



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN SENYAWA POLISILOKSAN
PADA KOMPOSIT NILON – NANOSILVER TERHADAP
STABILITAS ANTIBAKTERI SEBAGAI BAHAN TEKSTIL**

TESIS

JODDY ARYA LAKSMONO

0806484345

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM MAGISTER TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2010**

**PERPUSTAKAAN PUSAT
UNIVERSITAS INDONESIA**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN SENYAWA POLISILOKSAN
PADA KOMPOSIT NILON – NANOSILVER TERHADAP
STABILITAS ANTIBAKTERI SEBAGAI BAHAN TEKSTIL**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister

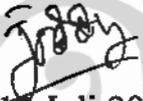
JODDY ARYA LAKSMONO

0806484345

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
KEKHUSUSAN PERANCANGAN PRODUK DAN PROSES KIMIA
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Joddy Arya Laksmo
NPM : 0806484345
Tanda Tangan : 
Tanggal : 12 Juli 2010

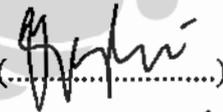
HALAMAN PENGESAHAN

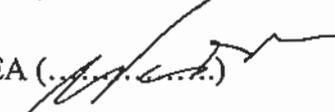
Tesis ini diajukan oleh :
 Nama : Joddy Arya Laksmono
 NPM : 0806484345
 Program Studi : Magister Teknik Nimia
 Judul Tesis : Pengaruh Penambahan Senyawa Polisiloksan Pada Komposit Nilon – Nanosilver Terhadap Stabilitas Antibakteri Sebagai Bahan Tekstil.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra M. Eng (.....) 

Pembimbing II : Dr. Eng. Agus Haryono (.....) 

Penguji : Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA (.....) 

Penguji : Ir. Dijan Supramono, MSc. (.....) 

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juli 2010

PENGESAHAN

Tesis dengan judul:

**PENGARUH PENAMBAHAN SENYAWA POLISILOKSAN PADA
KOMPOSIT NILON – NANOSILVER TERHADAP STABILITAS
ANTIBAKTERI SEBAGAI BAHAN TEKSTIL**

Dibuat untuk melengkapi sebagian prasyarat menjadi Magister Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian seminar.

Depok, 21 Juni 2010

Pembimbing I,



Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng
NIP. 19650125.199303.1.002

Pembimbing II,



Dr. Eng. Agus Haryono
NIP. 19690221.198902.1.001

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan hingga penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA., selaku Ketua Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- (2) Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng, selaku dosen pembimbing 1 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (3) Dr. Eng. Agus Haryono, selaku pembimbing 2, yang juga telah membimbing dalam melakukan kegiatan penelitian dan penyusunan tesis ini.
- (4) Orang tua (Bpk Ir. Santoso dan Ibu Sutarwati), keluarga saya (Galuh Widiyarti, ST, MSi; Hafizh Pradipta Arya Abyasa, Naura Nafira Arya Sabiya) yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral, serta;
- (5) Sahabat, teman yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Joddy Arya Laksmono
NPM : 0806484345
Program Studi : Magister Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Penambahan Senyawa Polisiloksan Pada Komposit Nilon – Nanosilver Terhadap Stabilitas Antibakteri Sebagai Bahan Tekstil.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Di buat di : Depok
Pada tanggal : 16 Juli 2010

Yang menyatakan



(Joddy Arya Laksmono)

Judul :	Pengaruh Penambahan Senyawa Polisioksan Pada Komposit Nilon – Nanosilver Terhadap Stabilitas Antibakteri Sebagai Bahan Tekstil
Nama :	Joddy Arya Laksmono
NPM :	0806484345

ABSTRAK

Pada penelitian ini, telah dilakukan preparasi nanokomposit serat nilon-nanosilver yang memiliki sifat antimikroba dengan metode deposisi nanosilver pada serat nilon. Nanosilver dipreparasi dengan menggunakan asam askorbat, natrium borohidrat dan trisodium sitrat, serta dilakukan penambahan polivinil alkohol (PVA) sebagai stabilizer. Proses deposisi nanosilver pada serat nilon dilakukan dengan penambahan polisioksan sebagai bahan pengikat perak terhadap serat nilon.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa Dari hasil uji antibakteri terhadap sample koloid nanosilver, sample dengan konsentrasi AgNO_3 750 ppm dengan reduktor asam askorbat (P3R1) menghasilkan aktivitas antibakteri yang paling optimal dibandingkan dengan yang lainnya. Dengan nilai hambatan yang lebih besar untuk bakteri *Staphylococcus aureus* dibandingkan *Eschericia coli*, dengan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) yang dihasilkan oleh koloid nanosilver adalah 418,5 nm dengan nilai absorbansi 2,052. Berdasarkan analisis ukuran partikel, sampel P3R1 memiliki ukuran partikel sebesar 87,5 nm dengan prosentase kumulatif sebesar 68,5%, indeks refraktif sebesar 1,3328, viskositas koloid nanosilver 0,8878, dan konstanta difusi sebesar $1,797 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$. Secara keseluruhan ukuran partikel koloid nanosilver antara 50-150 nm memberikan hasil yang baik terhadap aktivitas antibakteri.

Hasil analisis FTIR spectrum untuk komposit serat nilon-nanosilver menunjukkan terdapat gugus-gugus amida, vinil alkohol, dan siloksan. selain itu juga menunjukkan adanya peak baru karena terjadi *crosslinking* antara nilon, PVA dan polisioksan pada komposit, yang ditunjukkan pada peak 2800-3000 cm^{-1} . waktu deposisi tidak memberikan pengaruh terhadap kerusakan serat.

Uji antibakteri untuk komposit dilakukan dengan metode *Colony Forming Units* (CFU). Dari uji antibakteri menunjukkan bahwa konsentrasi polisioksan 2% dan waktu deposisi 5 menit memberikan hasil stabilitas antibakteri yang baik dengan perlakuan beberapa kali pencucian. Analisis morfologi komposit nilon-nanosilver yang telah diinkubasi oleh bakteri, menunjukkan adanya partikel nanosilver yang terdifusi kedalam sel bakteri yang menyebabkan matinya bakteri.

Kata kunci: bakteri patogen, komposit, nilon, preparasi nanosilver, deposisi, antibakteri.

Title :	The Effect of Addition of Polysiloxane Compounds on Nylon – Nanosilver Composites Towards Antibacterial Stability as a Textile Material
Name :	Joddy Arya Laksmono
Student ID :	0806484345

ABSTRACT

In this study, we have performed the preparation composite nylon fibers - nanosilver that have antimicrobial properties nanosilver deposition method on nylon fibers. Nanosilver prepared using ascorbic acid, sodium borohidrate, and trisodium citrate via reduction reaction, as well as the addition of polyvinyl alcohol (PVA) as stabilizer. Nanosilver deposition process performed with the addition of Polysiloxane as nanosilver's binder on nylon fibers.

The result showed that of the antibacterial test results on samples of colloidal nanosilver, the sample with a concentration of 750 ppm of AgNO₃ with the reducing agent ascorbic acid (P3R1) produce the most optimal antibacterial activity compared with the others, and have a greater resistance value to the bacteria *Staphylococcus aureus* than *Eschericia coli*. The maximum wavelength (λ_{maks}) produced by colloidal nanosilver is 418.5 nm with the absorbance value of 2.052. According to the analysis of particle size, sample P3R1 have particle size 87.5 nm with a cumulative percentage is 68.5%, the refractive index 1.3328, nanosilver colloidal viscosity 0.8878, and diffusion constants 1.797×10^{-8} cm²/sec. Overall, particle size of nanosilver colloidal between 50-150 nm give good results on antibacterial activity.

FTIR spectrum analysis results for nylon-fiber composites showed that there were clusters nanosilver-amide group, vinyl alcohol, and siloxane. It also showed a new peak due to the crosslinking between nylon, PVA and polysiloxane on the composite, which is shown at peak 2800-3000 cm⁻¹. The deposition time does not give effect to the fiber damage.

Antibacterial test for composites has been carried out by Colony Forming Units (CFU) methods. From the antibacterial tests showed that the concentration of Polysiloxane 2% and deposition time 5 minutes gave good results with the stability of antibacterial with treatment of several times of washing. Morphology analysis of nylon-nanosilver composite which has incubated by bacteria, indicating the existence of nanosilver particles diffused into the bacterial cell that caused bacterial death

Key word: pathogen bacterial, composite, nylon, nanosilver preparation, deposition, antibacterial.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Kata Pengantar	vi
Abstrak	viii
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.1.1. Perkembangan dan Penerapan Nanoteknologi	1
1.1.2. Perkembangan Industri Tekstil dan Produk Tekstil	2
1.1.3. <i>Roadmap</i> Aplikasi Nanoteknologi pada Industri Tekstil Indonesia	3
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Batasan Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 <i>State of the Arts</i> Penelitian	9
2.1.1. Nanosilver sebagai Anti-Bakteri	9
2.1.2. Penggunaan Nanosilver Pada Serat Tekstil	10
2.2. Serat Nilon	13
2.3. Silver Nanopartikel	15
2.4. Komposit	17
2.4.1. <i>Reinforcement</i> (penguat)	18
2.4.2. Matriks (pengisi)	18
2.4.3. Orientasi Serat dalam Komposit	19

2.4.4. Serat (<i>fiber</i>)	20
2.4.4.1. Serat Sintetik	20
2.4.4.2. Serat Alam	20
2.5. Anti-Bakteri	22
2.5.1. Uji Aktivitas Biologi (<i>Bioassay</i>)	23
2.5.2. Uji Antibakteri	23
2.6. Mekanisme Anti-Bakteri dari Komposit yang Mengandung Silver	24
2.7. Tinjauan Mikrobiologi	25
2.7.1. <i>Staphylococcus aureus</i>	29
2.7.2. <i>Escherichia coli</i>	30
2.8. Aplikasi Nanosilver Pada Tekstil	30
2.9. <i>Electrone Microscopy</i>	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Alur Pikir Penelitian	32
3.2. Tahapan Penelitian	34
3.2.1. Proses Reduksi Silver Nitrat Menjadi Silver Nanopartikel	34
3.2.2. Modifikasi deposisi nanopartikel perak pada serat nilon	34
3.2.3. Uji antimikroba	35
3.3. Karakterisasi Komposit Serat Nilon – Perak	35
3.4. Bahan dan Alat Penelitian	39
3.4.1. Bahan Penelitian	39
3.4.2. Alat Preparasi dan Analisis	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Preparasi Nanosilver	41
4.1.1. Analisis Spektrofotometer Cahaya Tampak	45
4.1.2. Analisis Distribusi Ukuran Partikel	46
4.1.3. Uji Antibakteri	48
4.1.4. Aktivitas Antibakteri Nanosilver Terhadap	

S. Aureus dan E. Coli	51
4.1.5. Analisis Hubungan Antara Diameter Partikel Dengan Aktivitas Antibakteri	53
4.2. Preparasi Komposit Nilon – Nanosilver	55
4.2.1. Analisis <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	56
4.2.2. Analisis Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Struktur Komposit	61
4.2.3. Uji Antibakteri Pada Komposit Nilon- Nanosilver	63
4.2.4. Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1. Kesimpulan	68
5.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	75

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Perkembangan Ekspor industri TPT Indonesia	3
Tabel 2.1. Pertimbangan Pemilihan Komposit	16
Tabel 4.1. Variasi parameter proses pada preparasi nanosilver.	42
Tabel 4.2. Hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak untuk masing-masing variasi proses pada preparasi nanosilver.	46
Tabel 4.3. Ukuran partikel masing-masing variasi proses preparasi nanosilver.	47
Tabel 4.4. Diameter hambatan masing-masing sampel koloid nanosilver terhadap bakteri <i>S. Aureus</i> dan <i>E. Coli</i>	48
Tabel 4.5. Korelasi antara panjang gelombang maksimum dengan aktivitas antibakteri dan ukuran partikel.	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. <i>Road map</i> aplikasi nanomaterial pada industri	5
Gambar 2.1. Susunan dasar pembentukan komposit lembaran, (a) Serat panjang searah, (b) Serat panjang dua arah, (c) Serat pendek searah, (d) Serat pendek acak, (e) <i>Woven fiber</i>	18
Gambar 2.2. Struktur kimia Kevlar $\text{K}29$	19
Gambar 2.3. Hasil <i>Scanning Electron Micrography</i> (SEM) <i>freeze-dried</i> permukaan <i>nata de coco</i>	20
Gambar 2.4. Hasil analisa SEM dan TEM pada mekanisme anti-bakteri menggunakan silver nanopartikel pada <i>Salmonella typhii</i>	23
Gambar 2.5. Struktur sel bakteri	24
Gambar 2.6. Berbagai bentuk tubuh bakteri	25
Gambar 2.7. Alat gerak (Flagel) bakteri (A. Monotrik; B. Lofotrik; C. Amfitrik; D. Peritrik)	26
Gambar 2.8. Koloni bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	28
Gambar 2.9. Bakteri <i>Escherichia coli</i>	28
Gambar 3.1. Skema umum proses pembuatan komposit nilon-nanosilver	30
Gambar 3.2. Proses pembentukan ikatan hydrogen pada komposit nilon-nanosilver	31
Gambar 3.3. Skema umum penelitian pembuatan komposit nilon – nanosilver	34
Gambar 3.4. Skema penelitian untuk preparasi nanosilver	35
Gambar 3.5. Skema penelitian preparasi komposit nilon – nanosilver dan uji kestabilan untuk antibakteri	36
Gambar 4.1. Reaksi pembentukan nanosilver melalui proses reduksi kimia.	
Gambar 4.2. Skema plasmon permukaan yang melalui logam	

(a), dan dielektrik antarfasa (b).	.....	44
Gambar 4.3. Sampel koloid nanosilver hasil penelitian.	.....	44
Gambar 4.4. Hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak koloid nanosilver untuk sampel P3R1 (konsentrasi umpan AgNO_3 750 ppm, reduktor asam askorbat).	.....	45
Gambar 4.5. Distribusi ukuran partikel untuk sampel P3R1.	.....	47
Gambar 4.6. Grafik uji aktivitas antibakteri untuk masing-masing sampel koloid nanosilver.	.....	49
Gambar 4.7. Hubungan antara konsentrasi umpan AgNO_3 terhadap aktivitas antibakteri pada reduktor asam askorbat.	.....	49
Gambar 4.8. Hubungan antara konsentrasi umpan AgNO_3 terhadap aktivitas antibakteri pada reduktor trisodium sitrat.	.....	50
Gambar 4.9. Visualisasi uji antibakteri untuk sampel P3R1 pada bakteri <i>S. Aureus</i>.	.....	51
Gambar 4.10. Visualisasi uji antibakteri untuk sampel P3R1 pada bakteri <i>E. Coli</i>.	.....	52
Gambar 4.11. Materi penyusun dinding sel pada bakteri gram positif (<i>S. aureus</i>) dan gram negatif (<i>E. coli</i>).	.....	53
Gambar 4.12. Grafik hubungan antara ukuran partikel (nm) dengan aktivitas antibakteri yang ditunjukkan oleh diameter hambatan (cm).	.....	54
Gambar 4.13. Hasil analisis FTIR untuk serat nilon.	.....	56
Gambar 4.14. Struktur monomer senyawa poliamida.	.....	57
Gambar 4.15. Spektrum FTIR untuk Komposit nilon-nanosilver setelah dipreparasi dengan PVA dan polisiloksan, (a) serat nilon ditambah polisiloksan, (b) serat nilon, (c) Serat nilon		

ditambah PVA dan polisiloksan.	58
Gambar 4.16. Struktur monomer senyawa polisiloksan.	59
Gambar 4.17. Struktur monomer senyawa PVA.	59
Gambar 4.18. Spektrum FTIR untuk (a) polisiloksan, (b) PVA, (c) serat nilon setelah dipreparasi dengan polisiloksan dan PVA yang mengandung partikel nanosilver.	60
Gambar 4.19. Spektrum FTIR hasil preparasi komposit nilon – nanosilver untuk konsentrasi polisiloksan 2% pada waktu deposisi: a. 30 detik, b. 1 menit, c. 5 menit.	61
Gambar 4.20. Kurva jumlah koloni bakteri yang terbentuk pada waktu deposisi 30 detik terhadap variasi konsentrasi polisiloksan dengan berbagai perlakuan pencucian.	62
Gambar 4.21. Kurva jumlah koloni bakteri yang terbentuk pada waktu deposisi 1 menit terhadap variasi konsentrasi polisiloksan dengan berbagai perlakuan pencucian.	63
Gambar 4.22. Kurva jumlah koloni bakteri yang terbentuk pada waktu deposisi 5 menit terhadap variasi konsentrasi polisiloksan dengan berbagai perlakuan pencucian.	64
Gambar 4.23. Analisis SEM untuk serat nilon sebelum dilakukan deposisi dengan partikel nanosilver, (a) perbesaran 2200x, (b) perbesaran 6000x.	65
Gambar 4.24. Analisis SEM pada partikel nanosilver pada serat nilon pada waktu deposisi 1 menit, (a) perbesaran 700x, (b) perbesaran 100x.	66
Gambar 4.25. Analisis morfologi komposit serat nilon-nanosilver yang telah diinkubasi dengan bakteri.	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

1.1.1. Perkembangan dan Penerapan Nanoteknologi

Istilah nanoteknologi dicetuskan pertama kali oleh Profesor Norio Taniguchi dari Tokyo Science University pada tahun 1974 untuk menjelaskan pembuatan material presisi pada level nanometer. Sedangkan konsep nanoteknologi diberikan oleh seorang fisikawan yakni Profesor Richard P. Feynman dalam *lecture* "There's plenty of room at the bottom"[1].

Aplikasi material dan struktur berskala nano, biasanya berkisar dari 1 hingga 100 nm, merupakan area yang baru pada nanosains dan nanoteknologi. Berdasarkan Yeo *et al.* (2003), dalam beberapa tahun ini kegunaan material berstruktur nano menjadi sangat berkembang. Banyak kegunaan dari nanopartikel yang berasal baik dari organik maupun anorganik, hal ini dapat diterapkan pada area yang beragam seperti fisika, kimia, farmasi, zat pelapis permukaan (*surface coating agent*), tekstil, agrikultur, biokimia, dan masih banyak lagi [2].

Salah satu bidang yang saat ini banyak diminati oleh para peneliti adalah penerapan teknologi nano pada bidang tekstil. Penerapan teknologi nano yang sedang berkembang saat ini adalah preparasi dan pengembangan komposit antara polimer, serat baik yang berasal dari alam atau buatan sebagai matriks dengan zat yang mempunyai sifat khusus, seperti anti-bakteri [1]. Penerapan teknologi nano pada tekstil terutama yang mempunyai sifat anti-bakteri berkenaan dengan keinginan yang semakin meningkat untuk dapat hidup pada lingkungan yang nyaman. Hal ini disebabkan tingkat polusi yang semakin tinggi kadarnya. Perubahan iklim global turut serta dalam menciptakan lingkungan yang kurang kondusif, seperti semakin berkembangnya jumlah serta jenis dari bakteri patogen yang dapat mengganggu kesehatan [3].

Beberapa peneliti telah melakukan investigasi terhadap beberapa jenis material yang mempunyai fungsi sebagai anti-bakteri. Material-material tersebut diantaranya adalah tembaga, seng, titanium [4], magnesium, emas [5], alginat [6], dan silver. Nanopartikel silver telah terbukti memiliki kemampuan yang baik

sebagai anti-mikroba yakni terhadap bakteri, virus, dan mikroorganisma eukaryotik lainnya [7]. Koloid silver secara khusus sangat menarik karena memiliki sifat yang khas yakni merupakan bahan konduktivitas yang baik, stabil secara kimiawi, dapat berfungsi sebagai katalis, dan memiliki aktivitas sebagai anti-bakteri [2].

Dalam beberapa tahun terakhir, situasi perkembangan tekstil dunia berubah yang dipengaruhi beberapa hal. Salah satunya adalah perkembangan nanoteknologi yang memberi masukan baru terkait tipe serat baru yang diberi nilai tambah tertentu. Ukuran nanopartikel yang berkisar antara 1 hingga 100 nanometer [2]. ditambahkan pada serat tekstil untuk memberi fungsi khusus atau memodifikasi fungsi serat. Penambahan sifat tekstil yang sedang dikembangkan salah satunya adalah sifat antimikroba dengan menggunakan senyawa organik atau anorganik pada serat. Silver adalah salah satu jenis senyawa anorganik yang dapat digunakan. Telah dibuktikan bahwa dalam konsentrasi rendah, silver tidak bersifat toksik terhadap sel manusia [1].

1.1.2. Perkembangan Industri Tekstil dan Produk Tekstil

Pada tahun 2006 Industri Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) memberikan kontribusi sebesar 11,7% terhadap total ekspor nasional, 20,2% terhadap surplus perdagangan nasional, dan 3,8% terhadap pembentukan Produk Domestik Bruto (PDB) nasional. Sedangkan daya serap industri ini terhadap tenaga kerja cukup besar, mencapai 1,84 juta tenaga kerja. Hingga tahun 2006, jumlah industri tekstil Indonesia mencapai 2.699 perusahaan, dengan total investasi sebesar Rp. 135,7 triliun. Lokasi industri TPT terkonsentrasi di Jawa Barat (57%), Jawa Tengah (14%), dan Jakarta (17%). Sisanya tersebar di Jawa Timur, Bali, Sumatra, dan Yogyakarta. Total kapasitas produksi pada tahun 2006 mencapai 6,1 juta ton. Kapasitas tersebut terdiri dari industri pemintalan 2,4 juta ton, industri pertenunan, perajutan, pencelupan, dan *finishing* sebesar 1,8 juta ton, industri garmen 754 ribu ton, dan industri tekstil lainnya sebesar 101 ribu ton. Kapasitas produksi ini mengalami kenaikan sebesar 1,7 ton dibanding tahun sebelumnya yang hanya sebesar 5,86 juta ton.

Posisi dan daya saing tekstil Indonesia di pasar dunia cukup baik. Pada tahun 2006, Indonesia merupakan pemasok keempat terbesar untuk pasar tekstil AS dengan kontribusi 4,18% (US\$ 3,9 juta). Pemasok terbesar untuk pasar tekstil di AS adalah Cina (US\$ 27,067 juta), Meksiko (US\$ 6,378 juta), dan India (US\$ 5,031 juta). Sedangkan untuk volume ekspor Indonesia tumbuh rata-rata 10,67% setiap tahunnya. Tabel di bawah menunjukkan perkembangan ekspor industri TPT Indonesia tiap tahunnya.

Tabel 1.1. Perkembangan Ekspor industri TPT Indonesia

Tahun	Volume (ribu kg)	Nilai (ribu USD)	Harga rata-rata (USD/kg)
2000	1.777.132	8.377.397	4,71
2001	1.721.312	7.678.422	4,46
2002	1.758.675	6.888.559	3,92
2003	1.555.920	7.052.181	4,53
2004	1.626.461	7.647.441	4,70
2005	1.796.800	8.555.000	4,76
2006	1.877.400	9.376.000	4,99

Sumber : - BPS, 2007.

- Asosiasi Pertekstilan Indonesia, 2007.

Perdagangan TPT dunia diperkirakan akan terus bertumbuh sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Tingkat konsumsi tekstil dunia pada 2006 baru mencapai 65,2 kg per kapita, pada 2008 mencapai 66,6 kg, dan pada 2010 diperkirakan akan mencapai 68 kg per kapita dengan asumsi jumlah penduduk dunia pada 2010 mencapai 6,8 miliar jiwa. Di dalam negeri, permintaan domestik akan TPT diperkirakan juga akan meningkat dari 3,8 kg per kapita menjadi 4,5 kg per kapita, sehingga merupakan peluang bagi Indonesia untuk meningkatkan pangsa pasarnya, baik di dunia maupun di Indonesia [8].

1.1.3. Roadmap Aplikasi Nanoteknologi pada Industri Tekstil Indonesia

Industri tekstil Indonesia merupakan industri prospektif dengan pasar potensial di Indonesia. Namun industri tekstil masih menghadapi berbagai macam

kendala baik secara teknologi maupun di luar hal itu, seperti maraknya impor ilegal. Kondisi permesinan umumnya sudah tergolong tua dengan metode produksi yang konvensional. Akan tetapi ditengah permasalahan klasik yang membayangi, Industri Tekstil Indonesia harus berani mengambil langkah visioner termasuk dengan menerapkan nanoteknologi untuk meningkatkan daya saingnya.

Nanoteknologi pada Industri tekstil sudah mulai diaplikasikan meski pengembangannya belum berjalan lama, terutama untuk meningkatkan kualitas produk yang telah ada dipasaran. Jangka pendek, pertengahan dan panjang dalam penerapan nanoteknologi diharapkan dapat memberi dampak yang tinggi secara komersial.

Tahap awal (1-5 tahun)

- Aplikasi nanomaterial fungsional pada proses produksi serat untuk menambahkan sifat tertentu: anti air/minyak/noda, anti kusut, mengatur kelembaban (*breathable/humidity transport*)
- Optimasi sifat material, misalnya: daya tahan cahaya, daya tahan terhadap gesekan dan tarikan, daya tahan temperatur (panas/dingin)
- Aplikasi nanomaterial pada proses pewarnaan

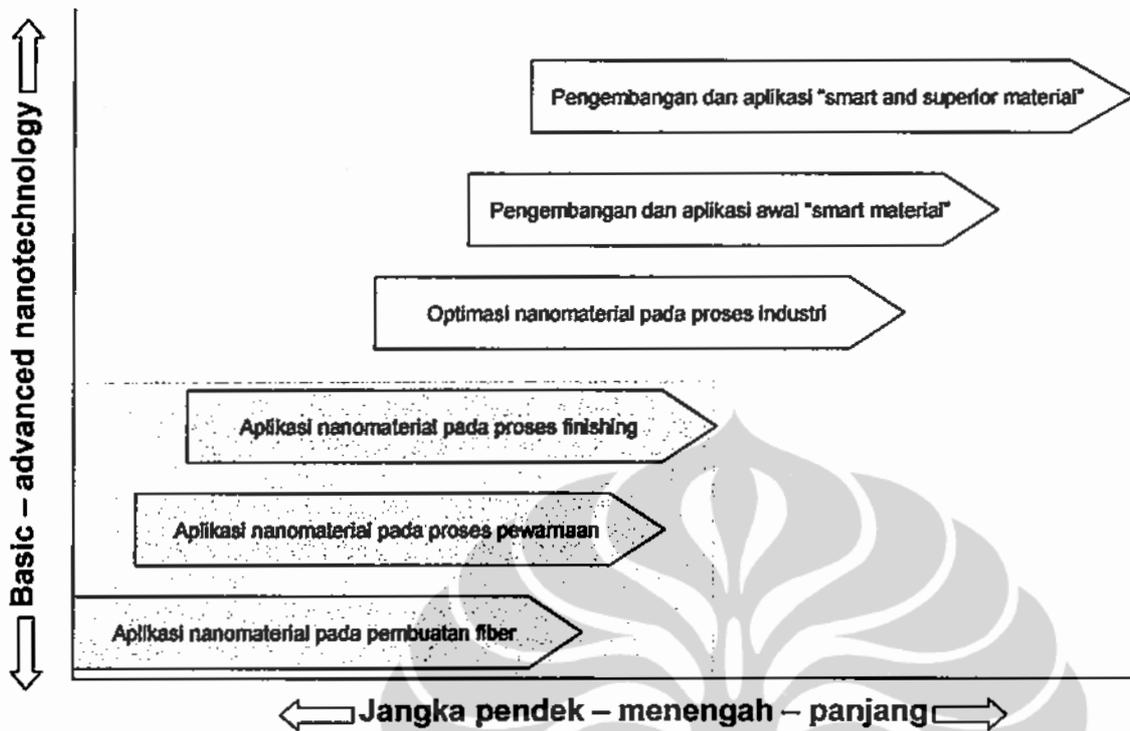
Jangka menengah (5-10 tahun)

- Pengembangan tekstil dengan kendali bau atau menangkap bau
- Pengembangan pakaian dengan regulator temperatur
- Pengembangan material reflektif dan pelindung UV
- Pengembangan mikrokapsul dengan bahan berubah fasa

Jangka panjang (>20 tahun)

- Pengembangan tekstil dengan material cerdas baru.
- Aplikasi material superior (misal CNT) pada tekstil.

Penelitian yang akan dilakukan berada pada posisi jangka pendek yakni aplikasi nanomaterial fungsional pada proses produksi serat untuk menambahkan sifat tertentu, yakni antibakteri [9].



Gambar 1.1. *Road map* aplikasi nanomaterial pada industri (Sumber: Depperin, 2008)

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan komposit dengan matriks serat nilon dan silver yang telah di preparasi dalam ukuran nanometer sebagai bahan pengisi (*filler*). Perak yang telah dipreparasi dilakukan proses deposisi pada serat nilon dengan bantuan senyawa polisiloksan sebagai pengikat dengan metode *in situ*. Komposit yang dihasilkan kemudian dilakukan uji aktivitas anti-bakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* menggunakan metode cakram difusi dalam media agar.

1.2. Perumusan Masalah

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa nano-silver dapat ditambahkan pada serat tekstil untuk menghasilkan bahan baku tekstil yang memiliki sifat anti-bakteri. Namun dalam perjalanannya, ternyata ditemukan proses penambahan nano-silver pada serat (khususnya nilon) tidak diiringi dengan proses penempelan nanosilver secara permanen pada serat tersebut, sehingga

dikhawatirkan akan mempunyai efek yang tidak baik pada pengguna ataupun lingkungan.

Dengan demikian, dalam penelitian ini permasalahan tersebut dirumuskan agar bagaimana memperoleh komposit dengan matriks serat nilon dan perak sebagai bahan pengisi, sehingga mempunyai sifat anti-bakteri secara permanen yang akan digunakan sebagai bahan baku untuk industri tekstil. Dalam penelitian ini digunakan kandidat senyawa pengikat nano-silver pada nilon agar permanen adalah polisiloksan yang akan membentuk ikatan hidrogen dengan polivinil alkohol (PVA), sedangkan PVA akan menyelubungi nanosilver yang terbentuk.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi AgNO_3 terhadap aktivitas antibakteri.
2. Mengetahui pengaruh jenis reduktor terhadap pembentukan nanosilver dan aktivitasnya untuk antibakteri.
3. Memperoleh kombinasi konsentrasi polisiloksan sebagai bahan pengikat pada komposit serat nilon - nanosilver sehingga dapat digunakan sebagai bahan yang memiliki sifat anti-bakteri.
4. Mendapatkan bahan komposit yang memiliki aktivitas anti-bakteri yang permanen.

1.4. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menjawab kebutuhan bahan baku untuk industri tekstil yang memiliki sifat anti-bakteri secara stabil, sehingga dapat meningkatkan nilai daya saing industri tekstil dan produk tekstil nasional.

1.5. Batasan Penelitian

Beberapa hal yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Batasan partikel berukuran nanometer adalah 1 hingga 100 nm [2].
2. Komposit yang akan dipreparasi terdiri dari serat nilon sebagai matriksnya, dan perak berukuran nano sebagai bahan pengisi yang memiliki sifat anti-bakteri.

3. Nano-perak yang digunakan dihasilkan dari reduksi perak nitrat (AgNO_3) menggunakan asam askorbat, natrium borohidrida, dan trisodium sitrat menggunakan polivinil alkohol (PVA) sebagai stabilizer pada konsentrasi 0,5 g dalam 100 ml aquadest [10].
4. Untuk menghasilkan sifat anti-bakteri yang permanen, digunakan bahan polisiloksan pada saat melakukan deposisi nano-perak terhadap serat nilon yang berfungsi sebagai bahan pengikat.
5. Variasi parameter yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah i) konsentrasi AgNO_3 yakni 250, 500, dan 750 ppm; ii) jenis reduktor yang digunakan yakni asam askorbat, natrium borohidrat, dan trisodium sitrat; iii) konsentrasi polisiloksan 1, 2, dan 3% b/v, dan iv) pencucian 1, 2, 3 kali.
6. Untuk mengetahui morfologi hasil deposisi nano-perak terhadap serat nilon dilakukan analisa menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Sedangkan untuk mengetahui ukuran partikel nano-silver dianalisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).
7. Uji aktivitas anti-bakteri dilakukan pada media (*nutrient broth*) dan dilakukan inkubasi selama waktu tertentu dengan menggunakan metode difusi cakram.
8. Uji anti-bakteri ini dilakukan terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*.

1.6. Sistematika Penulisan

Proposal ini disusun berdasarkan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian, dan sistematika penulisan tesis.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Meliputi *state of the art*, perkembangan tekstil, serat nilon, nano-partikel perak, *bio-assay* anti-bakteri, mekanisme perak sebagai anti-bakteri.

BAB III METODE PENELITIAN

Meliputi skema penelitian, peralatan dan bahan yang akan digunakan, preparasi partikel perak berukuran nano dengan menggunakan stabilizer, deposisi serat nilon dengan nano-perak menggunakan bahan pengikat, uji aktivitas anti-bakteri.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *State of the Arts* Penelitian

2.1.1 Nanosilver sebagai Anti-Bakteri

Studi mengenai mekanistik pada proses inhibisi ion silver terhadap dua galur bakteri, *S. aureus* dan *E. coli* telah dilaporkan oleh Feng *et al.* (2000). Pada penelitian ini, kedua bakteri tersebut diinokulasikan pada medium Luria Bertoni (LB) dan diinkubasi pada 37 °C menggunakan alat *rotary shaker* selama 16 jam. Setelah itu kemudian ditambahkan silver nitrat pada kultur tersebut dan didiamkan untuk tumbuh selama 4 – 12 jam. Lima mililiter kultur bagian atas dipisahkan, disentrifugasi dan biomass yang terdapat pada sampel tersebut di analisa menggunakan TEM untuk mengetahui perubahan morfologi serta X-Ray mikro analisis untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada *S. aureus* dan *E. coli* setelah perlakuan penambahan ion silver. Hasilnya TEM menunjukkan adanya jarak yang besar antara membran sitoplasma dan dinding sel, serta terdapat granulasi elektron di sekitar dinding sel. Hasil X-Ray mikro analisis menunjukkan terdapatnya silver dan sulfur dengan asumsi ion silver setelah memasuki sel bakteri yang bercampur dengan sulfur sebagai komponen sel [11].

Studi mengenai aktivitas silver zeolit terhadap *E. coli* dan dibandingkan dengan aktivitas silver nitrat sebagai anti-bakteri dilaporkan oleh Matsumura *et al.* (2000) Galur *E. coli* OW6, CSH7, dan UM1 digunakan pada studi ini. Sel bakteri diperoleh menggunakan sentrifugasi dan disuspensikan kembali kedalam suspensi silver zeolit atau silver nitrat pada densitas 10 – 100 mg/l. Hasilnya secara jelas menunjukkan bahwa silver zeolit pada 100 mg/l mereduksi dinding *E. coli* OW6 dalam 20 nM buffer potassium fosfat pH 7,0. Aktivitas silver zeolit terlihat lebih nyata pada temperatur yang lebih tinggi (0 hingga 42 °C) dan pH yang lebih tinggi (6,5 hingga 8,5). Sedangkan untuk galur CSH7 dan UM1 terlihat lebih sensitif terhadap silver zeolit dan silver nitrat dengan perlakuan yang sama [12].

Penelitian mengenai metode satu tahap pada sintesis nanopartikel koloid silver dilaporkan oleh Panacek *et al.* (2006) Pada penelitian ini, dilaporkan adanya aktivitas anti-mikroba dan anti-bakteri yang tinggi dari silver nanopartikel pada

bakteri gram positif dan gram negatif termasuk pada galur multiresistan seperti metisilin *S. aureus*. Aktivitas anti-bakteri silver nanopartikel diketahui merupakan pengaruh dari ukuran, dan silver nanopartikel yang memiliki ukuran 25 nm memiliki aktivitas anti-bakteri yang lebih baik. Nanopartikel merupakan senyawa toksik bagi sel bakteri pada konsentrasi yang rendah sekitar 1,69 µg/ml Ag [13].

Investigasi mengenai pengaruh kombinasi silver nanopartikel dengan antibiotik telah dilakukan oleh Shahverdi *et al.* (2007). Silver nanopartikel disintesis menggunakan *Klebsiella pneumoniae* dan dilakukan evaluasi terhadap aktivitas anti-mikroba terhadap *S. aureus* dan *E. coli*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa dengan adanya penambahan antibiotik seperti penisilin G, amoksisilin, eritromisin, clindamisin, dan vancomisin dapat meningkatkan aktivitas anti-mikroba setelah adanya penambahan silver nanopartikel terhadap *S. aureus* dan *E. coli*. Aktivitas sinergi yang lebih tinggi ditunjukkan pada campuran eritromisin dengan silver nanopartikel [14]. Sedangkan sintesis silver nanopartikel pada ukuran antara 10 – 15 nm dan dosis penggunaan memberikan pengaruh yang lebih efektif pada mikroorganisme gram positif dan gram negatif telah dilaporkan oleh Shrivastava *et al.* (2007). Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa dosis silver nanopartikel memberikan pengaruh yang nyata terhadap mikroorganisme gram negatif dibandingkan gram positif [15].

2.1.2 Penggunaan Nanosilver Pada Serat Tekstil

Studi mengenai preparasi nanokomposit fiber yang memiliki pengaruh anti-bakteri secara permanen telah dilakukan oleh Yeo *et al.* (2003). Pada penelitian tersebut digunakan polipropilen (PP) chips, PP/Ag *master batch*, dan silver nanopartikel. Untuk uji aktivitas anti-bakteri digunakan *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae*. Proses penambahan Ag dilakukan pada saat pemintalan (*spinning*) dengan temperatur spinneret dijaga pada 250 °C dan kecepatan putar pada 1000 m/menit. Karakterisasi menggunakan *differential scanning calorimetry* (DSC) untuk uji kristalinitas, *wide-angle X-ray diffractometer* (WAXD) untuk analisis struktur, sedangkan untuk observasi morfologi digunakan *scanning electron microscopy* (SEM), dan uji anti-bakteri menggunakan metode AATCC 100 yang kemudian dihitung persentase dari reduksi bakteri yang dihasilkan. Hasil

dari penelitian ini disimpulkan bahwa serat yang mengandung silver nanopartikel pada pusat serat tidak memiliki aktivitas yang signifikan, sedangkan serat yang mengandung silver nanopartikel pada permukaan memiliki aktivitas anti-bakteri yang sangat baik [16].

Studi anti-bakteri pada serat polipropilen dengan melakukan variasi ukuran partikel silver yang digunakan, yakni silver I berukuran 100 nm, dan silver II berukuran 1 μm dilakukan oleh Jeong *et al.* (2005). Proses pencampuran polipropilen dan partikel silver dilakukan dengan menggunakan metode *hot compounding* dengan melakukan variasi konsentrasi silver untuk masing-masing ukuran, yakni 0,1% - 3%. Analisa yang dilakukan adalah menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi komposit yang terbentuk, DSC untuk mengetahui kristalinitas, dan uji anti-bakteri menggunakan metode AATCC 100 1999. Sedangkan untuk uji mekanik, dilakukan tes terhadap untuk uji mekanik, dilakukan tes terhadap *tensile strength* dan *elongation at break*. Dari hasil karakterisasi menggunakan DSC diketahui bahwa panas fusi dan temperatur kristalisasi menurun, tetapi kristalinitas polipropilen di dalam komposit tidak berubah, walaupun ada penambahan konsentrasi silver. Hasil XRD menunjukkan puncak kristal silver semakin melebar dengan semakin meningkatnya konsentrasi silver yang ditambahkan. Sedangkan berdasarkan hasil SEM diketahui bahwa silver terdispersi dengan baik pada komposit. Sedangkan untuk hasil uji anti-bakteri, diketahui bahwa silver I (100 nm) memiliki sifat anti-bakteri yang sangat baik [17].

Penelitian mengenai aktivitas anti-mikroba pada nanokomposit poliamida 6 (PA6)/silver dilakukan oleh Damm *et al.* (2007). Proses komposit dilakukan dengan *melt processing immersion* pada saat reduksi termal silver ion. Nanosilver yang ditambahkan pada untuk membentuk komposit adalah sebesar 2% b/b. Pada penelitian ini dilakukan investigasi mengenai proses terlepasnya silver dari komposit dan mengikuti laju reaksi orde nol selama 100 hari pengamatan. Selama waktu ini pula, setiap harinya silver terlepas dari komposit sebesar 17 $\mu\text{g}/\text{hari}/\text{liter}$ cairan perendaman dan per cm^2 permukaan sampel. Nanokomposit PA6/silver memiliki aktivitas anti-bakteri yang baik terhadap *E. coli*, dimana PA6 murni tidak memiliki aktivitas tersebut. Pengaruh perendaman sampel PA6/silver yang

mengandung silver 2% b/b selama 100 hari tidak mengurangi aktivitas anti-bakteri terhadap *E. coli*. Sehingga disimpulkan, PA6 yang mengandung 2% b/b nanosilver memiliki sifat anti-bakteri untuk jangka waktu yang panjang [18].

Studi tentang sintesis silver nanopartikel menggunakan *Fusarium oxysporum* dan pengaruh sifat anti-bakteri terhadap biosintesis silver nanopartikel pada saat digabungkan dengan tekstil dilakukan oleh Duran *et al.* (2007). Hasil sintesis silver nanopartikel dianalisa menggunakan UV-vis spektrofotometer, TEM, dan elemental spektroskopi, sedangkan ukuran nanopartikel dianalisa menggunakan XRD. Serat katun 5 x 5 cm digunakan untuk diimpregnasikan menggunakan silver nanopartikel menggunakan shaker pada 600 rpm selama 24 jam dan dikeringkan pada 70 °C. Persentase nanopartikel yang terimpregnasi dianalisa menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Aktivitas anti-bakteri dari katun yang telah diimpregnasi nanopartikel dianalisa pada media agar, dan kemudian dianalisa menggunakan SEM dan energy dispersive spectroscopy (EDS). Hasil TEM menunjukkan silver nanopartikel yang dihasilkan berbentuk sferis. Sedangkan hasil dari SEM dan EDS menunjukkan bahwa katun yang telah diimpregnasikan dengan silver nanopartikel memiliki aktivitas anti-bakteri yang efektif [19].

Preparasi mikrofiber katun yang mengandung silver nanopartikel menggunakan radiasi ultraviolet (UV) dilaporkan oleh Chen *et al.* (2008). Metode ini dianggap ramah lingkungan, karena tidak menggunakan zat kimia pereduksi yang dapat bertindak sebagai polutan. Aktivitas anti-bakteri di uji terhadap bakteri *E. coli* sebagai model bakteri patogen. Hasil SEM menunjukkan bahwa telah terjadi reduksi ion silver menjadi silver nanopartikel menggunakan radiasi UV, dan secara morfologi menempel pada permukaan serat katun. Serat katun yang mengandung silver nanopartikel dengan diameter 75 nm memiliki daya anti-bakteri yang sangat baik terhadap *E. coli* [20].

Penelitian mengenai pengaruh polisiloksan sebagai bahan pengikat nanosilver pada serat poliester sebagai matriks dilakukan oleh Dastjerdi *et al.* (2009). Nanosilver yang telah direduksi kemudian ditambahkan polisiloksan pada temperatur 30 °C. Serat poliester kemudian direndamkan pada campuran tersebut selama 20 detik, kemudian sampel dikeringkan pada temperatur 100 °C selama 3

menit dan *curing* pada temperatur 190 °C menggunakan stenter dengan kecepatan 5,6 m/menit selama 24 detik. Hasil yang diperoleh nanokomposit tersebut memiliki sifat anti-bakteri yang permanen terhadap *K. pneumoniae* dan *S. aureus* menggunakan metode AATCC 100 pada sampel yang mengandung 100 ppm nanosilver [21].

Studi terhadap pembuatan nanokomposit nilon/silver sebagai bahan tekstil yang memiliki sifat anti-bakteri terhadap *S. aureus* telah dilakukan oleh Agus Haryono *et al.* (2009). Nanosilver diperoleh dengan mereduksi silver nitrat menggunakan trisodium triasetat, dan didapatkan ukuran silver 19 nm dalam bentuk koloid hasil karakterisasi menggunakan SEM. Nilon direndam pada koloid tersebut selama rentang waktu 20 detik, dan dikeringkan. Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi serat nilon sebelum dan setelah direndam dengan nanosilver. Untuk uji anti-bakteri dilakukan pada media agar yang telah diinokulasi dengan *S. aureus*. Hasil yang didapat setelah dilakukan pencucian sampel pertama kali, aktivitas anti-bakteri dari komposit telah menurun, hal ini dimungkinkan telah terjadinya proses terlepasnya nanosilver karena tidak terikat secara permanen pada serat nilon [9].

Dari *state of the arts* diatas diketahui bahwa telah banyak peneliti yang telah melakukan kajian terhadap nanosilver sebagai anti-bakteri dan juga aplikasinya pada serat-serat yang biasa digunakan untuk tekstil. Pada proposal ini diusulkan penelitian dengan fokus pembuatan nanokomposit dengan nilon sebagai matriksnya dan nanosilver yang ditambahkan polisiloksan sebagai zat pengikat, agar memiliki daya anti-bakteri yang permanen. Uji anti-bakteri dilakukan terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli* menggunakan media agar yang telah diinokulasikan masing-masing bakteri tersebut.

2.2. Serat Nilon

Salah satu jenis poliamida adalah nilon, yang merupakan material yang sangat penting untuk pembuatan serat dan plastik. Nilon-6,6 dikembangkan pada 1930 oleh Carother & Co., dan mulai diproduksi secara luas pada 1939 di pabrik DuPont, Amerika Serikat. Beberapa saat setelah serat DuPont dipasarkan, nilon-6 diproduksi di Eropa dengan polimerisasi kaprolaktam. Nilon-6 dan nilon-6,6

memiliki struktur yang hampir sama. Keduanya memiliki daya tahan yang baik terhadap panas, bahan kimia, dan pemakaian, sehingga menjadikannya serat poliamida yang banyak digunakan di seluruh dunia, terutama sebagai bahan tekstil pakaian dan tekstil peralatan rumah.

Nilon adalah jenis serat yang penting, dan pasar produk nilon meningkat pesat sejak diperkenalkan pertama kali. Sifat nilon yang kuat, elastis, berkilau, tahan gores, dapat diwarnai, dan sifat mempertahankan bentuk menjadikan nilon cocok digunakan pada berbagai macam aplikasi. Untuk pakaian dan tekstil rumah lain, nilon merupakan serat penting, terutama pada kaos kaki, stoking, bahan tekstil lentur, pakaian olahraga, karpet, dan pada perlengkapan furnitur. Penggunaan serat nilon pada industri termasuk pada ban kendaraan bermotor, tali tambang, sabuk pengaman, parasut, bahan pelapis (kulit buatan, selang pancuran dan pemadam kebakaran), dan pakaian sekali pakai pada industri kesehatan. Sebagai tambahan, rekayasa plastik yang terbuat dari nilon memberi sifat titik leleh, kekuatan, daya tahan, dan sifat inert yang baik, sehingga banyak digunakan sebagai bahan retsleting, *gear*, kipas pada kendaraan bermotor, dan katrol [22].

Tabel 2.1. Sifat fisika – kimia dari nilon.

No.	Tes ASTM atau UL	Sifat	Nilai
1	D79	<i>Specific gravity</i>	1.14
2.	D79	<i>Specific volume (cu in Ab)</i>	24.3
3.	D570	<i>Water absorption 24 jam (%)</i>	1.6
4.	D638	<i>Tensile strength</i>	11,500
5.	D638	<i>Elongation (%)</i>	100
6.	D790	<i>Flexural modulus (KPsi)</i>	420
7.	D2117	<i>Melt point (crystalline), °F</i>	428
8.	D696	<i>Coef. Thermal expansion</i>	4.5
9.	D648	<i>Deflection Temp. (at 264 psi), °F</i>	152
10.	UL94	<i>Flammability rating</i>	V-2
11.	D150	<i>Dielectric constant at 1 kHz, °F</i>	3.8
12.	D257	<i>Volume resistivity (ohm-cm)</i>	1E+15

(Sumber : Brandrup, J., Immergut, E.H., Grulke, E.A., 1999).

Berdasarkan data statistik diketahui bahwa 60% produksi nilon dunia berasal dari Indonesia. Untuk tahun 2009, produksi nilon dunia sebanyak 4 juta ton. Perusahaan yang melakukan produksi nilon, terutama nilon 6, di Indonesia terutama adalah PT Indonesia Toray Synthetic (ITS), PT ISTEM, PT ACTEM dan lainnya. Dengan sifat dari nilon yang memiliki elastisitas yang baik, kuat, tahan gores, dan mudah diwarnai, maka sebanyak 25% dari produksi nilon di Indonesia digunakan untuk kaos kaki, pakaian dalam luar wanita dan pria, serta pakaian olahraga [36].

2.3. Silver Nanopartikel

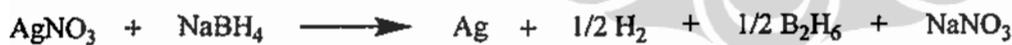
Silver biasanya digunakan sebagai katalis untuk oksidasi metanol menjadi formaldehid dan etilen menjadi etilen oksida. Di Amerika, lebih dari 4×10^6 ton silver digunakan pada tahun 2000. Koloid silver memiliki daya tarik tersendiri karena memiliki sifat-sifat yang unik, seperti bahan konduktivitas yang baik, stabil secara kimiawi, dapat digunakan sebagai katalis, dan memiliki aktivitas anti-bakteri.

Reduksi kimia merupakan metode yang paling sering digunakan untuk melakukan preparasi silver nanopartikel (Ag NPs) yang stabil dan terbentuk dispersi koloid dalam air atau pelarut organik lainnya. Yang paling umum bahan kimia yang digunakan dalam proses reduksi adalah borohidrat, sitrat, askorbat, dan elemen hidrogen. Reduksi ion silver (Ag^+) dalam larutan encer biasanya menghasilkan silver dalam bentuk koloid dengan diameter partikel dalam ukuran nanometer. Reduksi ion silver (Ag^+) dalam berbagai bentuk kompleks akan menghasilkan atom silver (Ag^0), yang kemudian diikuti dengan proses aglomerasi menjadi kluster oligomer. Kluster ini akan membentuk koloid partikel Ag. Partikel koloid yang memiliki panjang gelombang lebih rendah dibandingkan dengan cahaya tampak, maka larutan tersebut akan memiliki warna kuning dengan intensitas gelombang pada 380 – 400 nm [2].

Partikel silver dengan ukuran nano memiliki sifat yang unik karena pengaruh dari ukuran quantum dan permukaannya. Dengan sifat yang unik ini, aplikasi dari silver nanopartikel sangat luas seperti untuk tekstil antibakteri, sedangkan polimer yang mengandung nanosilver dapat diaplikasikan pada alat

refrigerator, penanak nasi, film plastik, botol vakum, kontainer plastik, dan tempat sampah. Silver nanopartikel juga dapat diaplikasikan pada bidang optik mikroskop. Koloid silver ini dapat terlihat dengan warna-warna yang berbeda. Warna yang muncul tergantung kepada bentuk dan ukuran dari nanopartikel serta konstanta dielektrik dari media. Pertumbuhan partikel nanokristal dapat di kontrol dengan menggunakan stabiliser, hal ini diperlukan untuk merekayasa bentuk dan ukuran dari silver nanopartikel sesuai yang diinginkan [10].

Secara umum terjadi reaksi reduksi pada saat preparasi partikel silver. Prekursor yang umum digunakan adalah AgNO_3 yang kemudian ditambahkan reduktor organik seperti asam askorbat, asam sitrat, senyawa borohidrida, garam sitrat, dan sebagainya. Reaksi reduksi dilakukan pada keadaan bebas uap air, sehingga pada saat reaksi berlangsung dialirkan gas nitrogen ke dalam reaktor. Secara kualitatif proses terjadinya reduksi dapat dilihat secara visual dengan ditandainya perubahan warna pada reaktan. Reaksi yang terjadi secara umum dapat dilihat sebagai berikut [2],



Tabel 2.2. Sifat fisika – kimia silver.

No.	Parameter	Nilai
1.	Bilangan atom	47
2.	Konfigurasi elektron	$4d^{10} 5s^1$
3.	Radius atom (Å)	1,34
4.	Radius ionic, M ⁺ (Å)	1,26
5.	Potensial ionisasi I (eV)	7,87
6.	Densitas (g/cc)	10,5
7.	Volume atomik	10,3
8.	Temperature leleh (°C)	960
9.	Temperature didih (°C)	1950

(Sumber : RB Heslop, PL Robinson, 1960)

2.4. Komposit

Komposit adalah gabungan dari dua komponen atau lebih yang memberikan sifat kaku [23]. Komposit mempunyai kelebihan akan daya tahan terhadap lingkungan korosif, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, sifat mekanik, insulasi listrik yang baik serta dapat dibuat dalam berbagai bentuk. Disamping kelebihan, komposit juga memiliki kekurangan sebagai berikut: tidak dapat digunakan pada temperatur > 400°F, kekakuan tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan logam dan harga bahan baku yang relatif tinggi [24].

Laju pemanasan yang optimum pada komposit akan dihasilkan ikatan-ikatan segmen polimer yang baik dan kuat. Pemanasan yang melebihi batas temperatur dan waktu *curing* optimum akan mengakibatkan material komposit mengalami kerusakan pada ikatan-ikatan molekulnya. Pada saat *curing*, jika diberikan tekanan yang lebih besar dapat menyebabkan berkurangnya sifat-sifat mekanis dari material komposit tersebut, diantaranya kuat tarik dan modulus fleksural [24].

Matriks pada material komposit antara lain berfungsi untuk mendistribusikan beban pada serat-serat penguat. Oleh karena itu adanya cacat seperti *void* dan retak pada matriks akan mempengaruhi fungsi matriks sebagai pendistribusi beban, misalnya terjadi pada konsentrasi tegangan disekitar cacat

yang dapat menurunkan sifat mekanik baik statis maupun dinamis dari material komposit [24,30].

Karena keuntungan dari komposit adalah ringan, kaku dan kuat, maka komposit banyak digunakan dalam aplikasi kehidupan sehari-hari. Beberapa pertimbangan didalam memilih komposit, alasan penggunaan dan aplikasinya, seperti dalam Tabel 2.1. berikut ini [24]:

Tabel 2.3. Pertimbangan Pemilihan Komposit

Alasan Digunakan	Material yang Dipilih	Aplikasi
Ringan, kaku dan kuat	Boron, semua karbon/grafit, dan beberapa jenis aramid	Peralatan militer
Tidak mempunyai nilai ekspansi termal	Karbon/grafit yang mempunyai nilai modulus yang sangat tinggi	Untuk peralatan luar angkasa, contohnya sensor optik pada satelit
Tahan terhadap perubahan lingkungan	Fiber glass, vinyl ester. Bisphenol A.	Untuk tangki dan sistem perpipaan, tahan korosi dalam industri kimia

Komponen penyusun komposit terbagi atas dua bagian besar, yaitu *reinforcement* (penguat) dan matriks.

2.4.1. *Reinforcement* (penguat).

Reinforcement berfungsi sebagai penguat atau kerangka dari suatu komposit. Biasanya *reinforcement* ini berupa fiber, maupun logam, yang memiliki fase diskontinyu. Berikut ini adalah beberapa *reinforcement* yang paling banyak digunakan antara lain: *glass fiber*, *asbestos*, kertas, katun atau linen, *organic fiber*, *polyethylene*, aramid dan lain-lain.

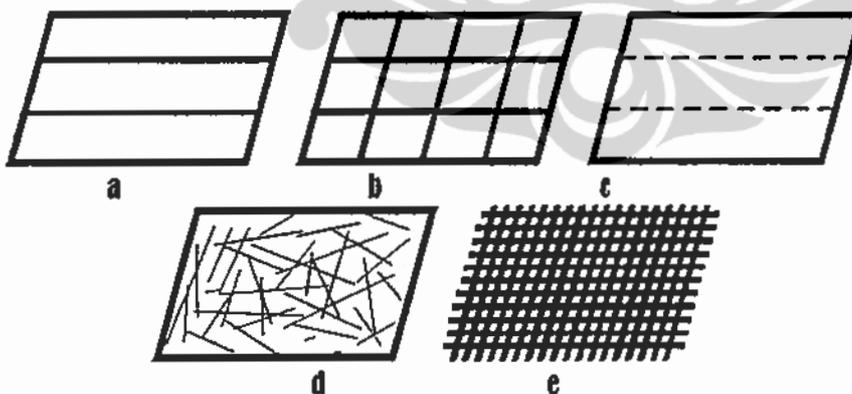
2.4.2. Matriks (pengisi).

Matriks berfungsi untuk menjaga *reinforcement* agar tetap pada tempatnya didalam struktur, membantu distribusi beban, melindungi filamen di dalam struktur, mengendalikan sifat elektrik dan kimia dari komposit, serta membawa

regangan interlaminer. Matriks yang paling umum dipakai adalah logam, keramik dan polimer, baik polimer termoset, maupun polimer termoplastik [30].

2.4.3. Orientasi Serat dalam Komposit

Komposit lembaran merupakan material yang tersusun atas lapisan-lapisan yang terikat satu sama lain. Setiap lapisan terdiri dari banyak serat yang terendam di dalam matriks. Jika serat panjang (*continuous fibre*), digunakan untuk membuat lapisan, serat tersebut dapat diorientasikan pada satu arah (*unidirectional oriented*) Gambar 2.1 (a), atau pada dua arah (*bidirectional orientation*) Gambar 2.1 (b). Lapisan juga dapat dikonstruksikan dengan menggunakan serat pendek (*discontinuous fibre*) baik pada satu arah Gambar 2.1 (c) maupun secara acak, Gambar 2.1 (d). Beberapa lapisan yang ditumpuk satu sama lain untuk mendapatkan ketebalan tertentu akan membentuk lembaran (*laminata*), dimana variasi lapisan dalam lembaran terdiri dari serat searah maupun berbeda arah, Gambar 2.1 (e). Dasar pembuatan lapisan adalah rata susunan dari serat *unidirectional* atau serat *woven* dalam matriks. Dua jenis lapisan dasar sepanjang prinsip material adalah paralel dan tegak lurus pada arah serat seperti Gambar 2.1 (f) dibawah ini [24,30]:



Gambar 2.1. Susunan dasar pembentukan komposit lembaran, (a) Serat panjang searah, (b) Serat panjang dua arah, (c) Serat pendek searah, (d) Serat pendek acak, (e) *Woven fiber* (Sumber: Gaylord, 1974).

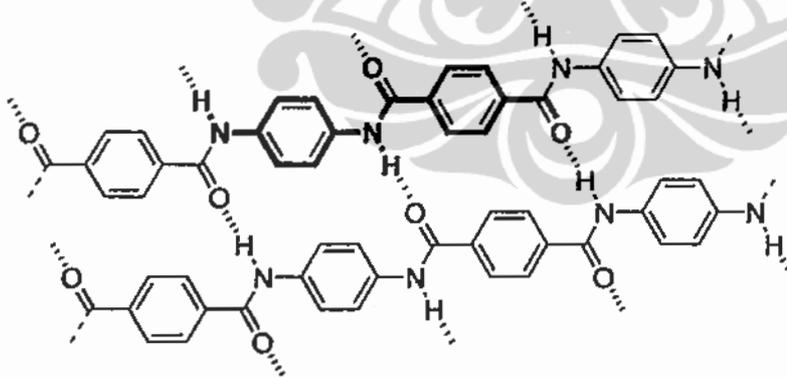
2.4.4. Serat (*fiber*)

Serat sebagai bahan komposit dapat terdiri dari serat sintetik maupun serat alam. Adapun serat sintesis dan serat alam yang umum digunakan akan dijelaskan pada bagian berikut,

2.4.4.1. Serat Sintetik

Kevlar merupakan serat sintetik dengan nama kimia *poly paraphenylene terephthalamide*, termasuk senyawa poliamida aromatik. Kevlar merupakan merek dagang fiber sintetik hasil temuan Stephanie Kwolek's seorang peneliti yang bekerja pada DuPont Company kelahiran Pennsylvania, Amerika Serikat pada 31 Juli 1923. Pada awalnya perusahaan DuPont menciptakan kevlar sebagai bahan anti peluru yang sangat rahasia. Harga kevlar cukup mahal karena proses produksinya menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi yang tinggi. Asam sulfat dengan konsentrasi yang tinggi ini dibutuhkan untuk menjaga agar larutan polimer tidak larut selama proses sintesa dan pemintalan [30].

Setiap bagian monomer Kevlar terdiri dari 14 atom karbon, 2 atom nitrogen, 2 atom oksigen dan 10 atom hidrogen seperti yang terlihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2. Struktur kimia Kevlar 29 (Sumber: Gaylord, 1974).

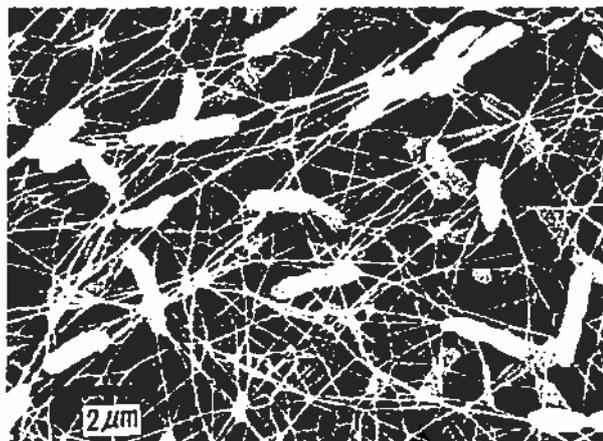
2.4.4.2. Serat Alam

Ada banyak serat alam yang keberadaannya cukup besar di Indonesia, salah satunya adalah *nata de coco*. Kata 'Nata' berasal dari bahasa Spanyol yang berarti krim. Nata diterjemahkan ke dalam bahasa latin sebagai 'Natare' yang berarti terapung-apung. Nata dapat dibuat dari air kelapa, santan kelapa, tetes tebu

(molases), limbah cair tebu, atau sari buah (nanas, melon, pisang, jeruk, jambu biji, strawberi dan lain-lain). Nata yang dibuat dari air kelapa disebut *nata de coco*. Di Indonesia, *nata de coco* sering disebut sari air kelapa atau sari kelapa. *Nata de coco* pertama kali berasal dari Filipina. Di Indonesia, *nata de coco* mulai dicoba pada tahun 1973 dan mulai diperkenalkan pada tahun 1975. Namun demikian, *nata de coco* mulai dikenal luas di pasaran pada tahun 1981.

Bibit nata adalah bakteri *Acetobacter xylinum* yang dapat membentuk serat nata jika ditumbuhkan dalam air kelapa yang sudah diperkaya dengan karbon dan nitrogen melalui proses yang terkontrol. Dalam kondisi demikian, bakteri tersebut akan menghasilkan enzim yang dapat menyusun zat gula menjadi ribuan rantai serat atau selulosa. Dari jutaan renik yang tumbuh pada air kelapa tersebut, akan dihasilkan jutaan lembar benang-benang selulosa yang akhirnya nampak padat berwarna putih hingga transparan, yang disebut sebagai nata atau selulosa bakteri.

Faktor-faktor yang mempengaruhi *Acetobacter xylinum* mengalami pertumbuhan adalah nutrisi, sumber karbon, sumber nitrogen, serta tingkat keasaman media, temperatur, dan udara (oksigen). Senyawa karbon yang dibutuhkan dalam fermentasi nata berasal dari monosakarida dan disakarida. Sumber dari karbon ini yang paling banyak digunakan adalah gula. Sumber nitrogen bisa berasal dari bahan organik seperti ZA, urea. Meskipun bakteri *Acetobacter xylinum* dapat tumbuh pada pH 3,5 – 7,5, namun akan tumbuh optimal bila pH nya 4,3. Sedangkan suhu ideal bagi pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum* pada suhu 28 – 31 °C. Bakteri ini sangat memerlukan oksigen, sehingga dalam fermentasi tidak perlu ditutup rapat namun hanya ditutup rapat untuk mencegah kotoran masuk kedalam media yang dapat mengakibatkan kontaminasi [25].



Gambar 2.3. Hasil *Scanning Electron Micrography* (SEM) *freeze-dried* permukaan *nata de coco* (Iguchi. 2009).

2.5. Anti-Bakteri

Penyakit infeksi adalah penyakit yang disebabkan oleh masuknya mikroorganisme ke dalam tubuh. Salah satu mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit infeksi adalah bakteri, yaitu protista bersel tunggal dengan diameter sekitar $0,5 - 1,0 \mu\text{m}$, panjang $1,5 - 2,5 \mu\text{m}$, dan dapat berbentuk bulat, elips, batang, atau spiral. Perubahan kimiawi dapat terjadi dari substrat yang ditumbuhi oleh bakteri. Bakteri yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia digolongkan sebagai bakteri patogen, dan sebaliknya yang tidak menyebabkan penyakit termasuk bakteri non patogen. Beberapa bakteri patogen penyebab infeksi antara lain adalah *Bacillus subtilis*, yakni bakteri gram positif berbentuk batang besar yang dapat mengganggu fungsi imun pada manusia. *Streptococcus aureus*, yakni bakteri gram positif berbentuk bola penyebab infeksi pada kulit. *Escherichia coli*, bakteri gram negatif yang dapat membentuk koloni bulat penyebab infeksi pada pantat dan paha.

Antimikroba dapat didefinisikan sebagai zat yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba, sehingga dapat digunakan untuk pengobatan penyakit infeksi pada manusia. Antibakteri adalah antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Berdasarkan cara kerja antibakteri dapat dibedakan menjadi bakteriostatik dan bakterisida. Antibakteri bakteriostatik bekerja dengan menghambat pertumbuhan populasi bakteri tanpa mematikannya, sedangkan

antibakteri bakterisida bekerja dengan cara membunuh bakteri. Pada senyawa antibakteri tertentu, jika dosis yang digunakan terlalu tinggi, bakteristatik dapat berubah menjadi bakterisida. Berdasarkan efektivitas kerjanya, senyawa antibakteri dikelompokkan menjadi dua, yakni antibakteri berspektrum luas yang efektif terhadap berbagai jenis mikroorganisme dan antibakteri berspektrum sempit, hanya efektif terhadap mikroorganisme tertentu [26].

2.5.1. Uji Aktivitas Biologi (*Bioassay*)

Bioassay (Biology Assay) adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan potensi atau aktivitas suatu materi atau senyawa terhadap organisme hidup. *Bioassay* terdiri dari 3 komponen, yaitu stimulus (perangsang), subyek, dan respon. Stimulus dapat berupa suatu perlakuan kimia yang diberikan pada subyek hidup seperti mikroorganisme, tumbuhan, hewan, jaringan hewan atau jaringan tumbuhan. Besarnya stimulus dinyatakan sebagai dosis. Respon subyek terhadap dosis yang diberikan dapat diamati dari perubahan pertumbuhan atau kelangsungan hidup dari subyek tersebut. Salah satu metode pengujian *Bioassay* yang telah cukup dikenal saat ini adalah uji aktivitas antimikroba, antibakteri [26].

2.5.2. Uji Antibakteri

Pengukuran aktivitas antibakteri dapat dilakukan dengan beberapa metode. Dari berbagai metode, pada umumnya metode difusi yang paling banyak digunakan untuk uji antibakteri. Metode difusi dapat dibedakan menjadi 3 cara yakni: metode silinder, metode perforasi, dan metode difusi cakram. Pada metode silinder, silinder steril dengan diameter tertentu ditetesi dengan larutan uji dan ditempatkan pada permukaan agar yang telah ditanami bakteri uji, dimana daerah bening disekeliling silinder merupakan daerah hambatan yang terbentuk. Pada metode perforasi, media agar yang telah ditanami bakteri uji dibuat lubang/sumur dengan diameter tertentu menggunakan perforator dan di dalamnya diisi larutan uji dengan konsentrasi tertentu, daerah bening yang terlihat disekitar lubang merupakan daerah hambatan yang terbentuk. Pada metode difusi cakram, sejumlah bakteri uji diinokulasikan pada media agar dan cakram yang mengandung larutan antibakteri tertentu diletakkan pada permukaan media agar

yang memadat. Setelah diinkubasikan akan terlihat akan terlihat daerah bening sebagai daerah hambatan yang tidak ditumbuhi bakteri disekeliling cakram. Metode difusi cakram ini dikenal dengan metode Kirby – Bauer dan paling banyak digunakan. Selain itu, metode ini dapat digunakan untuk menentukan bakteri tersebut tergolong sensitif, intermediet, atau resisten terhadap senyawa uji antibakteri. Potensi antibakteri ditentukan dengan membandingkan diameter hambatan larutan sampel senyawa uji dengan diameter hambatan larutan standar, pada dosis sama pada biakan bakteri uji yang peka dan sesuai [26].

2.6. Mekanisme Anti-Bakteri dari Komposit yang Mengandung Silver

Silver nanopartikel memiliki sifat anti-bakteri yang efisien dibandingkan dengan garamnya, karena memiliki luas permukaan yang besar sehingga kontak dengan mikroorganisma akan lebih efektif. Nanopartikel akan menempel pada membran sel dan berpenetrasi ke dalam bakteri. Sedangkan membran bakteri terdiri dari protein yang mengandung sulfur dan silver nanopartikel berinteraksi dengan protein tersebut di dalam sel. Pada saat silver nanopartikel masuk ke dalam sel bakteri, akan mengakibatkan terbentuknya daerah dengan berat molekul yang lebih rendah pada bagian tengah dari bakteri yang akan mengakibatkan terbentuknya gumpalan karena melindungi DNA dari ion silver. Nanopartikel secara simultan menyerang rantai pernafasan, sehingga pada akhirnya sel tersebut akan mati [1].

Sedangkan studi terhadap mekanisme penyerangan silver nanopartikel terhadap bakteri patogen seperti *E. coli*, *S. aureus*, *S. typhi*, dan *M. tuberculosis* telah dilakukan oleh H.Y. Song *et al.* (2006). Adapun analisa mekanisme antibakteri menggunakan SEM. Hasil studi terlihat pada gambar berikut,



Gambar 2.4. Hasil analisa SEM dan TEM pada mekanisme anti-bakteri menggunakan silver nanopartikel pada *Salmonella typhi* (sumber: H.Y. Song *et al.*, 2006).

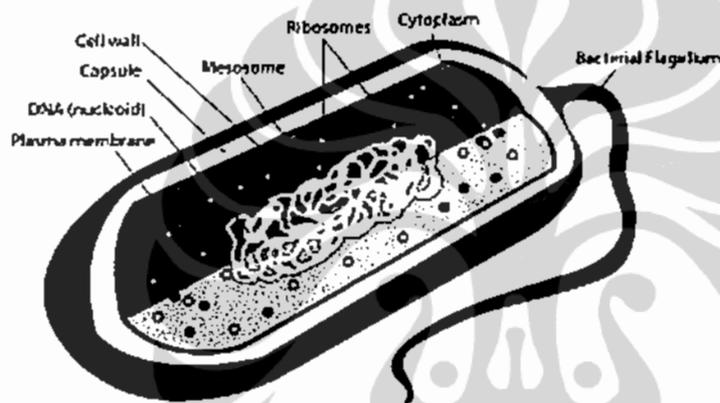
2.7. Tinjauan Mikrobiologi

Berdasarkan Alcamo (2001), bakteri berasal dari kata Latin *bacterium* (jamak, *bacteria*) adalah kelompok raksasa dari organisme hidup, sangat kecil (mikroskopik) dan kebanyakan uniselular (bersel tunggal), dengan struktur sel yang relatif sederhana tanpa nukleus/inti sel, *cytoskeleton*, dan organel lain seperti mitokondria dan kloroplas. Bakteri adalah yang paling berkelebihan dari semua organisme. Bakteri dapat berada di tanah, air, dan sebagai simbiosis dari organisme lain. Banyak patogen merupakan bakteri. Bakteri biasanya hanya berukuran 0,5 – 5 μm , meski ada jenis dapat menjangkau 0,3 mm dalam diameter (*Thiomargarita*).

Seperti prokariota (organisme yang tidak memiliki selaput inti) pada umumnya, semua bakteri memiliki struktur sel yang relatif sederhana. Struktur bakteri yang paling penting adalah dinding sel. Bakteri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu Gram positif dan Gram negatif didasarkan pada perbedaan struktur dinding sel. Bakteri Gram positif memiliki dinding sel yang terdiri atas lapisan peptidoglikan yang tebal dan asam *teichoic*. Sementara bakteri Gram negatif memiliki lapisan luar, lipopolisakarida yang terdiri atas membran dan

lapisan peptidoglikan tipis terletak pada periplasma (di antara lapisan luar dan membran sitoplasmik).

Banyak bakteri memiliki struktur di luar sel lainnya seperti flagela dan fimbria yang digunakan untuk bergerak, melekat dan konjugasi. Beberapa bakteri juga memiliki kapsul atau lapisan lendir yang membantu pelekatan bakteri pada suatu permukaan dan *biofilm formation*. Bakteri juga memiliki kromosom, ribosom dan beberapa spesies lainnya memiliki granula makanan, vakuola gas dan magnetosom. Beberapa bakteri mampu membentuk endospora yang membuat mereka mampu bertahan hidup pada lingkungan ekstrim.

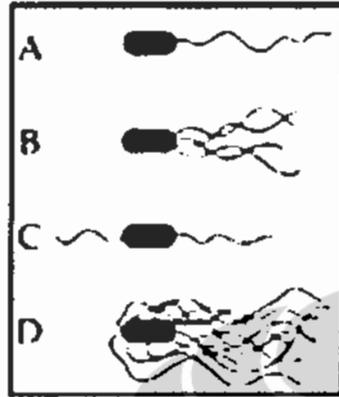


Gambar 2.5. Struktur sel bakteri (Alcama, 2001).

Berdasarkan bentuknya, bakteri dibagi menjadi tiga golongan besar, yaitu:

1. Kokus (*Coccus*) adalah bakteri yang berbentuk bulat seperti bola, dan mempunyai beberapa variasi sebagai berikut:
 - *Mikrococcus*, jika kecil dan tunggal
 - *Diplococcus*, jika bergandanya dua-dua
 - *Tetracoccus*, jika bergandengan empat dan membentuk bujursangkar
 - *Sarcina*, jika bergerombol membentuk kubus
 - *Staphylococcus*, jika bergerombol
 - *Streptococcus*, jika bergandengan membentuk rantai
2. Basil (*Bacillus*) adalah kelompok bakteri yang berbentuk batang atau silinder, dan mempunyai variasi sebagai berikut:
 - *Diplobacillus*, jika bergandengan dua-dua

- *Lofotrik*, mempunyai sejumlah flagel pada salah satu ujungnya.
- *Amfitrik*, mempunyai satu flagel pada kedua ujungnya.
- *Peritrik*, mempunyai flagel pada seluruh permukaan tubuhnya



Gambar 2.7. Alat gerak (Flagel) bakteri (A. Monotrik; B. Lofotrik; C. Amfitrik; D. Peritrik) (Alcamo, 2001).

Kondisi lingkungan yang mendukung dapat memacu pertumbuhan dan reproduksi bakteri. Faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan reproduksi bakteri adalah suhu, kelembapan, dan cahaya.

Berdasarkan kisaran suhu aktivitasnya, bakteri dibagi menjadi 3 golongan:

- Bakteri *psikrofil*, yaitu bakteri yang hidup pada daerah suhu antara 0° – 30°C , dengan suhu optimum 15°C .
- Bakteri *mesofil*, yaitu bakteri yang hidup di daerah suhu antara 15° – 55°C , dengan suhu optimum 25° – 40°C .
- Bakteri *termofil*, yaitu bakteri yang dapat hidup di daerah suhu tinggi antara 40° – 75°C , dengan suhu optimum 50 - 65°C

Pada tahun 1967 di Yellow Stone Park ditemukan bakteri yang hidup dalam sumber air panas bersuhu 93° – 500°C .

Pada umumnya bakteri memerlukan kelembapan yang cukup tinggi, kira-kira 85%. Pengurangan kadar air dari protoplasma menyebabkan kegiatan metabolisme terhenti, misalnya pada proses pembekuan dan pengeringan.

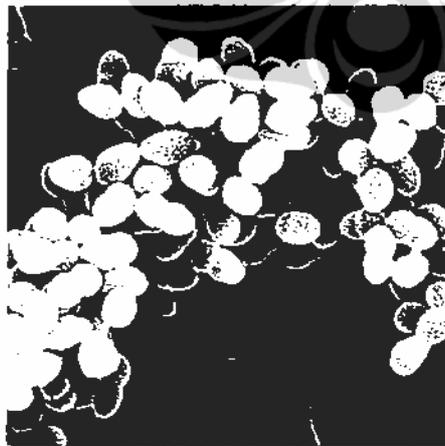
Cahaya sangat berpengaruh pada proses pertumbuhan bakteri. Umumnya cahaya merusak sel mikroorganisme yang tidak berklorofil. Sinar ultraviolet dapat menyebabkan terjadinya ionisasi komponen sel yang berakibat menghambat

pertumbuhan atau menyebabkan kematian. Pengaruh cahaya terhadap bakteri dapat digunakan sebagai dasar sterilisasi atau pengawetan bahan makanan.

Jika keadaan lingkungan tidak menguntungkan seperti suhu tinggi, kekeringan atau zat-zat kimia tertentu, beberapa spesies dari *Bacillus* yang aerob dan beberapa spesies dari *Clostridium* yang anaerob dapat mempertahankan diri dengan spora. Spora tersebut dibentuk dalam sel yang disebut endospora. Endospora dibentuk oleh penggumpalan protoplasma yang sedikit sekali mengandung air. Oleh karena itu endospora lebih tahan terhadap keadaan lingkungan yang tidak menguntungkan dibandingkan dengan bakteri aktif. Apabila keadaan lingkungan membaik kembali, endospora dapat tumbuh menjadi satu sel bakteri biasa. Letak endospora di tengah-tengah sel bakteri atau pada salah satu ujungnya [27].

2.7.1. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan bakteri kelompok gram positif, berbentuk bola, tidak bergerak dan biasanya ditemukan satu-satu atau berpasangan. Tumbuh baik pada suhu 30 – 37°C pada pH optimum 7,0 – 7,5 dan tumbuh baik dalam NaCl 15%. Bakteri ini membentuk pigmen warna kuning emas, bersifat fakultatif anaerob. Bakteri ini dapat menyebabkan infeksi pada kulit, jaringan subkutan dan luka [28,29].



Gambar 2.8. Koloni bakteri *Staphylococcus aureus* (Sumber: Funke *et al.*, 2004)

2.7.2. *Escherichia coli*

Bakteri ini termasuk kelompok gram negatif, merupakan flora normal saluran pencernaan tetapi dapat juga menyebabkan berbagai macam penyakit pada manusia. Dalam suatu biakan, *Escherichia coli* membentuk koloni bulat konveks, halus dengan pinggir-pinggir yang nyata. Bakteri ini bersifat aerob, meragikan karbohidrat dan mempunyai struktur antigenik yang kompleks.

Suhu optimum untuk pertumbuhan bakteri ini adalah 30 – 37°C. Pada umumnya berwarna putih, kadang-kadang berwarna putih kekuningan, coklat keemasan, jingga kemerahan atau merah. Berombak-ombak, basah dan homogen. *Escherichia coli* merupakan bakteri penyebab infeksi pada daerah bokong dan kaki [28,29].



Gambar 2.9. Bakteri *Escherichia coli* (Sumber: Funke *et al.*, 2004).

2.8. Aplikasi Nanosilver Pada Tekstil

Aplikasi nanoteknologi pada tekstil dilakukan pertama kali oleh Nano-Tex, sebuah anak perusahaan Burlington Industries yang bertempat di Amerika Serikat. Kemudian semakin banyak perusahaan tekstil yang mulai berinvestasi pada pengembangan nanoteknologi. Pelapisan (*coating*) adalah teknik yang umum dilakukan untuk aplikasi nanopartikel pada tekstil. Komposisi pelapis yang dapat memodifikasi permukaan tekstil biasanya terdiri dari nanopartikel, surfaktan, medium pembawa, dan bahan lainnya. Beberapa metode pelapisan yang digunakan pada bahan tekstil di antaranya adalah peyemprotan (*spraying*), *transfer printing*, pencucian (*washing*), *rinsing*, dan *padding*. Metode *padding* merupakan yang paling banyak dilakukan. Nanopartikel dimasukkan ke dalam

bahan dengan menggunakan *padder* yang diatur pada tekanan dan kecepatan yang sesuai, kemudian dilanjutkan dengan proses pengeringan dan *curing*. Sifat yang ditambahkan pada tekstil dengan menggunakan nanoteknologi antara lain gaya tolak terhadap air, tahan kotor, tahan kerut, antibakteri, antistatik dan perlindungan UV, penghambatan api, peningkatan kemampuan pewarnaan, dan lain-lain [9].

2.9. *Electron Microscopy*

Electron Microscopy (EM) adalah salah satu teknik yang digunakan untuk karakteristik material, dalam hal ini adalah material komposit. Metode mikroskopi dapat secara cepat menunjukkan ukuran nominal dan bentuk serat. Permukaan yang akan diuji, di-*scan* dengan pancaran berkas elektron dan pantulan elektron ditangkap yang kemudian ditampilkan diatas tabung sinar katoda. Bayangan yang tampak diatas *layer* menampilkan gambaran permukaan spesimen.

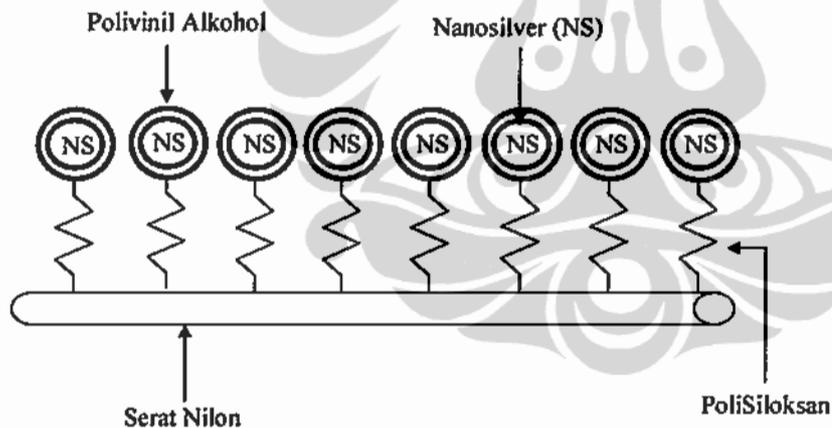
Dua teknik utama EM dibedakan menjadi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM). SEM merupakan salah satu teknik untuk melakukan karakterisasi material komposit dengan batas resolusi mikroskopi elektron 10 nm.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium Teknologi Energi Berkelanjutan, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok dan laboratorium Kimia Polimer, Pusat Penelitian Kimia – LIPI, Serpong, Tangerang.

3.1. Alur Pikir Penelitian

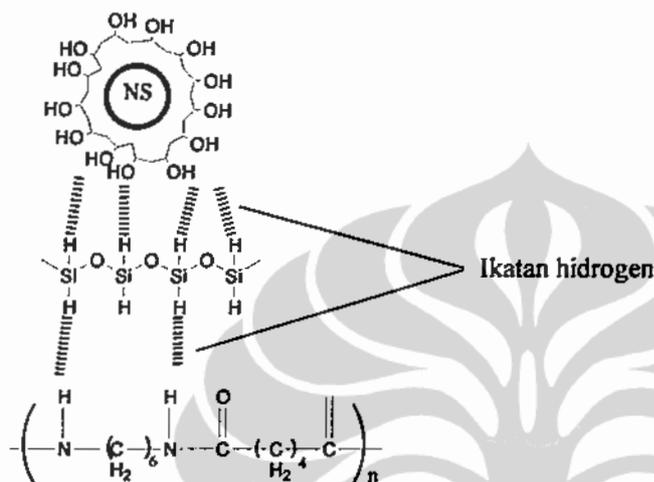
Kegiatan penelitian ini diharapkan mampu memberikan produk berupa komposit nilon-nanosilver yang memiliki stabilitas yang baik. Proses stabilisasi ini dilakukan dengan dua tahapan: pertama, proses stabilisasi nanosilver hasil preparasi dengan penambahan polivinil alkohol (PVA). Tahap kedua, adalah stabilisasi komposit serat nilon dengan nanosilver dengan penambahan polisiloksan (PS). Skema secara umum dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 3.1. Skema umum proses pembuatan komposit nilon-nanosilver.

Langkah penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.3. Hipotesis yang berkembang pada penelitian ini adalah bahwa senyawa PVA banyak mengandung gugus hidroksil (OH), akan melingkupi partikel nanosilver dengan tujuan agar tidak terjadi aglomerasi antar partikel nanosilver. Senyawa polisiloksan dan serat nilon memiliki atom hydrogen pada strukturnya. Dengan melakukan perlakuan tertentu diharapkan akan terbentuk ikatan hydrogen antara

PVA, PS dan serat nilon. Dengan demikian, komposit serat nilon-nanosilver akan mempunyai karakteristik yang lebih kuat dibandingkan jika nanosilver hanya diimpregnasikan pada serat nilon. Untuk lebih jelasnya proses pembentukan ikatan hydrogen pada komposit nilon-nanosilver dapat dilihat pada gambar dibawah ini,



Gambar 3.2. Proses pembentukan ikatan hydrogen pada komposit nilon-nanosilver.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa nanosilver yang terbentuk akan terlindungi oleh PVA sebagai stabilizernya. Pada dasarnya mekanisme antibakteri akan terjadi pada saat nanosilver tersebut kontak dengan bakteri. PVA yang melingkupi nanosilver akan mengalami proses "swelling" pada saat berada pada keadaan lembab. Proses "swelling" tersebut akan menyebabkan pembukaan pori-pori dari lapisan PVA. Bakteri yang berada pada lingkungan lembab tersebut akan masuk melalui pori-pori PVA yang terbentuk akibat proses "swelling", dan akan terjadi kontak dengan nanosilver.

PVA mengandung banyak gugus hidroksil (OH) atau sering disebutkan sebagai senyawa poliol. Gugus hidroksil tersebut sangat mudah menyerap air dari lingkungan sehingga lama kelamaan PVA tersebut akan lembab atau jenuh oleh air. Sedangkan sifat dari bakteri adalah senang hidup pada kondisi basah dan atau lembab. Kondisi seperti ini yang akan menyebabkan terjadinya proses difusi

bakteri menembus lapisan PVA, sehingga bakteri tersebut akan bertemu dengan nanosilver.

3.2. Tahapan Penelitian

3.2.1. Proses Reduksi Silver Nitrat Menjadi Silver Nanopartikel

Perak nitrat (AgNO_3) dan zat pereduksi, Trisodium Sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$), Natrium Borohidrat (NaBH_4), Asam Askorbat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) dengan kemurnian p.a digunakan sebagai bahan awal tanpa pemurnian lebih lanjut. Tahap awal adalah melarutkan PVA sebanyak 0,5 gram dalam 100 ml aquadest dalam keadaan hangat. Koloid perak dipreparasi dengan metode reduksi kimia menurut Yang Lee dan Meisel. Pada percobaan, konsentrasi AgNO_3 divariasikan mulai dari 250 ppm, 500 ppm, dan 750 ppm dan dipanaskan hingga mendidih. Kedalam larutan ini ditambahkan reduktor yang juga jenisnya divariasikan setetes demi setetes. Reduktor yang digunakan adalah asam askorbat 50% sebanyak 10 ml, natrium borohidrida 1 M, dan trisodium sitrat 1 gram dalam 10 ml. Selama proses, larutan diaduk dengan kuat. Larutan dipanaskan hingga terjadi perubahan warna yang jelas (kuning pucat). Campuran dipindahkan dan diaduk hingga suhu kamar.

Untuk memperkuat deposisi nanopartikel perak pada matriks nilon tidak hanya mengandalkan interaksi fisika, tetapi perlu ditambah dengan interaksi kimiawi. Salah satu cara untuk membuat interaksi kimiawi adalah dengan memberi molekul pelapis yang mampu berinteraksi dengan gugus $-\text{CONH}-$ pada nilon, dalam hal ini polisiloksan digunakan sebagai pengikat. Preparasi nanopartikel perak akan dilakukan dengan berbagai jenis molekul pelapis. Untuk keperluan ini ditambahkan polivinil alkohol (PVA) yang berfungsi juga sebagai stabiliser. Langkah penelitian preparasi nanosilver tampak pada Gambar 3.4.

3.2.2. Modifikasi deposisi nanopartikel perak pada serat nilon

Modifikasi deposisi dilakukan secara *in situ*. Dalam hal ini, proses deposisi dilakukan sekaligus pada saat melakukan proses reduksi silver nitrat. Pada proses ini ditambahkan senyawa polisiloksan sebagai bahan pengikat silver nanopartikel dengan serat nilon. Polisiloksan yang ditambahkan divariasikan konsentrasinya. Secuplik serat nilon murni direndam pada suhu kamar dalam

larutan berair yang mengandung perak nitrat pada konsentrasi sekitar 100 ppm. Selanjutnya nilon dipisahkan dari larutan dan direndam dalam larutan panas yang mengandung masing-masing 7,2 g/liter NaOH dan sodium persulfat, kemudian dididihkan selama 1 menit (95-100°C). Nilon dipindahkan dari larutan mendidih, dicuci dengan air kemudian dikeringkan. Langkah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.5.

3.2.3. Uji antimikroba

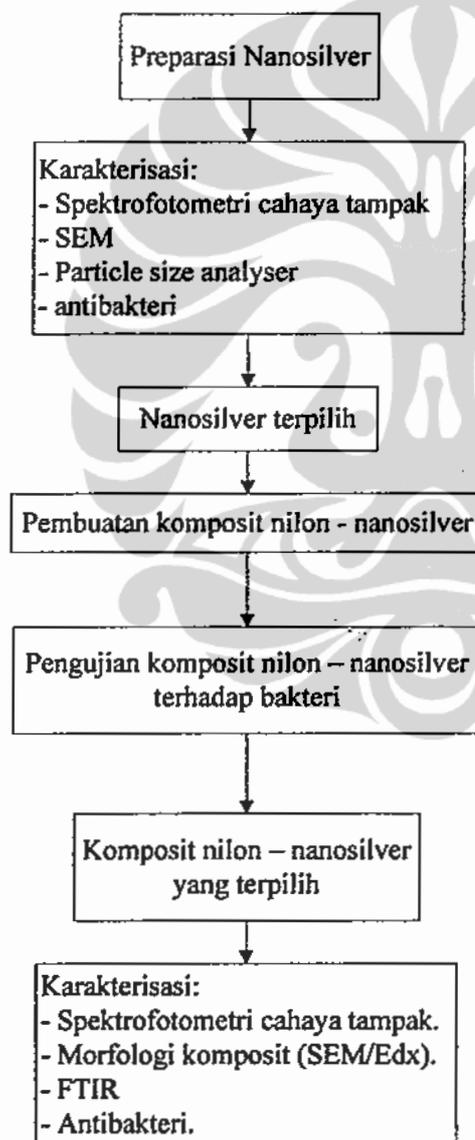
Tahap pertama adalah penyiapan inokulum. Bakteri yang akan diuji (*Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*) dibiakkan pada media agar miring selama 1 malam pada suhu 30 – 37°C, dilarutkan dalam air steril dan diatur konsentrasinya sehingga memberikan rapat optis sebesar 0,1 pada panjang gelombang 650 nm (konsentrasi bakteri 10^7 sel/mL).

Tahap kedua adalah pengujian aktivitas antibakteri. Sebanyak 100 µL inokulum dimasukkan ke dalam cawan petri yang telah steril (diameter 12 cm). Selanjutnya ditambahkan 15 – 20 mL nutrisi agar pada suhu 45 °C sambil dihomogenkan dan dibiarkan menjadi padatan pada suhu kamar. Pada media yang telah padat tersebut diisi dengan serat nilon-perak dengan panjang tertentu ditempatkan. Kemudian diberikan kontrol berupa senyawa standar antibakteri yaitu ampisilin dengan konsentrasi yang sama dengan nanosilver yang telah dibuat. Sampel kemudian diinkubasikan pada suhu 37 °C selama 24 jam. Daerah bening pada sekitar sampel diukur diameternya.

3.3. Karakterisasi Komposit Serat Nilon – Perak

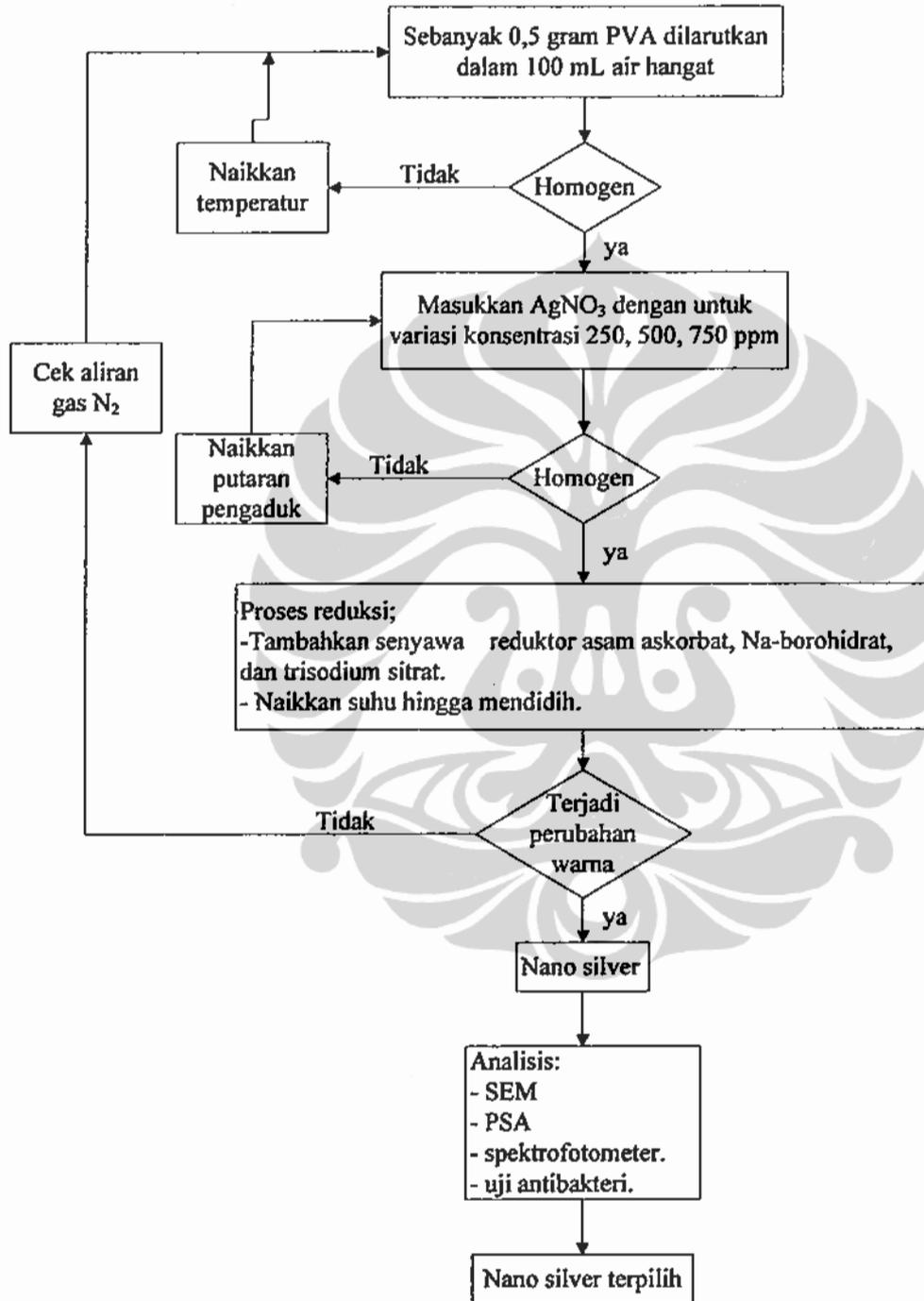
Peningkatan absorbansi serat pada 400 – 500 nm diamati menggunakan *reflectance spectrophotometer*. Serat nilon-perak yang sudah jadi dimasukkan dalam tempat sampel kemudian dianalisa dengan spektrofotometer. Instrumen ini menganalisa cahaya yang dipantulkan dari sampel dan menghasilkan spektra absorpsi. Struktur nanosilver dan komposit nilon – nanosilver dikarakterisasi menggunakan *particle size analyser* (PSA), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) EdaX, *Spectrophotometer Visible light*, dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

Penelitian yang akan dilakukan terdiri dari dua tahapan besar, pertama adalah preparasi nanosilver menggunakan reduktor asam askorbat, natrium borohidrat, dan trisodium sitrat. Analisis yang dilakukan adalah spektrofotometer cahaya tampak, *particle size analyser* (PSA), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan antibakteri. Tahap kedua adalah preparasi komposit nilon – nanosilver. Untuk tahap kedua ini dilakukan analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan antibakteri. Secara garis besar tahapan kegiatan penelitian dapat dilihat pada skema di bawah ini,



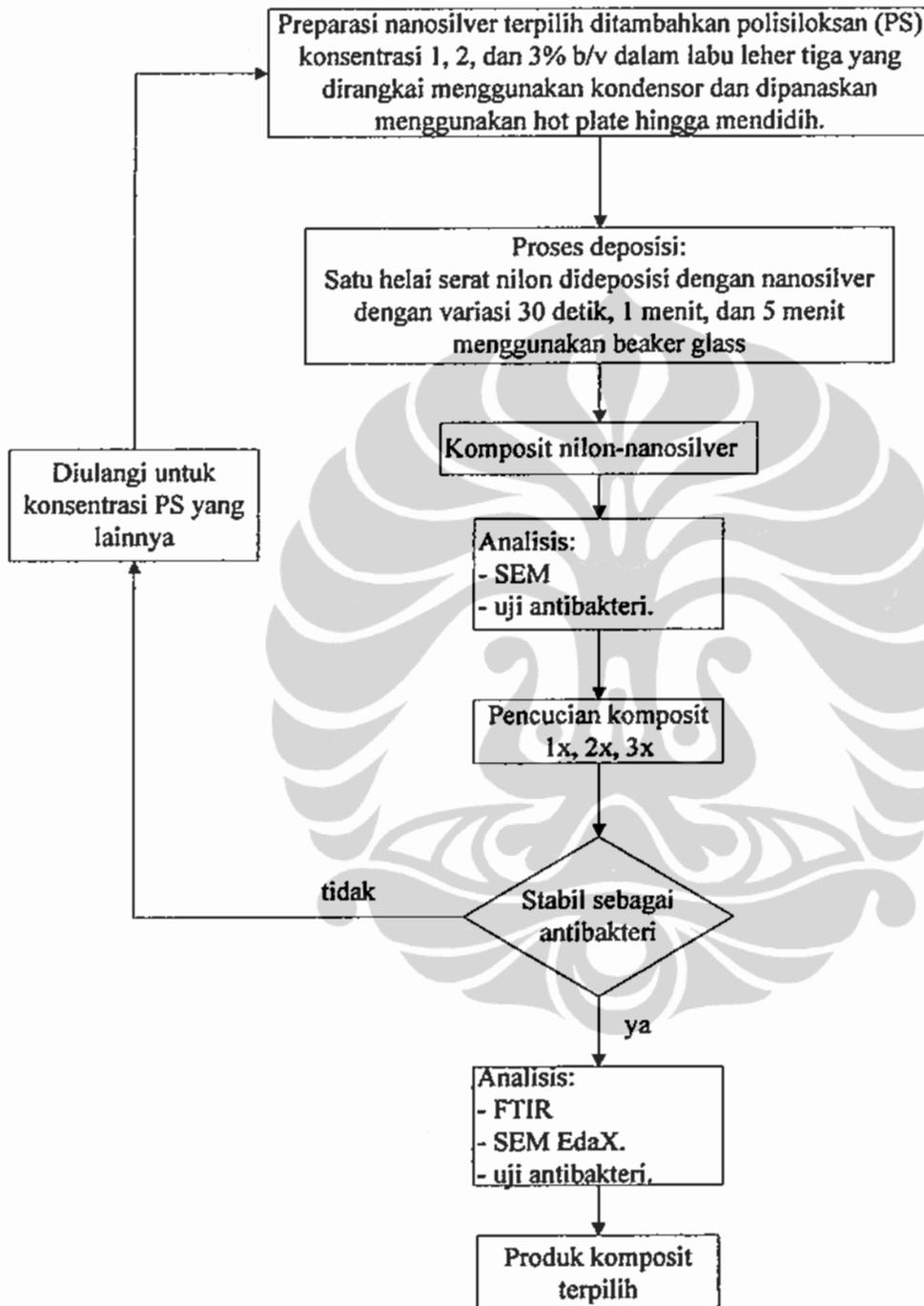
Gambar 3.3. Skema umum penelitian pembuatan komposit nilon – nanosilver.

Dari skema umum penelitian seperti tampak pada Gambar 3.3. dapat dijabarkan kembali terhadap tahapan penelitian secara detail seperti terlihat pada diagram dibawah ini,



Gambar 3.4. Skema penelitian untuk preparasi nanosilver.

Untuk tahapan preparasi komposit nilon – nanosilver dapat dijabarkan seperti terlihat pada diagram di bawah ini,



Gambar 3.5. Skema penelitian preparasi komposit nilon – nanosilver dan uji kestabilan untuk antibakteri.

3.4. Bahan dan Alat Penelitian

3.4.1. Bahan Penelitian

Bahan kimia yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

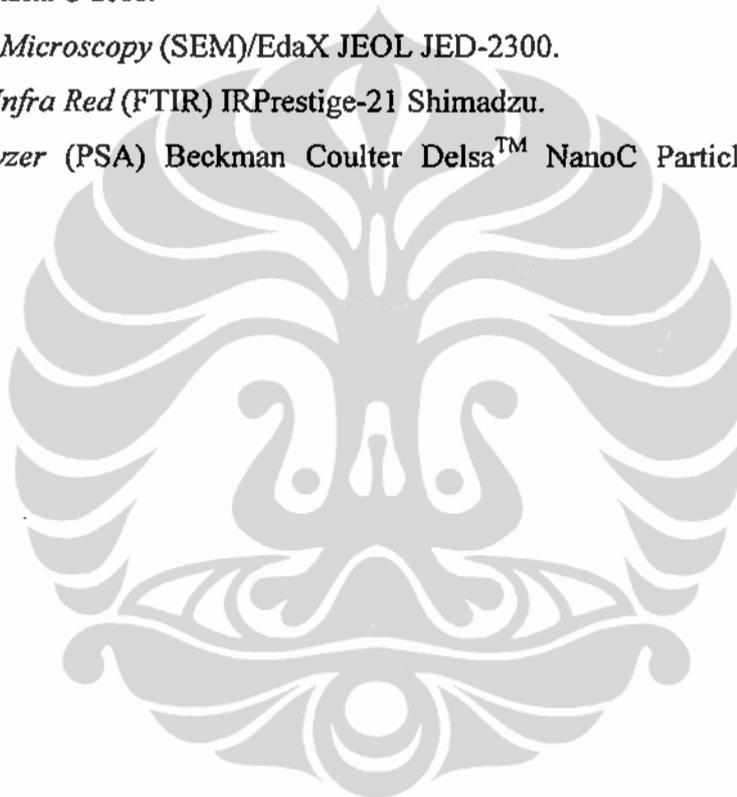
1. Aquadest.
2. Silver nitrat padatan (AgNO_3) p.a. (EMerck).
3. Polivinil alkohol 72000 (EMerck).
4. Asam askorbat teknis (PT Dehesa Kimia).
5. Natrium borohidrat p.a. (Sigma).
6. Trisodium sitrat p.a. (Aldrich).
7. Polisioksan teknis (PT Dehesa Kimia).
8. Serat nilon (Balai Besar Tekstil, Departemen Perindustrian).
9. Deterjen.
10. Nutrien agar (Bacto Nutrien Agar Dehydrated – DIFCO), dengan formula per liter adalah *beef extract* 3 gram, *Bacto pepton* 5 gram, dan *Bacto agar* sebanyak 15 gram) p.a. (EMerck).
11. Spirtus.
12. Biakan bakteri (*Staphylococcus aureus* dan *Eschericia coli*).
13. *Silicon oil*.
14. Gas nitrogen *High purity* (PT Samator).
15. Amonium hidroksida p.a. (EMerck).
16. Natrium hidroksida teknis (EMerck).
17. Natrium persulfat teknis (EMerck).

3.4.2. Alat Preparasi dan Analisis

Sedangkan alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Labu leher tiga.
2. Kondensor.
3. *Oil bath*.
4. Regulator gas nitrogen.
5. *Hot plate* dan *magnetic stirrer*.
6. Cawan petri dan tutup.

7. Kuvet.
8. Botol sampel.
9. Bunsen.
10. Pipet Effendorf.
11. Tabung reaksi.
12. Inkubator.
13. *Autoclaf*.
14. Spektrofotometer Hitachi U-2000.
15. *Scanning Electrone Microscopy* (SEM)/EdaX JEOL JED-2300.
16. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) IRPrestige-21 Shimadzu.
17. *Particle Size Analyzer* (PSA) Beckman Coulter Delsa™ NanoC Particle Analyzer.
18. Foto digital Sony.
19. Jangka sorong.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Preparasi Nanosilver

Aplikasi perak pada serat nilon untuk mendapatkan sifat antimikroba telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Tetapi, karena beberapa bakteri menunjukkan kecenderungan yang meningkat pada daya tahannya terhadap antibiotik, potensi baru nanoteknologi, serta nanosilver yang tidak merekat secara stabil pada permukaan serat nilon, maka aplikasi perak semakin banyak dipelajari. Sintesis nanopartikel perak sudah diketahui secara baik dan beberapa metode telah dikembangkan untuk mendapatkan kontrol yang baik terhadap bentuk dan ukuran partikel. Dispersi sejumlah kecil partikel pada matriks polimer telah terbukti sebagai metode yang efektif dan hemat biaya untuk meningkatkan kinerja sifat polimer yang sudah ada, khususnya sebagai material yang memiliki aktivitas antibakteri. Beberapa pendekatan telah dilakukan untuk preparasi nanokomposit polimer/logam. Metode yang umum adalah polimerisasi monomer dan pembentukan nanopartikel logam dilakukan secara terpisah, kemudian pencampuran secara mekanik dilakukan untuk membentuk komposit. Faktor yang mengurangi kinerja campuran sistem polimer adalah sifat komposit yang tidak seragam akibat dispersi partikel dalam polimer yang tidak merata. Modifikasi permukaan *filler* dengan *coupling agent* yang sesuai dianjurkan untuk meningkatkan dispersi partikel *filler*, dan juga untuk mencegah aglomerasi. Oleh karena itu, masih sangat diperlukan cara-cara yang efektif untuk preparasi nanopartikel dalam bahan polimer.

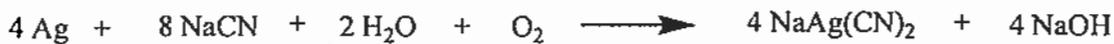
Tujuan dari tahapan penelitian ini adalah untuk memilih sampel yang memiliki aktivitas antibakteri optimal. Pada tahapan ini dilakukan variasi parameter yakni konsentrasi umpan AgNO_3 dan jenis reduktor. Proses preparasi nanosilver dilakukan dengan berbagai variasi diantaranya adalah konsentrasi AgNO_3 dan jenis reduktor. Secara lengkap dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 4.1. Variasi parameter proses pada preparasi nanosilver.

No.	Kode Sampel	Keterangan
1.	P1R1	Konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm, reduktor asam askorbat.
2.	P1R2	Konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm, reduktor natrium borohidrida
3.	P1R3	Konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm, reduktor trisodium sitrat
4.	P2R1	Konsentrasi umpan AgNO_3 500 ppm, reduktor asam askorbat
5.	P2R2	Konsentrasi umpan AgNO_3 500 ppm, reduktor natrium borohidrida
6.	P2R3	Konsentrasi umpan AgNO_3 500 ppm, reduktor trisodium sitrat
7.	P3R1	Konsentrasi umpan AgNO_3 750 ppm, reduktor asam askorbat
8.	P3R2	Konsentrasi umpan AgNO_3 750 ppm, reduktor natrium borohidrida
9.	P3R3	Konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm, reduktor trisodium sitrat

Berdasarkan Zielinska *et al.* (2009), preparasi nanosilver dapat dilakukan dengan berbagai variasi diantaranya adalah konsentrasi umpan AgNO_3 dan jenis reduktor. Pada penelitian ini konsentrasi umpan AgNO_3 dilakukan dengan variasi dari 250 ppm, 500 ppm, dan 750 ppm. Sedangkan jenis reduktor yang dipilih adalah asam askorbat, natrium borohidrat [10], dan trisodium sitrat [9]. Variasi konsentrasi umpan AgNO_3 dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi dengan ukuran partikel silver yang terbentuk sebagai hasil dari reaksi reduksi AgNO_3 . Dari beberapa literatur dijelaskan bahwa ukuran partikel silver berpengaruh terhadap aktivitas antibakteri, terutama dalam penelitian ini bakteri yang digunakan adalah *S. Aureus* dan *E. Coli*.

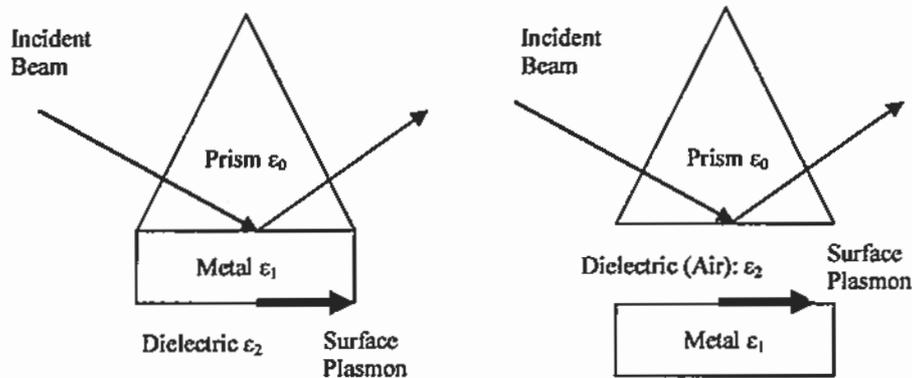
Selain itu, jenis reduktor juga mempunyai pengaruh terhadap pembentukan partikel nanosilver. Secara umum, reaksi kimia yang terjadi pada proses reduksi AgNO_3 adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1. Reaksi pembentukan nanosilver melalui proses reduksi kimia.

Faktor yang mempengaruhi pada saat preparasi partikel nanosilver melalui reaksi diatas adalah tidak adanya kontak antara silver yang terbentuk dengan oksigen selama reaksi berlangsung. Adanya kontak dengan oksigen, memberi jalan terhadap proses oksidasi terhadap silver yang telah terbentuk. Hasil dari oksidasi silver biasanya dalam bentuk senyawa kompleks. Sehingga pada saat preparasi nanosilver melalui reaksi reduksi AgNO_3 , ke dalam reaktor dialirkan gas nitrogen (N_2) untuk mengusir oksigen (O_2) dan uap air yang terbentuk selama proses berlangsung.

Nanosilver hasil preparasi berbentuk koloid. Dari hasil pengamatan terlihat bahwa warna dari koloid nanosilver berbeda-beda, mulai dari kuning, hijau, merah hingga abu-abu. Adanya perbedaan warna ini disebabkan oleh absorpsi cahaya dan pancaran cahaya pada daerah cahaya tampak akibat adanya resonansi plasmon. Dalam fisika, plasmon merupakan kuantum hasil osilasi plasma. Plasmon merupakan suatu kuasi partikel yang dihasilkan dari kuantisasi osilasi plasma seperti foton dan fonon yang terkuantisasi oleh cahaya dan panas. Plasmon – plasmon dapat berpasangan dengan foton untuk membentuk kuasi partikel lain yang disebut polariton. Plasmon berperan besar terhadap sifat optik dari suatu metal. Cahaya dengan frekwensi dibawah frekwensi plasma akan dipantulkan, karena elektron-elektron pada logam menyaring medan listrik dari cahaya. Sedangkan, frekwensi cahaya diatas frekwensi plasma akan ditransmisikan, hal ini disebabkan oleh elektron yang tidak dapat merespon secara cepat untuk menyaring cahaya tersebut. Untuk lebih jelasnya mekanisme tersebut dapat diilustrasikan pada Gambar 4.1. dibawah ini,



Gambar 4.2. Skema plasmon permukaan yang melalui logam (a), dan dielektrik antarfasa (b).

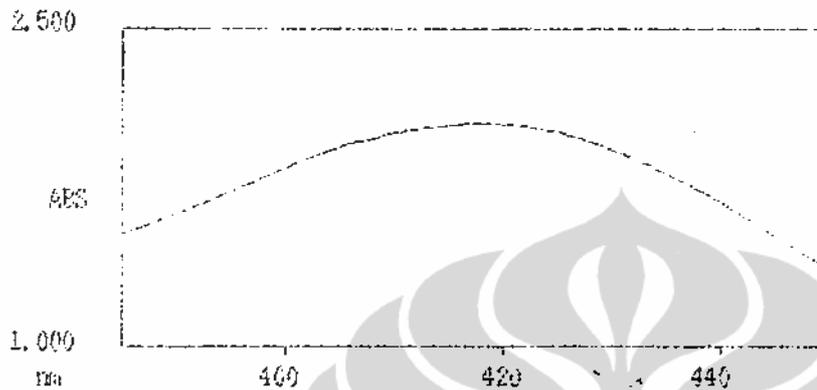
Warna dari logam nanopartikel tergantung dari bentuk dan ukuran nanopartikel serta konstanta dielektrik dari media lingkungannya. Koloid silver memperlihatkan warna-warna yang berbeda berdasarkan pada absorpsi cahaya dan pancaran pada daerah cahaya tampak, frekwensi pada getaran konduksi elektron-elektron yang merupakan respon terhadap medan listrik hasil radiasi elektromagnetik. Namun, banyak elektron-elektron dengan elektron bebas (seperti Au, Ag, Cu, dan logam alkali) memiliki resonansi plasmon pada spektrum cahaya tampak, yang dapat memberikan warna yang baik. Sehingga dalam beberapa tahun belakang, prosedur produksi nanopartikel dengan mengatur ukuran dan bentuk menjadi sebuah fokus penelitian yang diminati. Pengaturan proses pertumbuhan nanokristalit menggunakan stabilizer, memungkinkan untuk merencanakan ukuran dan bentuk dari silver nanopartikel dengan memilih *protecting agent* yang berbeda untuk menghasilkan bentuk dan ukuran nanosilver yang berbeda sesuai dengan kebutuhan untuk aplikasinya.



Gambar 4.3. Sampel koloid nanosilver hasil penelitian.

4.1.1. Analisis Spektrofotometer Cahaya Tampak

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui dan mendeteksi pembentukan nanosilver dari hasil preparasi. Analisis ini menggunakan alat spektrofotometer Hitachi U-2000.



Gambar 4.4. Hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak koloid nanosilver untuk sampel P3R1 (konsentrasi umpan AgNO_3 750 ppm, reduktor asam askorbat).

Menurut Zielinska *et al.* (2009), koloid nanosilver memiliki panjang gelombang maksimum dengan rentang 400 – 450 nm pada analisis spektrofotometer cahaya tampak. Gambar 4.3. menunjukkan hasil dari analisis spektrofotometer untuk sampel P3R1 (konsentrasi umpan AgNO_3 750 ppm dan reduktor asam askorbat). Dari gambar tersebut diketahui bahwa untuk sampel tersebut panjang gelombang maksimal (λ_{maks}) adalah 418,5 nm dengan nilai absorbansi puncak 2,052. Dengan demikian terdapat partikel nanosilver pada sampel tersebut dari hasil preparasi.

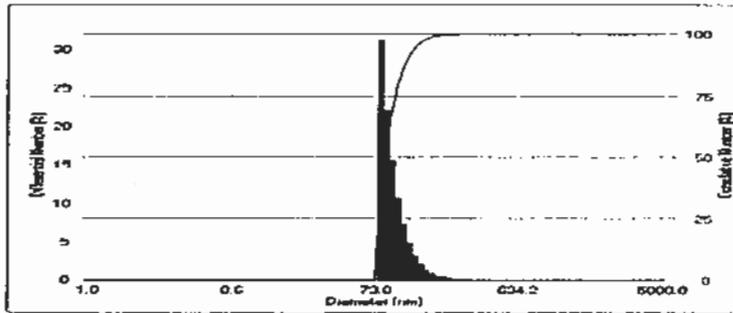
Tabel 4.2. Hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak untuk masing-masing variasi proses pada preparasi nanosilver.

No.	Kode Sampel	Panjang Gelombang puncak (nm)	Absorbansi puncak
1.	P1R1	400,5	2,609
2.	P1R2	391,5	0,404
3.	P1R3	427,0	0,091
4.	P2R1	438,0	0,167
5.	P2R2	371,6	0,441
6.	P2R3	407,0	0,012
7.	P3R1	418,5	2,052
8.	P3R2	390,8	0,389
9.	P3R3	410,2	0,564

Tabel 4.2. menunjukkan hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak untuk setiap sampel. Terlihat dari tabel beberapa sampel memiliki panjang gelombang puncak yang tidak masuk kedalam daerah panjang gelombang nanosilver. Berdasarkan V.K. Sharma *et al.* (2009), hasil analisis spektrofotometer pada panjang gelombang 400 – 450 nm nanosilver yang terbentuk merupakan partikel Ag^0 , sedangkan pada panjang gelombang 370 – 400 nm nanosilver yang terbentuk adalah Ag^+ . Bentuk Ag^+ dapat diartikan bahwa proses reduksi kimia belum berjalan dengan sempurna, namun ukuran partikel telah menjadi nano, sehingga memiliki aktivitas antibakteri. Waktu proses reduksi dan pemanasan berpengaruh terhadap reaksi pembentukan nanosilver.

4.1.2. Analisis Distribusi Ukuran Partikel

Analisis distribusi ukuran partikel menggunakan alat Beckman Coulter Delsa™ NanoC Particle Analyzer. Gambar 4.8. menunjukkan distribusi ukuran partikel untuk sampel P3R1. Dari Gambar 4.8. terlihat bahwa untuk sampel P3R1 memiliki distribusi ukuran partikel dengan *peak* paling tinggi pada kisaran 70 – 150 nm.



Gambar 4.5. Distribusi ukuran partikel untuk sampel P3R1.

Berdasarkan *number of distribution* dari hasil analisis ukuran partikel, sampel P3R1 memiliki ukuran partikel 87,5 nm dengan prosentase kumulatif sebesar 68,5%, indeks refraktif sebesar 1,3328, viskositas koloid nanosilver 0,8878, dan konstanta difusi sebesar $1,797 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$.

Tabel 4.3. Ukuran partikel masing-masing variasi proses preparasi nanosilver.

No.	Kode Sampel	Ukuran Partikel Rerata (nm)	Persentase Kumulatif (%)	Indeks Refraktif	Konstanta Difusi ($\times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$)	Viskositas Koloid (cP)	Indeks Polidispersity
1.	P1R1	86,7	69,6	1,3328	2,711	0,8878	0,152
2.	P1R2	53,6	68,6	1,3328	0,4969	0,8858	0,349
3.	P1R3	148,5	71,8	1,3328	1,753	0,8878	0,192
4.	P2R1	104,8	75,0	1,3328	1,934	0,8878	0,118
5.	P2R2	69,4	75,1	1,3328	1,241	0,8878	0,286
6.	P2R3	57,4	71,7	1,3328	1,054	0,8858	0,212
7.	P3R1	87,5	68,5	1,3328	1,797	0,8878	0,13
8.	P3R2	121,4	74,0	1,3328	4,654	0,8878	0,351
9.	P3R3	127,8	76,6	1,3328	0,7351	0,8878	0,288

Berdasarkan Tabel 4.4. ditunjukkan ukuran partikel nanosilver dengan nilai polidispersity. Nilai indeks polidispersity menunjukkan tingkat kepercayaan

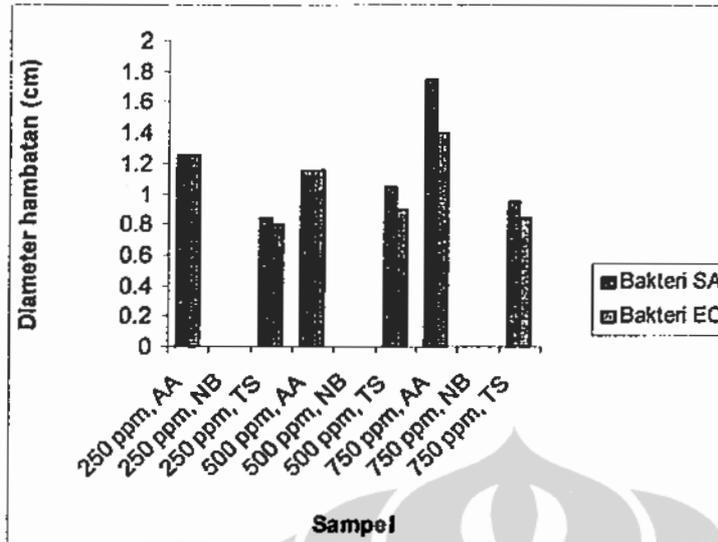
terhadap ukuran partikel yang terdispersi pada koloid nanosilver. Nilai indeks polidispersity semakin kecil, maka tingkat kepercayaan distribusi ukuran partikel pada koloid nanosilver semakin baik. Untuk sampel P3R1 dengan ukuran partikel 87,5 nm dan nilai indeks polidispersity sebesar 0,13, hal ini menunjukkan bahwa partikel nanosilver dengan ukuran 87,5 nm terdispersi secara rata pada koloid nanosilver.

4.1.3. Uji Antibakteri

Metode uji antibakteri yang digunakan adalah difusi cakram dengan nutrisi agar sebagai media perkembangbiakan bakteri. Uji antibakteri dilakukan dengan melakukan persiapan nutrisi agar sebagai media makanan untuk bakteri. Kemudian bakteri dibiakkan pada agar tersebut dan diinokulasikan selama 24 jam. Setelah itu, dibuatkan cakram dengan cara membuat lubang pada media. Sampel koloid nanosilver diteteskan ditengah cakram tersebut dengan jumlah sebesar 1 μ L, dan didiamkan selama 24 jam dengan tujuan agar koloid nanosilver melakukan difusi pada media agar yang telah ditumbuhi bakteri.

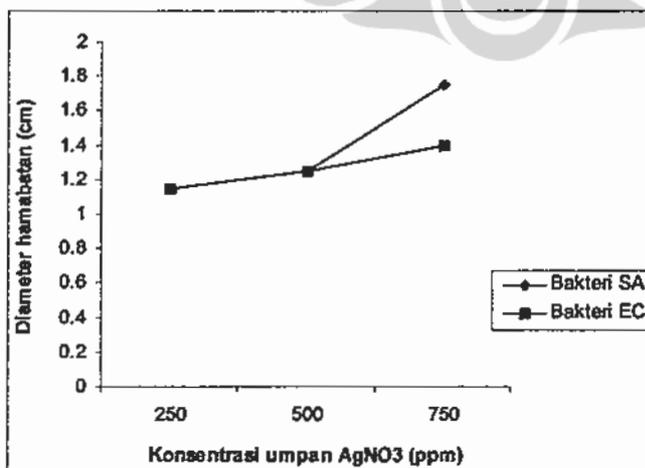
Tabel 4.4. Diameter hambatan masing-masing sampel koloid nanosilver terhadap bakteri *S. Aureus* dan *E. Coli*.

No.	Kode Sampel	Diameter Hambatan (cm) Pada Biakan Bakteri	
		<i>S. Aureus</i>	<i>E. Coli</i>
1.	P1R1	1.15	1.15
2.	P1R2	0	0
3.	P1R3	1.05	0.9
4.	P2R1	1.25	1.25
5.	P2R2	0	0
6.	P2R3	0.85	0.8
7.	P3R1	1.75	1.4
8.	P3R2	0	0
9.	P3R3	0.95	0.85



Gambar 4.6. Grafik uji aktivitas antibakteri untuk masing-masing sampel koloid nanosilver. (Keterangan: AA = Asam Askorbat, NB=Natrium Borohidrat, TS=Trisodium Sitrat).

Dari Gambar 4.6. terlihat bahwa untuk konsentrasi AgNO_3 750 ppm dan reduktor asam askorbat (P3R1) memiliki nilai diameter hambatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa sampel P3R1 memiliki aktivitas antibakteri yang paling optimum dibandingkan dengan sampel yang lainnya. Sehingga sampel P3R1 merupakan koloid nanosilver yang terpilih dan dijadikan sebagai dasar untuk tahapan preparasi komposit nilon – nanosilver.

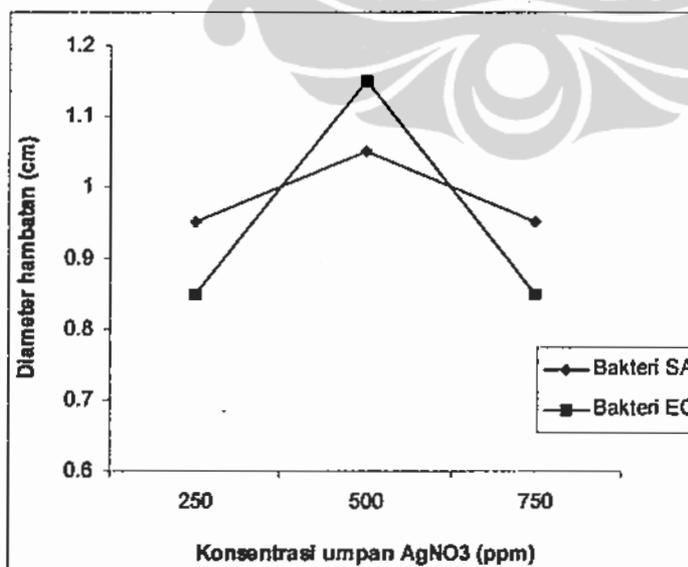


Gambar 4.7. Hubungan antara konsentrasi umpan AgNO_3 terhadap aktivitas antibakteri pada reduktor asam askorbat.

Dari Gambar 4.7. tampak bahwa semakin tinggi konsentrasi umpan AgNO_3 mempunyai kecenderungan terhadap peningkatan aktivitas antibakteri, hal ini ditunjukkan oleh diameter hambatan yang terbentuk. Kemudian, tampak bahwa pada konsentrasi umpan AgNO_3 750 ppm memberikan hasil diameter yang lebih tinggi untuk bakteri *S. Aureus* dibandingkan dengan bakteri *E. Coli*. Berdasarkan hasil analisis ukuran partikel (Tabel 4.4) terlihat bahwa pada sampel yang dipreparasi menggunakan reduktor asam askorbat memiliki ukuran partikel dengan rentang 80 – 100 nm. Sedangkan, untuk konsentrasi umpan AgNO_3 750 ppm menghasilkan ukuran partikel 87,5 nm.

Reduktor lain yang digunakan dalam preparasi nanosilver adalah natrium borohidrat. Sampel yang dipreparasi menggunakan reduktor natrium borohidrat tidak memiliki aktivitas antibakteri. Berdasarkan data hasil analisis spektrofotometer (Tabel 4.2.) diketahui bahwa panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) berada <400 nm. Hal ini menunjukkan bahwa partikel silver yang terbentuk masih dalam Ag^+ belum Ag^0 , hal ini dapat dimungkinkan karena proses reduksi yang belum sempurna.

Jenis reduktor yang selanjutnya adalah trisodium sitrat. Gambar 4.8. menunjukkan hubungan konsentrasi umpan AgNO_3 dengan aktivitas antibakteri pada bakteri *S. Aureus* dan *E. Coli*.



Gambar 4.8. Hubungan antara konsentrasi umpan AgNO_3 terhadap aktivitas antibakteri pada reduktor trisodium sitrat.

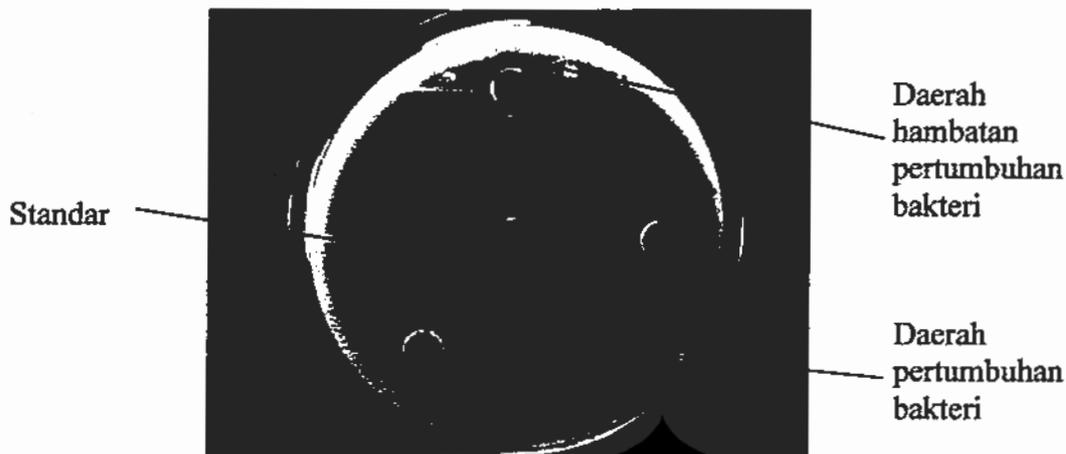
Dari Gambar 4.8. tampak bahwa pada konsentrasi umpan AgNO_3 500 ppm memiliki aktivitas antibakteri yang optimum dibandingkan yang lainnya. Berdasarkan data analisis ukuran partikel (Tabel 4.3.) diketahui bahwa pada konsentrasi umpan AgNO_3 500 ppm dengan proses reduksi menggunakan trisodium sitrat menghasilkan ukuran partikel 57,4 nm atau > 100 nm, sedangkan yang lainnya mempunyai ukuran partikel >100 nm.

4.1.4. Aktivitas Antibakteri Nanosilver Terhadap *S. Aureus* dan *E. Coli*

Berdasarkan M. Rai et al. (2009), nanosilver mempunyai aktivitas antibakteri karena memiliki luas permukaan yang besar yang memungkinkan melakukan kontak yang sangat baik dengan mikroorganisma. Selama proses difusi berjalan nanosilver mendekat pada membran sel bakteri dan melakukan penetrasi kedalam bakteri. Membran bakteri mengandung protein dengan senyawa sulfur sebagai komponen utamanya. Nanosilver melakukan interaksi dengan protein ini, dan kemudian berinteraksi lagi dengan fosfor yang mengandung senyawa-senyawa seperti DNA. Pada saat nanosilver masuk kedalam sel bakteri, hal ini menyebabkan terbentuknya daerah dengan berat molekul yang rendah ditengah gumpalan bakteri, dimana gumpalan ini berfungsi untuk melindungi DNA. Selanjutnya nanosilver melakukan difusi dan menyerang rantai pernafasan bakteri, hingga pada akhirnya sel tersebut menjadi mati.



Gambar 4.9. Visualisasi uji antibakteri untuk sampel P3R1 pada bakteri *S. Aureus*.



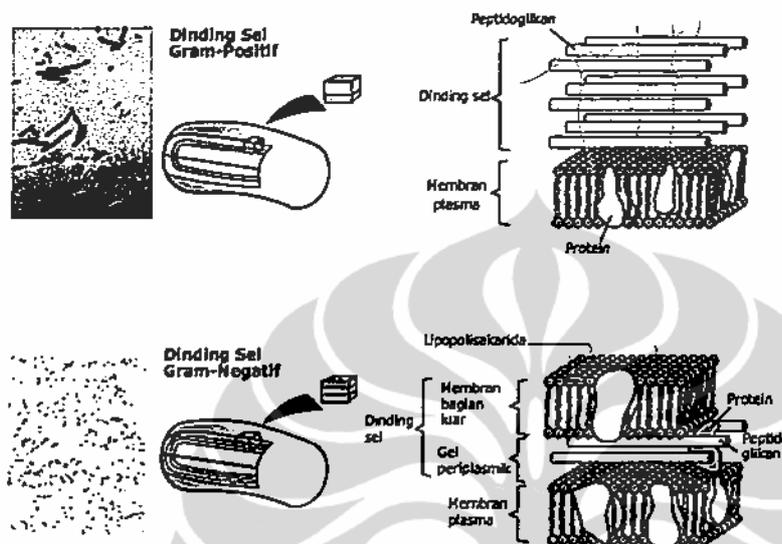
Gambar 4.10. Visualisasi uji antibakteri untuk sampel P3R1 pada bakteri *E. Coli*.

Gambar 4.9. dan 4.10. menunjukkan visualisasi uji aktivitas antibakteri untuk sampel P3R1. dari gambar tersebut tampak bahwa nanosilver lebih aktif untuk bakteri *S. Aureus*, ditunjukkan dengan diameter hambatan yang lebih besar dibandingkan untuk bakteri *E. Coli*, untuk bakteri *S. Aureus* memiliki diameter hambatan sebesar 1,75 cm, sedangkan untuk bakteri *E. Coli* 1,4 cm.

Gram-positif adalah bakteri yang mempertahankan zat warna kristal violet sewaktu proses pewarnaan Gram sehingga akan berwarna biru atau ungu di bawah mikroskop. Disisi lain, bakteri gram-negatif akan berwarna merah atau merah muda. Perbedaan keduanya didasarkan pada perbedaan struktur dinding sel yang berbeda dan dapat dinyatakan oleh prosedur pewarnaan Gram. Prosedur ini ditemukan pada tahun 1884 oleh ilmuwan Denmark bernama Christian Gram dan merupakan prosedur penting dalam klasifikasi bakteri.

Bakteri gram positif seperti *Staphylococcus aureus* (bakteri patogen yang umum pada manusia) hanya mempunyai membran plasma tunggal yang dikelilingi dinding sel tebal berupa peptidoglikan. Sekitar 90 persen dari dinding sel tersebut tersusun atas peptidoglikan sedangkan sisanya berupa molekul lain bernama asam teikhoat. Di sisi lain, bakteri gram negatif (seperti *E. coli*) memiliki sistem membran ganda di mana membran pasmanya diselimuti oleh membran luar permeabel. Bakteri ini mempunyai dinding sel tebal berupa peptidoglikan, yang terletak di antara membran dalam dan membran luarnya. Dengan demikian

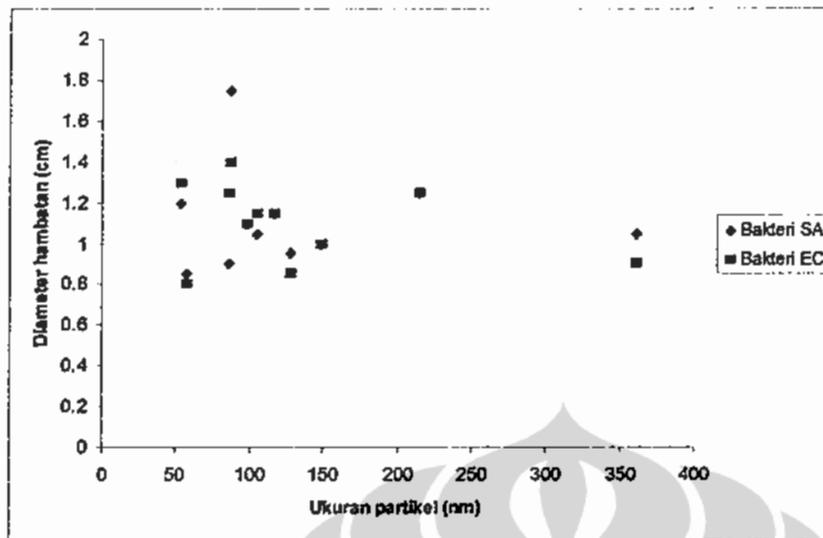
partikel nanosilver lebih mudah melakukan difusi pada bakteri gram positif (*S. aureus*) karena memiliki hambatan yang lebih kecil dimana sel bakteri tersebut sebagian besar disusun oleh plasma tunggal dibandingkan dengan bakteri *E. coli*, seperti terlihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Materi penyusun dinding sel pada bakteri gram positif (*S. aureus*) dan gram negatif (*E. coli*).

4.1.5. Analisis Hubungan Antara Diameter Partikel Dengan Aktivitas Antibakteri

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari diameter partikel terhadap keaktifan terhadap uji antibakteri. Gambar 4.11. menunjukkan hubungan antara diameter partikel dengan aktivitas antibakteri dari masing-masing sampel. Dari gambar tersebut terlihat bahwa untuk ukuran partikel dengan rentang 50 – 150 nm memberikan aktivitas antibakteri yang baik. Hal ini ditunjukkan oleh sebaran data dari ukuran 50 – 150 nm memberikan aktivitas antibakteri yang ditunjukkan oleh diameter hambatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan nanosilver yang memiliki ukuran diatas 100 nm untuk kedua jenis bakteri, *S. Aureus* dan *E. Coli*.



Gambar 4.12. Grafik hubungan antara ukuran partikel (nm) dengan aktivitas antibakteri yang ditunjukkan oleh diameter hambatan (cm).

Tabel 4.5. Korelasi antara panjang gelombang maksimum dengan aktivitas antibakteri dan ukuran partikel.

No.	Kode Sampel	Panjang Gelombang maks. (nm)	Antibakteri		Ukuran partikel (nm)
			Bakteri SA	Bakteri EC	
1	P1R1	400,5	1.15	1.15	86,7
2	P1R2	391,5	0	0	361
3	P1R3	427,0	1.05	0.9	148.5
4	P2R1	438,0	1.25	1.25	104.8
5	P2R2	371,6	0	0	69.4
6	P2R3	407,0	0.85	0.8	57.4
7	P3R1	418,5	1.75	1.4	87.5
8	P3R2	390,8	0	0	121.4
9	P3R3	410,2	0.95	0.85	127.8

Berdasarkan Tabel 4.5. terlihat hubungan antara panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) dengan aktivitas antibakteri untuk sampel yang menggunakan reduktor natrium borohidrat, tidak menunjukkan adanya aktivitas antibakteri yang dinyatakan dengan tidak terdapatnya diameter hambatan pada saat uji aktivitas antibakteri pada berbagai konsentrasi umpan $AgNO_3$. Dapat dilihat bahwa sampel

tersebut memiliki nilai panjang gelombang maksimum dibawah 400 nm. Berdasarkan pembahasan sebelumnya dapat diketahui bahwa sampel dengan panjang gelombang maksimum dibawah 400 nm memiliki partikel dalam bentuk Ag^+ , atau diduga bahwa reaksi reduksi preparasi nanosilver belum sempurna berjalan.

Dari Tabel 4.5. dapat ditunjukkan hubungan antara panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) terhadap aktivitas antibakteri dan ukuran partikel. Untuk sampel dengan reduktor natrium borohidrat pada berbagai konsentrasi umpan $AgNO_3$, menunjukkan tidak terdapatnya aktivitas antibakteri, namun untuk pengulangan sampel

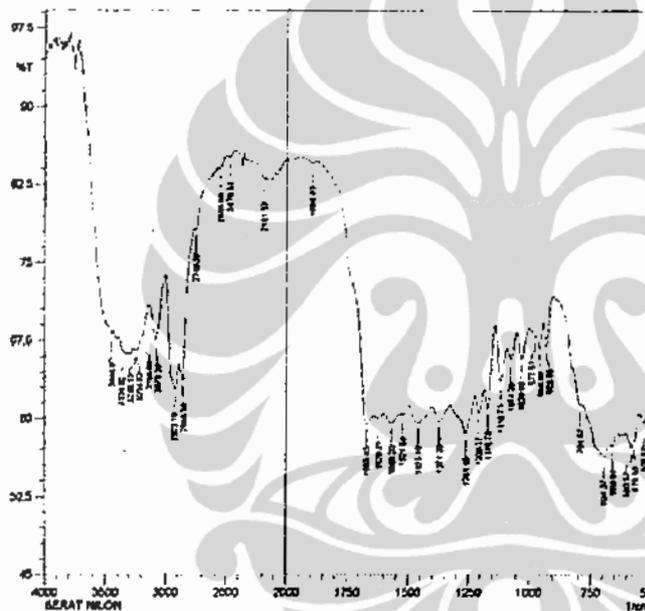
4.2. Preparasi Komposit Nilon – Nanosilver

Penelitian tahap pertama bertujuan untuk mencari sampel nanosilver terbaik dengan dasar memiliki aktivitas antibakteri yang baik. Selain itu, distribusi ukuran partikel menjadi pertimbangan lainnya dalam hal penentuan sampel terbaik, yakni dibawah 100 nm. Dari penelitian tahap awal dapat diketahui bahwa sampel dengan kondisi konsentrasi $AgNO_3$ umpan 750 ppm dan reduktor asam askorbat (P3R1), memberikan nilai hambatan yang tinggi pada uji antibakteri dibandingkan terhadap sampel yang lainnya. Sedangkan ukuran partikel nanosilver untuk sampel tersebut sebesar 87,5 nm.

Setelah didapatkan sampel terbaik pada penelitian tahap awal, maka dilanjutkan dengan melakukan preparasi komposit nilon – nanosilver. Preparasi dilakukan dengan melakukan penambahan senyawa polisiloksan yang berfungsi sebagai pengikat partikel nanosilver dengan serat nilon, sehingga tujuan penelitian tahap ini adalah menghasilkan komposit nilon – nanosilver yang memiliki aktivitas antibakteri secara stabil. Preparasi komposit dilakukan dengan metode deposisi serat nilon pada koloid nanosilver yang telah ditambahkan polivinil alcohol (PVA) dan polisiloksan, pada suhu 50 °C dengan waktu deposisi 1 menit. Kondisi tersebut mengikuti prosedur proses pencelupan pada industri tekstil.

4.2.1. Analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

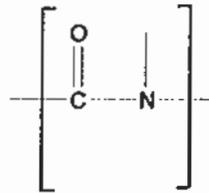
Tujuan melakukan analisis ini adalah untuk melihat gugus fungsi dari N – H (amida) yang berasal dari serat nilon, gugus fungsi OH⁻ dari senyawa PVA, dan gugus siloksan dari senyawa polisiloksan. Analisis gugus fungsi dari masing-masing senyawa ini dilakukan untuk mengetahui bahwa telah terjadi ikatan antara molekul PVA, molekul polisiloksan, dan serat nilon, dimana molekul PVA sendiri merupakan *stabilizer* dan pelindung bagi partikel nanosilver. Selain itu, analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah terjadi perubahan molekul pada saat proses deposisi serat nilon terhadap koloid nanosilver.



Gambar 4.13. Hasil analisis FTIR untuk serat nilon.

Dari Gambar 4.13, hasil analisis spektrum FTIR pada serat nilon menunjukkan adanya peak pada bilangan gelombang 3280 - 3479 cm^{-1} adalah vibrasi ikatan N-H yang menunjukkan adanya gugus amida, serta peak pada serapan pada daerah bilangan gelombang 3643 cm^{-1} adalah vibrasi ikatan -OH yang menunjukkan serapan gugus hidroksil. Peak lain terlihat pada bilangan gelombang 1514 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ikatan N-H dari gugus amida sekunder, sedangkan serapan pada daerah bilangan gelombang 2821 - 2887 cm^{-1} adalah ikatan -CH₂ yang menunjukkan adanya gugus alkil. Sehingga dari hasil

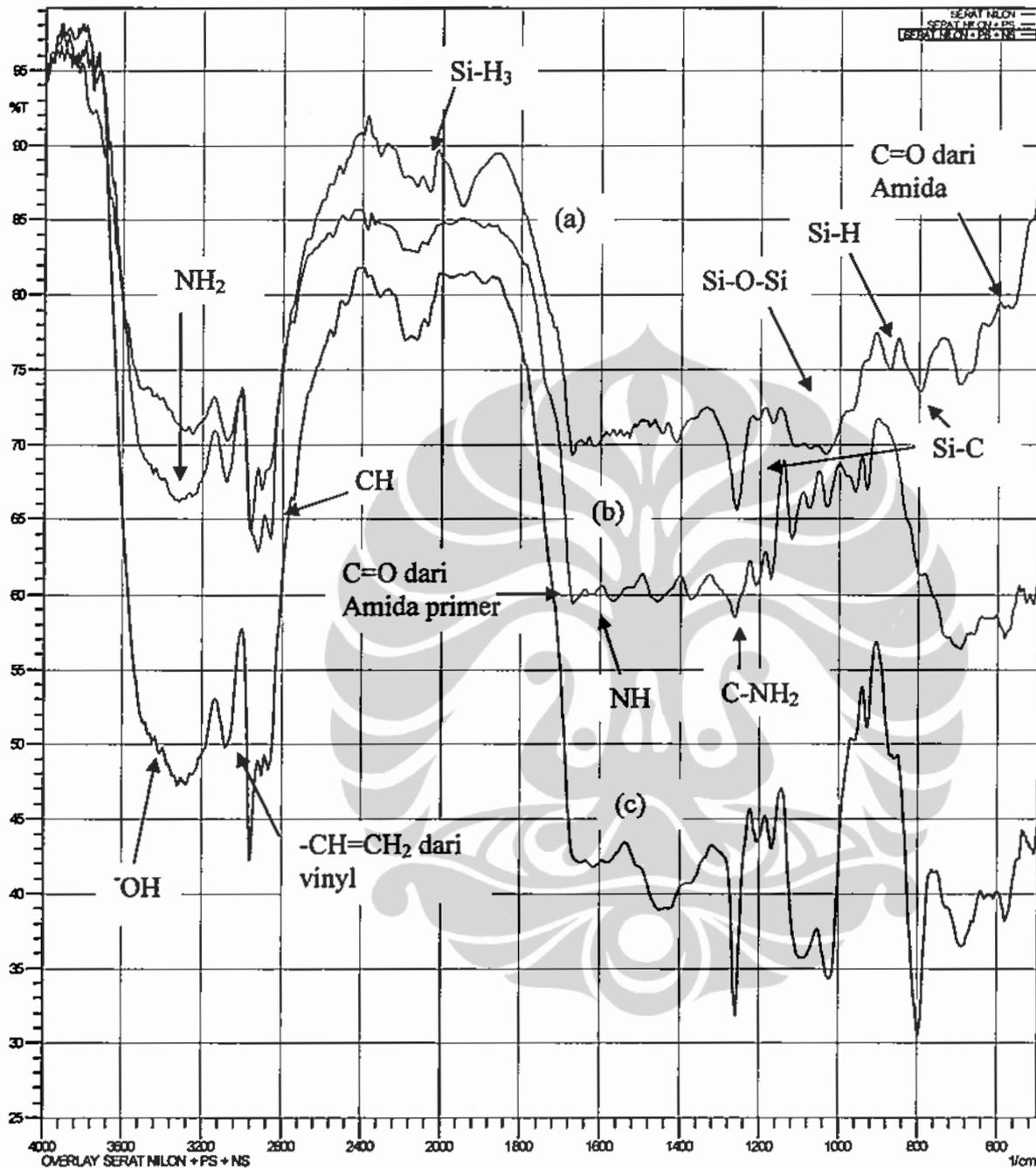
analisa FTIR di atas menunjukkan adanya gugus amida, hidroksil dan alkil yang terdapat pada serat nilon.



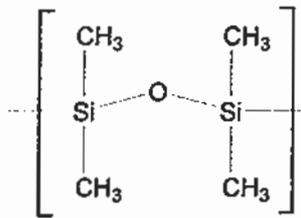
Gambar 4.14. Struktur monomer senyawa poliamida.

Gambar 4.15. merupakan hasil analisis spektrum FTIR untuk perbandingan komposit serat nilon yang ditambahkan polisiloksan, serat nilon, dan serat nilon yang ditambahkan dengan PVA dan polisiloksan. Untuk serat nilon terdapat peak pada kisaran serapan bilangan gelombang $570 - 580 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan C=O dari amida secara umum, peak $660 - 6950 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan N-C=O. Gugus C-NH₂ ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang $1170 - 1270 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan pada serapan bilangan gelombang 1620 cm^{-1} secara spesifik menunjukkan gugus NH, serapan bilangan gelombang 1668 cm^{-1} menunjukkan gugus C=O dari suatu amida primer. Sedangkan gugus NH₂ ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang $3248 - 3334 \text{ cm}^{-1}$. Dari analisis spektrum FTIR menunjukkan bahwa Gambar 4.12. (b) merupakan spektrum FTIR untuk gugus pembentuk senyawa amida. Struktur senyawa amida dapat dilihat pada Gambar 4.14.

Gambar 4.15. (a) menunjukkan hasil analisis spektrum FTIR dari serat nilon yang telah ditambahkan polisiloksan. Pada serapan bilangan gelombang 796 cm^{-1} dan 1259 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus Si-C, sedangkan pada peak 871 cm^{-1} menunjukkan serapan bilangan gelombang untuk gugus Si-H. Gugus Si-O-Si ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang dengan kisaran $1033-1109 \text{ cm}^{-1}$. Untuk peak pada serapan bilangan gelombang $2056-2125 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus Si-H₃, sedangkan pada rentang $2902-2960 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus -CH₃, dan serapan pada bilangan gelombang $3442-3512 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus C=O dari suatu amida. Dari hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa senyawa polisiloksan telah terdapat pada serat nilon. Struktur dari monomer senyawa polisiloksan dapat dilihat pada Gambar 4.16.

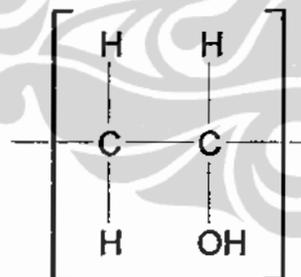


Gambar 4.15. Spektrum FTIR untuk Komposit nilon-nanosilver setelah dipreparasi dengan PVA dan polisiloksan, (a) serat nilon ditambah polisiloksan, (b) serat nilon, (c) Serat nilon ditambah PVA dan polisiloksan.



Gambar 4.16. Struktur monomer senyawa polisiloksan.

Gambar 4.15. (c) menunjukkan hasil analisis spektrum FTIR untuk komposit nilon-nanosilver yang telah ditambahkan polisiloksan dan PVA. Polivinil alkohol merupakan senyawa yang terbentuk dari gugus-gugus vinil dan alkohol. PVA dalam hal ini merupakan stabilizer dari partikel nanosilver. Gugus vinil $-\text{CH}=\text{CH}_2$ ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang 3084 cm^{-1} , sedangkan gugus alkohol $-\text{OH}$ ditunjukkan oleh spektrum pada serapan bilangan gelombang $3211-3412 \text{ cm}^{-1}$. Analisis perbandingan spektrum gambar 4.15. (a), (b), dan (c) menunjukkan bahwa pada gambar 4.15 (c) merupakan spektrum senyawa komposit dari serat nilon yang telah ditambahkan dengan polisiloksan dan PVA. Struktur senyawa PVA dapat dilihat pada gambar 4.17 dibawah ini,

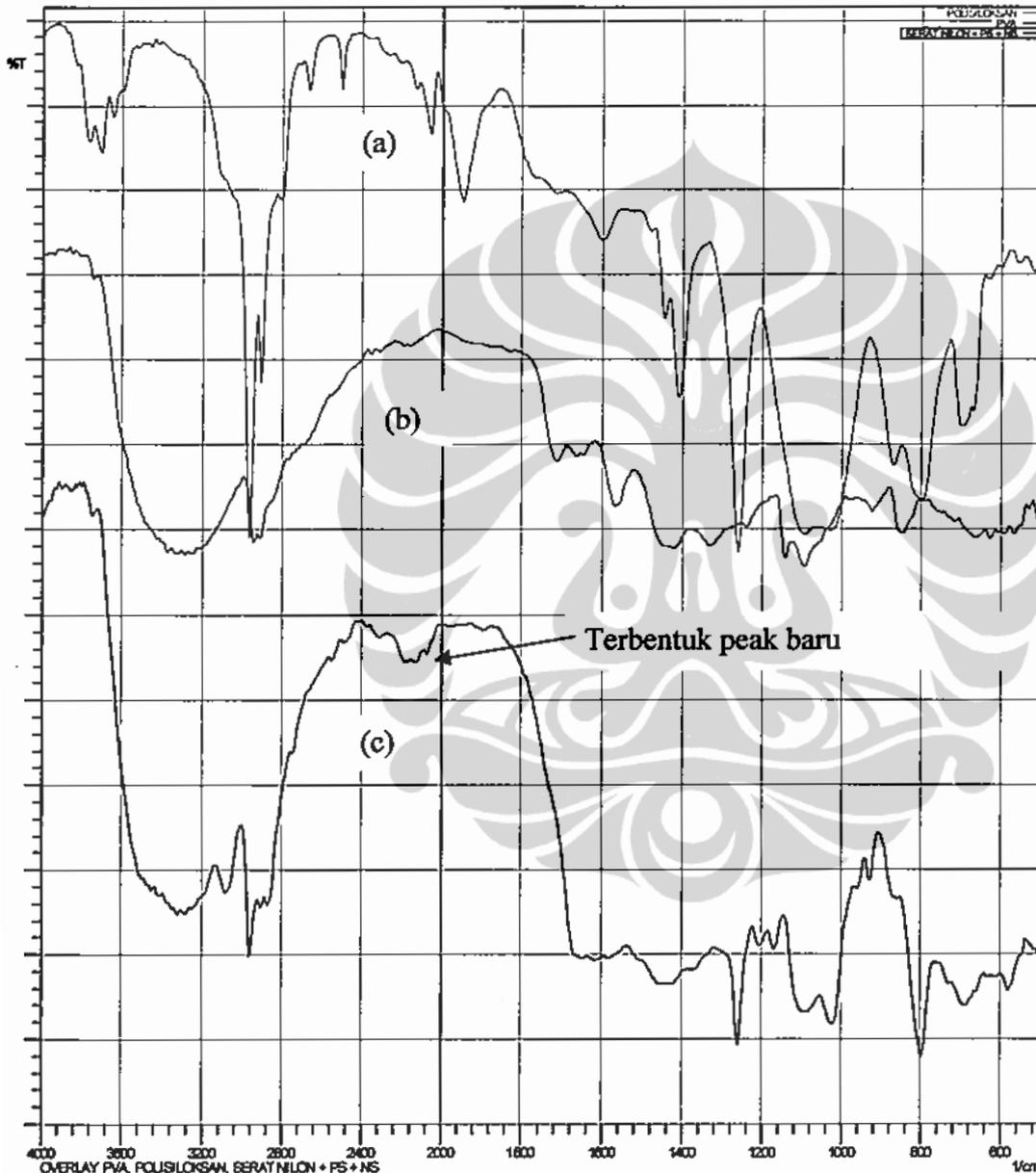


Gambar 4.17. Struktur monomer senyawa PVA.

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis perbandingan spektrum FTIR terhadap komposit serat nilon-nanosilver yang telah dipreparasi menggunakan PVA dan polisiloksan dengan senyawa PVA dan polisiloksan tersendiri. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui apakah terdapat ikatan baru yang terbentuk pada komposit serat nilon-nanosilver.

Seperti tampak pada gambar 4.18, dari hasil analisis perbandingan spektrum FTIR komposit serat nilon-nanosilver setelah dipreparasi dengan PVA dan

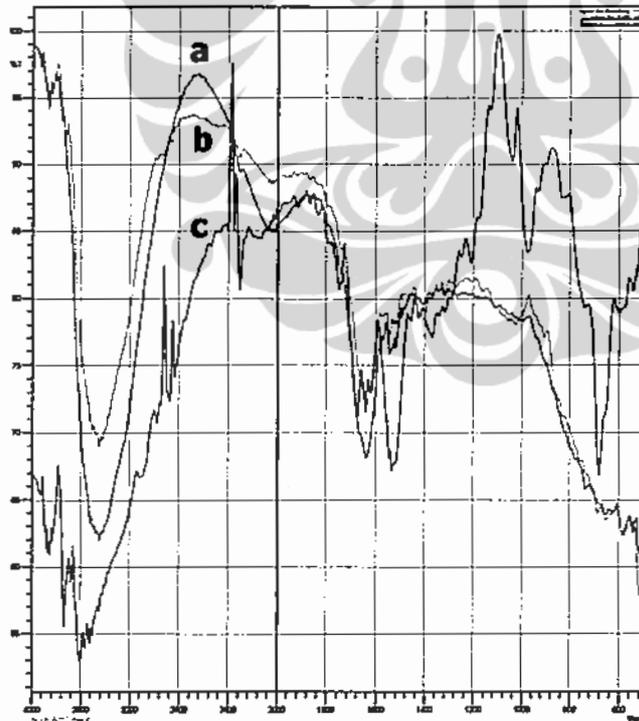
polisiloksan, menunjukkan adanya peak baru pada serapan bilangan gelombang 2800-3000 cm^{-1} yang menunjukkan adanya crosslinking dari senyawa PVA dan polisiloksan pada serat nilon. Sedangkan *peak* 3200-3570 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan hidrogen yang terbentuk pada komposit tersebut, hal ini sesuai dengan makalah Reis *et al.* (2006) [53].



Gambar 4.18. Spektrum FTIR untuk (a) polisiloksan, (b) PVA, (c) serat nilon setelah dipreparasi dengan polisiloksan dan PVA yang mengandung partikel nanosilver.

4.2.2. Analisis Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Struktur Komposit

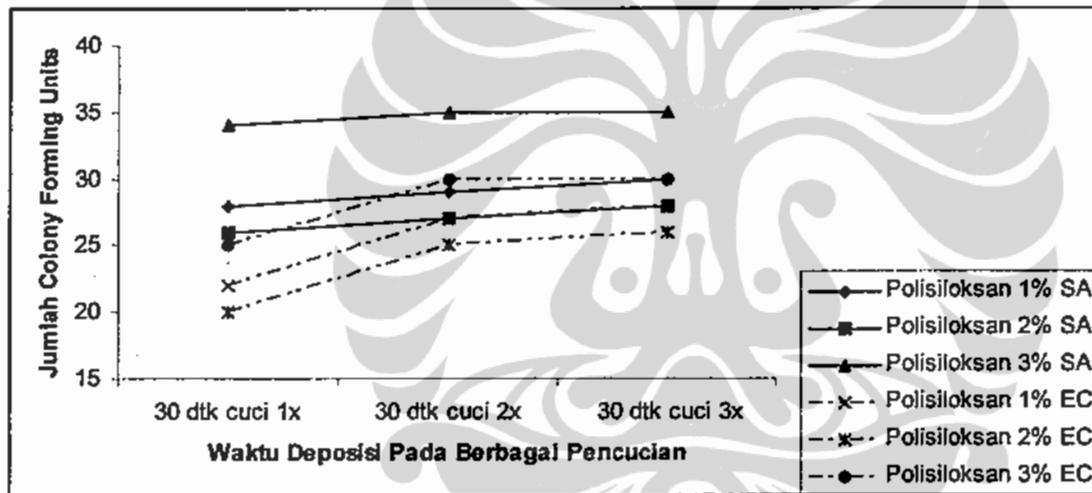
Gambar 4.19. merupakan analisis spektrum FTIR pada nanokomposit nilon – nanosilver. Spektrum tersebut menunjukkan serapan pada daerah bilangan gelombang 3228 - 3480 cm^{-1} adalah ikatan N-H yang menunjukkan adanya serapan gugus amida, pada serapan bilangan gelombang 3522-3653 cm^{-1} adalah ikatan -OH yang menunjukkan gugus hidroksil, bilangan gelombang 1637, 1737 cm^{-1} menunjukkan ikatan C=O, bilangan gelombang 1543,1517 cm^{-1} adalah ikatan N-H dari gugus amida sekunder, bilangan gelombang 731 – 773 cm^{-1} adalah ikatan -CH₂ yang menunjukkan adanya gugus alkil, pita serapan pada bilangan gelombang 1404 cm^{-1} adalah ikatan C-N. bilangan gelombang 2821 – 2873 cm^{-1} adalah ikatan N-CH₂ yang menunjukkan adanya gugus alkil. Sehingga dari hasil analisa di atas menunjukkan adanya gugus amida, hidroksil dan alkil yang terdapat pada nanokomposit nilon – nanosilver. Dari hasil analisis tersebut, ditemukan bahwa tidak terdapat kerusakan pada komposit serat nilon-nanosilver sebagai akibat dari waktu deposisi.



Gambar 4.19. Spektrum FTIR hasil preparasi komposit nilon – nanosilver untuk konsentrasi polisiloksan 2% pada waktu deosisi: a. 30 detik. b. 1 menit, c. 5 menit.

4.2.3. Uji Antibakteri Pada Komposit Nilon-Nanosilver

Tahapan penelitian yang paling penting adalah uji antibakteri pada komposit nilon-nanosilver yang telah dipreparasi. Uji antibakteri ini dilakukan dengan metode *Colony Forming Units* (CFU), yakni menghitung jumlah koloni bakteri yang terbentuk pada sampel komposit nilon-nanosilver. Pada tahapan penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan polisiloksan pada berbagai konsentrasi dan pencucian sampel komposit terhadap aktivitas antibakteri. Selain itu juga, untuk mengetahui pengaruh waktu deposisi pada berbagai konsentrasi polisiloksan dalam komposit terhadap aktivitas antibakterinya. Uji aktivitas antibakteri dilakukan pada bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Eschericia coli*.

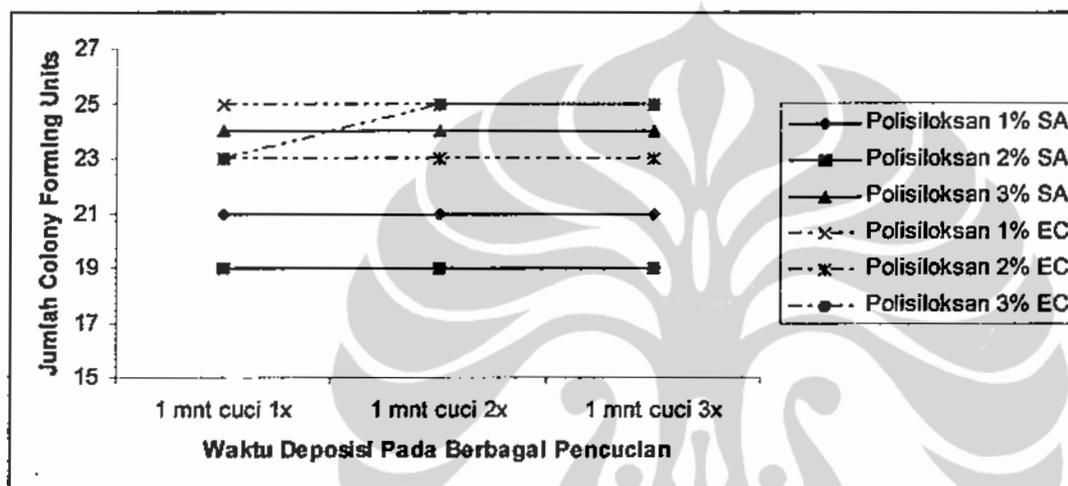


Gambar 4.20. Kurva jumlah koloni bakteri yang terbentuk pada waktu deposisi 30 detik terhadap variasi konsentrasi polisiloksan dengan berbagai perlakuan pencucian.

Dari gambar 4.20. tampak bahwa pada waktu deposisi 30 detik pada berbagai konsentrasi polisiloksan jumlah koloni yang terbentuk memiliki kecenderungan yang naik. Dan juga untuk setiap kali perlakuan pencucian jumlah koloni yang terbentuk memiliki kecenderungan kenaikan. Hal ini disebabkan pada deposisi 30 detik belum memberikan waktu yang cukup untuk proses penempelan partikel nanosilver pada serat nilon, sehingga mudah terlepas akibat adanya

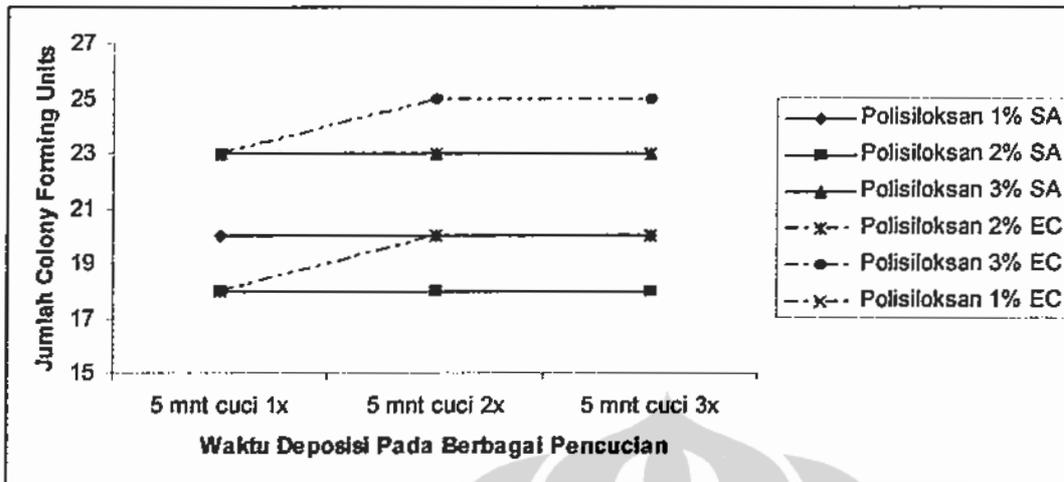
perlakuan pencucian. Berbagai konsentrasi polisiloksan pada waktu deposisi 30 detik tidak memberikan hasil yang nyata terhadap stabilitas antibakteri.

Sedangkan pada waktu deposisi 1 menit sudah menunjukkan kecenderungan untuk stabil untuk setiap penambahan konsentrasi polisiloksan dan perlakuan beberapa kali pencucian. Seperti tampak pada Gambar 4.21, bahwa pada konsentrasi polisiloksan 2% memberikan jumlah koloni bakteri lebih kecil dibandingkan yang lainnya, baik untuk bakteri *S. Aureus* dan *E. Coli*.



Gambar 4.21. Kurva jumlah koloni bakteri yang terbentuk pada waktu deposisi 1 menit terhadap variasi konsentrasi polisiloksan dengan berbagai perlakuan pencucian.

Sedangkan pada waktu deposisi 5 menit juga menunjukkan kecenderungan untuk stabil untuk setiap penambahan konsentrasi polisiloksan dan perlakuan beberapa kali pencucian. Seperti tampak pada Gambar 4.21, bahwa pada konsentrasi polisiloksan 2% memberikan jumlah koloni bakteri lebih kecil dibandingkan yang lainnya, baik untuk bakteri *S. Aureus* dan *E. Coli*.



Gambar 4.22. Kurva jumlah koloni bakteri yang terbentuk pada waktu deposisi 5 menit terhadap variasi konsentrasi polisiloksan dengan berbagai perlakuan pencucian.

Namun berdasarkan jumlah koloni yang terbentuk waktu, waktu deposisi selama 5 menit memberikan hasil jumlah koloni yang terbentuk lebih rendah dibandingkan waktu deposisi 1 menit dan 30 detik. Sehingga, waktu deposisi 5 menit merupakan hasil yang optimum untuk preparasi komposit serat nilon-nanosilver. Sedangkan, pada penambahan polisiloksan 1% dan 3%, memiliki jumlah koloni yang lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan konsentrasi polisiloksan 2%. Menurut Reis et al. (2006), senyawa PVA memiliki sifat semi-kristalin dan bersifat hidrofil. Sedangkan senyawa polisiloksan cenderung memiliki sifat hidrofob. Sehingga, pada konsentrasi polisiloksan 2% dianggap optimal terhadap proses penempelan partikel nanosilver pada serat nilon. Untuk berbagai perlakuan pencucian, terlihat adanya kecenderungan kestabilan jumlah koloni. Hal ini dapat dikatakan bahwa penambahan senyawa polisiloksan berpengaruh terhadap kestabilan aktivitas antibakteri komposit serat nilon-nanosilver.

4.2.4. Analisis *Scanning Elektron Microscopy* (SEM)

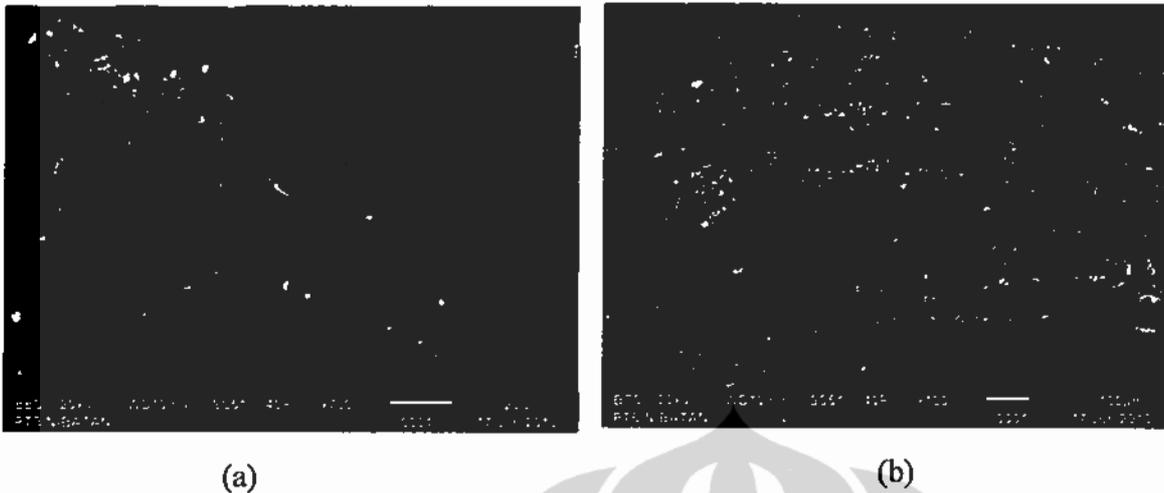
Analisis SEM dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui morfologi dari serat nilon, baik sebelum maupun setelah di deposisi. *Scanning Electron*

Microscopy (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 berenergi tinggi, permukaan benda yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Detektor di dalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada mikroskop optik. Untuk melihat morfologi dari koloid partikel nanosilver dilakukan karakterisasi dengan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM).



Gambar 4.23. Analisis SEM untuk serat nilon sebelum dilakukan deposisi dengan partikel nanosilver, (a) perbesaran 2200x, (b) perbesaran 6000x.

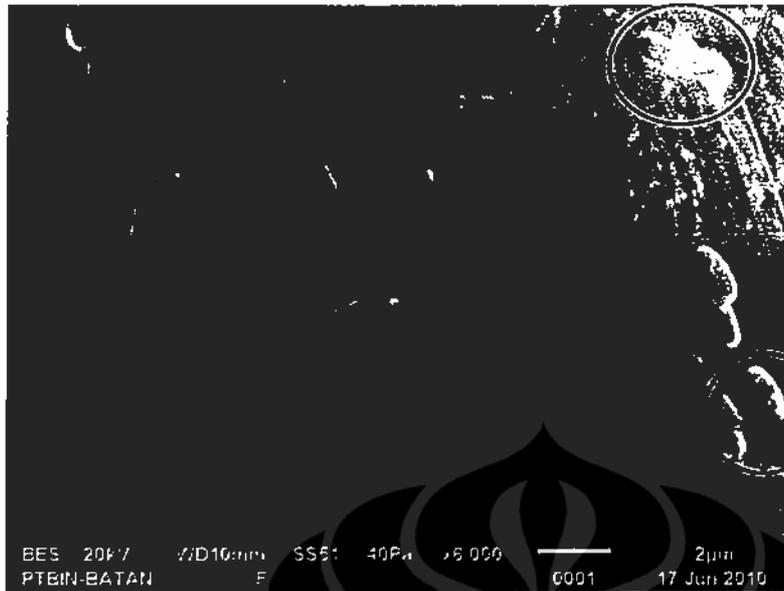
Gambar 4.23. menunjukkan serat nilon yang sebelum dilakukan proses deposisi dengan koloid partikel nanosilver. Dari gambar tersebut tampak adanya kerusakan pada permukaan serat nilon sebelum dilakukan proses deposisi. Kerusakan dapat terjadi akibat adanya gaya mekanis terhadap serat nilon, seperti benturan atau gesekan, pada saat proses penyimpanan atau preparasi sebelum dilakukan deposisi oleh partikel nanosilver.



Gambar 4.24. Analisis SEM pada partikel nanosilver pada serat nilon pada waktu deposisi 1 menit, (a) perbesaran 700x, (b) perbesaran 100x.

Dari gambar 4.24, dapat dilihat struktur morfologi sebaran partikel nanosilver pada serat nilon nampak seragam tidak menunjukkan adanya agregasi, namun dispersi partikel partikel nanosilver pada serat nilon tidak merata, serta ukuran partikel yang tidak sama. Hal ini dimungkinkan terjadi karena adanya polimer PVA yang ditambahkan pada koloid nanosilver. PVA yang melingkupi partikel nanosilver belum teragitasi secara baik, sehingga menghasilkan partikel-partikel yang tidak rata.

Analisis morfologi juga dilakukan terhadap sampel komposit serat nilon-nanosilver setelah diinkubasi dengan bakteri. Dari hasil analisis SEM dapat diketahui bahwa terlihat adanya partikel nanosilver yang terdapat pada permukaan serat nilon terdifusi kedalam sel bakteri, seperti terlihat pada gambar 4.25. Pada tubuh bakteri terdapat partikel nanosilver (bagian yang dilingkari). Berdasarkan M. Rai et al. (2009), diketahui bahwa partikel nanosilver akan terdifusi kedalam tubuh bakteri dengan menghancurkan sel membran luar dari tubuh bakteri, untuk selanjutnya akan menyerang sistem pernafasan dari bakteri yang mengakibatkan bakteri tersebut akan mati.



Gambar 4.25. Analisis morfologi komposit serat nilon-nanosilver yang telah diinkubasi dengan bakteri.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji antibakteri terhadap bagian penelitian preparasi koloid nanosilver (Gambar 3.4), dengan menggunakan variasi konsentrasi umpan AgNO_3 250, 500, dan 750 ppm. Serta variasi jenis reduktor yang digunakan yakni asam askorbat, natrium borohidrat, dan trisodium sitrat (seperti tampak pada Gambar 4.1) didapatkan bahwa konsentrasi umpan AgNO_3 750 ppm dengan reduktor asam askorbat (P3R1) menghasilkan aktivitas antibakteri yang paling optimal dibandingkan dengan yang lainnya. Dengan nilai hambatan yang lebih besar untuk bakteri *Staphylococcus aureus* dibandingkan *Eschericia coli*. Uji antibakteri ini dilakukan dengan metode difusi cakram. Dari hasil analisis spektrofotometer didapat panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) 418,5 nm. Berdasarkan analisis ukuran partikel, didapatkan ukuran partikel sebesar 87,5 nm dengan, indeks refraktif sebesar 1,3328, viskositas koloid nanosilver 0,8878, dan konstanta difusi sebesar $1,797 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$.
2. Dari hasil analisis FTIR spectrum serapan bilangan gelombang untuk komposit nilon-nanosilver yang dibandingkan dengan nilon yang telah ditambahkan polisiloksan serta serat nilon, dihasilkan bahwa pada komposit telah terbentuk dan tergabung gugus-gugus pembentuk dari amida, siloksan, dan vinil alcohol. Untuk hasil analisis FTIR pada perbandingan spectrum serapan bilangan gelombang komposit nilon-nanosilver yang telah dipreparasi dengan polisiloksan dan PVA, serta polisiloksan dan PVA tersendiri, menunjukkan adanya peak baru pada spektrum dari komposit. Hal tersebut terjadi karena terjadi *crosslinking* antara gugus amida dari nilon, vinil alcohol dari PVA dan siloksan dari polisiloksan pada komposit, yang ditunjukkan pada peak 2800-3000 cm^{-1} . Serta terbentuk ikatan hidrogen antara PVA dan polisiloksan terhadap serat nilon yang ditunjukkan pada peak 3200-3570 cm^{-1} .

3. Uji antibakteri pada bagian penelitian preparasi komposit (Gambar 3.5) dengan melakukan variasi konsentrasi polisiloksan 1, 2, 3% b/v, waktu deposisi 30 detik, 1 menit, 5 menit dan pencucian 1, 2, 3 kali, didapatkan bahwa pada konsentrasi polisiloksan 2% dan waktu deposisi 5 menit memberikan hasil stabilitas antibakteri yang baik dengan perlakuan beberapa kali pencucian. Uji antibakteri ini menggunakan metode *Colony Forming Units* (CFU).

5.2. Saran

Dari hasil penelitian ini, perlu dilakukan beberapa percobaan lagi dan dapat dimasukkan sebagai saran untuk penelitian selanjutnya.

1. Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk konsentrasi umpan AgNO_3 diatas 750 ppm terhadap pembentukan ukuran partikel nanosilver dan aktivitasnya untuk antimikroba.
2. Jenis reduktor yang lainnya dapat diteliti lebih lanjut terhadap pembentukan partikel nanosilver dan aktivitasnya sebagai antibakteri.
3. Variasi konsentrasi polivinil alkohol sebagai stabilizer perlu diteliti lebih lanjut terhadap bentuk dan ukuran partikel nanosilver.
4. Perlu dilakukan penelitian terhadap jenis stabilizer lainnya selain polivinil alkohol, dalam kaitannya dengan hasil dari bentuk dan ukuran nanosilver.
5. Penelitian terhadap variasi waktu deposisi diatas 5 menit perlu dilakukan untuk melihat pengaruh stabilitas terhadap uji antibakteri dari komposit nilon-nanosilver.
6. Perlu dilakukan penelitian terhadap jenis pengikat lainnya selain polisiloksan agar memberikan stabilitas antibakteri terhadap komposit nilon-nanosilver, dalam kaitannya dengan jumlah koloni yang terbentuk.
7. Perlu dilakukan penelitian untuk pencucian sampel diatas 3 kali.
8. Adanya penelitian lanjut untuk mengungkapkan ikatan yang terbentuk antara senyawa PVA yang mengandung nanosilver dengan polisiloksan pada permukaan serat nilon.
9. Sifat Mekanik dari Komposit yang dihasilkan perlu diteliti lebih lanjut, untuk mengetahui kekuatan serat sebelum dan sesudah dilakukan proses komposit.

DAFTAR PUSTAKA

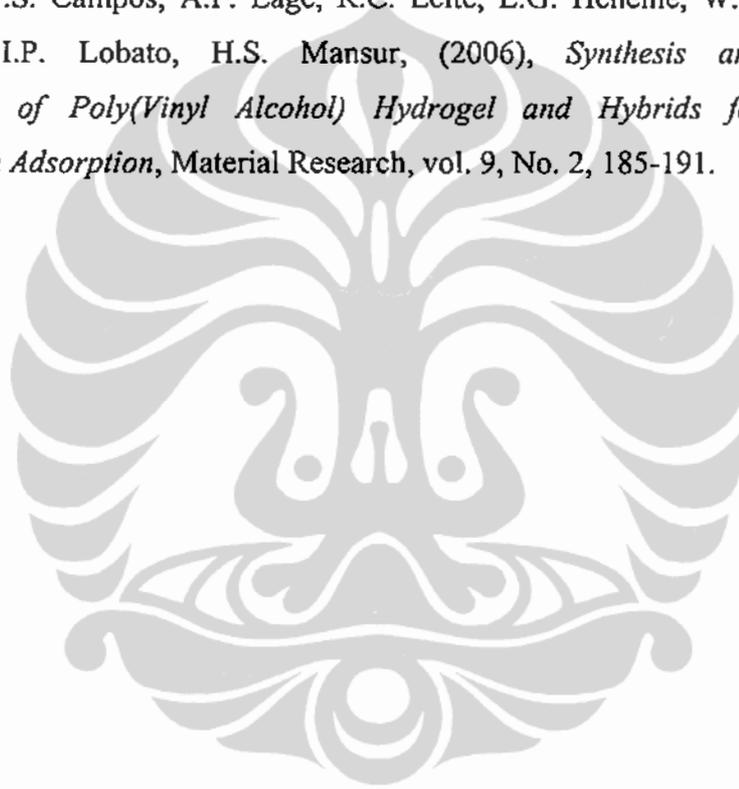
- [1] Mahendra, Rai., Yadav, Alka., Gade, Aniket., (2009), *Nanoparticles as a New Generation of Antimicrobials*, *Biotechnology Advances*, **27**, 76 – 83.
- [2] Sharma, K Virender., Yngard, A Ria., Lin, Yekaterina., (2009), *Silver Nanoparticles: Green Synthesis and Their Antimicrobial Activities*, *Advances in Colloid and Interface Science*, **145**, 83 – 96.
- [3] Jeong, Sung Hoon., Yeo, Sang Young., Yi, Sung Chul., (2005), *The Effect of Filler Particle Size on the Antibacterial Properties of Compounded Polymer/Silver Fibers*, *J. Mater. Sci.*, **40**, 5407–5411.
- [4] Retchkiman-Schabes PS, Canizal G, Becerra-Herrera R, Zorilla C, Liu HB, Ascencio JA, (2006), *Biosynthesis and Characterization of Ti/Ni Bimetallic Nanoparticles*, *Opt. Mater.*, **29**, 95 – 99.
- [5] Gu H, Ho PL, Tong E, Wang L, Xu B, (2003), *Presenting Vancomycin on Nanoparticles to Enhance Antimicrobial Activities*, *Nano Lett.*, **3**, 9, 1261 – 1263.
- [6] Ahmad Z, Pandey R, Sharma S, Khuller GK, (2005), *Alginate Nanoparticles as Antituberculosis Drug Carriers: Formulation Development, Pharmacokinetics and Therapeutic Potential*, **48**, 171 – 176.
- [7] Gong P, Li H, He X, Wang K, Hu J, Tan W, (2007), *Preparation and Antibacterial Activity of Fe₃O₄@Ag Nanoparticles*, *Nanotechnology*, **18**, 604 – 611.
- [8] Ermina Miranti, (2007), *Mencermati Kinerja Tekstil Indonesia: Antara Potensi dan Peluang*, *Economic Review*, No. 209, September, 1 – 10.
- [9] Agus Haryono, Joddy Arya Laksmono, Heri Kresnadi, Eni Suryani, M. Nasir, (2009), *Nanokomposit Nilon-Perak Sebagai Serat Antimikroba*, Laporan Akhir Penelitian Kegiatan Program Insentif Bagi Peneliti dan Perekayasa, Sinergi DIKTI – LIPI.
- [10] Zielinska, Anna., Skwarek, Ewa., Zaleska, Adriana., Gazda, Maria., Hupka, Jan., (2009), *Preparation of silver nanoparticles with controlled particle size*, *Procedia Chemistry*, **1**, 1560–1566.

- [11] Feng QL, Chen GQ, Cui FZ, Kim TN, Kim JO, (2000), *A Mechanistic Study of The Antibacterial Effect of Silver Ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus*, J. Biomed Mater., 52, 4, 662 – 668.
- [12] Matsumura Y, Yoshikata K, Kunisaki SI, Tsuchido T, (2003), *Mode on Bacterial Action of Silver Zeolite and Its Comparison With That of Silver Nitrat*, Appl. Environ. Microbiol., 69, 7, 4278 – 4281.
- [13] Panacek A, Kvittek L, Prucek R, Kolar M, Vecerova R, Pizurova N, (2006), *Silver Colloid Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Their Antibacterial Activity*, J. Phys. Chem., 110, 33, 16248 – 16253.
- [14] Shahverdi AR, Bera T, Roy A, Singh G, Ramachandrarao P, Dash D, (2007), *Synthesis and Effect of Silver Nanoparticles on The Antibacterial Activity of Different Antibiotics Against Staphylococcus aureus and Escherichia coli*, Nanomed: Nanotechnol. Biol. Med., 3, 2, 168 – 171.
- [15] Shrivastava, Siddhartha., Bera, Tanmay., Roy, Arnab., Singh, Gajendra., Ramachandrarao, P., Dash, Debabrata., (2007), *Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles*, Nanotechnology, 18, 1 – 9.
- [16] Yeo, Sang Young., Lee, Hong Joo., Jeong, Sung Hong., (2003), *Preparation of Nanocomposite Fibers for Permanent Antibacterial Effect*, J. Mat. Scie, 38, 2143 – 2147.
- [17] Jeong, Sung Hoon., Hwang, Yun Hwan., Yi, Sung Chul., (2005), *Antibacterial Properties of Padded PP/PE Nonwovens Incorporating Nano-sized Silver Colloid*, J. Mat. Scie, 40, 5413 – 5418.
- [18] Damm, Cornelia., Münstedt, Helmut., Rösch., (2007), *Long-term Antimicrobial Polyamide 6/Silver – Nanocomposites*, J. Mater. Sci, 42, 6067 – 6073.
- [19] Duran N, Marcato PD, De Souza GIH, Alves OL, Esposito E, (2007), *Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles Produce by Fungal Process on Textile Fabrics and Their Effluent Treatment*, J. Biomed. Nanotechnol., 3, 203 – 208.
- [20] Chen J, Wang K, Xin J, Jin Y, (2008), *Matter. Chem. Phys.*, 108, 421.
- [21] Dasterdji, Roya., Montazer, Majid., Shahsavan, Shadi., (2009), *A New Method to Stabilize Nanoparticles on Textile Surfaces*, Colloid and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 345, 202 – 210.

- [22] Anonim, (2010), Nilon, www.wikipedia.com.
- [23] Asep Handaya Saputra, (2001), *Diktat Kuliah Komposit*, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [24] Gaylord, M.W. (1974), *Reinforced Plastics, Theory and Practice, 2nd edition*. Massachusets: Cahner Books.
- [25] Iguchi, M., S. Yamanaka, and A. Budhiono, (2000), *Review Bacterial cellulose-a masterpiece of nature's arts*, *J. Mater. Sci.*, **35**, 261- 270.
- [26] Galuh Widiyarti, (2007), *Sintesis α -monolaurin dan uji aktivitasnya sebagai antibakteri*, Tesis Program Magister Bidang Kimia Hayati, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia
- [27] Alcamo IE, (2001), *Fundamentals of microbiology*, Boston: Jones and Bartlett.
- [28] Funke BR, Tortora GJ, Case CL, (2004), *Microbiology: an introduction*, 8th ed., San Francisco: Benjamin Cummings.
- [29] Astri Balistika, (2002), *Isolasi Senyawa Aktif Antibakteri dari Meniran (Phyllanthus niruri L)*, Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jendral Ahmad Yani, Cimahi.
- [30] Charles A Harper., (2002), *Handbook Of Plastics, Elastomers, and Composite*. Mc. Grew Hill. Lutherville, Maryland USA.
- [31] Chuh-Yean Chen, Chen-Li Chiang, (2008), *Preparation of Cotton Fibers With Antibacterial Silver Nanoparticles*, *Materials Letters*, **62**, 3607 – 3609.
- [32] H.Y. Song, K.K. Ko, I.H Oh, B.T. Lee, (2006), *Fabrication of Silver Nanoparticles and Their Antimicrobial Mechanisms*, *European Cells and Materials Vol. 11. Suppl. 1*, p. 58
- [33] Hull D., (1981), *An Introduction to Composite Material*. University of Cambridge, New York.
- [34] Mohammad Shateri Khalil-Abad, Mohammad Esmail Yazdanshenas, Mohammad Reza Nateghi, (2009), *Effect of Cationization on Adsorption of Silver Nanoparticles on Cotton Surfaces and Its Antibacterial Activity*, *Cellulose*, **16**, 1147 – 1157.

- [35] Tillmann, Patricia., (2004), *Stability of Silver Nanoparticles in Aqueous and Organic Media*, NNIN REU Research Accomplishments.
- [36] Anonim, 2009, *Industri Tekstil dan Produk Tekstil Indonesia*, Biro Pusat Statistik, Jakarta.
- [37] Brandrup, J., Immergut, E.H., Grulke, E.A., 1999, *Polymer Handbook*, 4th Ed., Wiley – Interscience Publication, United States of America.
- [38] Shrivastava, Siddhartha., Bera, Tanmay., Roy, Arnab., Singh, Gajendra., Ramachandrarao, P., Dash, Debabrata., 2007, *Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles*, *Nanotechnology*, **18**, 1 – 9.
- [39] Feng QL, Chen GQ, Cui FZ, Kim TN, Kim JO, 2000, *A Mechanistic Study of The Antibacterial Effect of Silver Ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus*, *J. Biomed Mater.*, **52**, 4, 662 – 668.
- [40] RB. Heslop, PL. Robinson, 1960, *Inorganic Chemistry: A Guide to Advanced Study*, Elsevier Publishing Company, The Netherlands.
- [41] Ahmad Z, Pandey R, Sharma S, Khuller GK., 2005, *Alginate nanoparticles as antituberculosis drug carriers: formulation development, pharmacokinetics and therapeutic potential*, *Ind. J. Chest. Dis. Allied Sci.*, **48**, 171–176.
- [42] Baker C, Pradhan A, Pakstis L, Pochan DJ, Shah SI., 2005, *Synthesis and antibacterial properties of silver nanoparticles*, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **2**, 244–249.
- [43] Bragg PD, Rainnie DJ., 1974, *The Effect of Silver Ion on the Respiratory Chain of Escherichia coli*, *Can. J. Microbiol.*, **20**, 883–889.
- [44] Kim JS, Kuk E, Yu KN, Kim JH, Park SJ, Lee HJ, 2007, *Antimicrobial Effects of Silver Nanoparticles*, *Nanomed. Nanotechnol. Biol. Med.*, **3**, 95–101.
- [45] Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Ramirez JT, 2005, *The bactericidal effect of silver nanoparticles*, *Nanotechnology*, **16**, 2346–2353.
- [46] Duran N, Marcato PD, Alves OL, Souza G., 2005, *Mechanistic aspects of biosynthesis of silver nanoparticles by several Fusarium oxysporum strains*, *J. Nanotechnol.*, **3**, 8.
- [47] Ahmad A, Mukherjee P, Senapati P, Mandal D, Islam Khan M, Kumar R, 2003, *Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus Fusarium oxysporum*, *Colloid Surf. B*, **28**, 313- 318.

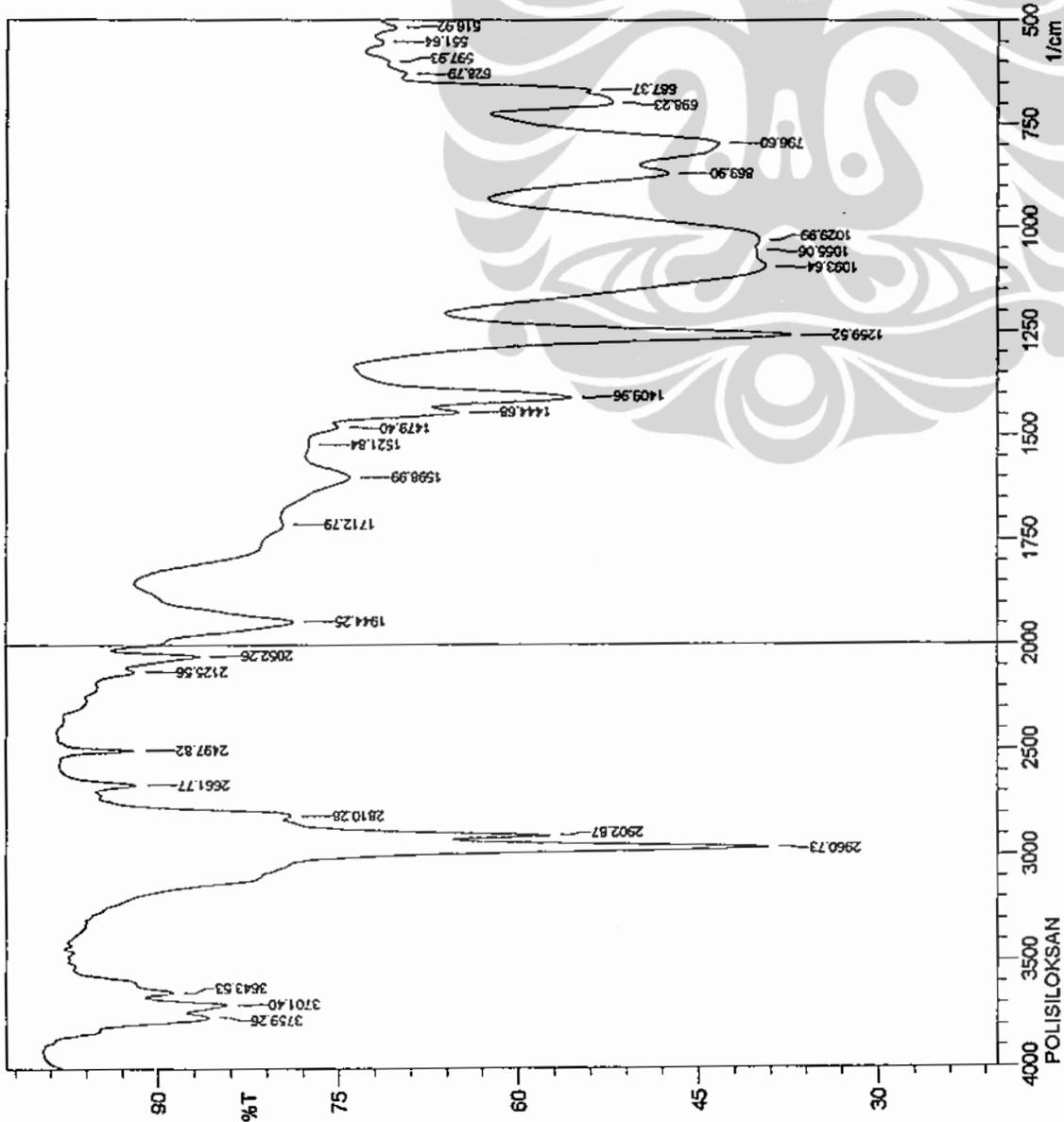
- [48] Yeh JT, Yao WH, Chen CC, 2005, *J. Polym. Res.* 12, 279.
- [49] Pinnavaia TJ, Beall GW, 2000, *Polymer-clay nanocomposites*, John Wiley and Sons, New York.
- [50] Deimede VA, Fragou KV, Koulouri EG, Kallitsis JK, Voyiatzis GA, 2000, *Polymer*, 41, 9095.
- [51] Holland BJ, Hay JN, 2002, *Polymer*, 43, 2207.
- [52] Holland BJ, Hay JN, 2001, *Polymer*, 42, 6775.
- [53] E.F. dos Reis, F.S. Campos, A.P. Lage, R.C. Leite, L.G. Heneine, W.L. Vasconcelos, Z.I.P. Lobato, H.S. Mansur, (2006), *Synthesis and Characterization of Poly(Vinyl Alcohol) Hydrogel and Hybrids for rMPB870 Protein Adsorption*, *Material Research*, vol. 9, No. 2, 185-191.





LAMPIRAN

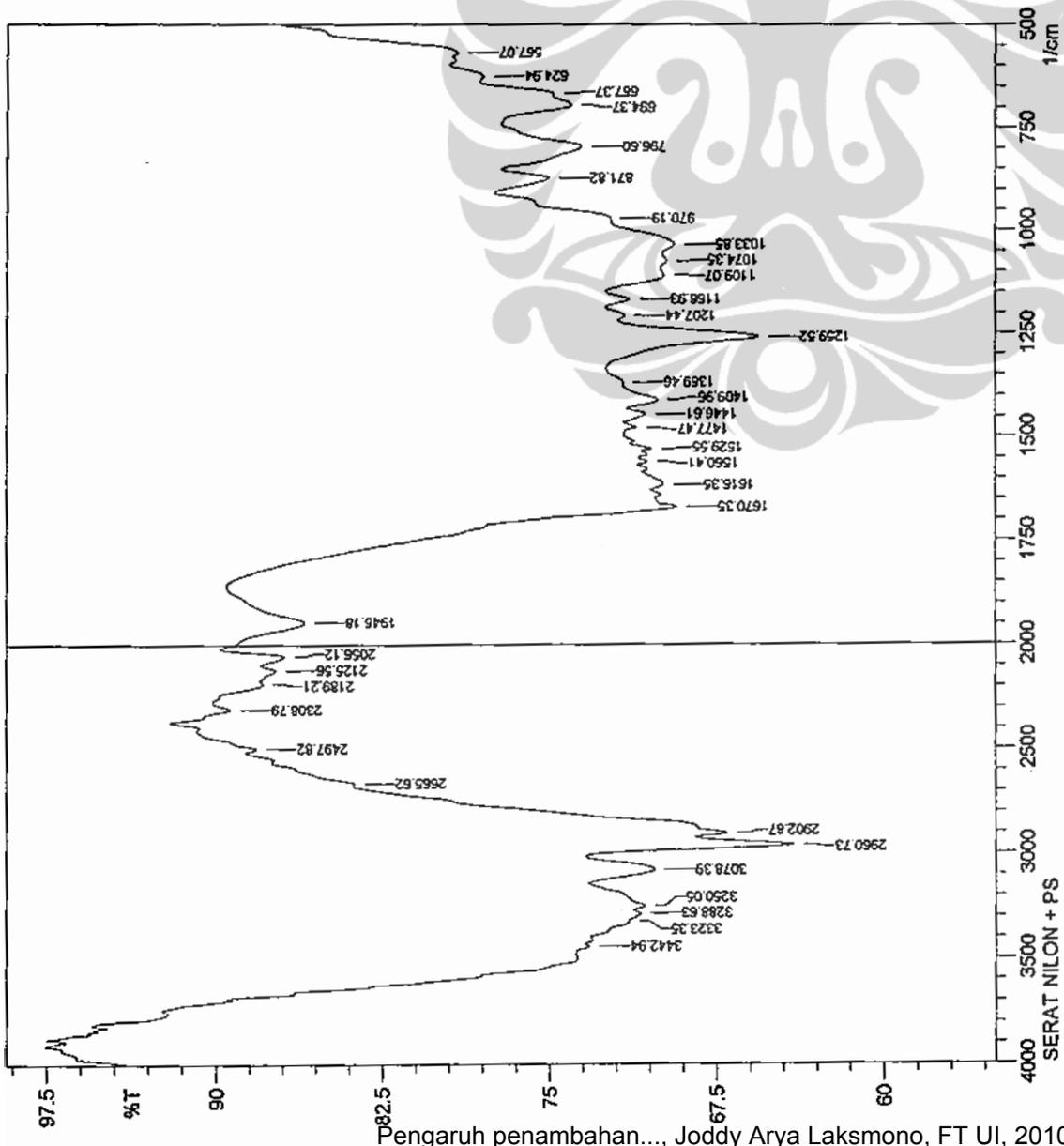
Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	516.92	1.47	536.21	503.42	4.863	0.147
2	551.64	0.122	553.57	538.14	2.221	0.005
3	597.93	0.275	599.86	580.57	2.787	0.029
4	628.79	0.824	638.44	607.58	4.761	0.077
5	667.37	3.151	673.16	640.37	6.996	0.334
6	698.23	5.814	725.23	675.09	13.093	1.246
7	796.6	43.326	848.68	727.16	36.349	5.644
8	869.9	47.522	929.69	850.61	21.286	1.333
9	1029.99	39.899	1047.35	931.62	37.055	2.721
10	1055.06	40.127	1058.92	1049.28	3.82	0.004
11	1093.64	39.374	1205.51	1070.49	42.814	3.824
12	1259.52	37.253	1332.81	1207.44	30.209	10.648
13	1409.96	55.543	1431.18	1334.74	17.135	2.63
14	1444.68	64.969	1467.83	1433.11	5.681	0.519
15	1479.4	75.063	1508.33	1469.76	4.562	0.08
16	1521.84	77.492	1544.98	1517.98	2.976	0.007
17	1598.99	74.109	1693.5	1552.7	15.974	1.389
18	1712.79	79.653	1851.66	1695.43	11.973	1.498
19	1944.25	78.721	2021.4	1853.59	9.986	4.635
20	2052.26	86.538	2106.27	2023.33	3.798	1.31
21	2125.56	91.971	2177.63	2108.2	2.048	0.175
22	2497.82	91.929	2538.32	2447.67	1.41	0.746
23	2661.77	91.795	2690.7	2582.68	2.098	0.587
24	2810.28	78.938	2823.79	2721.56	6.285	0.643
25	2902.87	57.323	2922.16	2825.72	14.543	1.541
26	2960.73	39.151	3088.03	2924.09	30.23	8.602
27	3643.53	88.694	3662.82	3606.89	2.506	0.339
28	3701.4	84.298	3734.19	3664.75	4.222	0.851
29	3759.26	85.791	3813.27	3736.12	3.959	0.864



Date/Time; 06/17/2010 05:34:28 PM
 No. of Scans;
 Resolution;
 Apodization;
 User; master

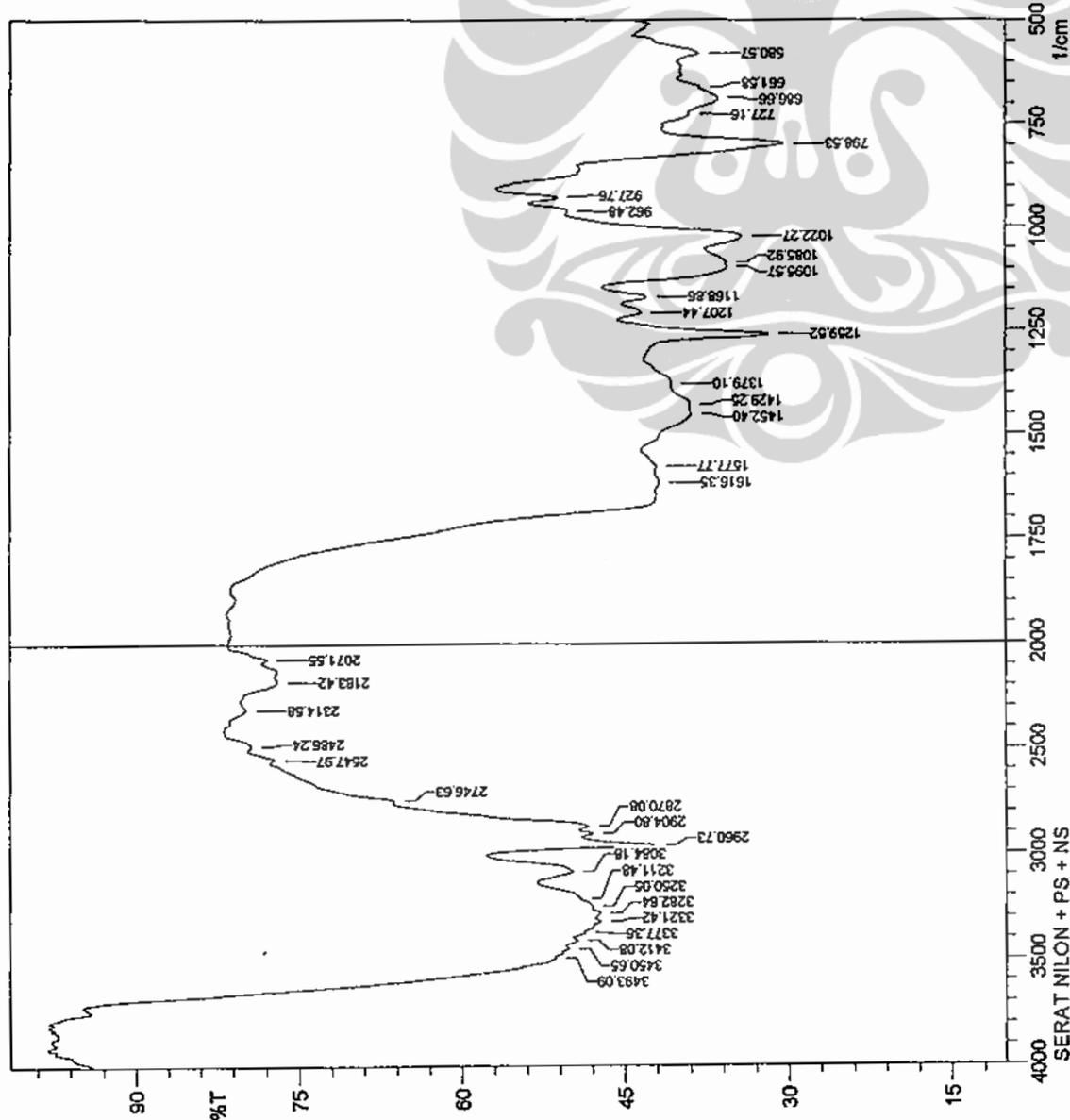
Comment;
 POLISILOKSAN

Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	567.07	1.204	576.72	499.56	6.389	0.288
2	624.94	0.618	638.44	597.93	4.272	0.082
3	667.37	0.457	671.23	640.37	3.627	0.055
4	694.37	1.561	740.67	673.16	8.282	0.238
5	796.6	3.584	848.68	742.59	13.097	1.133
6	871.82	2.272	906.54	850.61	6.634	0.373
7	970.19	0.158	972.12	908.47	8.003	0.06
8	1033.85	1.194	1056.99	975.98	12.294	0.303
9	1074.35	0.238	1089.78	1058.92	4.813	0.024
10	1109.07	0.931	1147.65	1091.71	8.457	0.195
11	1166.93	1.048	1186.22	1149.57	5.246	0.116
12	1207.44	0.494	1219.01	1188.15	4.419	0.051
13	1259.52	6.479	1334.74	1220.94	17.801	1.661
14	1369.46	0.04	1371.39	1336.67	4.936	0.007
15	1409.96	1.415	1431.18	1371.39	8.904	0.222
16	1446.61	0.872	1465.9	1433.11	4.859	0.095
17	1477.47	0.541	1485.19	1465.9	2.826	0.03
18	1529.55	0.573	1535.34	1516.05	2.887	0.03
19	1560.41	0.41	1568.13	1552.7	2.317	0.023
20	1616.35	0.688	1629.85	1587.42	6.516	0.11
21	1670.35	2.959	1857.45	1649.14	19.887	0.406
22	1946.18	85.943	2019.47	1859.38	8.786	1.171
23	2056.12	86.879	2098.55	2021.4	4.373	0.418
24	2125.56	87.268	2173.78	2100.48	4.203	0.113
25	2189.21	87.85	2243.21	2175.7	3.557	0.094
26	2308.79	89.315	2339.65	2274.07	3.059	0.152
27	2497.82	88.126	2515.18	2411.02	5.012	0.145
28	2665.62	83.712	2675.27	2563.4	7.57	0.066
29	2902.87	66.994	2922.16	2677.2	30.955	1.664
30	2960.73	64.012	3012.81	2924.09	14.844	1.542
31	3078.39	70.272	3142.04	3014.74	18.455	1.255
32	3250.05	70.702	3269.34	3143.97	18.13	0.391
33	3288.63	70.91	3317.56	3271.27	6.863	0.059
34	3323.35	71.382	3365.78	3319.49	6.672	0.029
35	3442.94	73.195	3462.22	3431.36	4.151	0.034



Date/Time; 06/08/2010 08:59:39 AM
 No. of Scans;
 Resolution;
 Apodization;
 User; master

Comment;
 SERAT NILON + PS

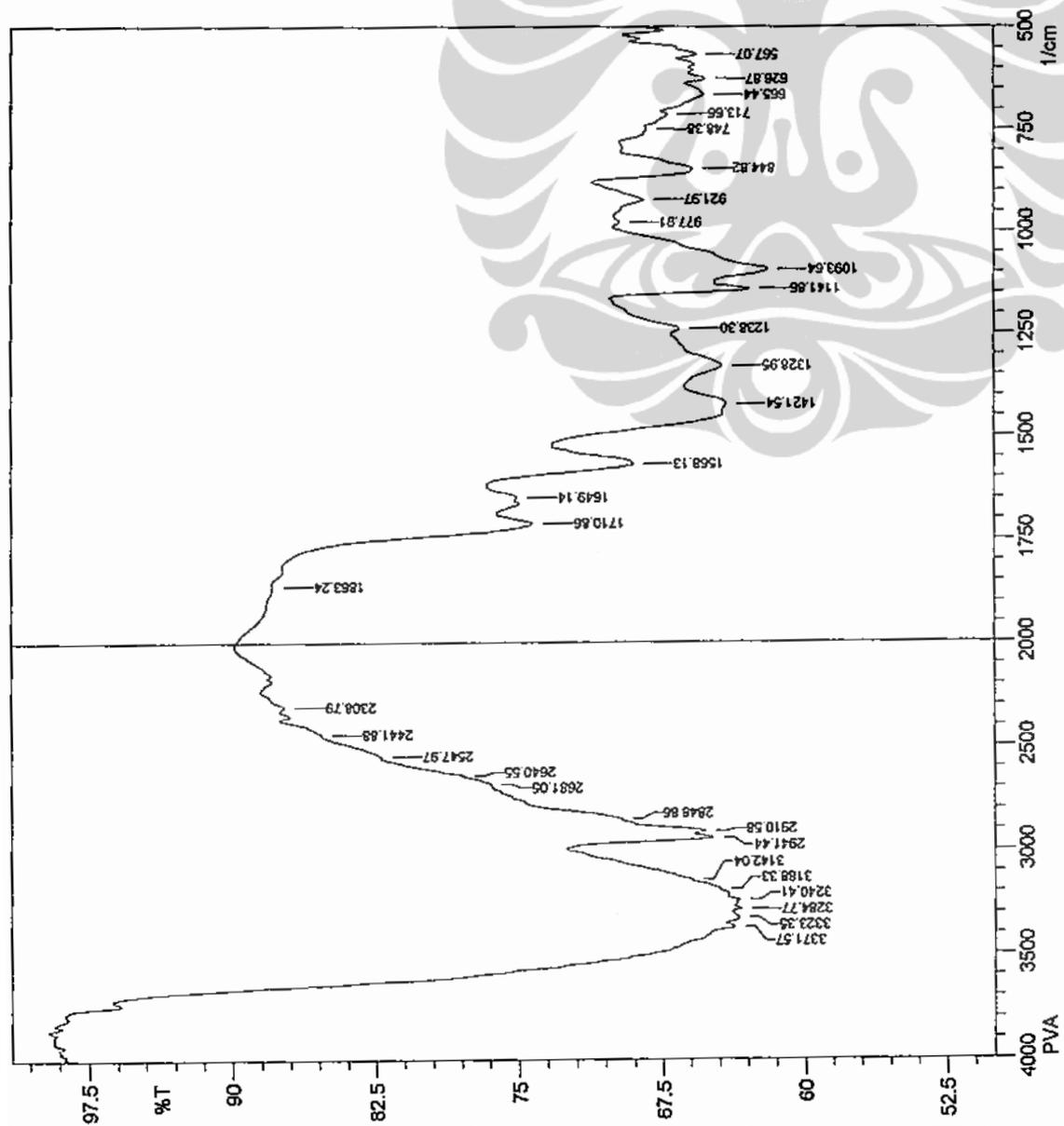


Date/Time; 06/08/2010 09:04:00 AM
 No. of Scans;
 Resolution;
 Apodization;
 User; master

Comment;
 SERAT NILON + PS + NS

Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	580.57	38.146	2.779	599.86	549.71	20.03
2	661.58	38.072	0.235	663.51	642.3	8.651
3	686.66	36.437	2.013	721.38	665.44	23.926
4	727.16	38.987	0.434	752.24	723.31	11.557
5	798.53	30.428	14.223	850.61	763.81	36.263
6	927.76	51.108	3.926	941.26	908.47	8.899
7	962.48	50.192	0.966	968.27	943.19	7.263
8	1022.27	34.263	8.095	1053.13	970.19	32.949
9	1085.92	35.642	0.27	1089.78	1055.06	15.197
10	1095.57	35.64	0.913	1143.79	1091.71	21.286
11	1168.86	42.949	2.976	1184.29	1145.72	13.477
12	1207.44	43.448	1.988	1222.87	1186.22	12.973
13	1259.52	31.778	12.944	1317.38	1224.8	36.458
14	1379.1	40.663	0.082	1381.03	1319.31	23.37
15	1429.25	38.956	0.238	1435.04	1382.96	20.816
16	1452.4	38.883	0.81	1537.27	1436.97	39.088
17	1577.77	42.05	0.313	1585.49	1539.2	17.141
18	1616.35	41.781	0.386	1635.64	1595.13	15.281
19	2071.55	77.866	1.065	2086.98	2005.97	8.034
20	2183.42	76.966	0.354	2243.21	2177.63	6.976
21	2314.58	79.858	0.946	2360.87	2272.15	8.442
22	2486.24	79.311	0.78	2503.6	2424.52	7.562
23	2547.97	77.17	0.919	2561.47	2505.53	5.964
24	2746.63	66.23	0.614	2754.35	2563.4	25.99
25	2870.08	48.312	3.203	2887.44	2756.28	32.296
26	2904.8	47.96	1.101	2920.23	2889.37	9.702
27	2960.73	42.216	10.915	3003.17	2922.16	25.255
28	3084.18	49.737	5.046	3132.4	3005.1	35.533
29	3211.48	49.081	0.122	3213.41	3142.04	21.099
30	3250.05	47.934	0.258	3255.84	3215.34	12.782
31	3282.84	47.265	0.41	3292.49	3265.49	8.73
32	3321.42	47.188	0.588	3336.85	3309.85	8.738
33	3377.36	48.654	0.244	3394.72	3373.5	6.571
34	3412.08	49.363	0.708	3435.22	3396.64	11.709
35	3450.65	50.11	0.505	3462.22	3437.15	7.477
36	3493.09	51.351	0.26	3508.52	3485.37	6.668

Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	567.07	1.028	576.72	553.57	4.163	0.088
2	626.87	0.949	636.51	613.36	4.242	0.08
3	665.44	1.523	704.02	638.44	11.857	0.384
4	713.66	0.532	742.59	705.95	6.237	0.078
5	748.38	0.263	779.24	744.52	5.673	0.078
6	844.82	4.571	877.61	806.25	12.15	1.249
7	921.97	2.129	960.55	879.54	12.744	0.49
8	977.91	0.286	987.55	962.48	3.906	0.023
9	1093.64	4.089	1126.43	989.48	25.295	1.787
10	1141.86	4.028	1163.08	1128.36	6.413	0.433
11	1238.3	0.969	1251.8	1165	14.227	0.113
12	1328.95	64.29	1381.03	1253.73	23.211	0.78
13	1421.54	64.071	1440.83	1382.96	10.882	0.179
14	1568.13	68.991	1620.21	1525.69	13.347	1.486
15	1649.14	75.043	1654.92	1622.13	3.952	0.039
16	1710.86	74.228	1813.09	1669.64	11.282	0.809
17	1863.24	87.841	2011.76	1855.52	8.192	0.178
18	2308.79	87.269	2328.08	2239.36	5.015	0.1
19	2441.88	85.332	2445.74	2370.51	4.852	0.1
20	2547.97	82.156	2553.75	2445.74	8.373	0.091
21	2640.55	77.871	2642.48	2555.68	8.292	0.009
22	2681.05	76.437	2682.98	2644.41	4.367	0.029
23	2848.86	69.62	2852.72	2744.71	14.861	0.036
24	2910.58	65.222	2922.16	2854.65	11.558	0.199
25	2941.44	64.818	2991.59	2924.09	11.232	0.437
26	3142.04	65.875	3145.9	2993.52	24.423	0.076
27	3188.33	64.42	3192.19	3145.9	8.649	0.049
28	3240.41	63.415	3250.05	3228.84	4.164	0.031
29	3284.77	63.336	3296.35	3273.2	4.559	0.036
30	3323.35	63.466	3329.14	3298.28	6.056	0.009
31	3371.57	63.698	3398.57	3352.28	8.915	0.112



Date/Time; 06/17/2010 05:31:26 PM

No. of Scans;

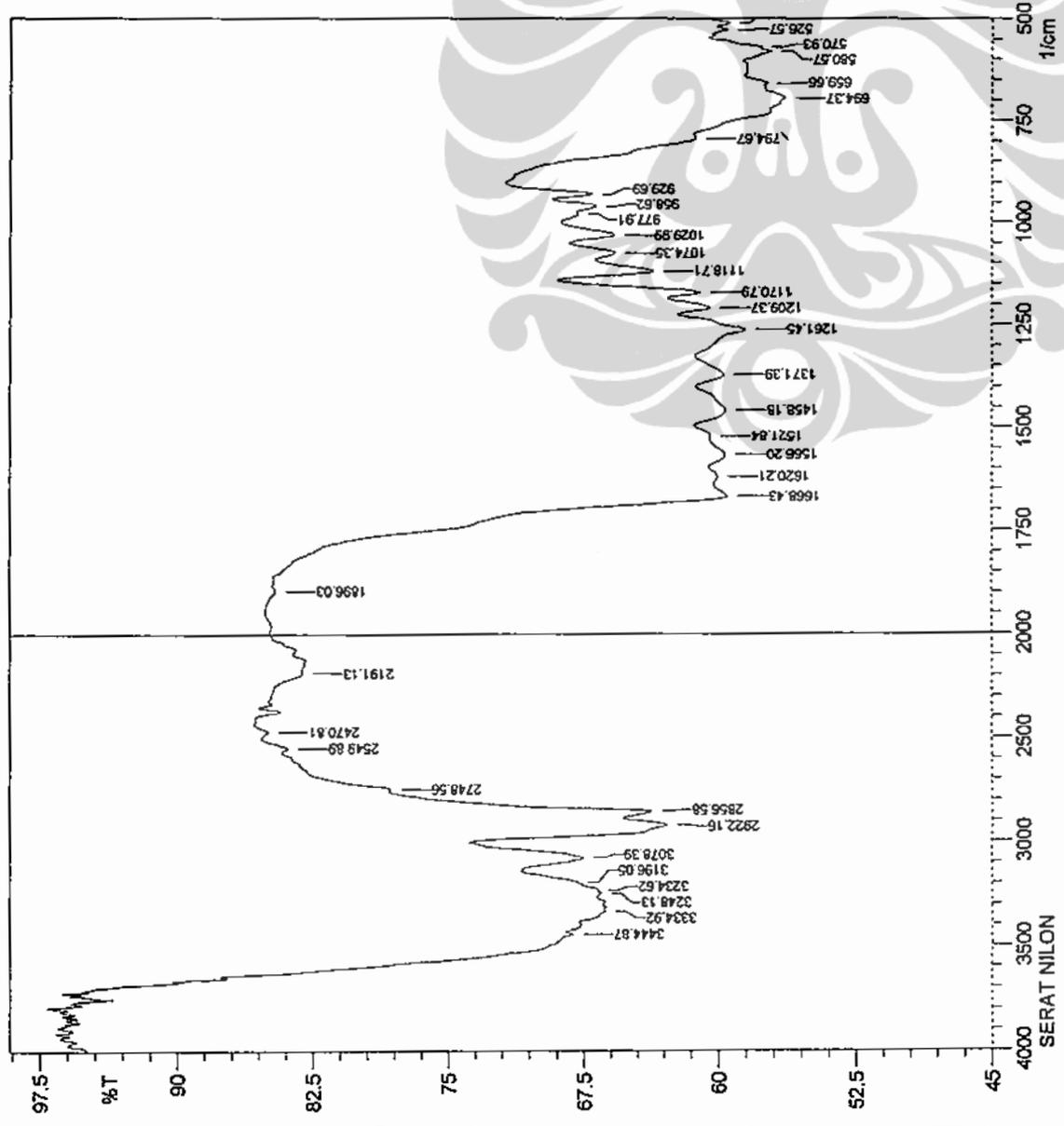
Resolution;

Apodization;

User; master

Comment;
PVA

Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	509.21	1.066	516.92	499.56	3.858	0.082
2	526.57	0.682	536.21	518.85	3.87	0.043
3	570.93	0.252	572.86	547.78	5.749	0.041
4	580.57	0.818	601.79	572.86	6.905	0.09
5	659.66	0.347	663.51	640.37	5.496	0.036
6	694.37	0.465	702.09	671.23	7.573	0.057
7	794.67	1.05	881.47	785.03	17.486	0.248
8	929.69	2.942	941.26	900.76	6.427	0.3
9	958.62	1.722	972.12	943.19	4.916	0.178
10	977.91	0.228	997.2	974.05	3.86	0.025
11	1029.99	2.647	1049.28	999.13	8.66	0.417
12	1074.35	1.676	1089.78	1051.2	6.795	0.228
13	1118.71	4.433	1139.93	1091.71	8.827	0.699
14	1170.79	3.767	1184.29	1141.86	8.191	0.518
15	1209.37	1.919	1222.87	1186.22	7.767	0.288
16	1261.45	3.356	1325.1	1224.8	22.137	1.144
17	1371.39	59.719	1400.32	1327.03	16.029	0.42
18	1458.18	59.596	1494.83	1402.25	20.375	0.672
19	1521.84	60.442	1529.55	1496.76	7.103	0.043
20	1566.2	59.619	1595.13	1531.48	14.114	0.22
21	1620.21	60.05	1639.49	1597.06	9.348	0.06
22	1668.43	59.483	1824.66	1641.42	26.174	0.788
23	1896.03	84.532	1946.18	1884.45	4.407	0.028
24	2191.13	83.018	2301.08	2181.49	8.992	0.017
25	2470.81	84.934	2499.75	2434.17	4.541	0.091
26	2549.89	83.855	2567.25	2501.67	4.799	0.094
27	2748.56	78.153	2756.28	2628.98	11.416	0.044
28	2856.58	63.679	2887.44	2758.21	19.197	0.906
29	2922.16	62.829	3003.17	2889.37	20.621	2.537
30	3078.39	67.48	3134.33	3005.1	20.054	1.891
31	3196.05	67.81	3197.98	3143.97	8.609	0.052
32	3234.62	66.687	3238.48	3197.98	6.993	0.026
33	3248.13	66.521	3265.49	3240.41	4.422	0.021
34	3334.92	66.266	3354.21	3329.14	4.453	0.01
35	3444.87	68.063	3460.3	3433.29	4.465	0.042



Date/Time; 06/08/2010 08:57:02 AM
 No. of Scans;
 Resolution;
 Apodization;
 User; master

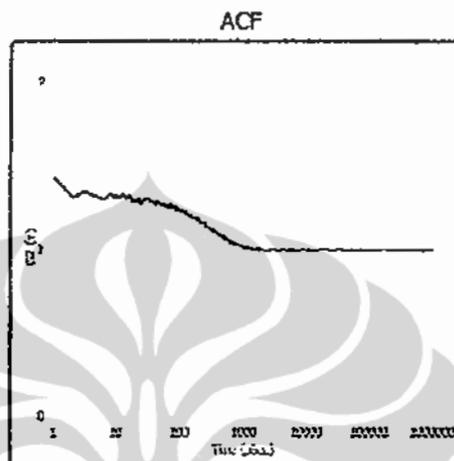
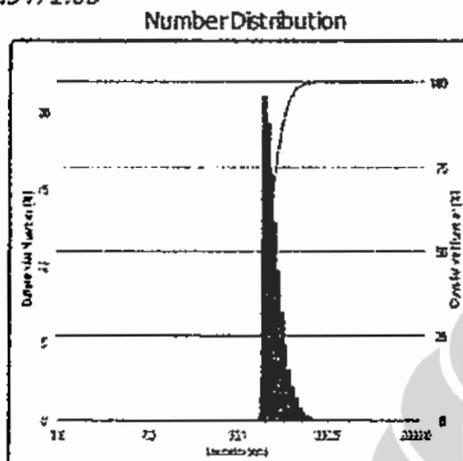
Comment;
 SERAT NILON

Number Distribution

Common

User : Common Group : nanosilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P1R1080310_20100519_1
 Time : 17:24:19 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kiria

Version 1.34 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Cumulants Results

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	117.2	27.6
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	117.2	27.6
Residual :	7.082e-003	(OK)

Diameter (d) : 181.4 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.152
 Diffusion Const. (D) : 2.711e-008 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8979 (cP)
 Scattering Intensity : 9659 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f (%)	f (cum.%)	d (nm)	f (%)	f (cum.%)	d (nm)	f (%)	f (cum.%)	d (nm)	f (%)	f (cum.%)
1.0	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0	53.1	0.0	0.0	386.5	0.0	100.0
1.1	0.0	0.0	7.9	0.0	0.0	57.4	0.0	0.0	418.4	0.0	100.0
1.2	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	62.2	0.0	0.0	453.0	0.0	100.0
1.3	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	67.3	0.0	0.0	490.4	0.0	100.0
1.4	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	72.9	0.0	0.0	531.0	0.0	100.0
1.5	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	78.9	0.0	0.0	574.9	0.0	100.0
1.6	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	85.4	0.0	0.0	622.4	0.0	100.0
1.7	0.0	0.0	12.7	0.0	0.0	92.5	21.1	21.1	673.9	0.0	100.0
1.9	0.0	0.0	13.8	0.0	0.0	100.2	19.3	40.4	729.6	0.0	100.0
2.0	0.0	0.0	14.9	0.0	0.0	108.4	16.3	56.7	789.9	0.0	100.0
2.2	0.0	0.0	16.1	0.0	0.0	117.4	12.9	69.6	855.2	0.0	100.0
2.4	0.0	0.0	17.5	0.0	0.0	127.1	9.7	79.3	925.9	0.0	100.0
2.6	0.0	0.0	18.9	0.0	0.0	137.6	7.0	86.3	1007.4	0.0	100.0
2.8	0.0	0.0	20.5	0.0	0.0	149.0	4.9	91.2	1085.3	0.0	100.0
3.0	0.0	0.0	22.1	0.0	0.0	161.3	3.3	94.5	1175.0	0.0	100.0
3.3	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0	174.6	2.1	96.6	1272.1	0.0	100.0
3.6	0.0	0.0	26.0	0.0	0.0	189.1	1.4	98.0	1377.3	0.0	100.0
3.9	0.0	0.0	28.1	0.0	0.0	204.7	0.8	98.8	1491.1	0.0	100.0
4.2	0.0	0.0	30.4	0.0	0.0	221.6	0.5	99.3	1614.4	0.0	100.0
4.5	0.0	0.0	32.9	0.0	0.0	240.0	0.3	99.6	1747.8	0.0	100.0

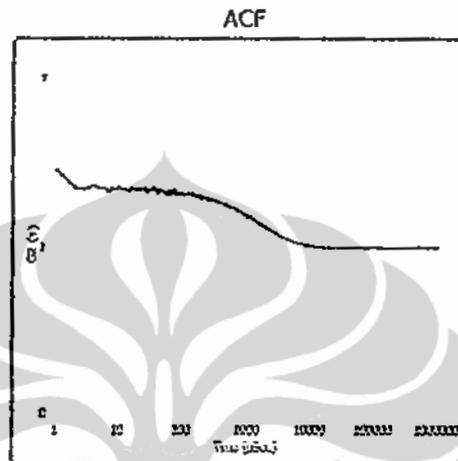
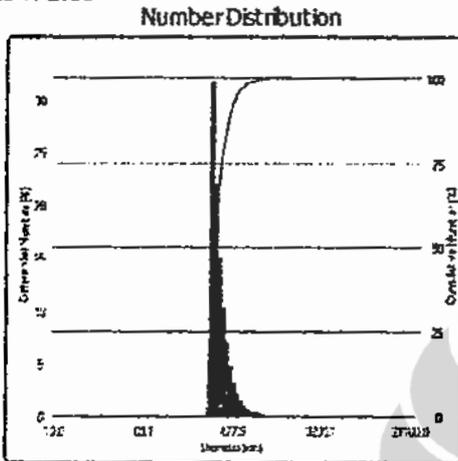
D(10%) : 88.70 (nm) D(50%) : 105.00 (nm) D(90%) : 146.10 (nm)

Number Distribution

Common

User : Common Group : nanosilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P1R2090310_20100519_1
 Time : 17:58:16 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kimia

Version 1.34 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	361.0	88.3
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	361.0	88.3
Residual :	5.589e-003	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d) : 992.5 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.349
 Diffusion Const. (D) : 4.969e-009 (cm²/sec)
Measurement Condition
 Temperature : 25.1 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8858 (cP)
 Scattering Intensity : 10706 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	69.1	0.0	0.0	477.5	3.1	93.6	3299.1	0.0	100.0
10.8	0.0	0.0	74.7	0.0	0.0	515.8	2.1	95.7	3564.3	0.0	100.0
11.7	0.0	0.0	80.7	0.0	0.0	557.3	1.4	97.1	3850.8	0.0	100.0
12.6	0.0	0.0	87.1	0.0	0.0	602.1	1.0	98.1	4160.4	0.0	100.0
13.6	0.0	0.0	94.1	0.0	0.0	650.5	0.6	98.7	4494.8	0.0	100.0
14.7	0.0	0.0	101.7	0.0	0.0	702.8	0.4	99.1	4856.1	0.0	100.0
15.9	0.0	0.0	109.9	0.0	0.0	759.0	0.3	99.4	5246.5	0.0	100.0
17.2	0.0	0.0	118.7	0.0	0.0	820.3	0.2	99.6	5668.2	0.0	100.0
18.6	0.0	0.0	128.3	0.0	0.0	886.3	0.1	99.8	6123.9	0.0	100.0
20.1	0.0	0.0	138.6	0.0	0.0	957.5	0.1	99.8	6616.1	0.0	100.0
21.7	0.0	0.0	149.7	0.0	0.0	1034.5	0.1	99.9	7148.0	0.0	100.0
23.4	0.0	0.0	161.7	0.0	0.0	1117.6	0.0	99.9	7722.5	0.0	100.0
25.3	0.0	0.0	174.7	0.0	0.0	1207.5	0.0	100.0	8343.3	0.0	100.0
27.3	0.0	0.0	188.8	0.0	0.0	1304.5	0.0	100.0	9014.0	0.0	100.0
29.5	0.0	0.0	204.0	0.0	0.0	1409.4	0.0	100.0	9738.6	0.0	100.0
31.9	0.0	0.0	220.4	0.0	0.0	1522.7	0.0	100.0	10521.4	0.0	100.0
34.5	0.0	0.0	238.1	0.0	0.0	1645.1	0.0	100.0	11367.2	0.0	100.0
37.2	0.0	0.0	257.2	0.0	0.0	1777.3	0.0	100.0	12281.0	0.0	100.0
40.2	0.0	0.0	277.9	0.0	0.0	1920.2	0.0	100.0	13268.2	0.0	100.0
43.5	0.0	0.0	300.2	31.6	31.6	2074.6	0.0	100.0	14334.7	0.0	100.0

D(10%) : 284.80 (nm) D(50%) : 320.40 (nm) D(90%) : 438.70 (nm)

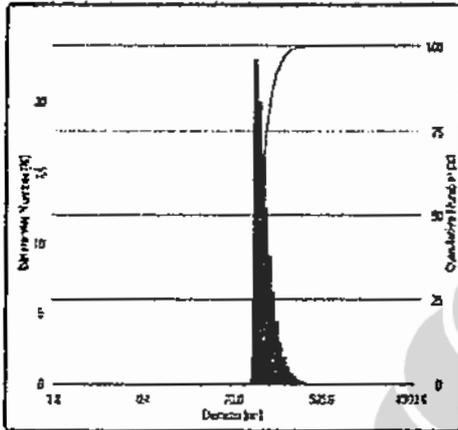
Number Distribution

Common

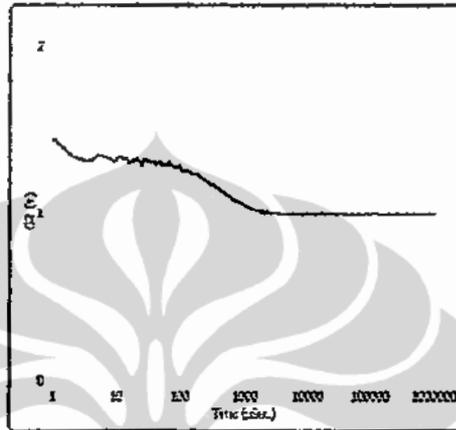
User : Common Group : nanosilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P1R3100310_20100519_1
 Time : 18:18:43 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kimia

Version 1.34 / 2.00

Number Distribution



ACF



Distribution Results (Contin)

Cumulants Results

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	148.5	37.9
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	148.5	37.9
Residual :	6.490e-003	(O.K)

Diameter (d) : 280.6 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.192
 Diffusion Const. (D) : 1.753e-008 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 8640 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
1.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	585.6	0.0	100.0
1.1	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	76.2	0.0	0.0	637.5	0.0	100.0
1.2	0.0	0.0	9.9	0.0	0.0	83.0	0.0	0.0	694.0	0.0	100.0
1.3	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	90.3	0.0	0.0	755.6	0.0	100.0
1.4	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	98.3	0.0	0.0	822.6	0.0	100.0
1.5	0.0	0.0	12.8	0.0	0.0	107.0	0.0	0.0	895.6	0.0	100.0
1.7	0.0	0.0	13.9	0.0	0.0	116.5	23.0	23.0	975.0	0.0	100.0
1.8	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	126.9	20.1	43.1	1061.4	0.0	100.0
2.0	0.0	0.0	16.5	0.0	0.0	138.1	16.3	59.4	1155.6	0.0	100.0
2.1	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	150.4	12.5	71.8	1258.0	0.0	100.0
2.3	0.0	0.0	19.6	0.0	0.0	163.7	9.2	81.0	1369.6	0.0	100.0
2.5	0.0	0.0	21.3	0.0	0.0	178.2	6.5	87.5	1491.1	0.0	100.0
2.8	0.0	0.0	23.2	0.0	0.0	194.0	4.5	92.0	1623.3	0.0	100.0
3.0	0.0	0.0	25.2	0.0	0.0	211.2	3.0	94.9	1767.3	0.0	100.0
3.3	0.0	0.0	27.5	0.0	0.0	230.0	1.9	96.9	1924.0	0.0	100.0
3.6	0.0	0.0	29.9	0.0	0.0	250.4	1.2	98.1	2094.6	0.0	100.0
3.9	0.0	0.0	32.6	0.0	0.0	272.6	0.8	98.9	2280.4	0.0	100.0
4.2	0.0	0.0	35.5	0.0	0.0	296.7	0.5	99.3	2482.6	0.0	100.0
4.6	0.0	0.0	38.6	0.0	0.0	323.1	0.3	99.6	2702.7	0.0	100.0
5.0	0.0	0.0	42.0	0.0	0.0	351.7	0.2	99.8	2942.4	0.0	100.0

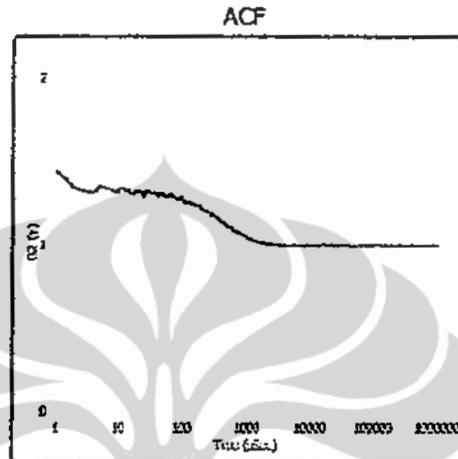
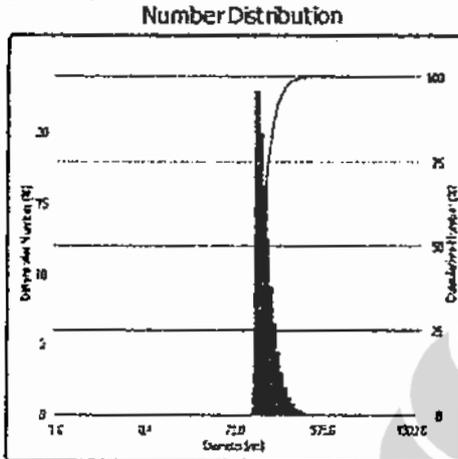
D(10%) : 111.10 (nm) D(50%) : 131.50 (nm) D(90%) : 186.90 (nm)

Number Distribution

Common

User : Common Group : nanosilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P1R3100310_20100519_1
 Time : 18:18:43 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kimia

Version 1.34 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	148.5	37.9
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	148.5	37.9
Residual :	6.490e-003	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d) : 280.6 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.192
 Diffusion Const. (D) : 1.753e-008 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8978 (cP)
 Scattering Intensity : 8640 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)
1.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	585.6	0.0	100.0
1.1	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	76.2	0.0	0.0	637.5	0.0	100.0
1.2	0.0	0.0	9.9	0.0	0.0	83.0	0.0	0.0	694.0	0.0	100.0
1.3	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	90.3	0.0	0.0	755.6	0.0	100.0
1.4	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	98.3	0.0	0.0	822.6	0.0	100.0
1.5	0.0	0.0	12.8	0.0	0.0	107.0	0.0	0.0	895.6	0.0	100.0
1.7	0.0	0.0	13.9	0.0	0.0	116.5	23.0	23.0	975.0	0.0	100.0
1.8	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	126.9	20.1	43.1	1061.4	0.0	100.0
2.0	0.0	0.0	16.5	0.0	0.0	138.1	16.3	59.4	1155.6	0.0	100.0
2.1	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	150.4	12.5	71.8	1258.0	0.0	100.0
2.3	0.0	0.0	19.6	0.0	0.0	163.7	9.2	81.0	1369.6	0.0	100.0
2.5	0.0	0.0	21.3	0.0	0.0	178.2	6.5	87.5	1491.1	0.0	100.0
2.8	0.0	0.0	23.2	0.0	0.0	194.0	4.5	92.0	1623.3	0.0	100.0
3.0	0.0	0.0	25.2	0.0	0.0	211.2	3.0	94.9	1767.3	0.0	100.0
3.3	0.0	0.0	27.5	0.0	0.0	230.0	1.9	96.9	1924.0	0.0	100.0
3.6	0.0	0.0	29.9	0.0	0.0	250.4	1.2	98.1	2094.6	0.0	100.0
3.9	0.0	0.0	32.6	0.0	0.0	272.6	0.8	98.9	2280.4	0.0	100.0
4.2	0.0	0.0	35.5	0.0	0.0	296.7	0.5	99.3	2482.6	0.0	100.0
4.6	0.0	0.0	38.6	0.0	0.0	323.1	0.3	99.6	2702.7	0.0	100.0
5.0	0.0	0.0	42.0	0.0	0.0	351.7	0.2	99.8	2942.4	0.0	100.0

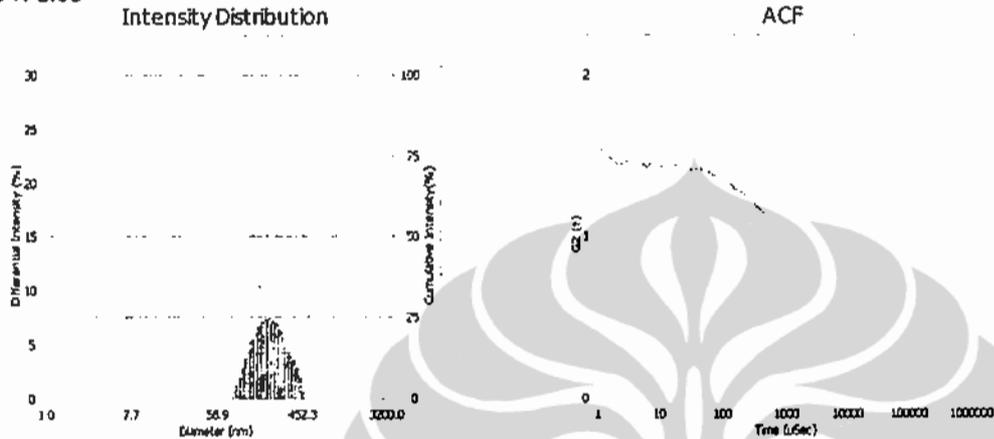
D(10%): 111.10 (nm) D(50%): 131.50 (nm) D(90%): 186.90 (nm)

Intensity Distribution

Common

User : Common Group : nanosilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P2R1120410_20100519_1
 Time : 18:38:16 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kimia

Version 1.34 / 2.00



Distribution Results (Contn)

Cumulants Results

Peak	Diameter(nm)	Std. Dev.
1	214.9	84.4
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	214.9	84.4
Residual :	2.056e-002	(O.K)

Diameter	(d) : 254.3	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.118	
Diffusion Const.	(D) : 1.934e-008	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 10540	(cps)

Intensity Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
1.0	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	58.9	0.0	0.0	452.3	1.4	100.0
1.1	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0	63.9	0.0	0.0	490.7	0.0	100.0
1.2	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	69.4	0.0	0.0	532.4	0.0	100.0
1.3	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	75.2	0.0	0.0	577.6	0.0	100.0
1.4	0.0	0.0	10.6	0.0	0.0	81.6	0.0	0.0	626.7	0.0	100.0
1.5	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	88.6	1.3	1.3	679.9	0.0	100.0
1.6	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	96.1	2.0	3.3	737.6	0.0	100.0
1.8	0.0	0.0	13.6	0.0	0.0	104.3	2.8	6.1	800.3	0.0	100.0
1.9	0.0	0.0	14.7	0.0	0.0	113.1	3.7	9.8	868.3	0.0	100.0
2.1	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0	122.7	4.6	14.3	942.0	0.0	100.0
2.3	0.0	0.0	17.3	0.0	0.0	133.1	5.4	19.7	1022.1	0.0	100.0
2.5	0.0	0.0	18.8	0.0	0.0	144.5	6.1	25.9	1108.9	0.0	100.0
2.7	0.0	0.0	20.4	0.0	0.0	156.7	6.7	32.6	1203.0	0.0	100.0
2.9	0.0	0.0	22.2	0.0	0.0	170.0	7.1	39.7	1305.2	0.0	100.0
3.1	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0	184.5	7.4	47.1	1416.1	0.0	100.0
3.4	0.0	0.0	26.1	0.0	0.0	200.2	7.4	54.4	1536.4	0.0	100.0
3.7	0.0	0.0	28.3	0.0	0.0	217.2	7.2	61.7	1666.9	0.0	100.0
4.0	0.0	0.0	30.7	0.0	0.0	235.6	6.9	68.6	1808.5	0.0	100.0
4.3	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	255.6	6.4	75.0	1962.1	0.0	100.0
4.7	0.0	0.0	36.1	0.0	0.0	277.3	5.8	80.8	2128.7	0.0	100.0

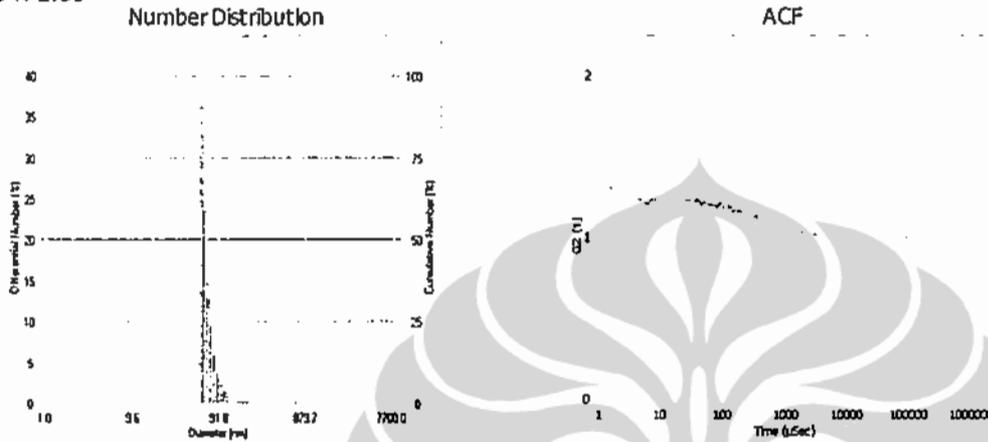
D(10%): 113.60 (nm) D(50%): 190.60 (nm) D(90%): 325.20 (nm)

Number Distribution

Common

User : Common Group : nanosilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P2R2120410_20100519_1
 Time : 19:03:41 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kimia

Version 1.34 / 2.00



Distribution Results (Contn)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	69.4	16.2
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	69.4	16.2
Residual :	1.072e-002	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d)	: 396.5	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.286	
Diffusion Const. (D)	: 1.241e-008	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 6331	(cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)	d (nm)	f(%)	f(cum.%)
1.0	0.0	0.0	9.6	0.0	0.0	91.8	3.7	94.1	879.7	0.0	100.0
1.1	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	100.5	2.3	96.4	962.9	0.0	100.0
1.2	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	110.0	1.4	97.8	1054.0	0.0	100.0
1.3	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	120.4	0.9	98.7	1153.7	0.0	100.0
1.4	0.0	0.0	13.8	0.0	0.0	131.8	0.5	99.2	1262.8	0.0	100.0
1.6	0.0	0.0	15.1	0.0	0.0	144.3	0.3	99.5	1382.3	0.0	100.0
1.7	0.0	0.0	16.5	0.0	0.0	157.9	0.2	99.7	1513.1	0.0	100.0
1.9	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	172.9	0.1	99.8	1656.2	0.0	100.0
2.1	0.0	0.0	19.7	0.0	0.0	189.2	0.1	99.9	1812.9	0.0	100.0
2.3	0.0	0.0	21.6	0.0	0.0	207.1	0.0	99.9	1984.4	0.0	100.0
2.5	0.0	0.0	23.7	0.0	0.0	226.7	0.0	100.0	2172.1	0.0	100.0
2.7	0.0	0.0	25.9	0.0	0.0	248.1	0.0	100.0	2377.6	0.0	100.0
3.0	0.0	0.0	28.3	0.0	0.0	271.6	0.0	100.0	2602.6	0.0	100.0
3.2	0.0	0.0	31.0	0.0	0.0	297.3	0.0	100.0	2848.8	0.0	100.0
3.5	0.0	0.0	34.0	0.0	0.0	325.4	0.0	100.0	3118.3	0.0	100.0
3.9	0.0	0.0	37.2	0.0	0.0	356.2	0.0	100.0	3413.3	0.0	100.0
4.2	0.0	0.0	40.7	0.0	0.0	389.9	0.0	100.0	3736.2	0.0	100.0
4.6	0.0	0.0	44.5	0.0	0.0	426.8	0.0	100.0	4089.7	0.0	100.0
5.1	0.0	0.0	48.8	0.0	0.0	467.2	0.0	100.0	4476.6	0.0	100.0
5.6	0.0	0.0	53.4	0.0	0.0	511.4	0.0	100.0	4900.1	0.0	100.0

D (10%) : 54.70 (nm) D (50%) : 61.50 (nm) D (90%) : 83.30 (nm)

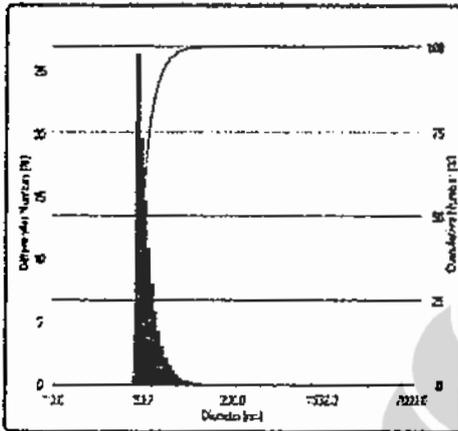
Number Distribution

Common

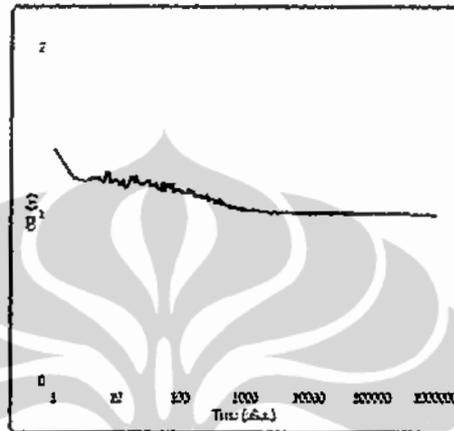
User : Common Group : nanosilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P2R3-
 Time : 19:17:09 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kimia

Version 1.34 / 2.00

Number Distribution



ACF



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	57.4	14.0
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	57.4	14.0
Residual :	1.963e-002	(O.K)

Cumulants Results

Diameter (d) : 468.0 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.212
 Diffusion Const. (D) : 1.054e-008 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.1 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8858 (cP)
 Scattering Intensity : 6160 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f (%)	f (cum.%)	d (nm)	f (%)	f (cum.%)	d (nm)	f (%)	f (cum.%)	d (nm)	f (%)	f (cum.%)
10.0	0.0	0.0	53.7	14.7	60.8	288.8	0.0	100.0	1552.3	0.0	100.0
10.7	0.0	0.0	57.5	10.9	71.7	308.9	0.0	100.0	1660.3	0.0	100.0
11.4	0.0	0.0	61.5	8.0	79.6	330.4	0.0	100.0	1775.9	0.0	100.0
12.2	0.0	0.0	65.8	5.8	85.5	353.4	0.0	100.0	1899.4	0.0	100.0
13.1	0.0	0.0	70.3	4.2	89.7	378.0	0.0	100.0	2031.6	0.0	100.0
14.0	0.0	0.0	75.2	3.0	92.7	404.3	0.0	100.0	2172.9	0.0	100.0
15.0	0.0	0.0	80.5	2.2	94.9	432.4	0.0	100.0	2324.1	0.0	100.0
16.0	0.0	0.0	86.1	1.5	96.4	462.5	0.0	100.0	2485.8	0.0	100.0
17.1	0.0	0.0	92.1	1.1	97.5	494.7	0.0	100.0	2658.8	0.0	100.0
18.3	0.0	0.0	98.5	0.8	98.3	529.1	0.0	100.0	2843.8	0.0	100.0
19.6	0.0	0.0	105.3	0.5	98.8	566.0	0.0	100.0	3041.7	0.0	100.0
21.0	0.0	0.0	112.6	0.4	99.2	605.3	0.0	100.0	3253.3	0.0	100.0
22.4	0.0	0.0	120.5	0.3	99.5	647.5	0.0	100.0	3479.7	0.0	100.0
24.0	0.0	0.0	128.9	0.2	99.6	692.5	0.0	100.0	3721.8	0.0	100.0
25.6	0.0	0.0	137.8	0.1	99.8	740.7	0.0	100.0	3980.7	0.0	100.0
27.4	0.0	0.0	147.4	0.1	99.8	792.2	0.0	100.0	4257.7	0.0	100.0
29.3	0.0	0.0	157.7	0.1	99.9	847.4	0.0	100.0	4554.0	0.0	100.0
31.4	0.0	0.0	168.6	0.0	99.9	906.3	0.0	100.0	4870.8	0.0	100.0
33.6	0.0	0.0	180.4	0.0	100.0	969.4	0.0	100.0	5209.7	0.0	100.0
35.9	0.0	0.0	192.9	0.0	100.0	1036.8	0.0	100.0	5572.2	0.0	100.0

D(10%) : 45.10 (nm) D(50%) : 51.20 (nm) D(90%) : 70.80 (nm)

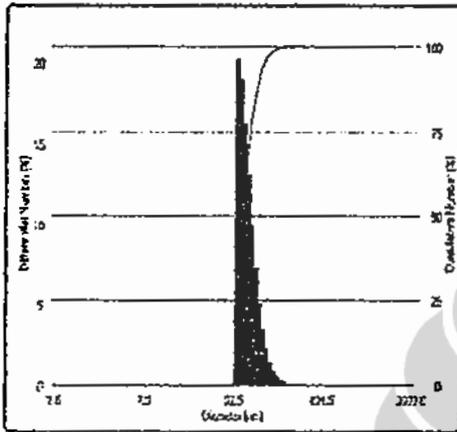
Number Distribution

Common

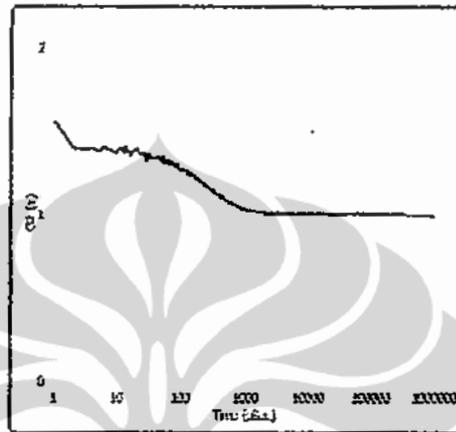
User : Common Group : nanosilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P3R1120410_20100519_1
 Time : 19:26:30 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kimia

Version 1.34 / 2.00

Number Distribution



ACF



Distribution Results (Contin)

Cumulant's Results

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	87.5	21.7
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	87.5	21.7
Residual :	2.513e-002	(O.K)

Diameter (d) : 273.8 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.130
 Diffusion Const. (D) : 1.797e-008 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 6611 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f (%)	f (cum.%)	d (nm)	f (%)	f (cum.%)	d (nm)	f (%)	f (cum.%)	d (nm)	f (%)	f (cum.%)
1.0	0.0	0.0	7.9	0.0	0.0	62.5	0.0	0.0	494.5	0.0	100.0
1.1	0.0	0.0	8.6	0.0	0.0	67.9	20.2	20.2	537.1	0.0	100.0
1.2	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	73.8	19.0	39.2	583.5	0.0	100.0
1.3	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0	80.1	16.3	55.5	633.8	0.0	100.0
1.4	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	87.1	13.1	68.5	688.4	0.0	100.0
1.5	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	94.6	10.0	78.5	747.8	0.0	100.0
1.6	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	102.7	7.2	85.7	812.3	0.0	100.0
1.8	0.0	0.0	14.1	0.0	0.0	111.6	5.1	90.8	882.3	0.0	100.0
1.9	0.0	0.0	15.3	0.0	0.0	121.2	3.4	94.2	958.4	0.0	100.0
2.1	0.0	0.0	16.6	0.0	0.0	131.6	2.2	96.5	1041.0	0.0	100.0
2.3	0.0	0.0	18.1	0.0	0.0	143.0	1.4	97.9	1130.8	0.0	100.0
2.5	0.0	0.0	19.6	0.0	0.0	155.3	0.9	98.8	1228.3	0.0	100.0
2.7	0.0	0.0	21.3	0.0	0.0	168.7	0.5	99.3	1334.2	0.0	100.0
2.9	0.0	0.0	23.2	0.0	0.0	183.3	0.3	99.6	1449.3	0.0	100.0
3.2	0.0	0.0	25.2	0.0	0.0	199.1	0.2	99.8	1574.3	0.0	100.0
3.5	0.0	0.0	27.3	0.0	0.0	216.2	0.1	99.9	1710.0	0.0	100.0
3.8	0.0	0.0	29.7	0.0	0.0	234.9	0.1	100.0	1857.5	0.0	100.0
4.1	0.0	0.0	32.3	0.0	0.0	255.1	0.0	100.0	2017.7	0.0	100.0
4.4	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	277.1	0.0	100.0	2191.6	0.0	100.0
4.8	0.0	0.0	38.1	0.0	0.0	301.0	0.0	100.0	2380.6	0.0	100.0

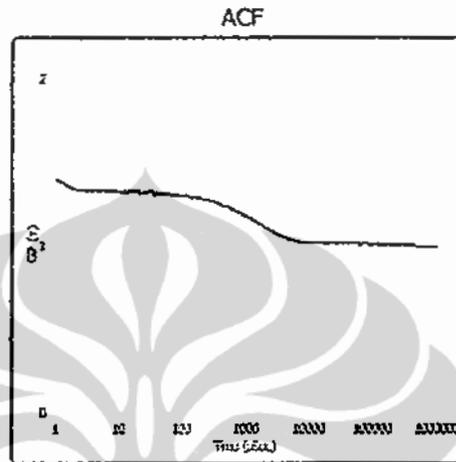
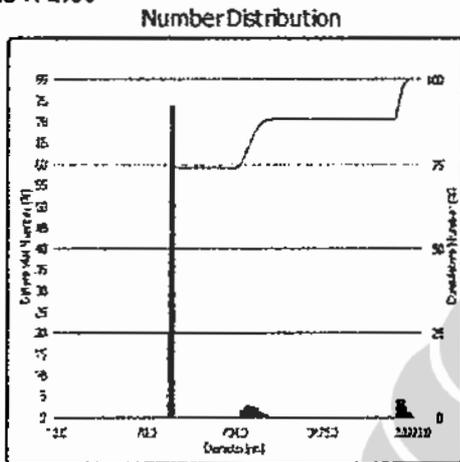
D(10%) : 65.10 (nm) D(50%) : 78.00 (nm) D(90%) : 110.10 (nm)

Number Distribution

Common

User : Common Group : Nanasilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P3R2130410_20100519_1
 Time : 18:44:44 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kimia

Version 1.34 / 2.00



Distribution Results (Cont'n)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	121.4	0.0
2	729.8	118.1
3	19,453.6	1,469.1
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	2,496.9	6,238.9
Residual :	1.965e-002	(O.K)

Cumulant's Results

Diameter (d)	: 1056.9	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.351	
Diffusion Const. (D)	: 4.654e-009	(cm ² /sec)
Measurement Condition		
Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8978	(cP)
Scattering Intensity	: 14093	(cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	70.3	0.0	0.0	494.3	0.0	74.0	3475.3	0.0	88.2
10.8	0.0	0.0	76.0	0.0	0.0	534.4	0.0	74.0	3757.3	0.0	88.2
11.7	0.0	0.0	82.2	0.0	0.0	577.8	1.5	75.5	4062.1	0.0	88.2
12.6	0.0	0.0	88.8	0.0	0.0	624.6	2.5	78.0	4391.7	0.0	88.2
13.7	0.0	0.0	96.1	0.0	0.0	675.3	2.8	80.9	4748.0	0.0	88.2
14.8	0.0	0.0	103.8	0.0	0.0	730.1	2.6	83.4	5133.2	0.0	88.2
16.0	0.0	0.0	112.3	0.0	0.0	789.4	2.0	85.4	5549.7	0.0	88.2
17.3	0.0	0.0	121.4	74.0	74.0	853.4	1.3	86.7	6000.0	0.0	88.2
18.7	0.0	0.0	131.2	0.0	74.0	922.6	0.8	87.5	6486.8	0.0	88.2
20.2	0.0	0.0	141.9	0.0	74.0	997.5	0.4	87.9	7013.1	0.0	88.2
21.8	0.0	0.0	153.4	0.0	74.0	1078.4	0.2	88.1	7582.1	0.0	88.2
23.6	0.0	0.0	165.8	0.0	74.0	1165.9	0.1	88.1	8197.3	0.0	88.2
25.5	0.0	0.0	179.3	0.0	74.0	1260.5	0.0	88.2	8862.4	0.0	88.2
27.6	0.0	0.0	193.8	0.0	74.0	1362.8	0.0	88.2	9581.4	0.0	88.2
29.8	0.0	0.0	209.6	0.0	74.0	1473.4	0.0	88.2	10358.8	0.0	88.2
32.2	0.0	0.0	226.6	0.0	74.0	1592.9	0.0	88.2	11199.3	0.0	88.2
34.8	0.0	0.0	244.9	0.0	74.0	1722.2	0.0	88.2	12107.9	0.0	88.2
37.7	0.0	0.0	264.8	0.0	74.0	1861.9	0.0	88.2	13090.3	0.0	88.2
40.7	0.0	0.0	286.3	0.0	74.0	2012.9	0.0	88.2	14152.4	0.0	88.2
44.0	0.0	0.0	309.5	0.0	74.0	2176.3	0.0	88.2	15300.6	0.0	88.2

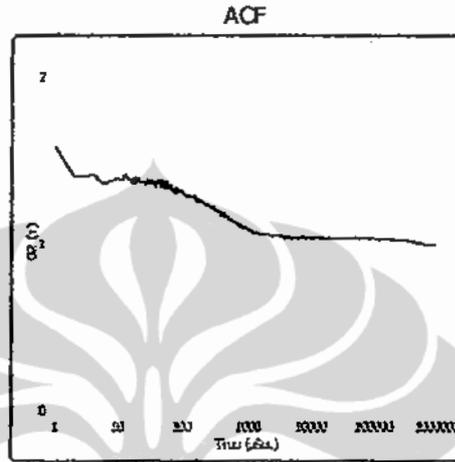
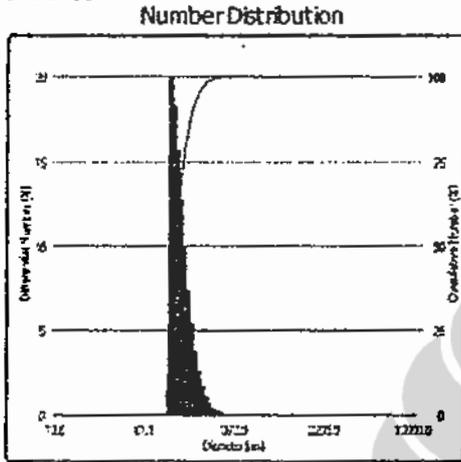
D(10%): 113.50 (nm); D(50%): 118.40 (nm); D(90%): 17,129.20 (nm)

Number Distribution

Common

User : Common Group : nanosilver Repetition : 1/1
 Date : 5/19/2010 File Name : P3R313041D_20100519_1
 Time : 19:35:25 Sample Information : nanosilver
 SOP Name : Mba Mami Kimia

Version 1.34 / 2.00



Distribution Results (Contin)

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	127.8	28.7
2	8,764.8	941.7
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
Average	127.8	29.1
Residual :	5.826e-002	(O.K)

Cumulant's Results

Diameter (d) : 669.2 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.288
 Diffusion Const. (D) : 7.351e-009 (cm²/sec)
 Measurement Condition
 Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 4774 (cps)

Number Distribution Table

d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)	d (nm)	f (%)	f(cum.%)
10.0	0.0	0.0	61.1	0.0	0.0	373.9	0.0	100.0	2285.9	0.0	100.0
10.8	0.0	0.0	65.7	0.0	0.0	401.9	0.0	100.0	2457.5	0.0	100.0
11.6	0.0	0.0	70.7	0.0	0.0	432.1	0.0	100.0	2642.1	0.0	100.0
12.4	0.0	0.0	76.0	0.0	0.0	464.6	0.0	100.0	2840.6	0.0	100.0
13.4	0.0	0.0	81.7	0.0	0.0	499.5	0.0	100.0	3054.0	0.0	100.0
14.4	0.0	0.0	87.8	0.0	0.0	537.0	0.0	100.0	3283.4	0.0	100.0
15.4	0.0	0.0	94.4	0.0	0.0	577.3	0.0	100.0	3530.0	0.0	100.0
16.6	0.0	0.0	101.5	19.9	19.9	620.7	0.0	100.0	3795.1	0.0	100.0
17.8	0.0	0.0	109.1	18.3	38.3	667.3	0.0	100.0	4080.2	0.0	100.0
19.2	0.0	0.0	117.3	15.7	54.0	717.4	0.0	100.0	4386.7	0.0	100.0
20.6	0.0	0.0	126.2	12.8	66.7	771.3	0.0	100.0	4716.2	0.0	100.0
22.2	0.0	0.0	135.6	9.9	76.6	829.3	0.0	100.0	5070.4	0.0	100.0
23.8	0.0	0.0	145.8	7.4	84.0	891.6	0.0	100.0	5451.2	0.0	100.0
25.6	0.0	0.0	156.8	5.3	89.4	958.5	0.0	100.0	5860.7	0.0	100.0
27.6	0.0	0.0	168.5	3.7	93.1	1030.5	0.0	100.0	6300.9	0.0	100.0
29.6	0.0	0.0	181.2	2.5	95.6	1107.9	0.0	100.0	6774.2	0.0	100.0
31.9	0.0	0.0	194.8	1.7	97.3	1191.1	0.0	100.0	7283.0	0.0	100.0
34.3	0.0	0.0	209.4	1.1	98.4	1280.6	0.0	100.0	7830.1	0.0	100.0
36.8	0.0	0.0	225.2	0.7	99.1	1376.8	0.0	100.0	8418.2	0.0	100.0
39.6	0.0	0.0	242.1	0.4	99.5	1480.2	0.0	100.0	9050.5	0.0	100.0

D(10%) : 97.90 (nm) D(50%) : 115.20 (nm) D(90%) : 158.80 (nm)