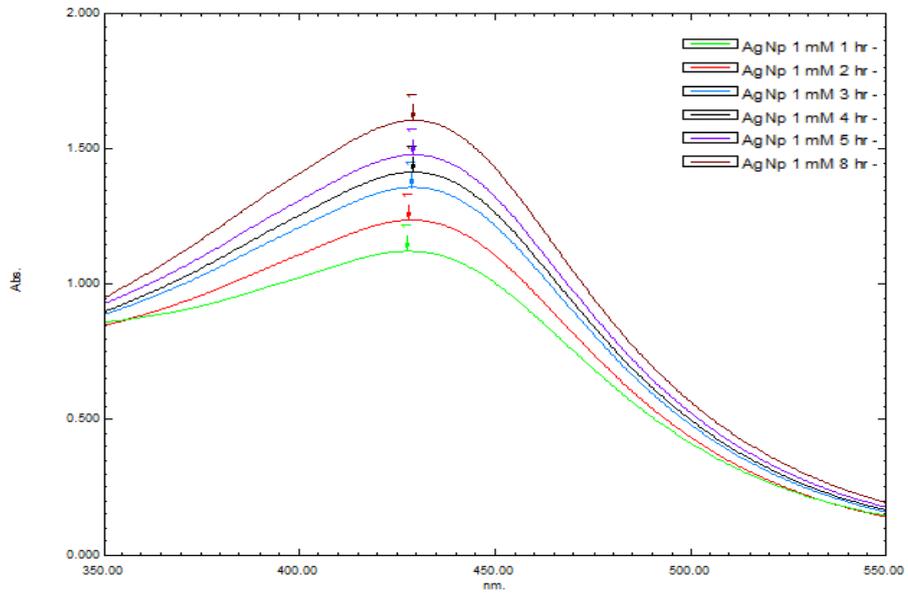
Larutan AgNO_3 1 mM menyerap energi pada panjang gelombang 217,00 nm, ekstrak daun belimbing wuluh pada panjang gelombang 216,50-285,00 nm, dan larutan L-sistein 0,5 mM pada panjang gelombang 191,00 nm. Serapan spektrum UV-Vis larutan nanopartikel perak tanpa modifikasi adalah 427,50 nm dan larutan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein adalah 423,00 nm. Berdasarkan pada hasil data serapan spektrum UV-Vis, terlihat bahwa larutan AgNO_3 1 mM (sebelum direduksi) dengan panjang gelombang maksimum di daerah UV mengalami pergeseran batokromik ke arah *visible*. Adanya pergeseran batokromik menunjukkan bahwa telah terjadi reduksi ion perak menjadi partikel-partikel perak netral.

Selain untuk mengkonfirmasi pembentukan nanopartikel perak, spektrofotometer UV-Vis juga digunakan untuk menentukan kestabilan nanopartikel perak berdasarkan fungsi waktu. Jika terjadi pergeseran panjang gelombang ke arah yang lebih besar (batokromik) menunjukkan bahwa ukuran

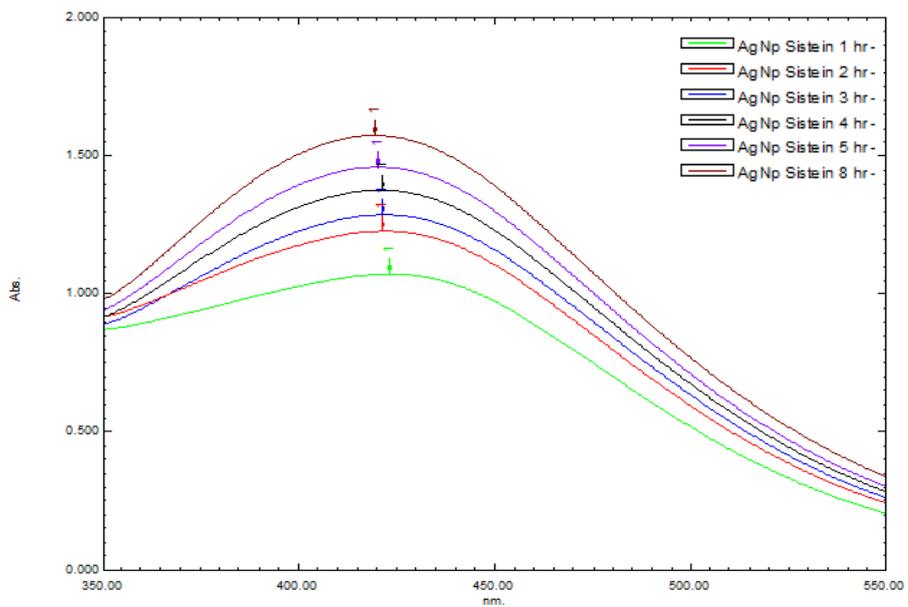
partikel semakin besar atau terjadi aglomerasi (penggumpalan) pada nanopartikel (Ristian, 2013).

Kestabilan nanopartikel perak tanpa modifikasi dan yang dimodifikasi L-sistein (Gambar 12) menunjukkan bahwa nanopartikel perak tanpa modifikasi memiliki panjang gelombang maksimum 427,50-429,00 nm, sedangkan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein memiliki panjang gelombang maksimum 419,50-423,00 nm. Kedua jenis sampel larutan nanopartikel perak masing-masing menunjukkan pergeseran panjang gelombang maksimum kurang dari 5 nm, sehingga dapat dikatakan bahwa nanopartikel perak hasil sintesis relatif stabil. Namun, terdapat beberapa perbedaan pada masing-masing sampel yaitu pada larutan nanopartikel perak tanpa modifikasi terjadi pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih besar (*red shift*) dan larutan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein terjadi pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih kecil (*blue shift*). Berdasarkan informasi tersebut, dapat dikatakan bahwa larutan nanopartikel perak tanpa modifikasi cenderung mengalami peningkatan ukuran karena pembentukan kluster (aglomerasi) dan larutan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein cenderung mempertahankan ukurannya atau mengalami pengecilan ukuran.

Pertambahan waktu tidak hanya menyebabkan terjadinya pergeseran λ_{\max} saja, namun juga perubahan absorbansi. Nilai absorbansi semakin meningkat seiring pertambahan waktu pada masing-masing larutan nanopartikel perak. Peningkatan absorbansi yang relatif kecil setiap harinya menunjukkan bahwa nanopartikel perak hasil sintesis juga menunjukkan kestabilan yang baik. Hasil analisis spektrum UV-Vis kestabilan nanopartikel perak dapat dilihat pada Tabel 4.



(a)



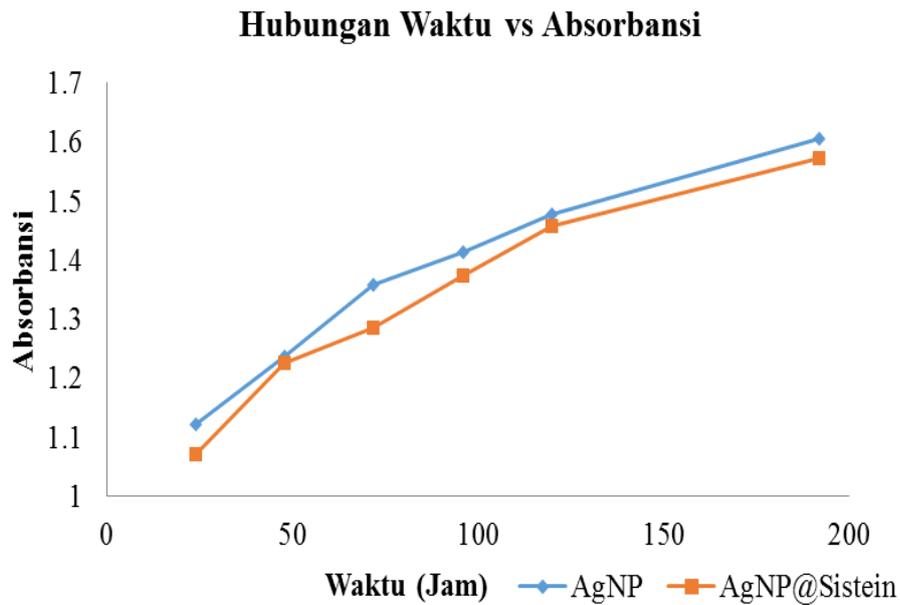
(b)

Gambar 12. Spektrum UV-Vis kestabilan (a) nanopartikel perak tanpa modifikasi dan (b) nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM

Tabel 4. Hasil analisis spektrum UV-Vis kestabilan nanopartikel perak

Hari ke-	AgNP		AgNP-Sistein	
	λ_{\max} (nm)	Absorbansi	λ_{\max} (nm)	Absorbansi
1	427,50	1,123	423,00	1,072
2	428,00	1,238	421,50	1,227
3	428,50	1,359	421,50	1,286
4	429,00	1,415	421,50	1,375
5	429,00	1,478	420,00	1,459
8	429,00	1,605	419,50	1,573

Adanya penambahan larutan L-sistein 0,5 mM pada nanopartikel perak menunjukkan bahwa peningkatan absorbansi yang lebih kecil dibandingkan larutan nanopartikel perak tanpa modifikasi, meskipun dengan selisih yang tidak signifikan. Hasil yang serupa juga diperoleh Nafia (2012), yaitu larutan nanopartikel perak yang dimodifikasi dengan L-sistein 1 mM setelah berusia 1 hari memiliki nilai absorbansi yang lebih rendah dibandingkan larutan nanopartikel perak tanpa modifikasi. Hal ini mengindikasikan bahwa, penambahan larutan L-sistein 0,5 mM dapat memperlambat laju pertumbuhan nanopartikel perak sehingga menurunkan proses aglomerasi (penggumpalan). Hubungan antara lama waktu penyimpanan nanopartikel perak dan perubahan absorbansi dapat dilihat pada Gambar 13.



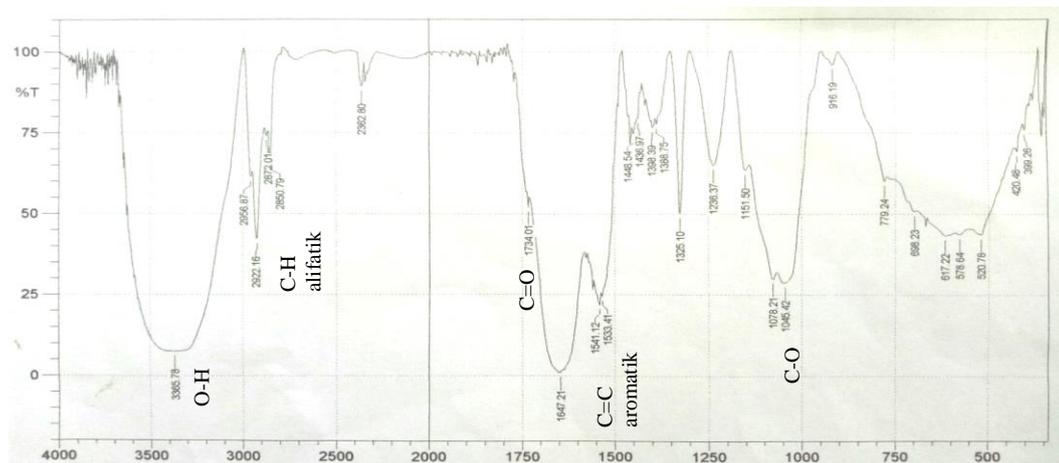
Gambar 13. Hubungan waktu terhadap absorbansi nanopartikel perak

4.2.3 Karakterisasi Menggunakan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

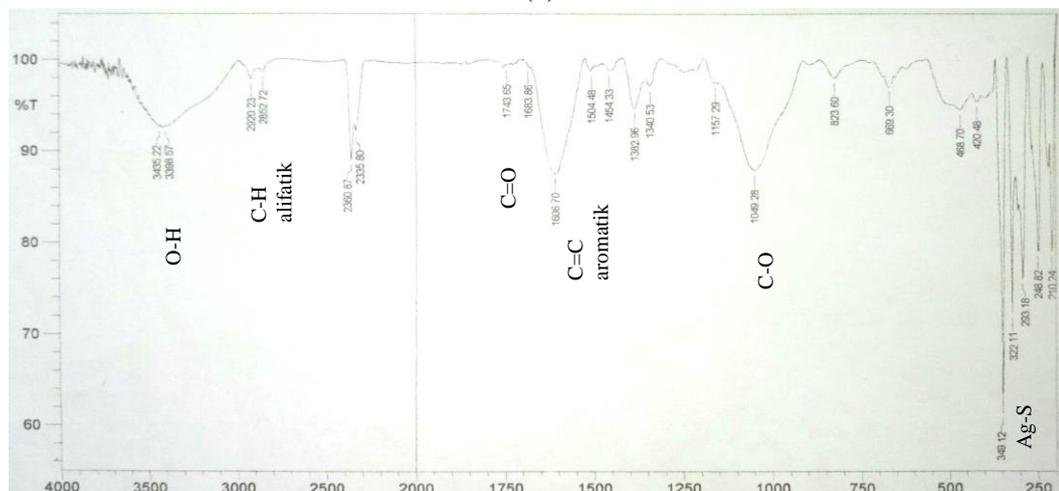
Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang berperan dalam proses reduksi ion perak dari larutan AgNO_3 menjadi partikel perak tidak bermuatan. Hal tersebut dapat dilihat pada pergeseran bilangan gelombang dan perubahan intensitas gugus fungsi dari spektrum IR.

Spektrum IR ekstrak daun belimbing wuluh (Gambar 14.a) menunjukkan bahwa adanya pita serapan dengan intensitas yang kuat dan lebar pada bilangan gelombang $3365,78 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan serapan dari gugus O-H yang diperkuat dengan adanya serapan gugus C-O pada bilangan gelombang $1045,42 \text{ cm}^{-1}$, adanya serapan tajam di sebelah kanan 3000 cm^{-1} yaitu pada bilangan gelombang $2922,16 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan serapan dari rentangan C-H alifatik, serapan pada daerah $1734,01 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus karbonil (C=O), serta serapan pada daerah $1647,21\text{-}1448,54 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya C=C aromatik.

Spektrum IR nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM (Gambar 14.b) menunjukkan bahwa terjadi perubahan intensitas yang cukup besar namun tidak ada pergeseran bilangan gelombang yang signifikan terhadap beberapa gugus fungsi jika dibandingkan dengan spektrum IR ekstrak daun belimbing wuluh kecuali pada gugus O-H dari 3365,78 cm^{-1} menjadi 3398,57 cm^{-1} dan gugus C=C aromatik dari 1647,21-1448,54 cm^{-1} menjadi 1606,70-1454,33 cm^{-1} . Serapan khas pada nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM ditunjukkan dengan serapan tajam pada bilangan gelombang 349,21 cm^{-1} yang menunjukkan adanya interaksi Ag-S.



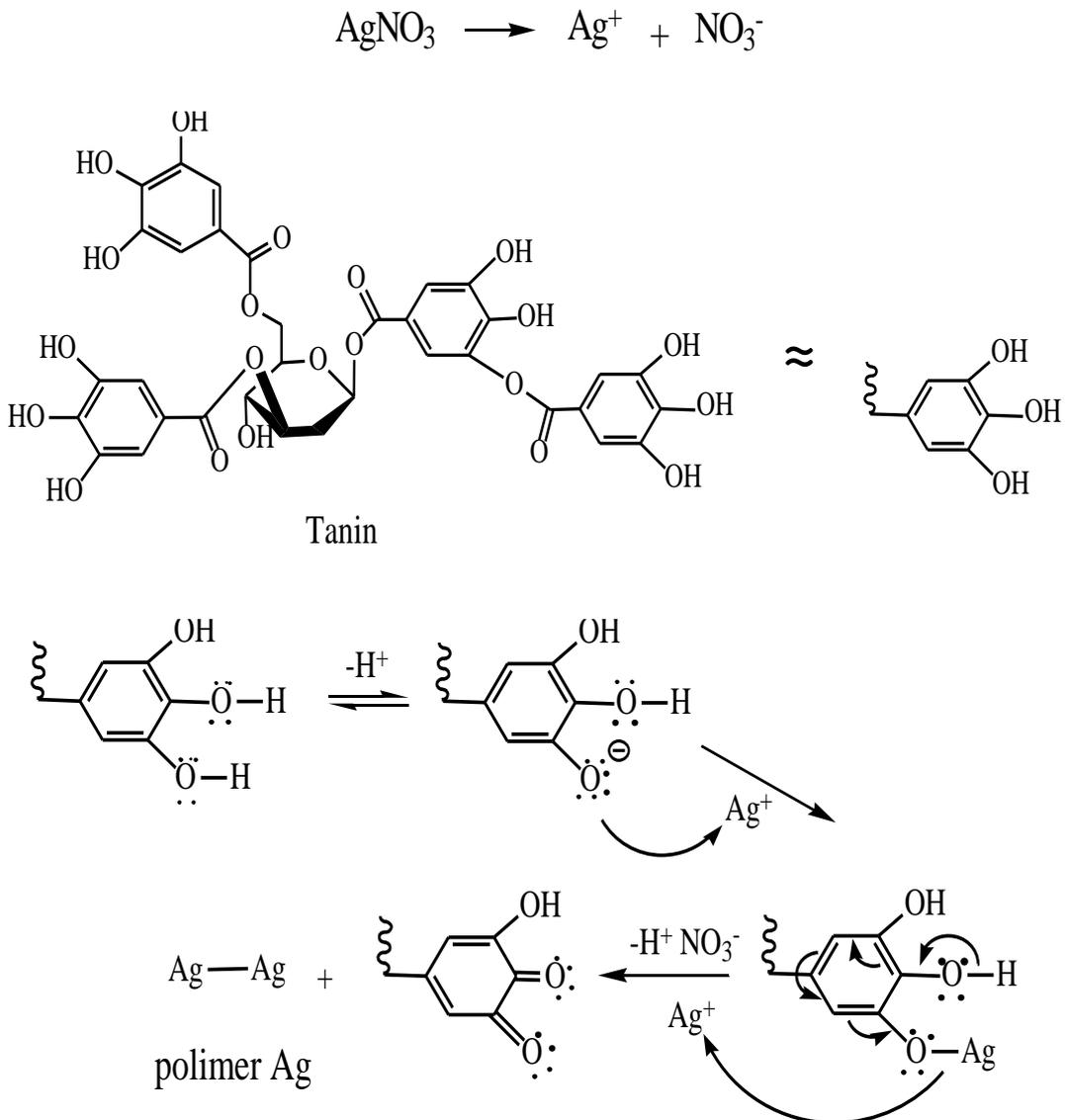
(a)



(b)

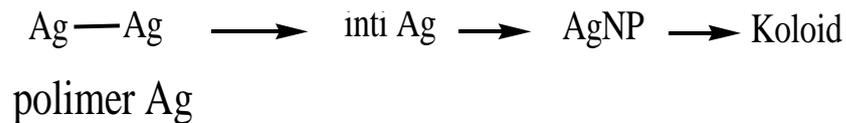
Gambar 14. Spektrum IR (a) ekstrak daun belimbing wuluh (b) nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein

Ekstrak daun belimbing wuluh memiliki kandungan senyawa flavonoid, saponin, dan fenolik utamanya tanin yang merupakan senyawa yang bersifat antioksidan (Faharani, 2009). Kandungan senyawa-senyawa bioaktif tersebut diduga berperan penting dalam reaksi reduksi ion perak menjadi perak netral. Perkiraan mekanisme reaksi reduksi ion perak menjadi perak netral oleh beberapa gugus fungsi dari biomolekul dalam ekstrak daun belimbing dapat ditunjukkan pada reaksi berikut.



Gambar 15. Mekanisme reaksi oksidasi reduksi ion perak dengan senyawa bioaktif polifenol dalam ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn)

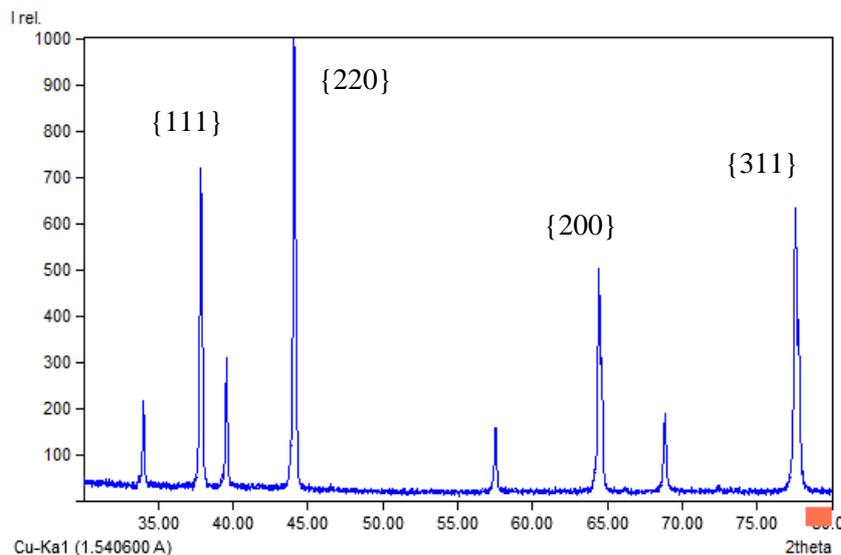
Pembentukan nanopartikel perak dengan metode reduksi oleh tanaman diawali dengan terbentuknya polimer Ag yang selanjutnya mengalami hidrolisis dan nukleasi membentuk inti Ag yang bergabung membentuk kluster nanopartikel perak, pertumbuhan nanopartikel perak yang semakin banyak membentuk koloid seperti pada skema berikut (Zakir, 2005).



Gambar 16. Skema pembentukan nanopartikel perak dari polimer Ag

4.2.4 Karakterisasi Menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*

Karakterisasi nanopartikel perak dengan menggunakan XRD mendukung beberapa informasi mengenai kemurnian, struktur sampel, dan juga ukuran dari partikel. Data difraktogram nanopartikel perak hasil sintesis akan dibandingkan dengan data difraktogram nanopartikel perak standar *database* dari JCPDS. Data difraktogram nanopartikel perak hasil sintesis dapat dilihat pada Gambar 17 sebagai berikut.



Gambar 17. Difraktogram nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein

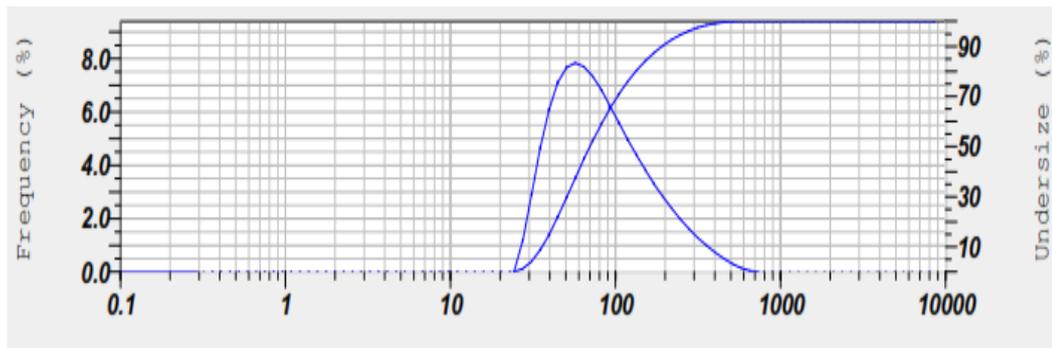
Berdasarkan data difraktogram, menunjukkan bahwa nanopartikel perak telah berhasil disintesis. Hal ini ditunjukkan dengan empat *peak* khas dengan intensitas tertinggi pada sudut 2Θ (*2-theta*) yaitu $37,83^\circ$, $44,06^\circ$, $64,43^\circ$, dan $77,56^\circ$ dengan indeks Miller yaitu {111}, {220}, {200}, dan {311}. Struktur kristal adalah *face center cubic* (fcc) dengan ukuran rata-rata partikel yaitu 47,84 nm. Hasil yang diperoleh sesuai dengan standar *database Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS No. 96-110-0137) pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan data difraktogram nanopartikel perak hasil sintesis dengan nanopartikel standar

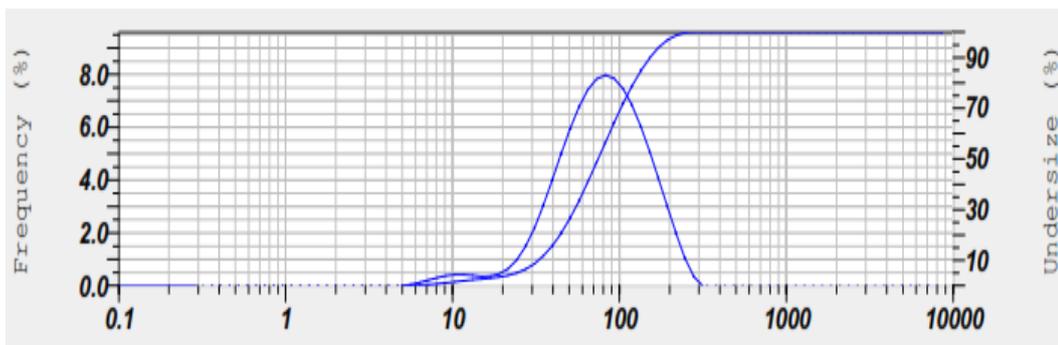
AgNP standar		AgNP hasil sintesis		
Nilai 2Θ	Nilai 2Θ	Intensitas	FWHM (deg)	Ukuran Partikel (nm)
$38,08^\circ$	$37,83^\circ$	1451	0,17680	47,50
$44,31^\circ$	$44,06^\circ$	2138	0,17750	48,83
$64,42^\circ$	$64,43^\circ$	1174	0,19250	48,78
$77,42^\circ$	$77,56^\circ$	1575	0,22040	46,24

4.2.5 Karakterisasi Menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA)

Karakterisasi nanopartikel perak menggunakan PSA bertujuan untuk menentukan ukuran dan distribusi nanopartikel perak yang terdispersi dalam larutan/fase pendispersinya secara kuantitatif. Data yang diperoleh dari hasil analisis berupa diagram yang menunjukkan rata-rata ukuran diameter nanopartikel perak hasil sintesis serta distribusi ukuran nanopartikel perak dalam larutannya. Hasil penentuan distribusi ukuran nanopartikel perak dengan menggunakan PSA pada larutan koloid nanopartikel perak tanpa modifikasi dan yang telah dimodifikasi L-sistein 0,5 mM dapat dilihat pada Gambar 18.



(a)



(b)

Gambar 18. Hasil analisis penentuan ukuran nanopartikel perak (a) tanpa modifikasi, dan (b) yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM

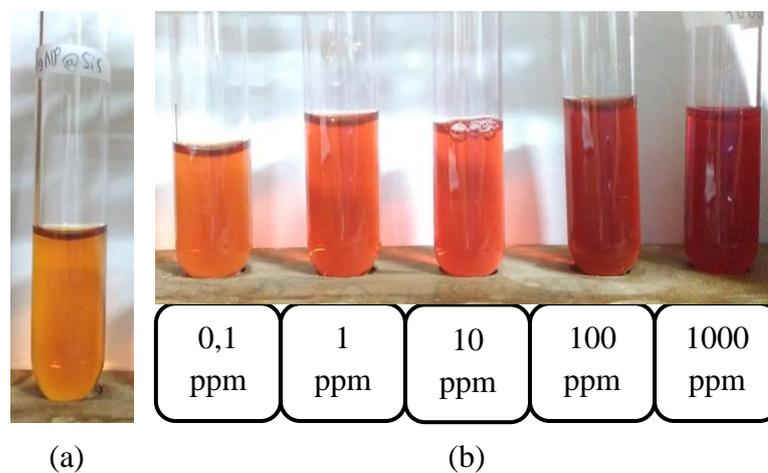
Berdasarkan pada hasil karakterisasi dengan menggunakan PSA, diperoleh nilai rata-rata ukuran partikel untuk nanopartikel perak tanpa modifikasi yaitu 69,1 nm dengan nilai PI sebesar 0,348 dan nanopartikel perak yang dimodifikasi dengan L-sistein yaitu 67,5 nm dengan nilai PI sebesar 0,302. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa fungsi penambahan larutan L-sistein 0,5 mM sebagai agen *capping*/penstabil telah tercapai. Hal ini ditunjukkan dengan ukuran diameter nanopartikel perak yang dimodifikasi larutan L-sistein 0,5 mM lebih kecil dibandingkan nanopartikel perak tanpa modifikasi. Nilai PI (*Polydisperse Index*) atau indeks polidispersitas yang diperoleh menggambarkan keseragaman/kehomogenan distribusi ukuran nanopartikel perak dalam

larutannya. Semakin kecil nilai PI, maka distribusi ukuran nanopartikel perak dalam larutan semakin baik. Nilai PI yang diperoleh berada pada kisaran 0,3 yang menunjukkan bahwa nanopartikel perak terdistribusi dengan baik dalam fase pendispersinya/larutannya atau nanopartikel perak relatif homogen/*monodisperse*.

Karakterisasi dengan menggunakan PSA dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Kimia LIPI dengan waktu pengiriman hingga akhir proses analisis kurang lebih 2 minggu. Berdasarkan pada rentang waktu sintesis hingga dilakukannya proses analisis yang relatif cukup lama, memperlihatkan bahwa laju pertumbuhan nanopartikel perak terkontrol dan diperkirakan dapat diperoleh ukuran yang lebih kecil dari hasil yang diperoleh jika analisis dapat dilakukan lebih cepat.

4.3 Aplikasi Nanopartikel Perak Sebagai Pendeteksi Melamin

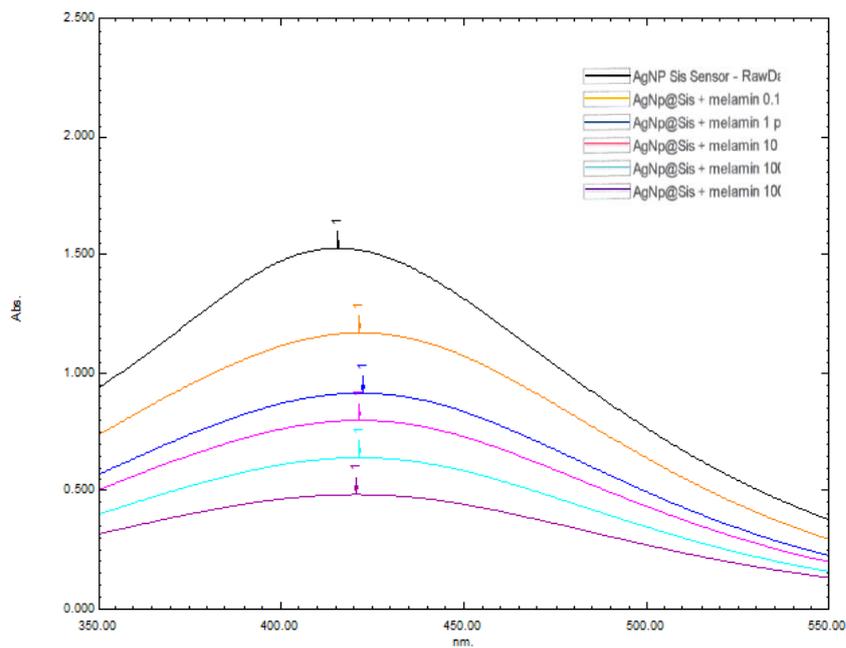
Pengujian deteksi melamin dilakukan dengan mencampurkan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM dengan larutan analit melamin berbagai konsentrasi. Hasil pengamatan perubahan warna larutan nanopartikel perak setelah penambahan melamin ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Hasil pengamatan (a) nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM (b) terhadap melamin berbagai konsentrasi

Prinsip pengujian nanopartikel perak sebagai pendeteksi melamin didasarkan pada perubahan warna larutan (kolorimetri) nanopartikel perak setelah berinteraksi dengan melamin. Berdasarkan pada pengamatan secara visual, larutan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM memiliki warna kuning kecoklatan. Namun setelah penambahan larutan melamin berbagai konsentrasi, larutan berubah warna menjadi kemerahan seiring meningkatnya konsentrasi melamin hingga pada konsentrasi melamin 100 ppm dan 1000 ppm, larutan cenderung berwarna coklat. Perubahan warna larutan yang signifikan terlihat pada campuran larutan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM dengan larutan melamin. Warna larutan berubah menjadi kemerahan, menandakan bahwa larutan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM sensitif terhadap penambahan larutan melamin. Hal ini terjadi karena terbentuknya agregasi nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM karena penambahan larutan melamin.

Pada analisis lebih lanjut dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, terlihat bahwa terjadi pergeseran batokromik (*red shift*) setelah penambahan larutan melamin berbagai konsentrasi serta penurunan absorbansi nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan melamin (Tabel 6). Hal ini mengindikasikan bahwa nanopartikel perak yang terdispersi bebas dalam larutan mengalami agregasi akibat keberadaan larutan analit melamin. Adanya larutan analit melamin akan mengurangi jumlah nanopartikel perak yang terdispersi dalam fase pendispersinya yaitu air. Hasil analisis spektrum UV-Vis pengaruh peningkatan konsentrasi larutan melamin terhadap larutan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Spektrum UV-Vis pengujian nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM terhadap larutan analit melamin berbagai konsentrasi

Tabel 6. Perubahan panjang gelombang maksimum (λ_{\max}) dan absorbansi larutan nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM setelah penambahan larutan analit melamin berbagai konsentrasi.

Konsentrasi Larutan Analit Melamin (ppm)	λ_{\max} (nm)	Absorbansi
Tanpa penambahan	415,00	1,527
0,1	421,50	1,168
1	422,50	0,913
10	421,50	0,798
100	421,50	0,640
1000	420,50	0,485

Kemampuan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein dalam mendeteksi keberadaan melamin diakibatkan adanya interaksi hidrogen oleh tiga substituen gugus amina pada melamin dengan gugus aktif seperti hidroksil (OH) dan gugus amina (NH₂) dipermukaan luar nanopartikel perak yang dimodifikasi

L-sistein atau dalam artian adanya gugus aktif hidroksil (OH) dan gugus amina (NH₂) pada L-sistein. Selain tiga substituen gugus amina (NH₂) pada melamin, keberadaan tiga atom nitrogen pada cincin juga diperkirakan dapat berinteraksi dengan gugus aktif dipermukaan luar nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein. Sehingga dapat disimpulkan bahwa, L-sistein selain menstabilkan nanopartikel perak, juga berfungsi sebagai ligan penghubung antara nanopartikel perak dengan melamin.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Nanopartikel perak telah berhasil disintesis dengan menggunakan ekstrak daun belimbing wuluh (*Averrhoa bilimbi* Linn) sebagai agen bioreduktor.
2. Semakin lama waktu penyimpanan, maka jumlah nanopartikel perak yang terbentuk akan semakin banyak yang ditandai dengan peningkatan absorbansi seiring dengan penambahan waktu.
3. Nanopartikel perak tanpa modifikasi menyerap energi pada panjang gelombang maksimum 427,50-429,00 nm dan nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM pada panjang gelombang maksimum 419,50-423,00 nm. Nanopartikel perak yang dimodifikasi L-sistein 0,5 mM memiliki ukuran 67,5 nm yang sedikit lebih kecil dibandingkan dengan ukuran nanopartikel perak tanpa modifikasi yaitu 69,1 nm. Nanopartikel perak memiliki struktur kristal *fcc* (*face center cubic*) dengan empat *peak* khas pada sudut 2Θ (*2-theta*) yaitu $37,83^\circ$, $44,06^\circ$, $64,43^\circ$, dan $77,56^\circ$
4. Nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM memiliki sensitivitas terhadap larutan analit melamin pada konsentrasi 0,1-1000 ppm yang ditandai dengan perubahan warna menjadi kemerahan setelah penambahan larutan melamin dan penurunan absorbansi larutan nanopartikel perak dimodifikasi L-sistein 0,5 mM seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan melamin, sehingga nanopartikel perak hasil sintesis berpotensi mendeteksi melamin.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Sebaiknya dilakukan metode lain dalam pembuatan ekstrak selain dengan cara perebusan, seperti dengan cara maserasi.
2. Perlunya penelitian yang lebih lanjut tentang senyawa spesifik dalam ekstrak daun belimbing wuluh yang dapat mereduksi ion perak menjadi nanopartikel perak.
3. Sebaiknya dilakukan eksplorasi yang lebih jauh lagi mengenai ligan lain yang dapat digunakan sebagai agen *capping*/penstabil nanopartikel perak sekaligus ligan penjembatanan dalam pendeteksian melamin berbasis nanopartikel perak.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., 2008, *Pengantar Nanosains*, ITB, Bandung
- Abdullah, M., dan Khairurrijal, 2009, Karakterisasi Nanomaterial, *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, **2**(1): 1-9.
- Abdullah, M., 2012, *Pengantar Nanoteknologi*, ITB, Bandung.
- Bae, E., Park, H. J., Park, J., Yoon, J., Kim, Y., Choi, K., and Yi, J., 2011, Effect of Chemical Stabilizers in Silver Nanoparticle Suspensions on Nanotoxicity, *Bull. Korean Chem. Soc*, **32**(2), 613-619.
- Bakir, 2011, Pengembangan Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Air Rebusan Daun Bisbul (*Diospyros blancoi*) untuk Deteksi Ion Tembaga(II) dengan Metode Kolorimetri, skripsi diterbitkan, (*online*), Jurusan Fisika FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Balaz, I., 2008, *Mechanochemistry in Nanoscience and Mineral Engineering*, Springer, Berlin.
- Borase, H. P., Patil, C. D., Salunkhe, R. B., Suryawanshi, R. K., Salunke, B. K., and Patil, S. V., 2015, Biofunctionalized Silver Nanoparticles As a Novel Colorimetric Probe for Melamine Detection In Raw Milk, *Biotechnology and Applied Biochemistry*, **62**(5): 652-662.
- Bykkam, S., Ahmadipour, M., Narisngam, S., Kalagadda, V. R., and Chidurala, S. C., 2015, Extensive Studies on X-Ray Diffraction of Green Synthesized Silver Nanoparticles, *Advanced in Nanoparticles*, **4**: 1-10.
- Caro, C., Castilo, P. M., Klippstein, R., Pozo, D., and Zaderenko, A. P., 2010, *Silver Nanoparticles: Sensing and Imaging Application*, In Perez, D. P.,(Ed), *Silver Nanoparticles*, InTech, India.
- Dalimartha, S., dan Soedibyoy, M., 1999, *Awet Muda Dengan Tumbuhan Obat dan Diet Suplemen*, Trubus Agriwidya, Jakarta, hal. 36-40.
- Dewi, R., Krisman, Khaironiati, dan Fauziana, 2014, Karakterisasi Mikrostruktur Material Feroelektrik Ba₈Sr₂TiO₃ (BST) dengan Variasi Suhu Annealing, *Jurnal Fisika Indonesia*, **18**(53): 70-72.
- Dwandaru, W. S. B., 2012, *Aplikasi Nanosains Dalam Berbagai Kehidupan: Nanoteknologi*, Makalah ini disajikan dalam Seminar Regional Nanoteknologi dengan Tema 'Goes to Nanotechnology Era', Laboratorium Fisika Teori dan Komputasi, Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, UNY, Karangmalang, Yogyakarta, 23 Juni 2012.

- Faharani, G. B., 2009, Uji Aktivitas Antibakteri Daun Belimbing Wuluh Terhadap Bakteri *Streptococcus aureus* dan *Acheria coli* Secara Bioautografi, skripsi tidak diterbitkan, (*online*), Jurusan Kimia FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Fernandez, B. R., 2011, *Makalah Sintesis Nanopartikel*, Program Studi Kimia Pascasarjana Universitas Andalas, Sumatera Barat.
- Ghorbani, H. R., Safekordi, A. A., Attar, H., and Sorkhabadi, S. M. R., 2011, Biological and Non-biological Methods for Silver Nanoparticles Synthesis, *Chem. Biochem. Eng. Q*, **25**(3): 317-326.
- Gunlazuardi, J., 2005, *Diktat Kuliah Kimia Analisis Termal*, Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Gedanken, A., 2003, Sonochemistry and It's Application to Nanochemistry, *Current Science*, **85**(12): 1720-1722.
- Haibing, L., and Yinghui, B., 2009, Selective Colorimetric Sensing of Histidine in Aqueous Solutions Using Cysteine Modified Silver Nanoparticles in the Presences of Hg²⁺, *Nanotechnology*, **20**(145502): 1-6.
- Han, C., and Li, H., 2010, Visual Detection of Melamine in Infant Formula at 0,1 ppm Level Based on Silver Nanoparticles, *Analyst*, **135**: 583-588.
- Handayani, W., 2011, Pemanfaatan Tumbuhan Tropis Untuk Biosintesis Nanopartikel Perak dan Aplikasinya Sebagai Indikator Kolorimetri Keberadaan Logam Berat, tesis diterbitkan, (*online*), Program Pascasarjana Program Studi Biologi FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Harra, J., Mäkitalo, J., Siikanen, R., Virkki, M., Genty, G., Kobayashi, T., Kauranen, M., and Mäkelä, J. M., 2012, Size-Controlled Aerosol Synthesis of Silver Nanoparticles for Plasmonic Materials, *J Nanopart Res*, **14**(2012): 870-880.
- Hosokawa, M., Nogi, K., Naito, M., and Yokosama, T., 2007, *Nanoparticle Technology Handbook*, Elsevier Science, Amsterdam.
- Ibrahim, H. M. M., 2015, Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using Banana Peel Extract and Their Antimicrobial Activity Against Representative Microorganisms, *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, **8**: 265-275.
- Isaac, R. S. R., Sakthivel, G., and Murthy, C., 2013, Green Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles Using *Averhoa bilimbi* Fruit Extract, *Journal of Nanotechnology*, **213**: 1-6.
- Jaghtap, U. B., and Bapat, V. A., 2013, Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Artocarpus heterophyllus* Lam. Seed Extract and It's Antibacterial Activity, *Industrial Crops and Product*, **46**: 132-137.

- Kirthiga, and Mary, B., 2015, Synthesis of AgNPs of Momordica Charantia Leaf Extract, Characterization and Antimicrobial Activity, *Pharmaceutica Analytica Acta*, **6**: 1-7.
- Kroschwitz, J., 1990, *Polymer Characterization and Analysis*, John Wiley and Sons, Inc., Canada.
- Kumar, V., and Yadav, S. K., 2009, Plant-Mediated Synthesis of Silver and Nanoparticles and Their Application, *Journal Chemical Technology and Biotechnology*, **84**: 151-157.
- Kuncahyo, I., dan Sunardi, 2007, *Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi, L.) Terhadap 1,1-Diphenyl-2-Picrylhidrazyl (DPPH)*, Seminar Nasional Teknologi, Yogyakarta, 24 November 2007, ISSN: 1978-9777.
- Leela, A., and Vivekananda, M., 2008, Tapping the Unexploited Plant Resources for the Synthesis of Silver Nanoparticles. *African Journal of Biotechnology*, **7**(17): 3162-3165.
- Lestari, P., 2012, Modifikasi Nanopartikel Emas Dengan 2-Merkaptoetanol-Asam Sianurat Sebagai Sensor Melamin, skripsi diterbitkan, (*online*), Jurusan Kimia FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Lidyawati, Sukrasno, dan Ruslan, K., 2006, Karakteristik Simplisia dan Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.), skripsi tidak diterbitkan, (*online*), Sekolah Farmasi ITB, <http://bahan-alam.fa.itb.ac.id>, Diakses pada tanggal 15 Februari 2016.
- Litzau, J. J., Mercer, G. E., and Mulligan, K. J., 2008, Screen for the Presence of Melamine, Ammeline, Ammelide, and Cyanuric Acid, *Food and Drug Administration*, **24**.
- Logeswari, P., Silambarasan, S., Abraham, J., 2012, Synthesis of Silver Nanoparticles Using Plants Extract and Analysis of Their Antimicrobial Property, *Journal of Saudi Chemical Society*, **19**: 311-317.
- Lu and Lehui, 2009, Hydrogen-Bonding Recognition-Induced Color Change of Gold Nanoparticles for Visual Detection of Melamine in Raw Milk and Infant Formula, *J.Am.Chem.Soc*, **131**: 9496-9497.
- Lu, Y. C., and Chou K. S., 2008, A Simple and Effective Route for Synthesis of Nano Silver Colloidal Dispersions, *J. Chin. Ins. Chem. Eng.*, **39**: 673-678.
- Ma, Y., Niu, H., Zhang, X., and Chai, Y., 2011, One-Step Synthesis of Silver/Dopamine Nanoparticles and Visual Detection of Melamine in Raw Milk, *Analyst*, **136**: 4192-4196.

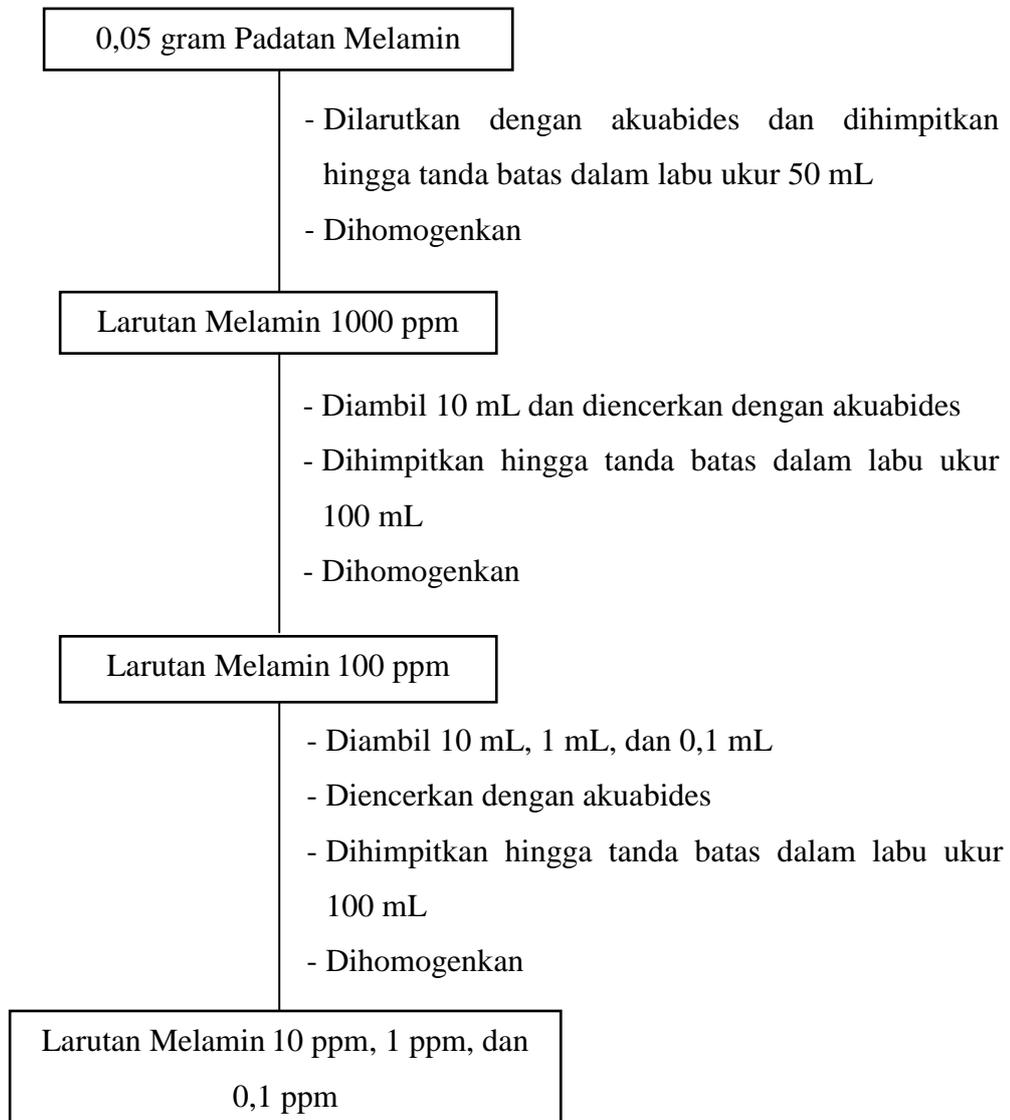
- Merwe, P. A., Brown, M. H., Davis, S. J., and Barclay, A. N., 1993, Surface Plasmon Resonance, *EMBO J*, **12**: 1-50.
- Moore, A., and Goettmann, F., 2006, The Plasmon Band in Noble Metal Nanoparticle: an Introduction to Theory and Application, *New J. Chem*, **30**: 112-1132.
- Mukhlisoh, W., 2010, Pengaruh Ekstrak Tunggal dan Gabungan Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi* Linn) Terhadap Efektivitas Antibakteri Secara In Vitro, skripsi diterbitkan, (*online*), Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Nafia, I., 2012, Nanopartikel Perak Termodifikasi L-Sistein sebagai Indikator Warna Untuk Logam Pencemar Pada Sampel Ikan Tongkol (*Euthynnus affinis*), skripsi diterbitkan, (*online*), Universitas Indonesia, Depok.
- Nagarajan, R., and Hatton, T. A., 2008, *Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Passivation, and Functionalization*, Oxford University Press, London.
- Nethradevi, C., Sivakumar, P., and Renganathan, S., 2012, Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Datura metel* Flower Extract and Evaluation of Their Antimicrobial Activity, *International Journal of Nanomaterials and Biostructures*, **2**(2): 16-21.
- Nidya, M., Umadevi, M., and Rajkumar, B. J. M., 2014, Structural, Morphological and Optical Studies of L-Cysteine Modified Silver Nanoparticles and Its Application As A Probe For the Selective Colorimetric Detection of Hg^{2+} , *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **133**: 265-271.
- Nikmatin, S., Maddu, A., Purwanto, S., Mandang, T., dan Purwanto A., 2011, Analisa Struktur Mikro Pemanfaatan Limbah Kulit Rotan Menjadi Nanopartikel Selulosa Sebagai Pengganti Serat Sintetis, *Jurnal Biofisika*, **7**(1): 41-49.
- Nordberg, G., and Gerhardsson, L., 1988, *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds* (Eds) Silver. In: Seiler, H.G., Sigel, H., Sigel, A., Marcel Dekker, New York.
- Nova, R., 2012, Modifikasi Zeolit Alam Terimobilisasi Nanopartikel Ag dengan L-Sistein dan Asam-3-Merkaptopropanoat Sebagai Adsorben Ion Logam Berat, skripsi diterbitkan (*online*), Universitas Indonesia, Depok.
- Ping, H., Zhang, M., Li, H., Li, S., Chen, Q., Sun, C., and Zhang, T., 2012, Visual Detection of Melamine in Raw Milk By Label-Free Silver Nanoparticles, *Food Control*, **23**: 191-197.
- Poli, M. E., 2006, *Teknologi Masa Depan Nanoteknologi*, karya ilmiah (tidak diterbitkan), Departemen Pendidikan Nasional Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik, Manado.

- Pratama, I., 2014, Sensor Optik Pestisida Berbasis Nanopartikel Perak dari Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* L), skripsi diterbitkan, (*online*), Program Magister Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Rakhmania, L., 2012, Potensi Nanopartikel Emas Termodifikasi Ligan Asam 3-Merkaptopropanoat, Sistein, dan 2, 4, 6-Tritiol-1,3,5-Triazin untuk Mendeteksi Boraks, Formalin, dan Melamin, skripsi diterbitkan, (*online*), Jurusan Kimia FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Ristian, I., 2013, Kajian Konsentrasi Perak Nitrat (AgNO_3) Terhadap Ukuran Nanopartikel Perak, skripsi diterbitkan, (*online*), Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Sable, N., Gaikwad, S., Bonde, S., Gade, A., and Rai, M., 2012, Phytofabrication of Silver Nanoparticles by Using Aquatic Plant *Hydrilla verticillata*, *Bioscience*, **4**(2): 45-49.
- Satyavathi, R., Krishna, M. B., Rao, S. V., Saritha, R., and Rao, D. N., 2010, Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using *Coriandrum Sativum* Leaf Extract and Their Application in Nonlinear Optics, *American Scientific Publisher*, **3**: 1-6.
- Shankar, S. S., Rai, A., Ahmad, A., and Sastry, M., 2004, Rapid Synthesis of Au, Ag, and Biometallic Au core-Ag Shell Nanoparticle using Neem (*Azadirachta indica*) Leaf Broth, *J.Adv.Colloid Interface Sci*, **145**, 83-196.
- Silverstain, R. M., dan Bassler, G. C., 1967, *Spectrometric Identification of Organic Compounds, Second Edition*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Solomon, S. D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A. V., Rutkowsky, S. A., and Boritz, C., 2007, Synthesis and Study of Silver Nanoparticles, *J. Chem. Edu.*, **84**(2): 322-325.
- Song, J., Wu, F., Wan, Y., and Ma, L., 2014, Colorimetric Detection of Melamine in Pretreated Milk using Silver Nanoparticles Functionalized with Sulfanilic Acid, *Food Control*, **50**(2015), 356-361.
- Sun, F., Ma, W., Xu, L., Zhu, Y., Liu, L., Peng, C., Wang, L., Kuang, H., and Xu, C., 2010, Analytical Method and Recent Development in the Detection of Melamine, *TrAC Trends Anal Chem*, **29**: 1239-1249.
- Thakkar, K. N., Mhatre, S. S., and Parikh, R. Y., 2010, Biological Synthesis of Metallic Nanoparticles, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, **6**: 257-262.
- Thomas, A., 1989, *Tanaman Obat Tradisional*, Kanisius, Yogyakarta.

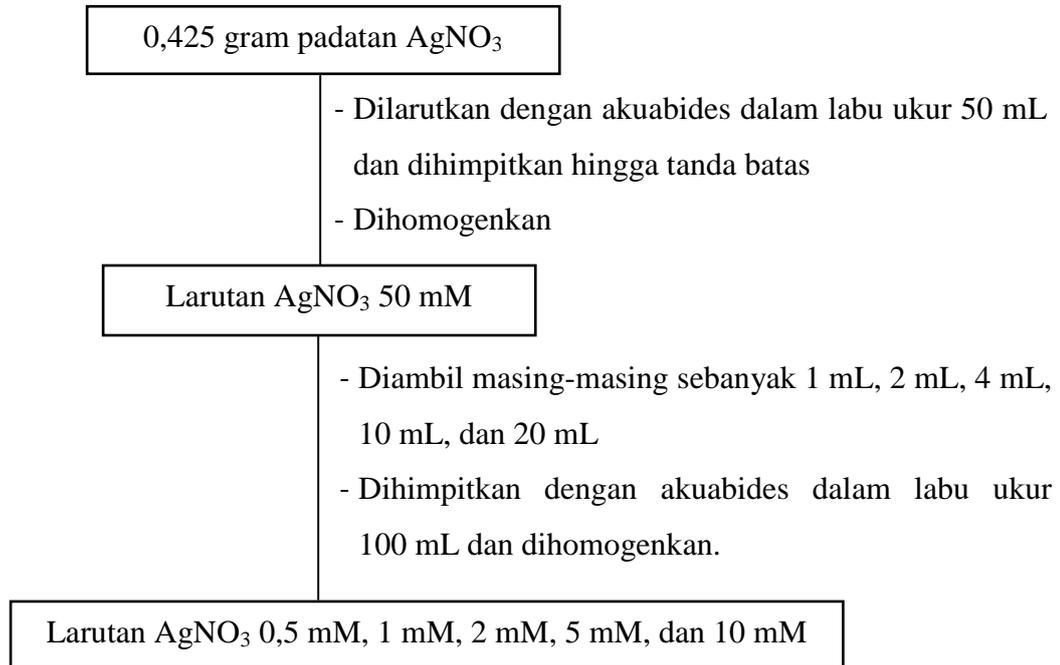
- Veerasamy, R., Xin, T. Z., Gunasaragan, S., Xiang, T. F. W., Yang, E. F. C., Jeyakumar, N., and Dhanaraaj, S. A., 2011, Biosynthesis of Silver Nanoparticle Using Mangosteen Leaf Extract and Evaluation of Their Antimicrobial Activities, *Journal of Saudi Chemical Society*, **15**: 113-120.
- Weast, and Robert, C., 1981, *CRC Handbook of Chemistry and Physics* 62nd ed, CRC Press, Boca Raton, FL.
- WHO, 2008, *Melamine and Cyanuric Acid: Toxicity*, Preliminary Risk Assessment and Guidance on Level in Food.
- WHO, 2009, *Toxicological and Health Aspect of Melamine and Cyanuric Acid*, ISBN, Canada.
- Wong, Y. W. H., Yuen, C. W. M., Leung, M. Y. S., Ku, S. K. A., and Liam, H. L. I., 2006, Selected Applications of Nanotechnology in Textile. *AUTEX Research Journal*, **6**(1): 1-8.
- Yao, Y., Tian, D., and Li, H., 2010, Cooperative Binding of Biofunctionalized and Click-Synthesized Silver Nanoparticles For Colorimetric Co^{2+} Sensing, *Applied Materials and Interfaces*, **2**(3): 684-690.
- Zaarour, M., Roz, M. E., Dong, B., Retoux, R., Aad, R., Cardin, J., Dufour, C., Gourbilleau, F., Gilson, J. P., and Mintova, S., 2014, Photochemical Preparation of Silver Nanoparticles Supported on Zeolite Crystals, *Langmuir*, **30**(21): 6250-6256.
- Zakaria, Z. A., Zaiton, H., Henie, E. F. P., Jais, A. M. M., and Zainuddin, E. N. H. E., 2007, In vitro Antibacterial Activity of *Averrhoa bilimbi* L. leaves and Fruits Extracts, *International Journal of Tropical Medicine*, **2**: 96-100.
- Zakir, M., Sekine, T., Takayama, T., Kudo, H., Lin, M., and Katsumura, Y., 2005, Technetium (IV) Oxide Colloids and The Precursor Produced by Bremsstrahlung Irradiation of Aqueous Per technetate Solution, *Journal Of Nuclear and Radiochemical Science*, **6**(3): 243-247.
- Zhanfang, M., and Hongliang, H., 2007, One Step Synthesis of Cysteine-Soated Gold Nanoparticles in Aqueous Solution, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, **2**(317): 229-233.
- Zhang, M., and Ye, B. C., 2011, *Anal. Chem.*, **83**: 1504-1509.

LAMPIRAN 1. BAGAN KERJA PENELITIAN

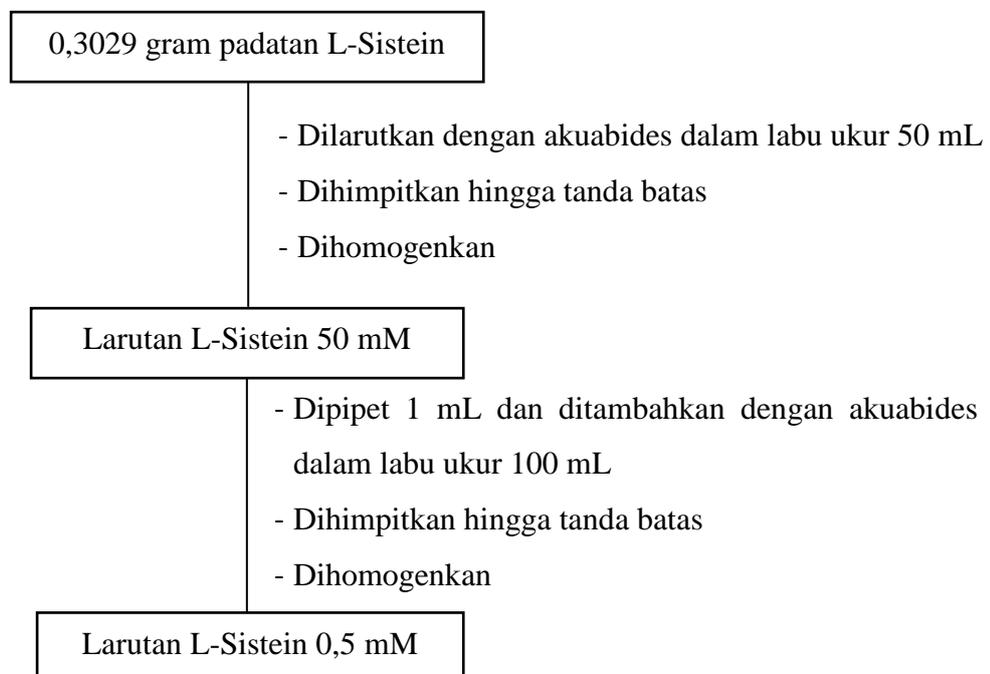
1. Pembuatan Larutan Stok Melamin 1000 ppm dan Larutan Standar Melamin



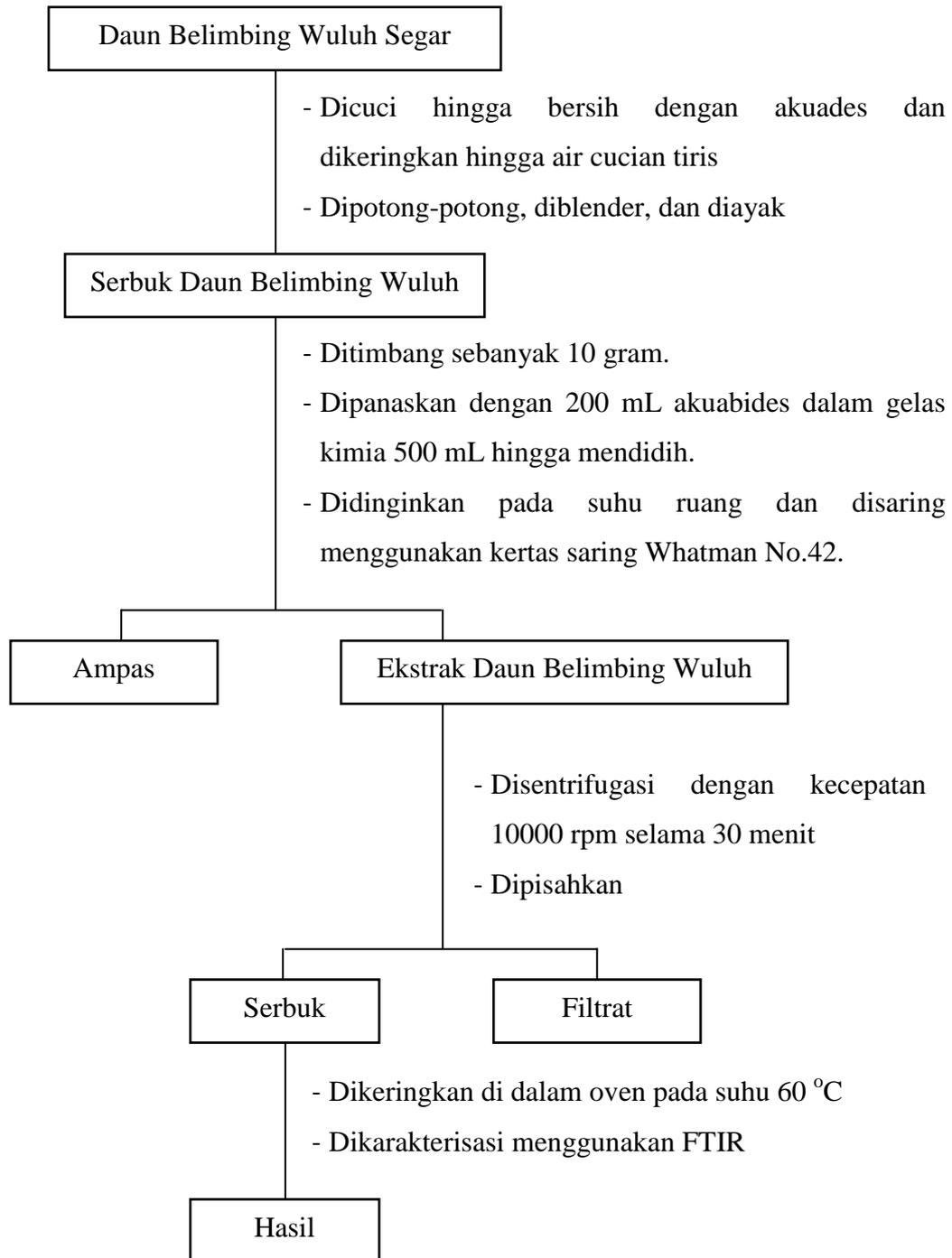
2. Pembuatan Larutan AgNO₃ 0,5 mM, 1 mM, 2 mM, 5 mM, dan 10 mM



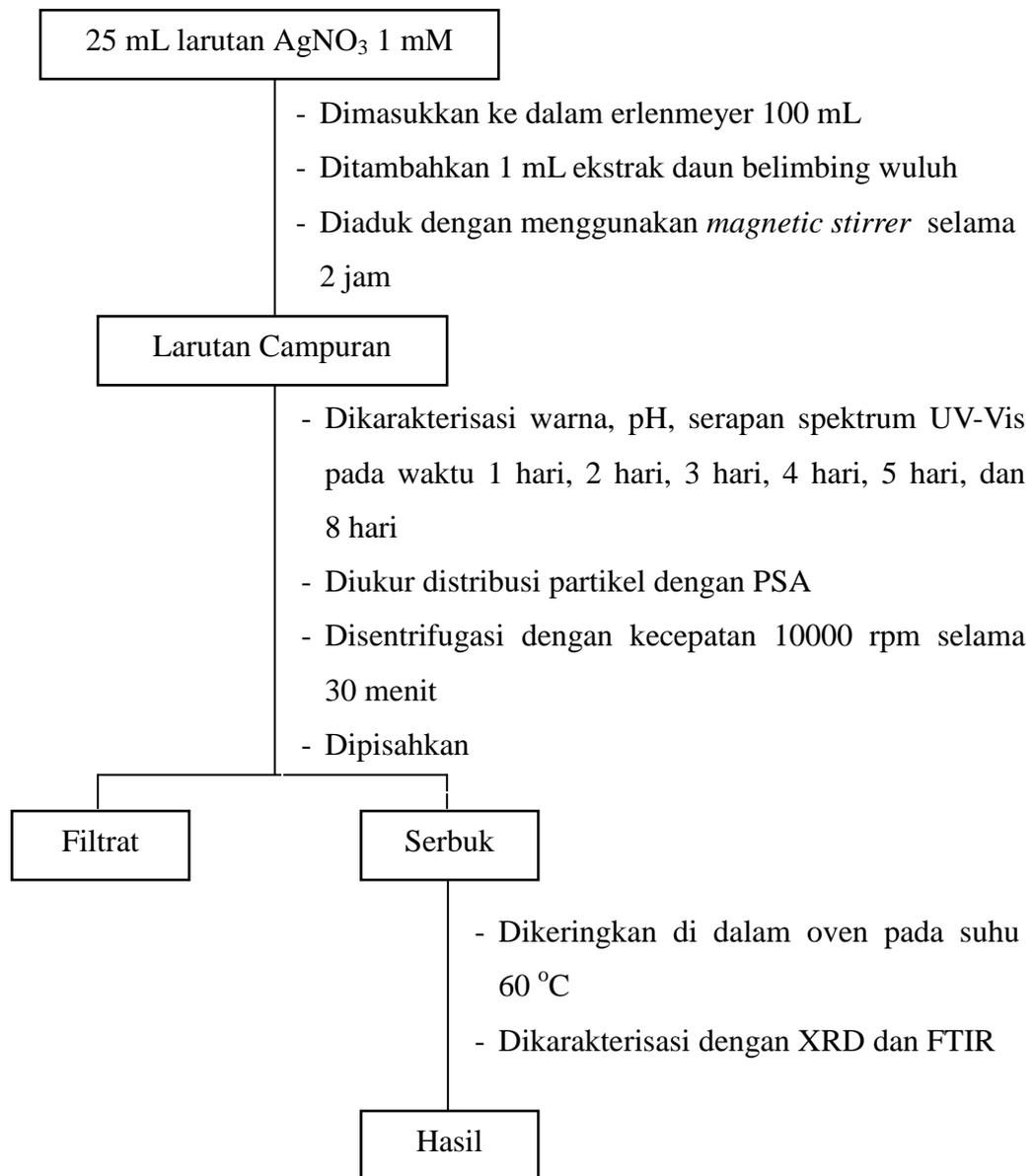
3. Pembuatan Larutan L-Sistein 0,5 mM



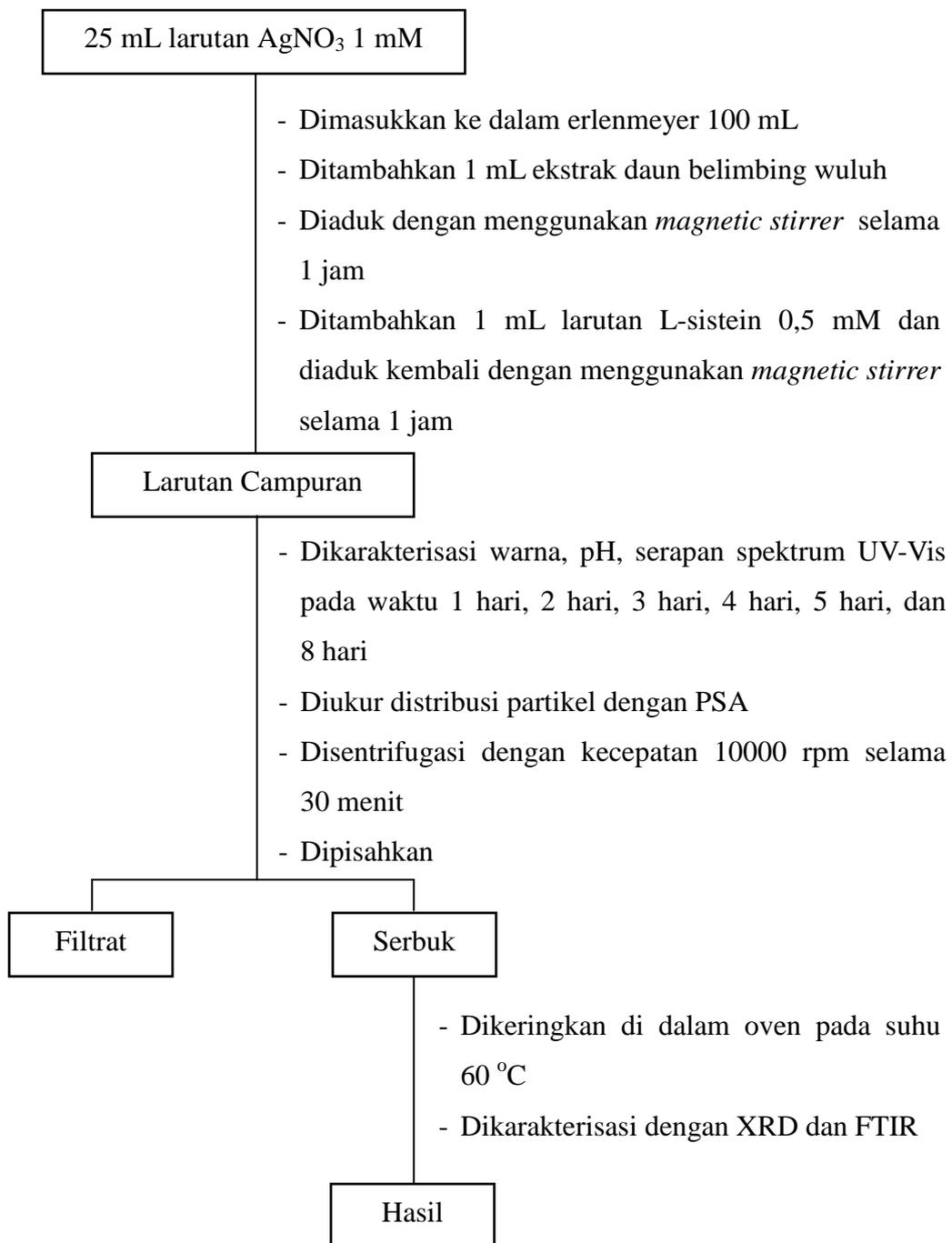
4. Pembuatan Ekstrak Daun Belimbing Wuluh



5. Sintesis Nanopartikel Perak



6. Modifikasi Nanopartikel Perak dengan L-Sistein



7. Pengujian Deteksi Melamin Menggunakan Nanopartikel Perak

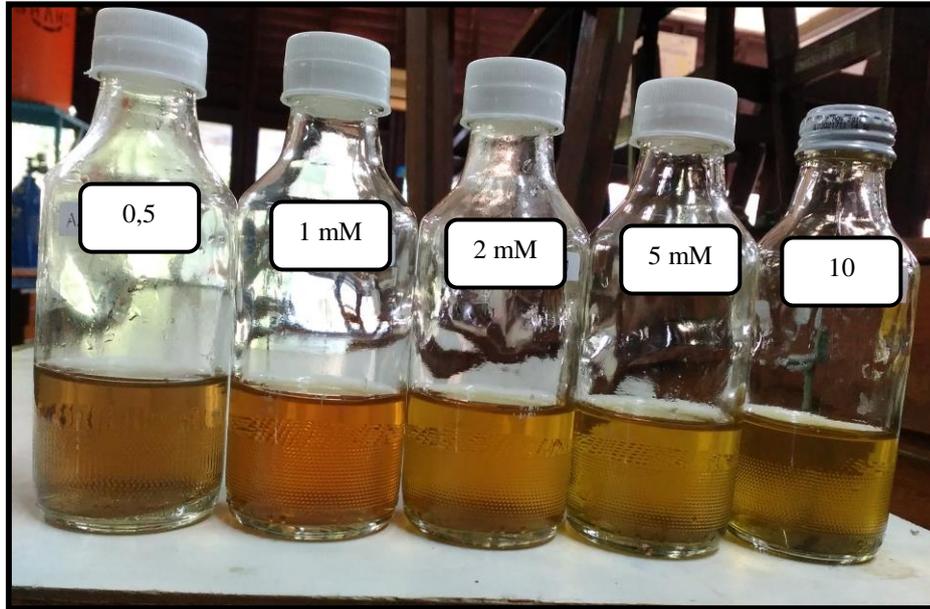
2 mL Larutan Melamin Berbagai Konsentrasi

- Ditambahkan ke dalam 10 mL larutan nanopartikel perak termodifikasi L-sistein
- Diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit
- Diamati perubahan warna yang terjadi pada larutan
- Diukur absorbansinya menggunakan

Hasil

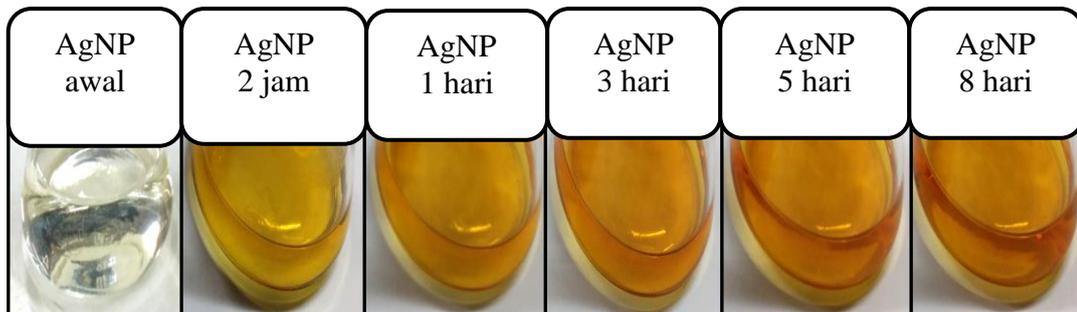
LAMPIRAN 2. DOKUMENTASI HASIL PENELITIAN

1. Penentuan konsentrasi optimum larutan AgNO_3

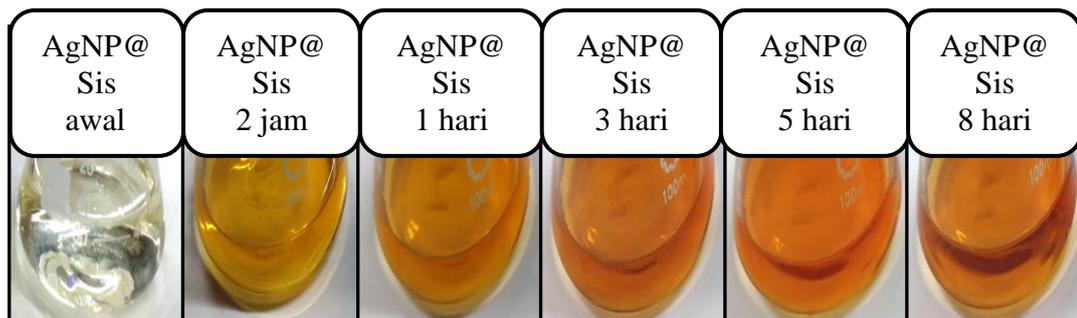


2. Pengamatan perubahan warna larutan nanopartikel perak dari awal hingga hari ke-8

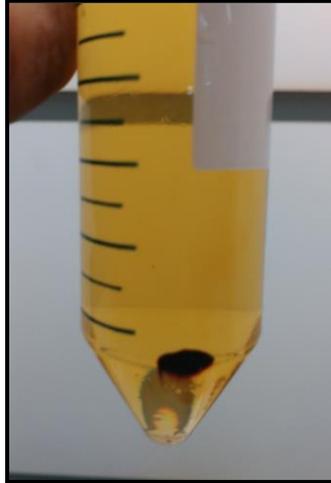
A. Tanpa modifikasi



B. Modifikasi dengan L-sistein



3. Hasil sentrifugasi larutan nanopartikel perak



4. Serbuk nanopartikel perak



5. Serbuk ekstrak Daun Belimbing Wuluh



LAMPIRAN 3. DOKUMENTASI INSTRUMEN YANG DIGUNAKAN

1. Spektrofotometer UV-Vis



2. *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*



3. *X-Ray Diffraction (XRD)*



4. Particle Size Analyzer (PSA)



5. Sentrifius

