



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN SENYAWA POLISILOKSAN
PADA KOMPOSIT KATUN DAN POLIESTER DENGAN
NANOSILVER TERHADAP STABILITAS ANTIBAKTERI**

SKRIPSI

**MUHAMAD HILMAN ANSHARI
0706269930**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN SENYAWA POLISILOKSAN
PADA KOMPOSIT KATUN DAN POLIESTER DENGAN
NANOSILVER TERHADAP STABILITAS ANTIBAKTERI**

SKRIPSI

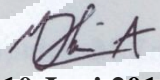
Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**MUHAMAD HILMAN ANSHARI
0706269930**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Muhamad Hilman Anshari
NPM : 0706269930
Tanda Tangan : 
Tanggal : 10 Juni 2011



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Muhamad Hilman Anshari
NPM : 0706269930
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Senyawa Polisiloksan pada Komposit Katun dan Poliester dengan Nanosilver terhadap Stabilitas Antibakteri

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia 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 I : Ir. Abdul Wahid, MT

Penguji II : Ir. Praswasti PDK Wulan, MT

Penguji III : Ir. Yuliusman, M.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Juni 2011

KATA PENGANTAR

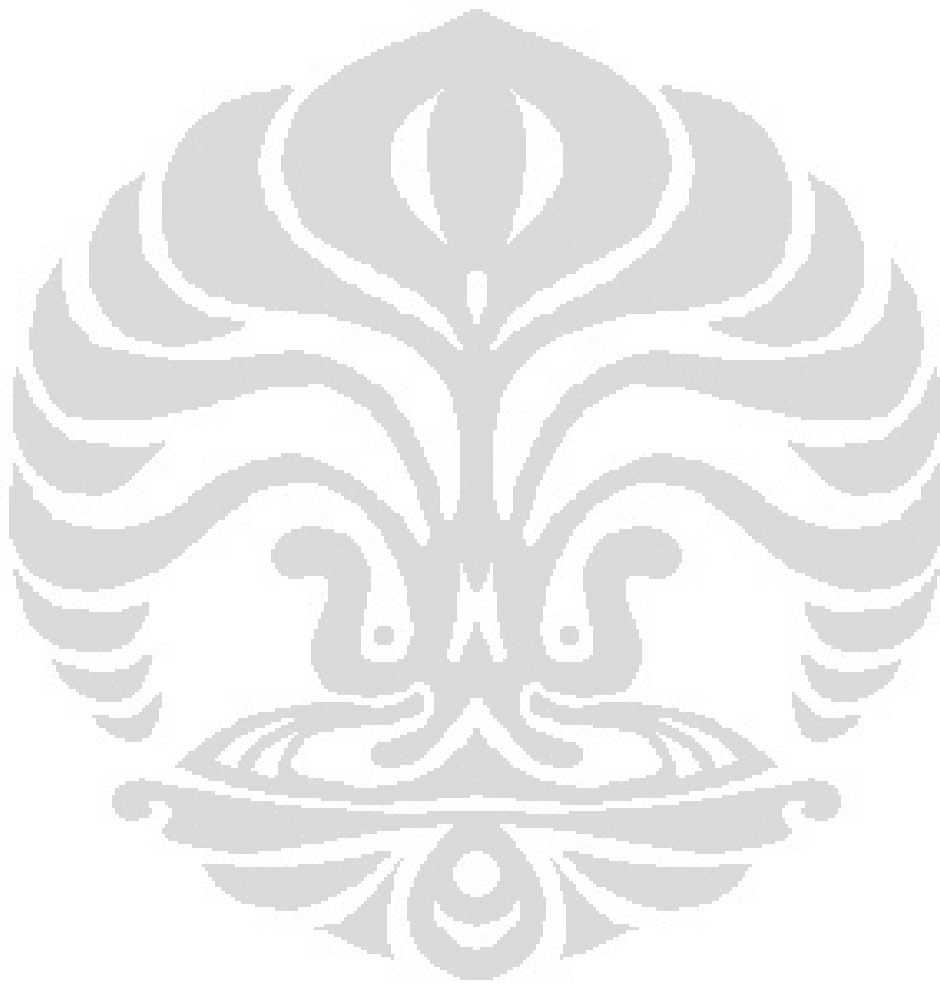
Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul “Pengaruh Penambahan Senyawa Polisiloksan pada Komposit Katun dan Poliester dengan Nanosilver terhadap Stabilitas Antibakteri” ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa
2. Dr. Ir. Asep Handaya Saputra dan Dr. Eng. Agus Haryono selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
3. Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI dan seluruh dosen Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah mengajar dan memberi saya wawasan sebagai mahasiswa teknik kimia;
4. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
5. Friska Amallia atas perhatian dan dukungannya yang membuat saya selalu bersemangat dalam menyelesaikan skripsi ini;
6. Bapak Joddy Arya Laksmono yang telah bersedia memberikan bantuannya dalam menyelesaikan penelitian pada skripsi ini;
7. Andrea Baskoro Prabowo sebagai rekan penelitian dan Tekim07 yang selalu berjuang bersama dalam menyelesaikan skripsi;
8. Mbak Mamiiek, Mas Randy, Ka Nita, Teh Hany, Teh Lala, Bu Ijah, dan rekan-rekan lain pada PP Kimia LIPI yang telah memberikan bantuan waktu dan tenaganya dalam melaksanakan penelitian ini;
9. Seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan kedepannya.

Depok, 10 Juni 2011

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Muhamad Hilman Anshari

NPM : 0706269930

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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 Katun dan Poliester dengan Nanosilver terhadap Stabilitas Antibakteri”

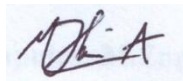
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 10 Juni 2011

Yang menyatakan,



(Muhamad Hilman Anshari)

ABSTRAK

Nama : Muhamad Hilman Anshari
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pengaruh Penambahan Senyawa Polisisiloksan pada Komposit Katun dan Poliester dengan Nanosilver terhadap Stabilitas Antibakteri

Koloid nanosilver diketahui memiliki kemampuan antibakteri termasuk pada bahan tekstil. Namun nanosilver pada serat tekstil tidak menempel secara permanen. Pada penelitian ini, komposit serat poliester dan katun dengan nanosilver ditambahkan polisisiloksan sebagai pengikat. Nanosilver dipreparasi dengan reduksi kimia dengan polivinil alkohol sebagai stabilizer. Hasil uji antibakteri terhadap sampel koloid nanosilver (55 nm) dengan konsentrasi AgNO_3 250 ppm dan reduktor asam sitrat menghasilkan aktivitas antibakteri yang paling optimal. Uji antibakteri menunjukkan bahwa penambahan senyawa polisisiloksan pada komposit katun-nanosilver dan poliester-nanosilver memberikan hasil stabilitas antibakteri yang baik setelah tiga kali pencucian.

Kata kunci: nanosilver, poliester, katun, polisisiloksan, antibakteri

ABSTRACT

Name : Muhamad Hilman Anshari
Study Program : Chemical Engineering
Title : The Effect of Additional Polysiloxane Compound on Composite of Cotton and Polyester with Nanosilver to Antibacterial Stability

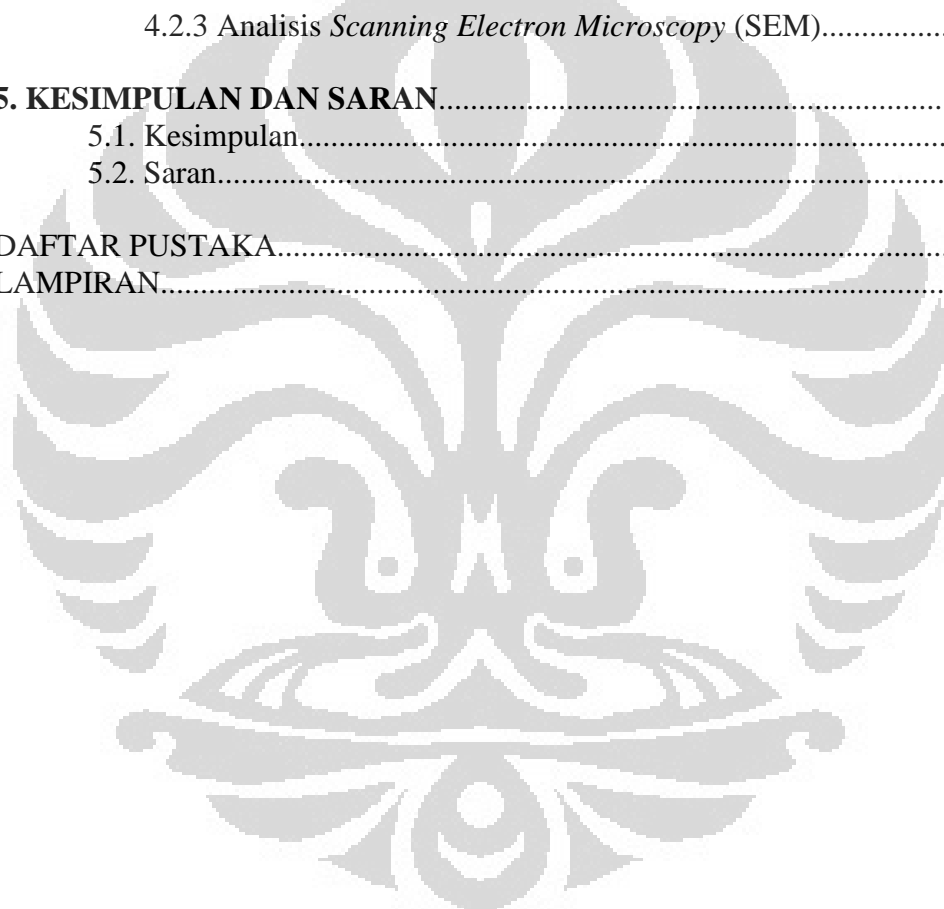
The Nanosilver colloid is known to have an antibacterial activity including its application on textile materials. However, nanosilver can't adhere permanently on the textile fibers. In this research, the composite of cotton and polyester fibers with nanosilver is added with polysiloxane compound as binding substance. The Nanosilver is prepared by chemical reduction method with polyvinyl alcohol as stabilizer. The Result of antibacterial experiment to nanosilver colloid (55 nm) with the concentration of AgNO_3 250 ppm and citric acid as reducing agent give the best antibacterial activity. The Antibacterial experiment showed that the addition of polysiloxane compound on composite of cotton-nanosilver and polyester-nanosilver give good result of antibacterial stability after three times of washing treatment.

Keywords: nanosilver, polyester, cotton, polysiloxane, antibacteria

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 <i>State Of The Arts</i> Penelitian.....	8
2.1.1 Nanosilver sebagai Anti-Bakteri.....	8
2.1.2 Penggunaan Nanosilver pada Serat Tekstil.....	9
2.2 Serat Poliester.....	15
2.3 Serat Katun.....	15
2.4 Partikel Nanosilver.....	16
2.5 Komposit.....	18
2.5.1 <i>Reinforcement</i> (penguat).....	19
2.5.2 Matriks (pengisi).....	20
2.6 Anti-Bakteri.....	20
2.6.1 Uji Aktivitas Biologi (<i>Bioassay</i>).....	21
2.6.2 Uji Antibakteri.....	21
2.7 Mekanisme AntiBakteri dari Komposit yang Mengandung Silver.....	22
2.8 Tinjauan Mikrobiologi.....	23
2.8.1 <i>Staphylococcus aureus</i>	27
2.8.2 <i>Escherichia coli</i>	27
2.9 Electron Microscopy.....	28
3. METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Tahapan Penelitian.....	29
3.1.1 Proses Reduksi Silver nitrat menjadi Partikel Nanosilver.....	29
3.1.2 Uji Antimikroba.....	30
3.1.3 Modifikasi Deposisi Nanosilver pada Serat Poliester/Katun.....	30
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	34

3.2.1 Bahan Penelitian.....	34
3.2.2 Alat Penelitian.....	34
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Preparasi Nanosilver.....	35
4.1.1 Analisis Spektrofotometer Cahaya Tampak.....	38
4.1.2 Analisis Distribusi Ukuran Partikel.....	40
4.1.3 Uji Antibakteri.....	41
4.1.4 Mekanisme Antibakteri Nanosilver.....	45
4.1.5 Hubungan Diameter Partikel dengan Aktivitas Antibakteri.....	47
4.2 Preparasi Komposit Poliester/Katun-Nanosilver.....	48
4.2.1 Analisis <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	49
4.2.2 Analisis Stabilitas Antibakteri.....	55
4.2.3 Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	60
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1. Kesimpulan.....	63
5.2. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN.....	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Road map aplikasi nanomaterial pada industri	4
Gambar 2.1. Skema umum komposit serat tekstil-nanosilver	13
Gambar 2.2. Pembentukan ikatan hidrogen pada komposit tekstil-nanosilver.....	13
Gambar 2.3. Hasil analisis SEM dan TEM pada mekanisme antibakteri menggunakan silver nanopartikel pada <i>Salmonella typhii</i>	23
Gambar 2.4. Struktur sel bakteri	24
Gambar 2.5. Berbagai bentuk tubuh bakteri	25
Gambar 2.6. Alat gerak (Flagel) bakteri	26
Gambar 2.7. Koloni bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	27
Gambar 2.8. Bakteri <i>Escherichia coli</i>	28
Gambar 3.1. Skema umum penelitian pembuatan komposit poliester/katun – nanosilver.....	31
Gambar 3.2. Skema detail preparasi partikel nanosilver	32
Gambar 3.3. Skema detail preparasi komposit poliester/katun-nanosilver.....	33
Gambar 4.1. Skema plasmon permukaan yang melalui logam.....	37
Gambar 4.2. Sampel koloid nanosilver hasil penelitian	37
Gambar 4.3. Hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak koloid nanosilver untuk sampel B1	38
Gambar 4.4. Distribusi ukuran partikel untuk sampel B1	40
Gambar 4.5. Grafik uji aktivitas antibakteri untuk masing-masing sampel koloid nanosilver.....	42
Gambar 4.6. Hubungan antara konsentrasi umpan AgNO ₃ terhadap aktivitas antibakteri pada reduktor asam askorbat dan asam sitrat serta perbandingannya.....	43
Gambar 4.7. Visualisasi uji antibakteri untuk sampel B1 pada bakteri <i>S. Aureus</i>	45
Gambar 4.8. Visualisasi uji antibakteri untuk sampel B1 pada bakteri <i>E.Coli</i>	46
Gambar 4.9. Materi penyusun dinding sel pada bakteri gram positif (<i>S. aureus</i>) dan gram negatif (<i>E. coli</i>)	47
Gambar 4.10. Hasil Analisis FTIR untuk serat katun yang telah dideposisi dengan nanosilver	49

Gambar 4.11. Monomer dari senyawa selulosa	50
Gambar 4.12. Struktur monomer dari senyawa PVA	50
Gambar 4.13. Struktur monomer dari senyawa Polisiloksan.....	51
Gambar 4.14. Spektrum FTIR untuk (a) polisiloksan, (b) PVA, (c) serat katun setelah dipreparasi dengan polisiloksan dan PVA yang mengandung partikel nanosilver	52
Gambar 4.15. Hasil Analisis FTIR untuk serat poliester yang telah dideposisi dengan nanosilver.....	53
Gambar 4.16. Struktur gugus ester	54
Gambar 4.17. Spektrum FTIR untuk (a) polisiloksan, (b) PVA, (c) serat poliester setelah dipreparasi dengan polisiloksan dan PVA yang mengandung partikel nanosilver	55
Gambar 4.18. Visualisasi uji antibakteri dengan CFU; (a) serat tanpa nanosilver, (b) katun-nanosilver, dan (c) poliester-nanosilver	56
Gambar 4.19. Hasil uji antibakteri komposit katun-nanosilver pada bakteri <i>S. aureus</i>	57
Gambar 4.20. Hasil uji antibakteri komposit katun-nanosilver pada bakteri E.Coli.....	57
Gambar 4.21. Hasil uji antibakteri komposit poliester-nanosilver pada bakteri <i>S. aureus</i>	58
Gambar 4.22. Hasil uji antibakteri komposit poliester-nanosilver pada bakteri E.Coli.....	59
Gambar 4.23. Hasil analisis SEM pada komposit katun-nanosilver perbesaran 250x dan 1000x	60
Gambar 4.24. Hasil analisis SEM pada komposit katun-nanosilver perbesaran 5000x	61
Gambar 4.25. Hasil analisis SEM pada komposit poliester-nanosilver perbesaran 250x dan 1000x	62
Gambar 4.26. Hasil analisis SEM pada komposit poliester-nanosilver perbesaran 5000x	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perkembangan Ekspor Industri TPT Indonesia	2
Tabel 2.1. State of the arts penelitian penggunaan nanosilver pada serat tekstil ...	14
Tabel 2.2. Komposisi Kimia Serat Katun	16
Tabel 2.3. Karakteristik Struktur pada Serat Katun	16
Tabel 2.4. Sifat Fisik – Kimia Silver	18
Tabel 2.5. Pertimbangan Pemilihan Komposit	19
Tabel 4.1. Variasi parameter proses pada preparasi nanosilver	35
Tabel 4.2. Hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak untuk pada tahapan preparasi nanosilver	39
Tabel 4.3. Ukuran partikel masing-masing variasi proses preparasi nanosilver ...	40
Tabel 4.4. Diameter hambatan sampel koloid nanosilver terhadap bakteri S. Aureus dan E.Coli	42
Tabel 4.5. Diameter hambatan larutan standar (Streptomycin sulfate) terhadap bakteri	42
Tabel 4.6. Korelasi antara panjang gelombang, ukuran partikel, dan aktivitas antibakteri	48

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. HASIL KARAKTERISASI KOLOID NANOSILVER MENGGUNAKAN <i>PARTICLE SIZE ANALYZER</i> (PSA)	69
---	----

LAMPIRAN B. HASIL LENGKAP UJI ANTIBAKTERI KOMPOSIT DENGAN METODE <i>COLONY FORMING UNIT</i> (CFU).....	78
--	----

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Saat ini produk tekstil Indonesia masih memiliki peran yang cukup besar terhadap perekonomian nasional. Menurut E. Miranti (2007), 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 1.1 menunjukkan perkembangan ekspor industri TPT Indonesia setiap tahunnya.

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.

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

(BPS, 2007)

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.

Saat ini tingkat polusi yang semakin tinggi dan perubahan iklim global menyebabkan lingkungan menjadi kurang kondusif, seperti semakin berkembangnya jumlah serta jenis dari bakteri pathogen yang dapat mengganggu kesehatan. Keinginan manusia untuk dapat hidup pada lingkungan yang nyaman pun semakin meningkat. Hal ini menjadi salah satu pendorong penerapan teknologi nano pada tekstil, terutama yang mempunyai sifat anti-bakteri (Jeong *et al.* 2005). Penerapan teknologi nano pada bidang tekstil saat ini menjadi salah satu bidang yang banyak diminati oleh para peneliti. Penerapan teknologi nano yang sedang berkembang saat ini adalah preparasi dan pengembangan komposit antara polimer dan serat, baik yang berasal dari alam atau buatan sebagai matriks dengan zat yang mempunyai sifat khusus, seperti anti-bakteri (M. Rai *et al.*, 2009).

Dalam beberapa tahun terakhir, situasi perkembangan tekstil dunia berubah karena dipengaruhi berbagai hal. Salah satunya adalah perkembangan nanoteknologi yang memberi masukan baru terkait tipe serat baru yang diberi nilai tambah tertentu (A. Haryono, 2009). Ukuran nanopartikel yang berkisar antara 1 hingga 100 nanometer (V.K. Sharma *et al.*, 2009) ditambahkan pada serat tekstil untuk memberi fungsi khusus atau memodifikasi fungsi serat. Penambahan sifat tekstil yang sedang dikembangkan salah satunya adalah sifat antibakteri dengan menggunakan senyawa organik atau anorganik pada serat. Silver adalah

salah satu jenis senyawa anorganik yang dapat digunakan. Berdasarkan M. Rai *et al.* (2009), telah dibuktikan bahwa dalam konsentrasi rendah, silver tidak bersifat toksik terhadap sel manusia.

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. Roadmap aplikasi nanomaterial pada industri dapat dilihat pada Gambar 1.1.

Tahap awal (1-5 tahun)

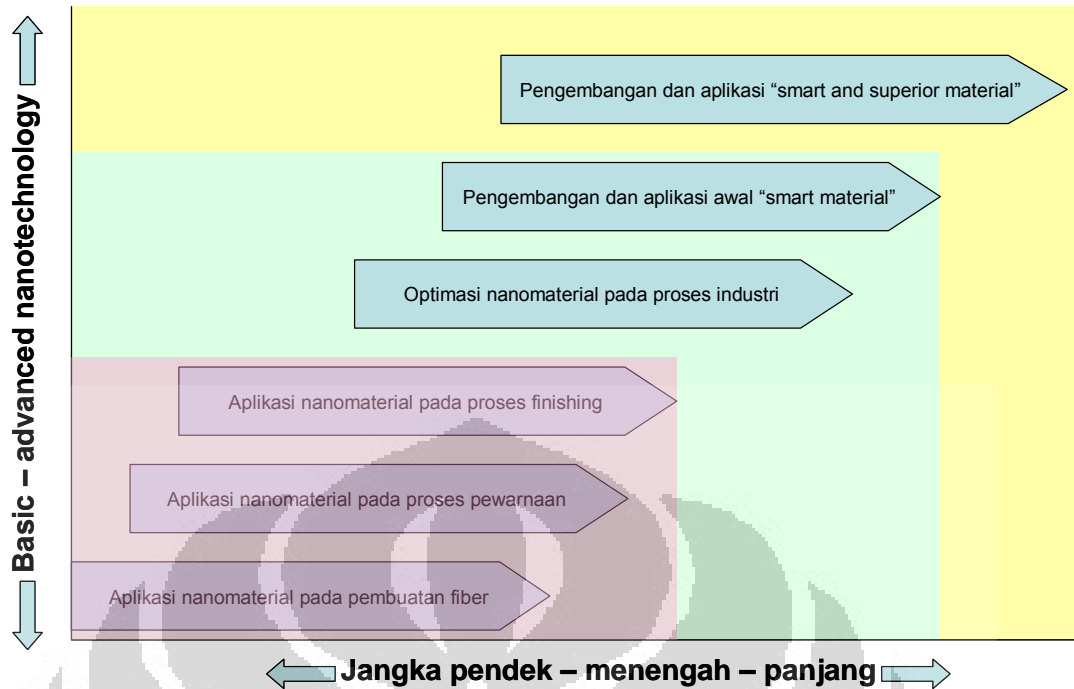
- Aplikasi nanomaterial fungsional pada proses produksi serat untuk menambahkan sifat tertentu: anti air/minyak/noda, anti kusut, mengatur kelembaban (*breathable/humidity transport*)
- Optimasi sifat material, misalnya: daya tahan cahaya, daya tahan terhadap gesekan dan tarikan, daya tahan temperatur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



Gambar 1.1 Road map aplikasi nanomaterial pada industri (Depperin, 2008)

Penelitian yang dilakukan berada di posisi jangka pendek, yaitu aplikasi nanomaterial fungsional pada produksi serat untuk menambahkan sifat tertentu, dalam hal ini adalah antibakteri.

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

1.2 Rumusan Masalah

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa nanosilver dapat ditambahkan pada serat tekstil untuk menghasilkan bahan baku tekstil yang memiliki sifat antibakteri. Namun dalam perjalanannya, ternyata ditemukan bahwa proses penambahan nanosilver pada serat tidak diiringi dengan proses penempelan nanosilver secara permanen pada serat tersebut, sehingga

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

Dengan demikian, dalam penelitian ini permasalahan tersebut dirumuskan agar bagaimana memperoleh komposit dengan matriks serat poliester/katun dan perak sebagai bahan pengisi, sehingga mempunyai sifat anti-bakteri secara permanen yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk industri tekstil. Dalam penelitian ini digunakan kandidat senyawa pengikat nanosilver pada serat agar permanen adalah polisiloksan yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan polivinil alkohol (PVA) yang merupakan *stabilizer* bagi nanosilver yang terbentuk.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh jenis reduktor terhadap pembentukan nanosilver dan aktivitasnya untuk antibakteri.
2. Mengetahui pengaruh penambahan polisiloksan sebagai bahan pengikat pada komposit serat katun-nanosilver dan poliester-nanosilver.

1.4 Batasan Masalah

Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nanosilver yang digunakan dihasilkan dari reduksi perak nitrat (AgNO_3) menggunakan asam askorbat, asam sitrat, dan trisodium sitrat serta polivinil alkohol (PVA) sebagai stabilizer pada konsentrasi 0,2 g dalam 100 ml aquadest.
2. Komposit yang dipreparasi terdiri dari serat poliester dan katun sebagai matriksnya, dan perak berukuran nano (nanosilver) sebagai bahan pengisi yang memiliki sifat antibakteri.
3. Untuk menghasilkan sifat anti-bakteri yang permanen, digunakan senyawa polisiloksan pada saat melakukan deposisi nanosilver terhadap serat yang berfungsi sebagai bahan pengikat.
4. Variasi parameter yang dilakukan pada penelitian ini adalah:
 - i) konsentrasi AgNO_3 yakni 250, 500, dan 1000 ppm;
 - ii) jenis reduktor yaitu asam askorbat, asam sitrat, dan trisodium sitrat;

iii) konsentrasi polisiloksan 1, 2, dan 3% b/v; dan

iv) pencucian 1, 2, dan 3 kali.

5. Uji aktivitas anti-bakteri dilakukan pada media (*nutrient broth*) dan dilakukan inkubasi selama waktu tertentu dengan menggunakan metode difusi cakram dan *colony forming units* (CFU).
6. Uji antibakteri dilakukan terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*.
7. Untuk mengetahui ukuran partikel, nanosilver dianalisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).
8. Untuk mengetahui terjadinya *cross-linking* antara serat, polisiloksan, serta PVA dilakukan analisis menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).
9. Untuk mengetahui morfologi dari hasil deposisi nanosilver terhadap serat poliester/katun dilakukan analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

1.5 Sistematika Penulisan

- BAB I** Pendahuluan
Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.
- BAB II** Tinjauan Pustaka
Berisi tinjauan literatur mengenai *state of the arts* penelitian, serat poliester, serat katun, nanosilver, komposit, antibakteri, mekanisme antibakteri dari komposit yang mengandung silver, tinjauan mikrobiologi, serta aplikasi nanosilver pada bidang tekstil.
- BAB III** Metodologi Penelitian
Berisi penjelasan mengenai prosedur penelitian secara umum, termasuk di dalamnya preparasi nanosilver menggunakan metode reduksi kimia, proses deposisi

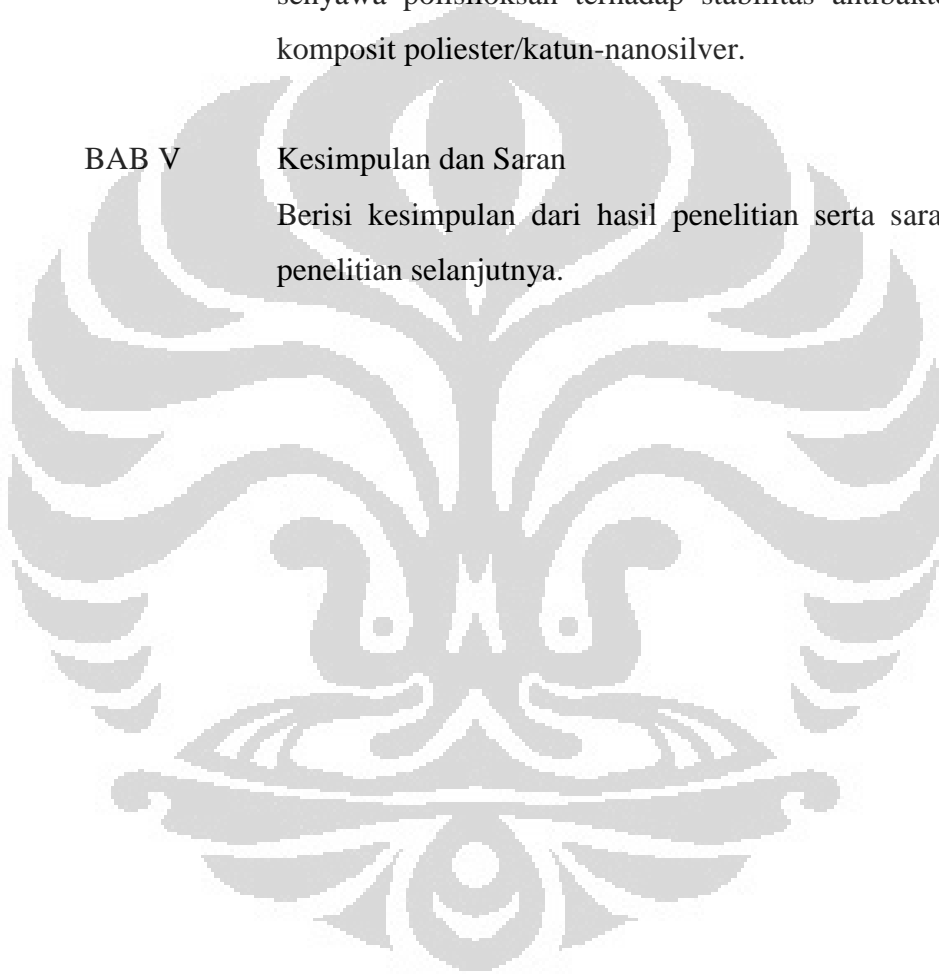
nanosilver pada serat, uji antibakteri, dan karakterisasi dari sampel yang diperoleh.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Berisi penjelasan mengenai hasil penelitian secara keseluruhan, mulai dari preparasi nanosilver menggunakan berbagai jenis reduktor, serta pengaruh penambahan senyawa polisiloksan terhadap stabilitas antibakteri pada komposit poliester/katun-nanosilver.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 State Of The Arts Penelitian

2.1.1 Nanosilver sebagai Antibakteri

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 telah memasuki sel bakteri yang bercampur dengan sulfur sebagai komponen sel.

Studi mengenai aktivitas silver zeolit terhadap *E. coli* dan dibandingkan dengan aktivitas silver nitrat sebagai antibakteri 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 ke dalam 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.

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

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

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. 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.

2.1.2 Penggunaan Nanosilver Pada Serat Tekstil

Studi mengenai preparasi nanokomposit fiber yang memiliki pengaruh antibakteri 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 antibakteri 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 antibakteri 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 antibakteri yang sangat baik.

Studi antibakteri 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%. Analisis yang dilakukan adalah menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi komposit yang terbentuk, DSC untuk mengetahui kristalinitas, dan uji antibakteri 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 antibakteri, diketahui bahwa silver I (100 nm) memiliki sifat antibakteri yang sangat baik.

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 antibakteri 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 antibakteri terhadap *E. coli*. Sehingga disimpulkan, PA6 yang mengandung 2% b/b nanosilver memiliki sifat anti-bakteri untuk jangka waktu yang panjang.

Studi tentang sintesis silver nanopartikel menggunakan *Fusarium oxysporum* dan pengaruh sifat antibakteri 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 diimpregnasi 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 antibakteri 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 diimpregnasi dengan silver nanopartikel memiliki aktivitas antibakteri yang efektif.

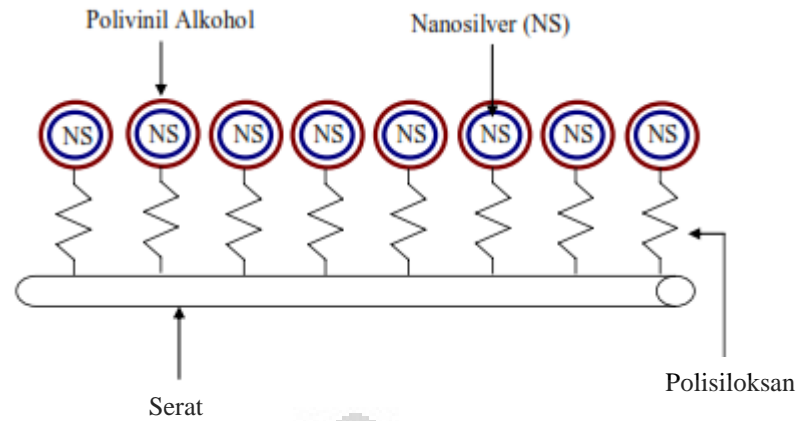
Preparasi mikrofiber katun yang mengandung silver nanopartikel menggunakan radiasi ultraviolet (UV) dilaporkan oleh Chen *et al.* (2008). Metode ini dianggap ramah lingkungan, karena tidak menggunakan zat kimia pereduksi yang dapat bertindak sebagai polutan. Aktivitas antibakteri di uji terhadap bakteri *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 antibakteri yang sangat baik terhadap *E. coli*.

Studi terhadap pembuatan nanokomposit nilon/silver sebagai bahan tekstil yang memiliki sifat antibakteri 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 antibakteri dilakukan pada media agar yang telah diinokulasi dengan *S. aureus*. Hasil yang didapat setelah dilakukan pencucian sampel pertama kali, aktivitas antibakteri dari komposit telah menurun, hal ini dimungkin telah terjadinya proses terlepasnya nanosilver karena tidak terikat secara permanen pada serat nilon.

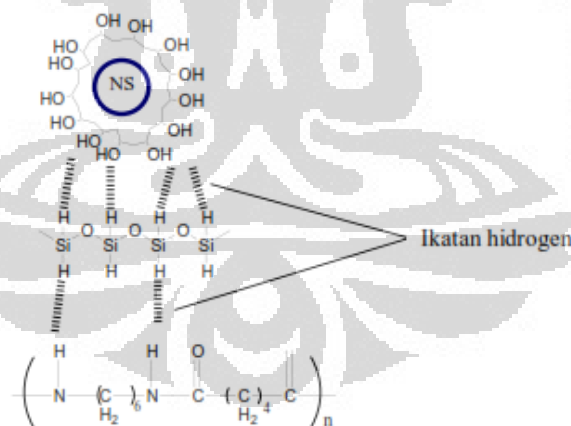
Penelitian mengenai pengaruh polisiloksan sebagai bahan pengikat nanosilver pada serat poliester sebagai matriks dilakukan oleh Dastjerdi *et al.* (2009). Nanosilver yang telah direduksi kemudian ditambahkan polisiloksan pada temperatur 30 °C. Serat poliester kemudian direndamkan pada campuran tersebut 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 antibakteri yang permanen terhadap *K. pneumoniae* dan *S. aureus* menggunakan metode AATCC 100 pada sampel yang mengandung 100 ppm nanosilver.

Fenomena proses stabilisasi nanosilver menggunakan polisiloksan pada serat nilon digambarkan pada studi yang dilakukan oleh Laksmono (2010). Proses stabilisasi dilakukan dengan dua tahapan: pertama, proses stabilisasi nanosilver hasil preparasi dengan penambahan polivinil alkohol (PVA). Tahap kedua, stabilisasi komposit serat nilon dengan nanosilver dengan penambahan polisiloksan. Skema tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Skema umum komposit serat tekstil-nanosilver (Laksmono,2010)

Senyawa PVA diketahui banyak mengandung gugus hidroksil (OH) dan melingkupi partikel nanosilver dengan tujuan agar tidak terjadi aglomerasi antar partikel nanosilver. Senyawa polisiloksan dan serat nilon memiliki atom hidrogen pada strukturnya, sehingga dapat terbentuk ikatan hidrogen antara PVA, polisiloksan dan serat nilon. Proses pembentukan ikatan hidrogen pada komposit nilon-nanosilver dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 Pembentukan ikatan hidrogen pada komposit serat tekstil-nanosilver (Laksmono, 2010)

Keseluruhan dari *state of the arts* penelitian dengan penggunaan nanosilver pada serat tekstil di atas dapat diringkas pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 *State of the arts* penelitian penggunaan nanosilver pada serat tekstil

Judul Penelitian	Tahun	Penulis
Preparation of Nanocomposite Fibers for Permanent Antibacterial Effect	2003	Yeo, Sang Young., Lee, Hong Joo., Jeong, Sung Hong
Antibacterial Properties of Padded PP/PE Nonwovens Incorporating Nano-sized Silver Colloid	2005	Jeong, Sung Hoon., Hwang, Yun Hwan., Yi, Sung Chul
Long-term Antimicrobial Polyamide 6/Silver – Nanocomposites	2007	Damm, Cornelia., Münstedt, Helmut., Rösch
Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles Produce by Fungal Process on Textile Fabrics and Their Effluent Treatment	2007	Duran N., Marcarto PD, De Souza GIH, Alves OL, Esposito E
Microwave-assisted Green Synthesis of Silver Nanoparticle by Carboxymethyl Cellulose Sodium and Silver Nitrate	2008	Chen J, Wang K, Xin J, Jin Y.
Nanokomposit Nilon-Perak Sebagai Serat Antimikroba	2008	Haryono, Agus., Joddy Arya Laksmono, Heri Kresnadi, Eni Suryani, M. Nasir
A New Method to Stabilize Nanoparticles on Textile Surfaces	2009	Dasterdji, Roya., Montazer, Majid., Shahsavan, Shadi
Pengaruh Penambahan Senyawa Polisiloksan pada Komposit Nilon-Nanosilver terhadap Stabilitas Antibakteri pada Bahan Tekstil	2010	Joddy Arya Laksmono

Dari *state of the arts* diatas diketahui bahwa telah banyak peneliti yang telah melakukan kajian terhadap nanosilver sebagai antibakteri dan juga aplikasinya pada serat-serat yang biasa digunakan untuk tekstil. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan nanokomposit dengan poliester dan katun sebagai matriksnya dan nanosilver yang ditambahkan polisiloksan sebagai zat pengikat,

agar memiliki kemampuan antibakteri yang permanen. Uji antibakteri dilakukan terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli* menggunakan media agar yang telah diinokulasikan masing-masing bakteri tersebut.

2.2 Serat Poliester

Serat poliester adalah merupakan salah satu dari jenis serat sintetik, dan dikenal dengan nama dagang Terylene, Dacron, Trivera, atau Tetoron. Poliester ditemukan pertama kali pada tahun 1953 oleh E.I du Pont de Nemours di USA. Poliester terbuat dari butiran plastik (chips) dan mengalami suatu proses kimiawi yang panjang, dari pembuatan benang sampai menjadi bahan kain. Serat poliester dibuat dari hasil polimerisasi etilen glikol dengan asam tereftalat.

Pewarnaan polyester dilakukan dengan menggunakan zat warna *disperse* yang kaya warna dan mempunyai ketahanan luntur warna yang sangat baik terhadap pencucian, gosokan dan sinar. Kekuatan dan elastisitas yang baik dari serat poliester menghasilkan kain yang mempunyai ketahanan yang baik terhadap lekukan atau kekusutan sehingga tidak memerlukan penyetrikaan panas. Kain poliester tahan terhadap pelarut organik dan pencucian kimia / *dry cleaning*, serta mempunyai ketahanan yang sangat baik terhadap bakteri dan jamur. Kekurangan dari kain poliester adalah daya serap lembabnya rendah dan kekakuan yang tinggi sehingga kenyamanan berkurang. Selain itu, sifat bahannya terasa panas dibadan. Untuk menghindari sifatnya yang panas, para produsen tekstil biasanya melakukan pencampuran dengan *viscose*, katun, linen atau dengan bahan lainnya. Poliester banyak digunakan untuk bahan pakaian (dicampur dengan kapas/rayon), dasi, kain tirai/gorden, tekstil industri (conveyor, isolator), pipa pemadam kebakaran, tali temali, jala, kain layar dan terpal (Djafri, 2003).

2.3 Serat Katun

Serat katun merupakan salah satu jenis serat alam (natural fibers) yang berasal dari tumbuhan yang digunakan sebagai bahan baku industri tekstil atau lainnya. Hampir semua jenis serat alam yang berasal dari tumbuhan memiliki komposisi kandungan serat secara kimia yang utama berupa selulosa, meskipun unsur-unsur lain yang jumlahnya bervariasi juga terdapat didalamnya seperti

hemiselulosa, lignin, pektin, debu, waxes dan zat-zat lainnya. Komposisi kimia pada serat katun dan karakteristiknya dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2:

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Serat Katun

Komposisi Kimia	Kandungan pada serat katun (%)
Alpha selulosa	94 – 96
Pentosan	-
Lignin	2
Pektin	0,9
Lemak dan wax	0,6
Abu	1,2
Zat-zat lain (protein, asam organik, dan lain-lain)	1,3

(Kirby,1960)

Tabel 2.3 Karakteristik Struktur pada Serat Katun

Karakteristik	Nilai pada Serat katun
Derajat kristalisasi, %	63
Panjang ukuran kristal, nm	83
Lateral ukuran kristal, nm	5
Sudut monoklinik (γ), °	96
Berat jenis kristal katun (ρ), g/cm ³	1,611

(Elesini,2009)

Kain katun sangat populer karena memiliki sifat-sifat yang sangat baik seperti regenerasi, biodegradasi, kelembutan, afinitas pada kulit dan higroskopik. Akan tetapi, kain katun merupakan media yang sangat baik untuk mikroorganisme tumbuh, karena area permukaan besar dan kemampuan untuk menjaga kelembaban (Haryono, 2010).

2.4 Partikel Nanosilver

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 antibakteri.

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 (V.K. Sharma *et al.*, 2009).

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 stabilizer, hal ini diperlukan untuk merekayasa bentuk dan ukuran dari silver nanopartikel sesuai yang diinginkan (Zielinska *et al.*, 2009).

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,



Tabel 2.4 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

(RB Heslop, PL Robinson, 1960)

2.5 Komposit

Komposit adalah gabungan dari dua komponen atau lebih yang memberikan sifat kaku (Saputra, 2001). 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 (Gaylord, 1974).

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 (Gaylord, 1974).

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 (Harper, 2002).

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 2.4. berikut ini (Gaylord, 1974).

Tabel 2.5 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.

2.5.1 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.

2.5.2 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 interlamener. Matriks yang paling umum dipakai adalah logam, keramik dan polimer, baik polimer termoset, maupun polimer termoplastik (Harper, 2002).

2.6 Antibakteri

Penyakit infeksi adalah penyakit yang disebabkan oleh masuknya mikroorganisme ke dalam tubuh. Salah satu mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit infeksi adalah bakteri, yaitu prokariota bersel tunggal dengan diameter sekitar 0,5 – 1,0 μm , panjang 1,5 – 2,5 μm , dan dapat berbentuk bulat, elips, batang, atau sipral. 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 nonpatogen. Beberapa bakteri patogen penyebab infeksi antara lain adalah *Bacillus subtilis*, yaitu bakteri gram positif berbentuk batang besar yang dapat mengganggu fungsi imun pada manusia, *Streptococcus aureus* yang merupakan bakteri gram positif berbentuk bola penyebab infeksi pada kulit, serta *Escherichia coli*, bakteri gram negatif yang dapat membentuk koloni bulat penyebab infeksi pada bokong 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 bakteristatik dan bakterisida. Antibakteri bakteristatik 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 (Widiyarti, 2007).

2.6.1 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 (Widiyarti, 2007).

2.6.2 Uji Antibakteri

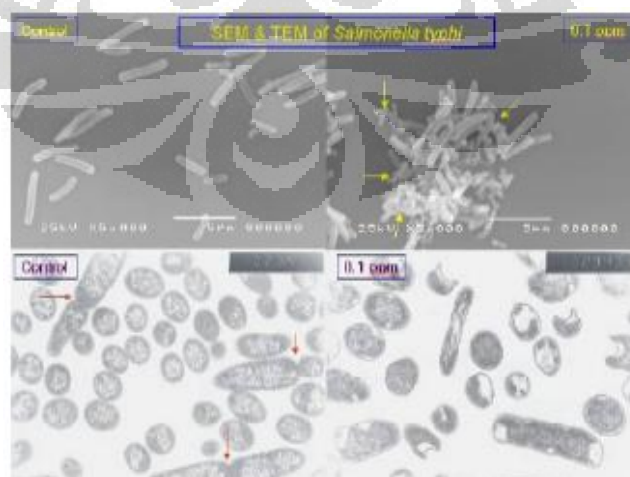
Pengukuran aktivitas antibakteri dapat dilakukan dengan beberapa metode. Dari berbagai metode, pada umumnya metode difusi yang paling banyak digunakan untuk uji antibakteri. Metode difusi dapat dibedakan menjadi 3 cara yakni: metode silinder, metode perforasi, dan metode difusi cakram. Pada metode silinder, 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 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. (Widiyarti, 2007).

2.7 Mekanisme Antibakteri dari Komposit yang Mengandung Silver

Silver nanopartikel memiliki sifat antibakteri yang efisien dibandingkan dengan garamnya, karena memiliki luas permukaan yang besar sehingga kontak dengan mikroorganisme 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 (M.Rai et al, 2009).

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 analisis mekanisme antibakteri menggunakan SEM. Hasil studi terlihat pada gambar berikut:



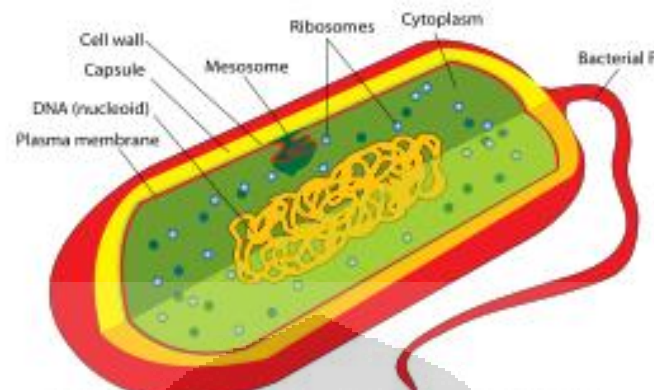
Gambar 2.3 Hasil analisis SEM dan TEM pada mekanisme antibakteri menggunakan silver nanopartikel pada *Salmonella typhi* (H.Y. Song *et al.*, 2006)

2.8 Tinjauan Mikrobiologi

Berdasarkan Alcamo (2001), bakteri yang 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 memiliki jumlah yang paling melimpahan 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.



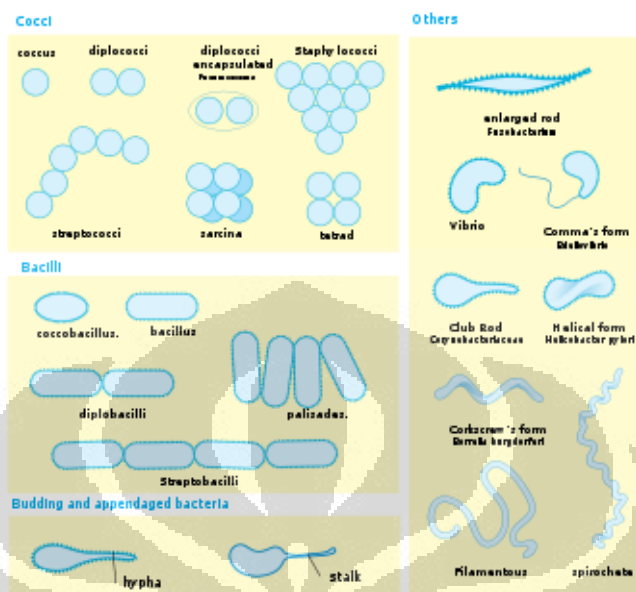
Gambar 2.4 Struktur sel bakteri (Alcama, 2001)

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
 - *Streptobacillus*, jika bergandengan membentuk rantai
3. Spiril (*Spirillum*) adalah bakteri yang berbentuk lengkung dan mempunyai variasi sebagai berikut:
 - *Vibrio*, (bentuk koma), jika lengkung kurang dari setengah lingkaran
 - *Spiral*, jika lengkung lebih dari setengah lingkaran

Bentuk tubuh/morfologi bakteri dipengaruhi oleh keadaan lingkungan, medium dan usia. Oleh karena itu untuk membandingkan bentuk serta ukuran bakteri,

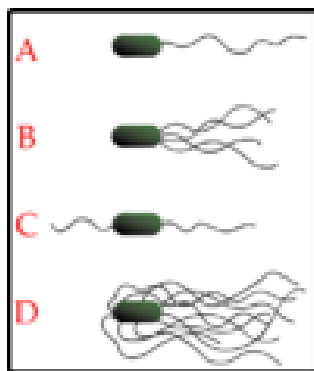
kondisinya harus sama. Pada umumnya bakteri yang usianya lebih muda ukurannya relatif lebih besar daripada yang sudah tua.



Gambar 2.5 Berbagai bentuk tubuh bakteri (Alcama, 2001)

Banyak spesies bakteri yang bergerak menggunakan flagel. Hampir semua bakteri yang berbentuk lengkung dan sebagian yang berbentuk batang ditemukan adanya flagel. Sedangkan bakteri kokus jarang sekali memiliki flagel. Ukuran flagel bakteri sangat kecil, tebalnya 0,02 – 0,1 mikro, dan panjangnya melebihi panjang sel bakteri. Berdasarkan tempat dan jumlah flagel yang dimiliki, bakteri dibagi menjadi lima golongan, yaitu:

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



Gambar 2.6 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

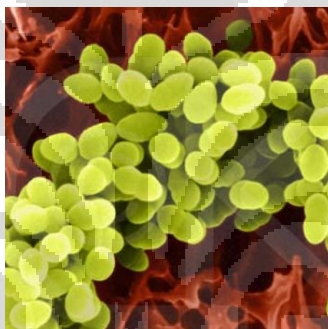
Pada tahun 1967 di Yellow Stone Park ditemukan bakteri yang hidup dalam sumber air panas bersuhu 93° – 500°C .

Pada umumnya bakteri memerlukan kelembaban 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 (Alcamo, 2001).

2.8.1 *Staphylococcus aureus*

Pada penelitian ini, bakteri *Staphylococcus aureus* dipilih untuk mewakili bakteri gram positif karena merupakan salah satu bakteri yang paling banyak ditemukan dan merupakan salah satu penyebab utama pada infeksi penyakit kulit manusia. Selain itu salah satu strain dari *Staphylococcus aureus*, yaitu MRSA (*methicillin-resistant Staphylococcus aureus*), telah mengembangkan resistensi terhadap penisilin dan antibiotik mirip penisilin lainnya. *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 (Funke, 2004).



Gambar 2.7 Koloni bakteri *Staphylococcus aureus* (Funke, 2004)

2.8.2 *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. Bakteri ini juga paling banyak digunakan sebagai indikator sanitasi karena air maupun makanan yang terdeteksi adanya *Escherichia coli* yang bersifat patogen, jika termakan/terminum dapat menyebabkan keracunan. *Escherichia coli* biasa digunakan pada uji antibakteri karena pertumbuhannya sangat cepat.

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 dengan karakter berombak-ombak, basah dan homogen. *Escherichia coli* merupakan bakteri penyebab infeksi pada daerah bokong dan kaki (Funke, 2004).



Gambar 2.8 Bakteri *Escherichia coli* (Funke, 2004)

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. Sedangkan analisis menggunakan TEM memiliki kelebihan karena resolusinya lebih tinggi. Pada penelitian ini, penggunaan SEM sudah mencukupi untuk mengamati morfologi dari komposit poliester/katun dengan nanosilver, serta persebaran dari nanosilver terhadap serat tersebut.

BAB III METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini 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 Tahapan Penelitian

Penelitian yang dilakukan terdiri dari dua tahapan besar, pertama adalah preparasi nanosilver menggunakan reduktor asam askorbat, asam sitrat, dan trisodium sitrat. Analisis yang dilakukan adalah menggunakan spektrofotometer cahaya tampak, *particle size analyser* (PSA) dan antibakteri. Tahap kedua adalah preparasi komposit poliester/katun – nanosilver. Untuk tahap kedua ini dilakukan analisis antibakteri, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Secara garis besar tahapan kegiatan penelitian dapat dilihat pada skema di Gambar 3.1.

3.1.1. Proses Reduksi Silver Nitrat Menjadi Partikel Nanosilver

Perak nitrat (AgNO_3) dan zat pereduksi, Trisodium Sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$), Asam Sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$), 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 0,2 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 1000 ppm dan dipanaskan hingga mendidih. Kedalam larutan ini ditambahkan reduktor yang juga jenisnya divariasikan setetes demi setetes. Reduktor yang digunakan adalah asam askorbat 3 M, asam sitrat 3 M dan trisodium sitrat 5% dalam 10 ml pelarut air. Selama proses, larutan diaduk dengan kuat. Larutan dipanaskan hingga terjadi perubahan warna yang jelas. Campuran dipindahkan dan diaduk hingga suhu kamar. Skema preparasi nanosilver ini dapat dilihat pada gambar 3.2.

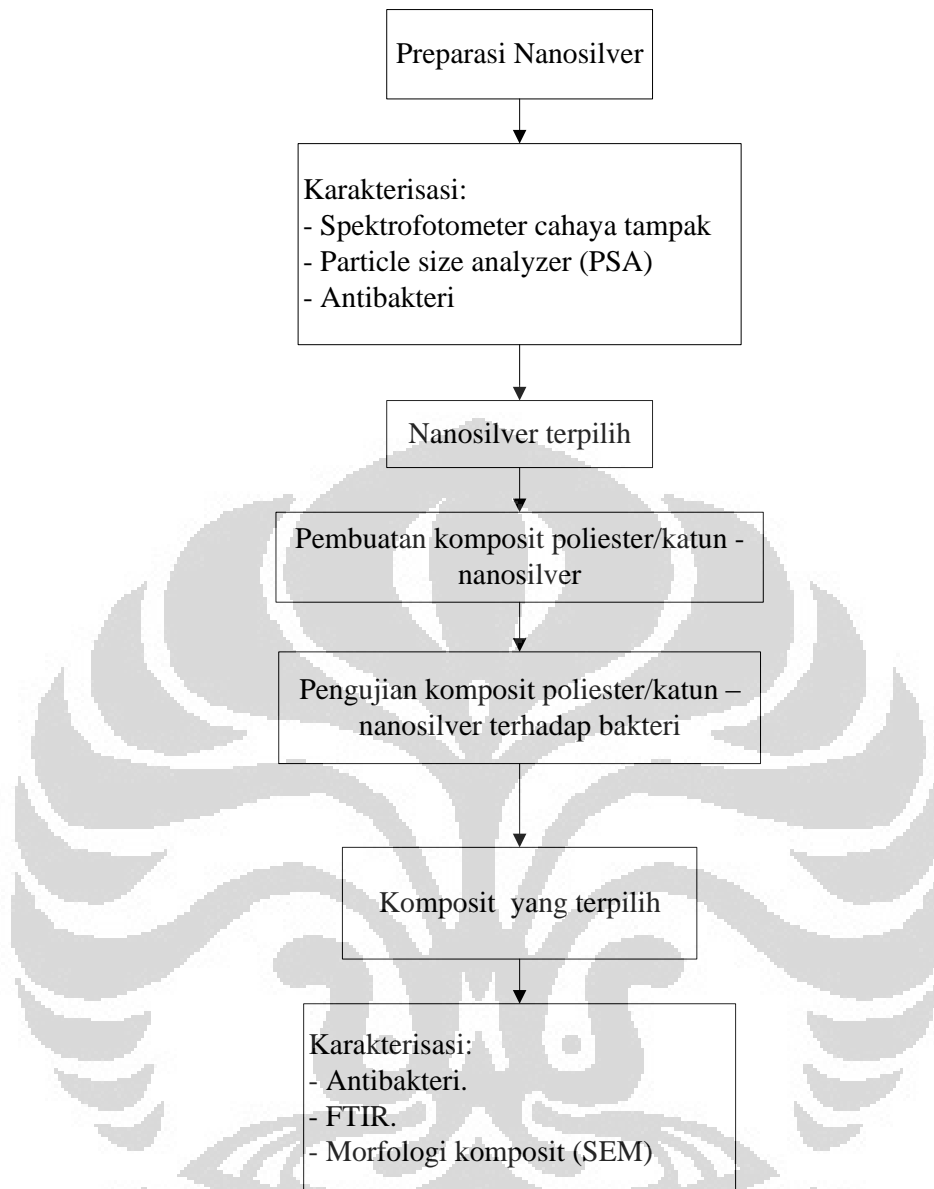
3.1.2 Uji Antimikroba

Tahap pertama adalah penyiapan inokulum. Bakteri yang 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 nutrien agar pada suhu 45 °C sambil dihomogenkan dan dibiarkan menjadi padatan pada suhu kamar. Pada media yang telah padat tersebut diisi dengan nanosilver yang telah dipreparasi. Kemudian diberikan kontrol berupa senyawa standar antibakteri yaitu streptomycin 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.

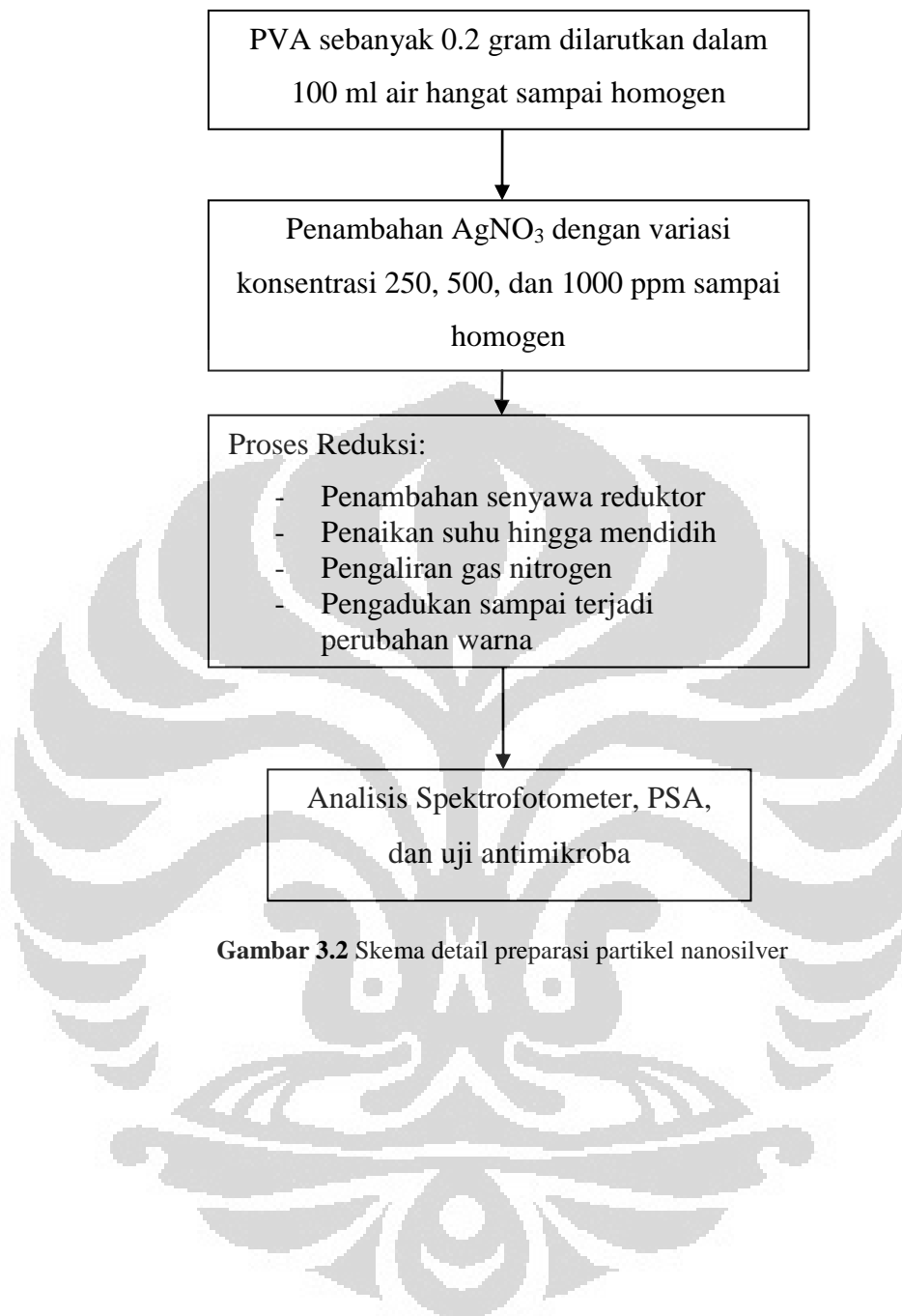
3.1.3. Modifikasi Deposisi Nanosilver pada Serat Poliester/Katun

Pada proses ini ditambahkan senyawa polisiloksan sebagai bahan pengikat silver nanopartikel dengan serat poliester/katun. Polisiloksan yang ditambahkan diberikan variasi konsentrasi. Secuplik serat poliester/katun murni direndam pada suhu kamar dalam koloid nanosilver yang telah dipreparasi. Selanjutnya poliester/katun dipisahkan dari larutan dan direndam dalam larutan panas yang mengandung masing-masing 7,2 g/liter NaOH dan sodium persulfat, yang dididihkan selama 1 menit (95-100°C). Poliester/katun dipindahkan dari larutan mendidih, dicuci dengan air kemudian dikeringkan. Langkah penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.

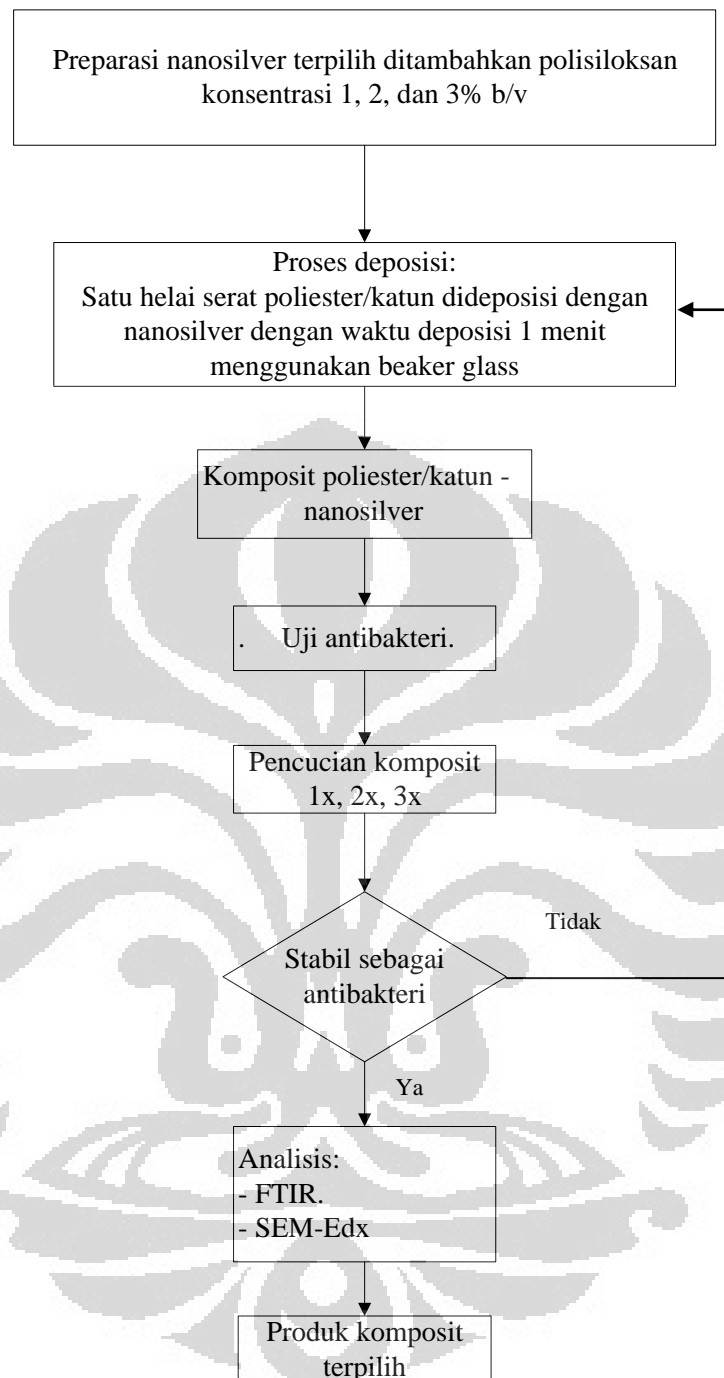


Gambar 3.1 Skema umum penelitian pembuatan komposit poliester/katun – nanosilver

Dari skema umum penelitian seperti tampak pada Gambar 3.3, dapat dijabarkan kembali terhadap tahapan penelitian secara detail, yaitu pada gambar 3.4 (untuk preparasi nanosilver) dan Gambar 3.5 (untuk pembuatan komposit katun/poliester – nanosilver).



Gambar 3.2 Skema detail preparasi partikel nanosilver



Gambar 3.3 Skema detail preparasi komposit poliester/katun-nanosilver

3.2 Bahan Dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Aquadest
2. Silver nitrat padatan (AgNO_3) p.a. (Merck)
3. PVA (Merck)
4. Asam askorbat teknis (PT Dehesa Kimia)
5. Trisodium sitrat p.a. (Sigma)
6. Asam sitrat p.a. (Aldrich)
7. Nutrien agar (Bacto Nutrien Agar Dehydrated – DIFCO)
8. Spirtus
9. Biakan bakteri (*Staphylococcus aureus* dan *Eschericia coli*)
10. Gas nitrogen *High purity* (PT Samator)
11. Serat Katun
12. Serat Poliester

3.2.2 Alat Penelitian

Sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- | | |
|---|---|
| 1. Labu leher tiga | 11. Tabung reaksi |
| 2. Kondensor | 12. Inkubator |
| 3. <i>Oil bath</i> | 13. <i>Autoclaf</i> |
| 4. Regulator gas nitrogen | 14. Spektrofotometer |
| 5. <i>Hot plate</i> dan <i>magnetic stirrer</i> | 15. <i>Particle size analyzer</i> |
| 6. Cawan petri dan tutup | 16. Foto digital |
| 7. Kuvet | 17. Jangka Sorong |
| 8. Botol sampel | 18. <i>Fourier Transform Infra Red</i> |
| 9. Bunsen | 19. <i>Scanning Electron Microscopy</i> |
| 10. Pipet Effendorf | |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Nanosilver

Tahapan awal penelitian ini adalah melakukan preparasi partikel nanosilver menggunakan metode reduksi kimia. Proses preparasi nanosilver dilakukan dengan berbagai variasi diantaranya adalah konsentrasi AgNO_3 dan jenis reduktor. Secara lengkap dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Variasi parameter proses pada preparasi nanosilver

No.	Kode Sampel	Keterangan	
		Konsentrasi Umpan AgNO_3	Reduktor
1.	A1	250 ppm	Asam askorbat
2.	A2	500 ppm	Asam askorbat
3.	A3	1000 ppm	Asam askorbat
4.	B1	250 ppm	Asam sitrat
5.	B2	500 ppm	Asam sitrat
6.	B3	1000 ppm	Asam sitrat
7.	C1	250 ppm	Trisodium sitrat
8.	C2	500 ppm	Trisodium sitrat
9.	C3	1000 ppm	Trisodium sitrat

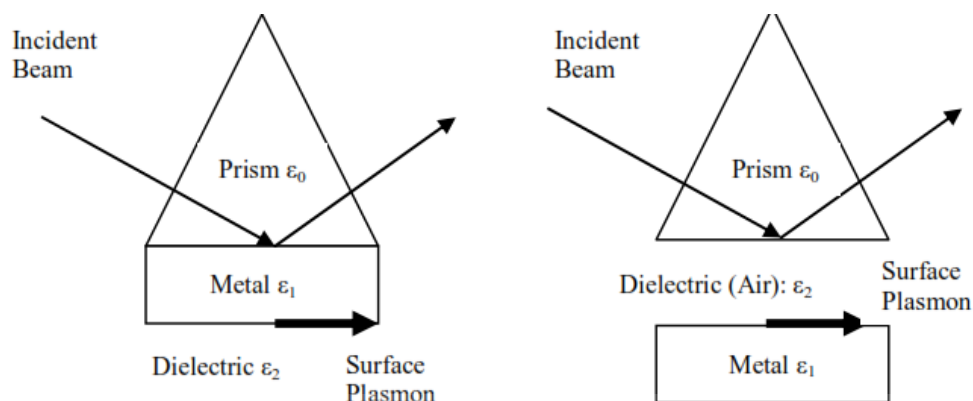
Berdasarkan studi yang dilakukan sebelumnya, preparasi nanosilver dapat dilakukan dengan berbagai variasi diantaranya adalah konsentrasi umpan AgNO_3 dan jenis reduktor. Pada penelitian ini konsentrasi umpan AgNO_3 dilakukan dengan variasi dari 250 ppm, 500 ppm, dan 1000 ppm. Sedangkan jenis reduktor yang dipilih berdasarkan kemampuan reduksinya, yaitu trisodium sitrat (kuat), asam askorbat (sedang) dan asam sitrat (lemah). 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. Reaksi kimia yang terjadi pada proses reduksi AgNO_3 menggunakan reduktor trisodium sitrat adalah sebagai berikut :



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, transparan, atau krem/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 frekuensi dibawah frekuensi plasma akan dipantulkan, karena elektron-elektron pada logam menyaring medan listrik dari cahaya. Sedangkan, frekuensi cahaya diatas frekuensi 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 4.1 Skema plasmon permukaan yang melalui logam (a), dan dielektrik antarfasa (b).

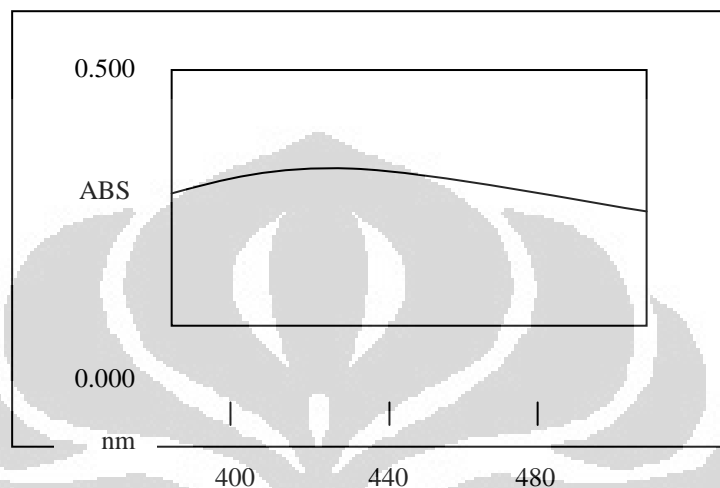
Warna dari logam nanopartikel tergantung dari bentuk dan ukuran nanopartikel serta konstanta dielektrik dari media lingkungannya. Koloid silver memperlihatkan warna-warna yang berbeda berdasarkan pada absorpsi cahaya dan pancaran pada daerah cahaya tampak, frekuensi pada getaran konduksi elektron-elektron yang merupakan respon terhadap medan listrik hasil radiasi elektromagnetik. Namun, hanya 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 (Zielinska *et al.*, 2009).



Gambar 4.2 Sampel koloid nanosilver hasil penelitian (reduktor yang digunakan : (a) asam askorbat, (b) asam sitrat, dan (c) trisodium sitrat)

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 4.3 Hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak koloid nanosilver untuk sampel B1 (konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm, reduktor asam sitrat)

Berdasarkan studi yang telah dilakukan Sileikaite *et al.* (2006), koloid nanosilver memiliki panjang gelombang maksimum dengan rentang 350 – 550 nm dengan plasmon peak sekitar 450 nm pada analisis spektrofotometer cahaya tampak. Gambar 4.3 menunjukkan hasil dari analisis spektrofotometer untuk sampel B1 (konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm dan reduktor asam sitrat). Dari gambar tersebut diketahui bahwa untuk sampel tersebut panjang gelombang maksimal (λ_{maks}) adalah 421 nm dengan nilai absorbansi puncak 0,295. Dengan demikian terdapat partikel nanosilver pada sampel tersebut dari hasil preparasi.

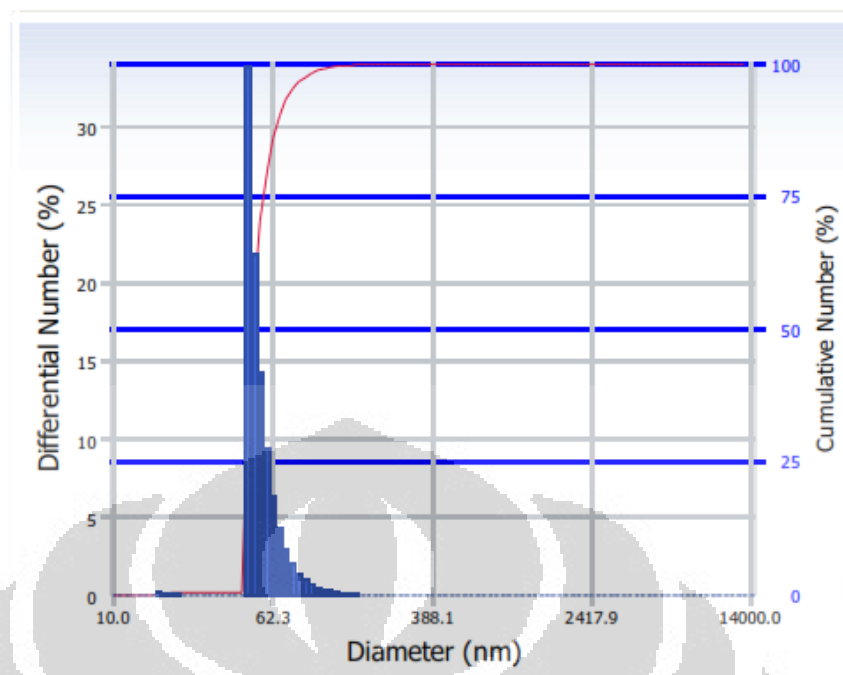
Tabel 4.2 Hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak untuk pada tahapan preparasi nanosilver

No.	Kode Sampel	Warna Sampel	Panjang Gelombang Puncak (nm)	Absorpsi Puncak
1.	A1	Krem	434	1,978
2.	A2	Krem	453	2,585
3.	A3	Krem	495	3,182
4.	B1	Orange	421	0,295
5.	B2	Keruh	424	0,183
6.	B3	Bening	431	0,095
7.	C1	Kuning	393	1,611
8.	C2	Kuning	418	1,058
9.	C3	Kuning	452	2,978

Tabel 4.2. menunjukkan hasil analisis spektrofotometer cahaya tampak untuk setiap sampel. Terlihat dari tabel bahwa sampel C1 memiliki panjang gelombang puncak yang di bawah 400 nm. Menurut studi 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. Waktu proses reduksi dan pemanasan juga 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 4.4 menunjukkan distribusi ukuran partikel untuk sampel B1. Dari Gambar 4.4 terlihat bahwa untuk sampel P3R1 memiliki distribusi ukuran partikel dengan *peak* paling tinggi pada kisaran 50 – 70 nm.



Gambar 4.4 Distribusi ukuran partikel untuk sampel B1

Berdasarkan *number of distribution* dari hasil analisis ukuran partikel, sampel B1 memiliki ukuran partikel rata-rata 55 nm dengan prosentase kumulatif sebesar 79,88%, indeks refraktif sebesar 1,3328, dan viskositas koloid nanosilver 0,8878.

Tabel 4.3 Ukuran partikel masing-masing variasi proses preparasi nanosilver

No.	Kode Sampel	Ukuran Partikel Rerata (nm)	Persentase Kumulatif (%)	Indeks Refraktif	Viskositas Koloid (cP)	Indeks Polidispersity
1.	A1	75,5	60,84	1,3328	0,8878	0,201
2.	A2	128,2	66,6	1,3328	0,8878	0,174
3.	A3	143,7	71,55	1,3328	0,8878	0,108
4.	B1	55	79,88	1,3328	0,8878	0,300
5.	B2	168,7	66,3	1,3328	0,8878	0,273
6.	B3	218,2	63,53	1,3328	0,8878	0,240
7.	C1	14,2	72,73	1,3328	0,8878	1,188
8.	C2	18,1	65,49	1,3328	0,8878	0,262
9.	C3	25,2	74,63	1,3328	0,8878	0,257

Berdasarkan Tabel 4.3. 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 A1 dengan ukuran partikel 75,5 nm dan nilai indeks polidispersity sebesar 0,201, hal ini menunjukkan bahwa partikel nanosilver dengan ukuran 75,5 nm terdispersi cukup merata pada koloid nanosilver. Namun, dapat dilihat bahwa nilai polidispersity pada sampel C1 sebesar 1,188, berarti dispersi partikel nanosilver tidak cukup merata pada koloid sampel.

4.1.3 Uji Antibakteri

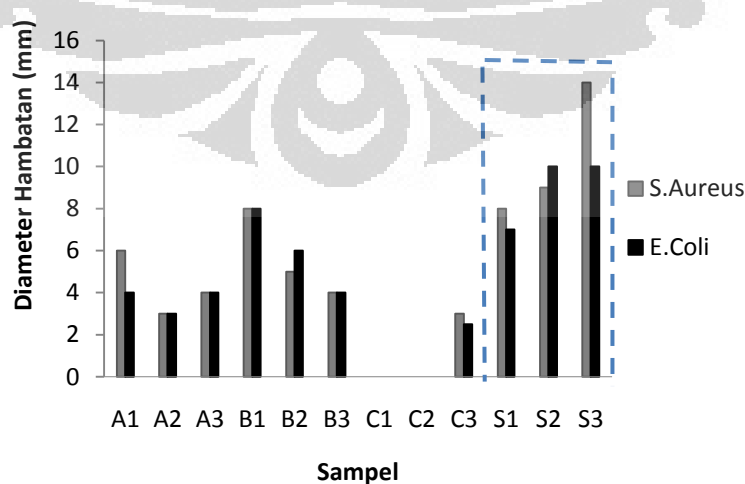
Metode uji antibakteri yang digunakan adalah difusi cakram dengan nutrisi agar sebagai media perkembangbiakan bakteri. Uji antibakteri dilakukan dengan melakukan persiapan nutrisi agar sebagai media makanan untuk bakteri. Kemudian bakteri dibiakkan pada agar tersebut dan diinokulasikan selama 24 jam. Setelah itu, dibuatkan cakram dengan cara membuat lubang pada media. Sampel koloid nanosilver ditetaskan ditengah cakram tersebut dengan jumlah sebesar 1 μL , dan didiamkan selama 24 jam dengan tujuan agar koloid nanosilver melakukan difusi pada media agar yang telah ditumbuhi bakteri. Hasil lengkap dari uji antibakteri terhadap nanosilver yang telah dipreparasi dapat dilihat pada Tabel 4.4. Sedangkan hasil menggunakan larutan antibakteri standar dapat dilihat pada Gambar 4.5.

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

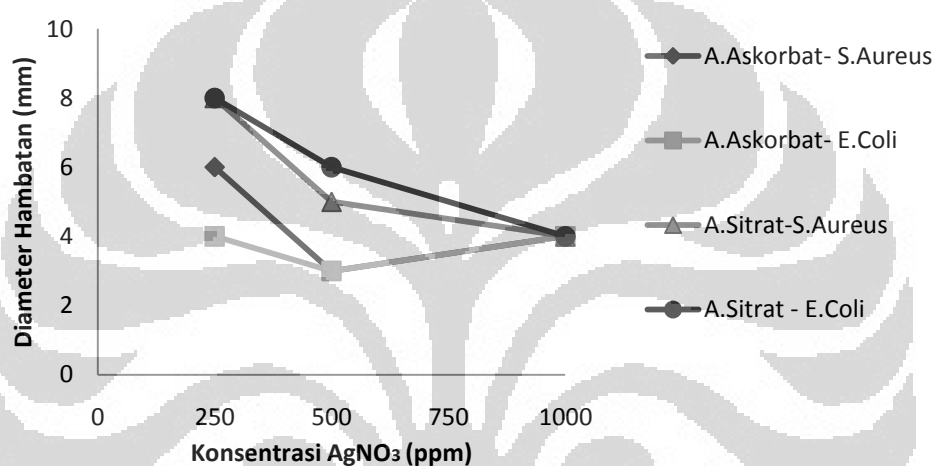
No.	Kode Sampel	Diameter hambatan (mm)	
		<i>S. Aureus</i>	<i>E.Coli</i>
1.	A1	6	4
2.	A2	3	3
3.	A3	4	4
4.	B1	8	8
5.	B2	5	6
6.	B3	4	6
7.	C1	-	-
8.	C2	-	-
9.	C3	3	2,5

Tabel 4.5 Diameter hambatan larutan standar (*Streptomycin sulfate*) terhadap bakteri

No.	Konsentrasi (ppm)	Diameter hambatan (mm)	
		<i>S. Aureus</i>	<i>E.Coli</i>
1.	250 (S1)	8	7
2.	500 (S2)	9	10
3.	1000 (S3)	14	10

**Gambar 4.5** Grafik uji aktivitas antibakteri untuk masing-masing sampel koloid nanosilver.

Dari Gambar 4.5. terlihat bahwa untuk konsentrasi AgNO_3 250 ppm dan reduktor asam sitrat (B1) memiliki nilai diameter hambatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang lainnya. Selain itu, nilai diameter hambatan dari sampel ini juga sama dengan larutan standar antibakteri yaitu streptomycin sulfat. Hal tersebut menunjukkan bahwa sampel B1 yang mempunyai ukuran sekitar 55 nm memiliki aktivitas antibakteri yang paling optimum dibandingkan dengan sampel yang lainnya.



Gambar 4.6 Hubungan antara konsentrasi umpan AgNO_3 terhadap aktivitas antibakteri pada reduktor asam askorbat dan asam sitrat serta perbandingannya

Dari Gambar 4.6. tampak bahwa semakin tinggi konsentrasi umpan AgNO_3 mempunyai kecenderungan penurunan aktivitas antibakteri, hal ini ditunjukkan oleh diameter hambatan yang terbentuk. Berdasarkan hasil analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA, diketahui bahwa dengan konsentrasi 250 ppm partikel yang terbentuk memiliki ukuran <100 nm, sedangkan untuk konsentrasi umpan 500 ppm dan 1000 ppm memiliki ukuran >100 nm. Kemudian, tampak bahwa pada konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm memberikan hasil diameter yang lebih tinggi untuk bakteri *S. Aureus* dibandingkan dengan bakteri *E. Coli*.

Jenis reduktor lain yang digunakan adalah asam sitrat. Gambar 4.6 juga menunjukkan hubungan konsentrasi umpan AgNO_3 dengan aktivitas antibakteri

pada bakteri *S. Aureus* dan *E. Coli* menggunakan reduktor asam sitrat. Dari gambar tersebut tampak bahwa pada konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm memiliki aktivitas antibakteri yang optimum dibandingkan yang lainnya. Berdasarkan data analisis ukuran partikel (Tabel 4.3.) diketahui bahwa pada konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm dengan proses reduksi menggunakan asam sitrat menghasilkan ukuran partikel 55 nm atau < 100 nm, sedangkan yang lainnya mempunyai ukuran partikel >100 nm, bahkan mencapai 200 nm. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel nanosilver berpengaruh terhadap aktivitas antibakteri, dan ukuran nanopartikel <100 nm memiliki kemampuan yang lebih baik. Konsentrasi umpan 250 ppm (sampel B1) juga memberikan aktivitas antibakteri yang paling baik dari sampel lainnya, bahkan sama dengan larutan standar.

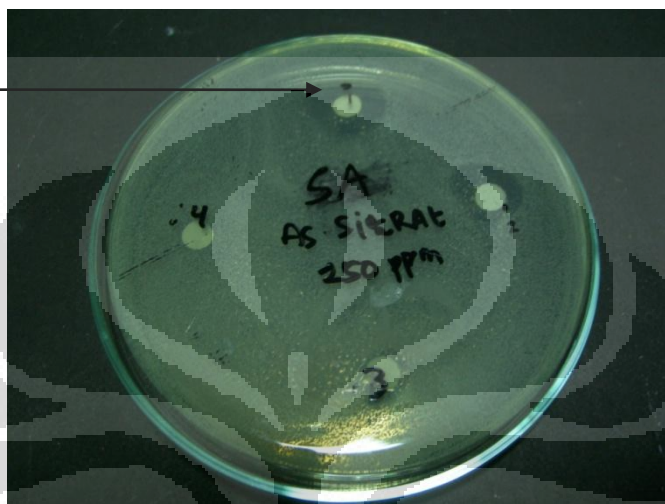
Reduktor lain yang digunakan dalam preparasi nanosilver adalah trisodium sitrat. Dari tiga sampel yang dipreparasi menggunakan reduktor trisodium sitrat, hanya satu yang memiliki aktivitas antibakteri. Berdasarkan data hasil analisis spektrofotometer (Tabel 4.2.) diketahui bahwa panjang gelombang maksimum (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. Selain itu, berdasarkan hasil analisis menggunakan PSA (Tabel 4.3), sampel yang dipreparasi menggunakan reduktor trisodium sitrat memiliki nilai indeks polidispersity yang jauh lebih tinggi, sehingga partikel nanosilver tidak terdispersi dengan baik dalam sampel. Hasil analisis PSA juga menunjukkan masih terdapat beberapa partikel berukuran mikron.

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

Berdasarkan studi yang dilakukan 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.

Titik 1 dengan daerah hambatan paling luas



Gambar 4.7 Visualisasi uji antibakteri untuk sampel B1 pada bakteri *S. Aureus*.

Titik 1 dengan daerah hambatan paling luas



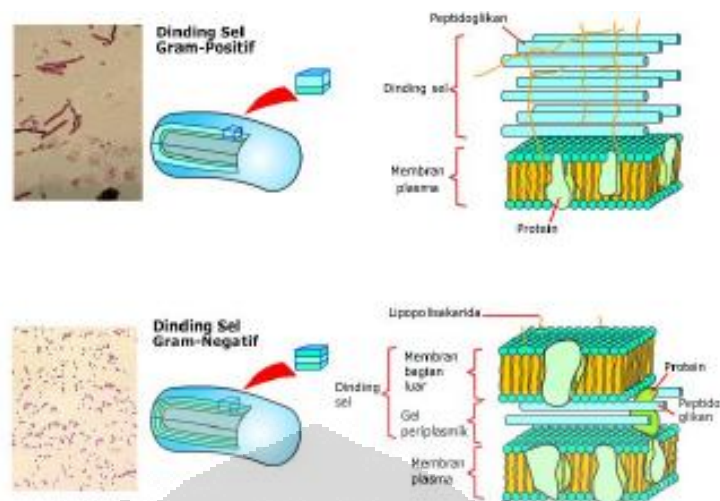
Gambar 4.8 Visualisasi uji antibakteri untuk sampel B1 pada bakteri *E.Coli*

Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan visualisasi uji aktivitas antibakteri untuk sampel B1. Dari gambar tersebut, pada titik 1 di masing-masing gambar tampak bahwa nanosilver memiliki diameter hambatan yang besar, baik untuk bakteri *S.*

Aureus ataupun *E. Coli*, yaitu 8 mm, sama dengan larutan standar pada konsentrasi yang sama.

Prosedur penting dalam klasifikasi bakteri ditemukan pada tahun 1884 oleh ilmuwan Denmark bernama Christian Gram. 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.

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 4.9.



Gambar 4.9 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. Tabel 4.6 menunjukkan hubungan antara diameter partikel dengan aktivitas antibakteri dari masing-masing sampel. Dari tabel tersebut terlihat bahwa untuk ukuran partikel dengan rentang 50 – 150 nm memberikan aktivitas antibakteri yang baik. Namun, semakin meningkatnya ukuran partikel menunjukkan semakin berkurangnya aktivitas antibakteri untuk kedua jenis bakteri, *S. Aureus* dan *E. Coli*. Untuk sampel C1 dan C2 tidak memberikan aktivitas antibakteri, hal ini dikarenakan 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. Selain itu, berdasarkan hasil analisis menggunakan PSA (Tabel 4.3), sampel yang dipreparasi menggunakan reduktor trisodium sitrat memiliki nilai indeks polidispersity yang lebih tinggi, sehingga partikel nanosilver tidak terdispersi dengan baik dalam sampel. Hasil analisis PSA juga menunjukkan masih terdapat beberapa partikel berukuran mikron.

Tabel 4.6 Korelasi antara panjang gelombang, ukuran partikel, dan aktivitas antibakteri

No.	Kode Sampel	Panjang Gelombang Puncak (nm)	Ukuran Partikel (nm)	Diameter hambatan pada biakan bakteri (mm)	
				S. Aureus	E.Coli
1.	A1	434	75,5	6	4
2.	A2	453	128,2	3	3
3.	A3	495	143,7	4	4
4.	B1	421	55	8	8
5.	B2	424	168,7	4	4
6.	B3	431	218,2	5	6
7.	C1	393	14,2	-	-
8.	C2	418	18,1	-	-
9.	C3	452	25,2	3	2,5

4.2 Preparasi Komposit Poliester/Katun - Nanosilver

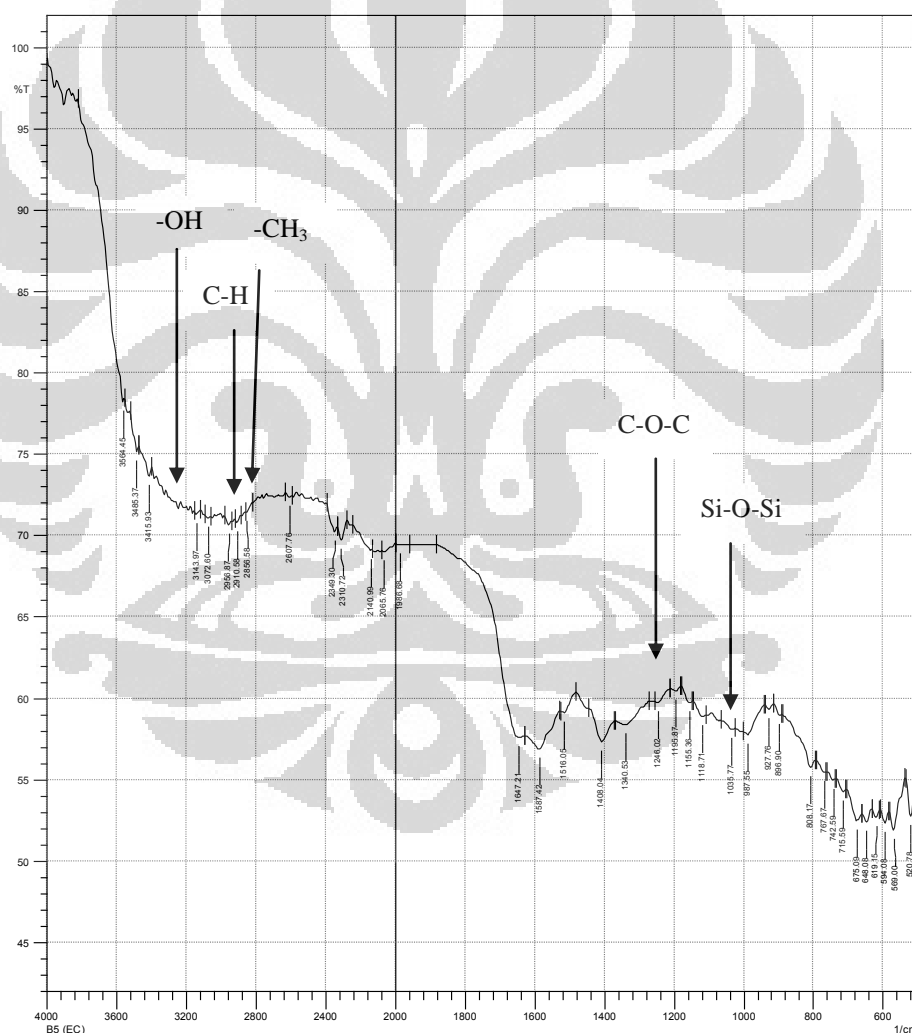
Penelitian tahap pertama bertujuan untuk mencari sampel nanosilver terbaik dengan dasar memiliki aktivitas antibakteri yang baik. Selain itu, distribusi ukuran partikel menjadi pertimbangan lainnya dalam hal penentuan sampel terbaik, yakni dibawah 100 nm. Dari penelitian tahap awal dapat diketahui bahwa sampel dengan kondisi konsentrasi AgNO_3 umpan 250 ppm dan reduktor asam sitrat (B1), memberikan nilai hambatan yang paling tinggi pada uji antibakteri dibandingkan terhadap sampel yang lainnya. Sedangkan ukuran partikel nanosilver untuk sampel tersebut sebesar 55 nm.

Setelah didapatkan sampel terbaik pada penelitian tahap awal, maka dilanjutkan dengan melakukan preparasi komposit poliester/katun - nanosilver. Preparasi dilakukan dengan melakukan penambahan senyawa polisiloksan yang berfungsi sebagai pengikat partikel nanosilver dengan serat poliester/katun, sehingga tujuan penelitian tahap ini adalah menghasilkan komposit poliester/katun - nanosilver yang memiliki aktivitas antibakteri secara stabil. Preparasi komposit dilakukan dengan metode deposisi serat pada koloid nanosilver yang telah ditambahkan polivinil alkohol (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)

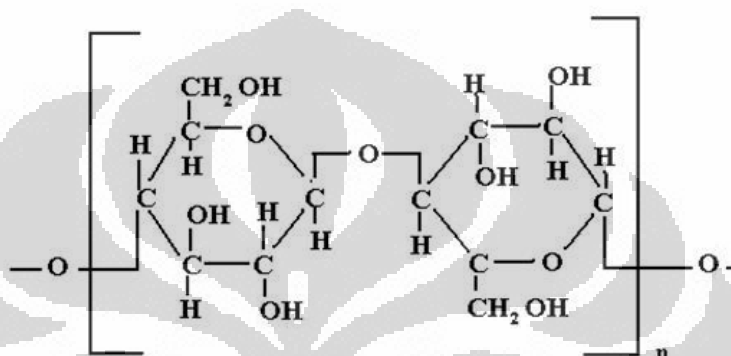
Tujuan melakukan analisis ini adalah untuk melihat gugus fungsi dari ester yang berasal dari serat poliester, gugus-gugus serat selulosa pada katun, gugus fungsi OH- dari senyawa PVA, dan gugus siloksan dari senyawa polisiloksan. Analisis gugus fungsi dari masing-masing senyawa ini dilakukan untuk mengetahui bahwa telah terjadi ikatan antara molekul PVA, molekul polisiloksan, dan serat dimana molekul PVA sendiri merupakan stabilizer dan pelindung bagi partikel nanosilver.



Gambar 4.10 Hasil Analisis FTIR untuk serat katun yang telah dideposisi dengan nanosilver

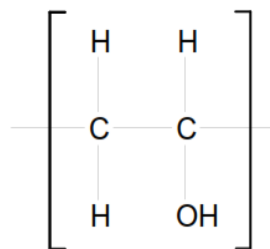
Dari Gambar 4.10, hasil analisis spektrum FTIR pada serat katun yang telah dideposisi dengan nanosilver menunjukkan adanya peak pada bilangan

gelombang $3143 - 3415 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi ikatan -OH atau menunjukkan adanya gugus hidroksil. Peak pada serapan pada daerah bilangan gelombang 2910 cm^{-1} adalah vibrasi ikatan C-H . Peak lain terlihat pada bilangan gelombang 1246 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ikatan -C-O-C- dari gugus eter. Sehingga dari hasil analisis di atas terdapat gugus hidroksil dan eter yang terdapat pada serat katun. Serat katun sendiri sebagian besar ($>90\%$) terdiri dari selulosa. Monomer dari selulosa (glukosa) yang terdapat pada serat katun dapat dilihat pada Gambar 4.11.

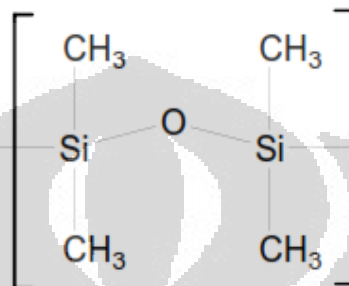


Gambar 4.11 Monomer dari senyawa selulosa

Berdasarkan hasil analisis FTIR pada Gambar 4.10 juga dilakukan identifikasi keberadaan senyawa polivinil alkohol dan polisiloksan. Polivinil alkohol merupakan senyawa yang terbentuk dari gugus-gugus vinil dan alkohol. Gugus alkohol -OH ditunjukkan oleh spektrum pada serapan bilangan gelombang $3143 - 3415 \text{ cm}^{-1}$. Sedangkan ikatan C-H dapat ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang $2856 - 2910 \text{ cm}^{-1}$. Kemudian pada serapan bilangan gelombang 1246 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus Si-C yang terdapat pada senyawa polisiloksan. Serapan bilangan gelombang 2856 cm^{-1} menunjukkan serapan bilangan gelombang untuk gugus alkil -CH_3 . Gugus Si-O-Si ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang dengan kisaran 1035 cm^{-1} . Dari hasil analisis FTIR tersebut menunjukkan bahwa senyawa PVA dan polisiloksan telah terdapat pada serat katun. Monomer-monomer dari senyawa PVA dan Polisiloksan dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



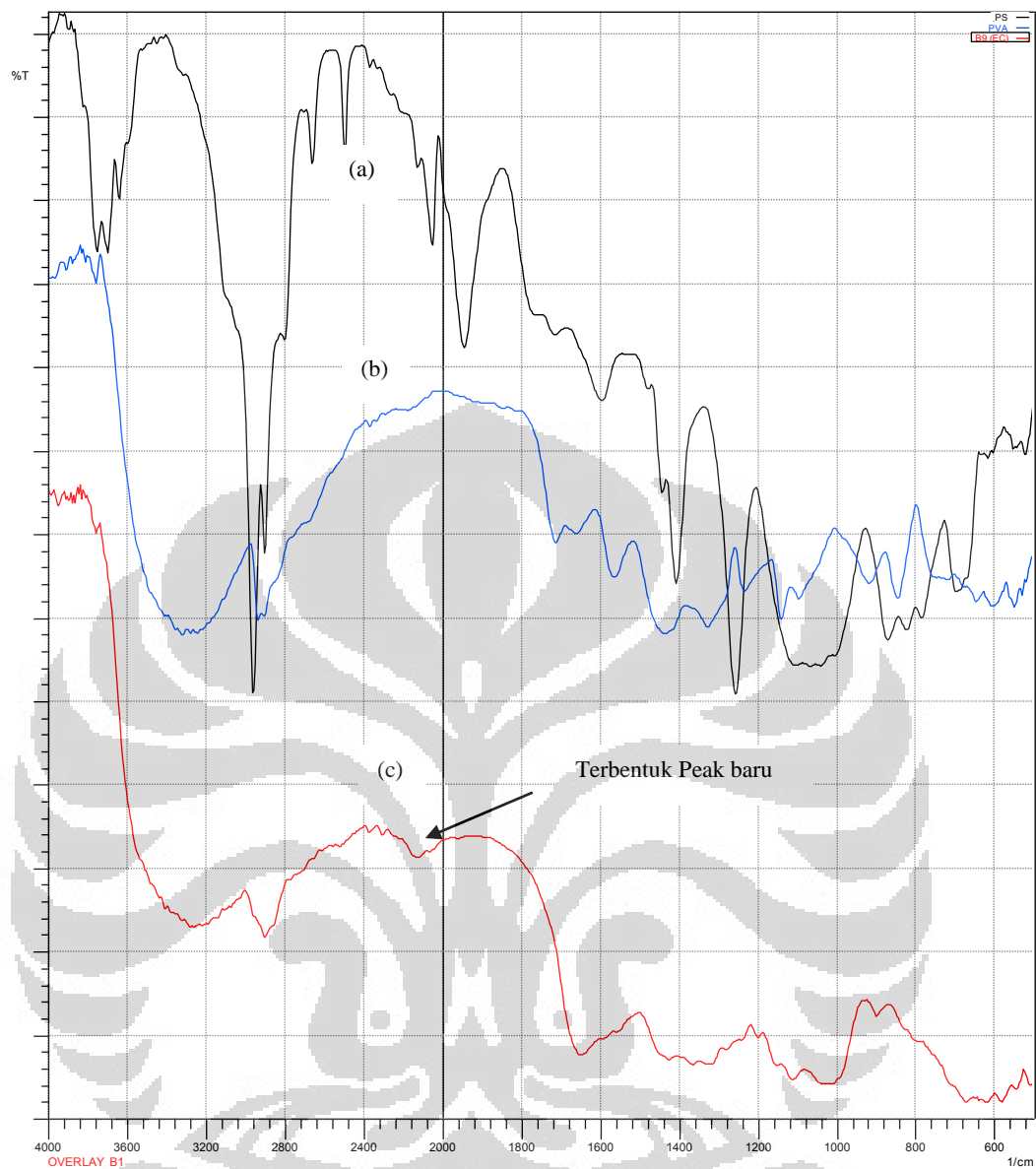
Gambar 4.12 Struktur monomer dari senyawa PVA



Gambar 4.13 Struktur monomer dari senyawa Polisiloksan

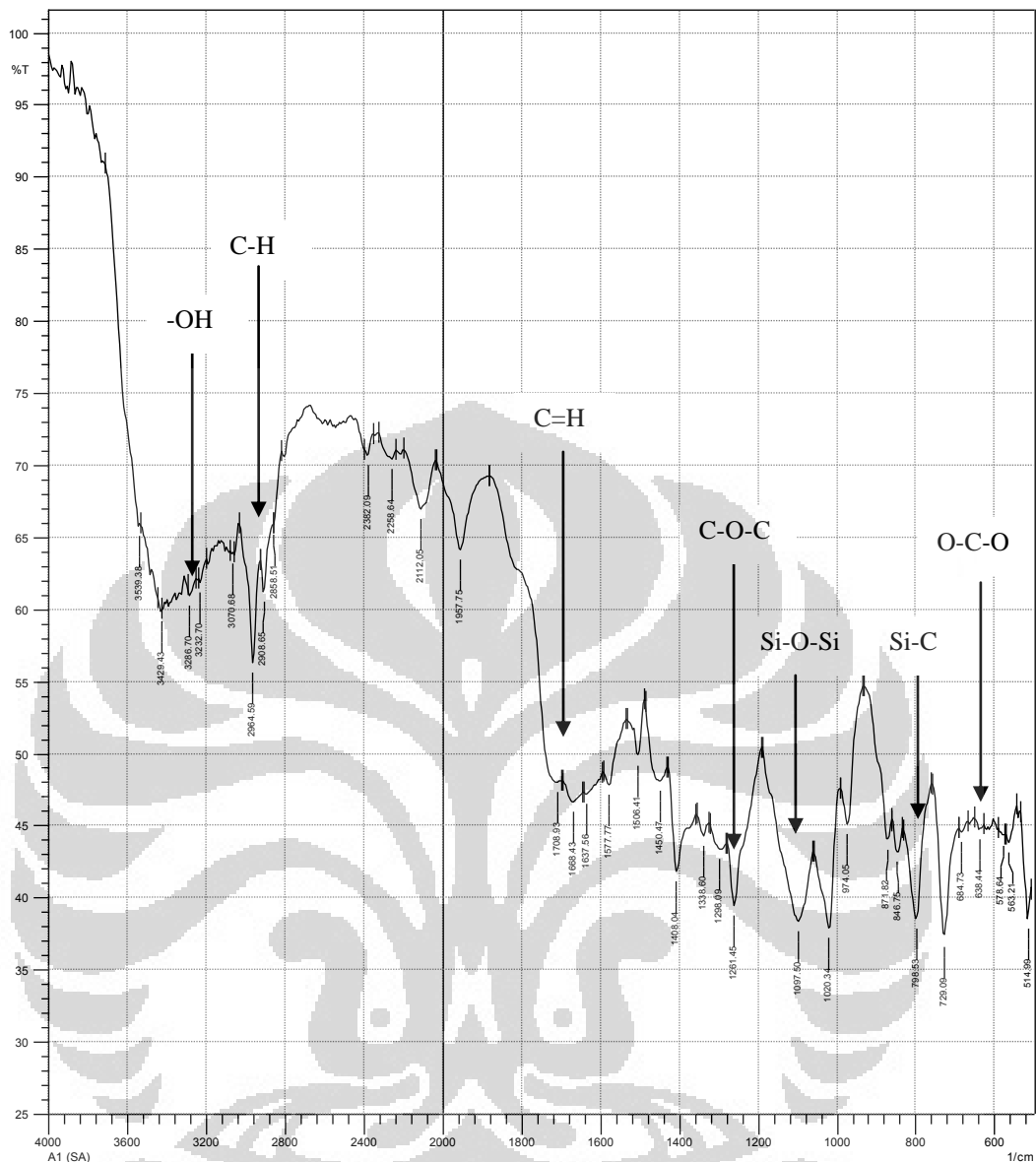
Selain mengidentifikasi keberadaan masing-masing senyawa, juga dilakukan analisis perbandingan spektrum FTIR terhadap komposit serat katun-nanosilver yang telah dipreparasi menggunakan PVA dan polisiloksan dengan senyawa PVA dan polisiloksan tersendiri. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui apakah terdapat ikatan baru yang terbentuk pada komposit serat katun-nanosilver.

Berdasarkan gambar 4.14, dari hasil analisis perbandingan spektrum FTIR komposit serat katun-nanosilver setelah dipreparasi dengan PVA dan polisiloksan, menunjukkan adanya peak baru pada serapan bilangan gelombang 2000-2400 cm^{-1} yang menunjukkan adanya *crosslinking* dari senyawa PVA dan polisiloksan pada serat katun. Kemudian berdasarkan studi Reis et al (2006) ikatan hidrogen yang terbentuk pada komposit dapat ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang 3200-3600 cm^{-1} . Dengan demikian, dapat disimpulkan telah terdapat ikatan baru antara serat katun, polisiloksan, dan PVA yang melingkupi senyawa nanosilver.



Gambar 4.14 Spektrum FTIR untuk (a) polisiloksan, (b) PVA, (c) serat katun setelah dipreparasi dengan polisiloksan dan PVA yang mengandung partikel nanosilver

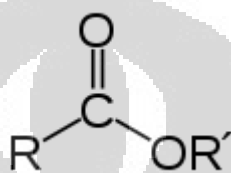
Selain serat katun, penelitian ini juga dilakukan pada serat poliester. Hasil analisis spektrum FTIR pada serat poliester yang telah dideposisi dengan nanosilver dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Hasil Analisis FTIR untuk serat poliester yang telah dideposisi dengan nanosilver

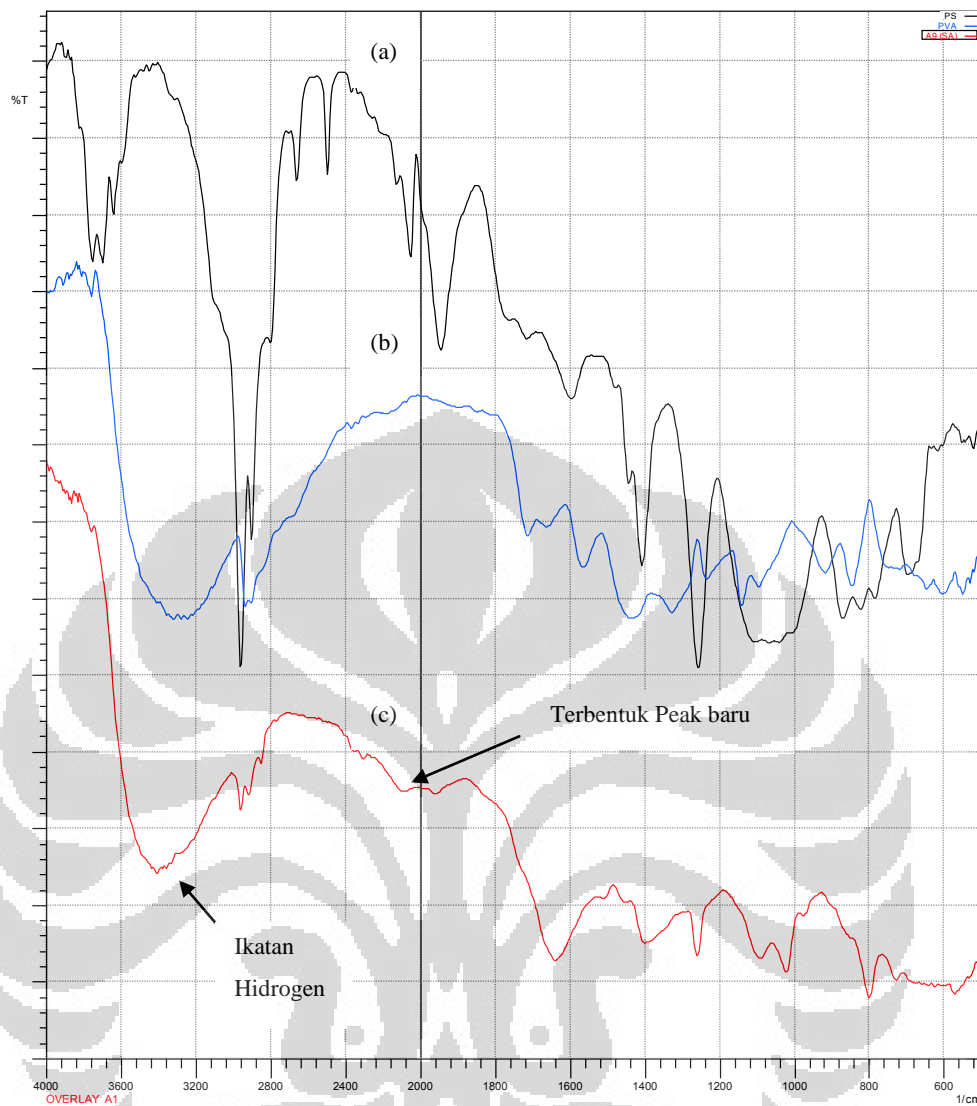
Dari Gambar 4.15 di atas dapat dilihat terdapat peak pada bilangan gelombang 1708 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ikatan C=H dari gugus ester. Peak pada serapan pada daerah bilangan gelombang 1261 cm^{-1} adalah vibrasi ikatan C-O-C dari gugus ester. Peak lain terlihat pada bilangan gelombang antara $578\text{-}638\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi ikatan O-C-O dari gugus ester. Keberadaan senyawa PVA dapat dilihat pada serapan bilangan gelombang $3232\text{ - }3286\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan gugus alkohol -OH. Sedangkan ikatan C-H dari PVA dapat ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang $2858\text{ - }2908\text{ cm}^{-1}$. Kemudian pada serapan bilangan gelombang 798 cm^{-1} dan 1261 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus Si-C yang

terdapat pada senyawa polisiloksan. Serapan bilangan gelombang 2908 cm^{-1} menunjukkan serapan bilangan gelombang untuk gugus alkil $-\text{CH}_3$. Gugus Si-O-Si ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang dengan kisaran 1097 cm^{-1} . Dari hasil analisis FTIR tersebut menunjukkan bahwa senyawa PVA dan polisiloksan telah terdapat pada serat poliester. Sehingga dari hasil analisis FTIR di atas menunjukkan bahwa terdapat gugus ester, PVA, dan polisiloksan pada serat Poliester. Monomer dari suatu gugus ester dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Struktur gugus ester

Analisis perbandingan spektrum FTIR terhadap komposit serat poliester-nanosilver yang telah dipreparasi menggunakan PVA dan polisiloksan dengan senyawa PVA dan polisiloksan sendiri dapat dilihat pada Gambar 4.17. Gambar tersebut menunjukkan adanya peak baru pada serapan bilangan gelombang $2800\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya *crosslinking* dari senyawa PVA dan polisiloksan pada serat katun. Kemudian berdasarkan studi Reis et al (2006) ikatan hidrogen yang terbentuk pada komposit dapat ditunjukkan pada serapan bilangan gelombang $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$. Dengan demikian, dapat disimpulkan telah terdapat ikatan baru antara serat poliester, polisiloksan, dan PVA yang melingkupi senyawa nanosilver.

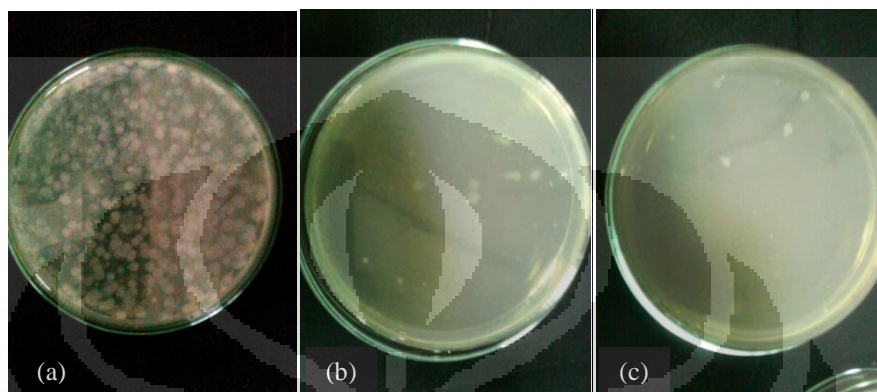


Gambar 4.17 Spektrum FTIR untuk (a) polisiloksan, (b) PVA, (c) serat poliester setelah dipreparasi dengan polisiloksan dan PVA yang mengandung partikel nanosilver

4.2.2 Analisis Stabilitas Antibakteri Pada Komposit Poliester/Katun-Nanosilver

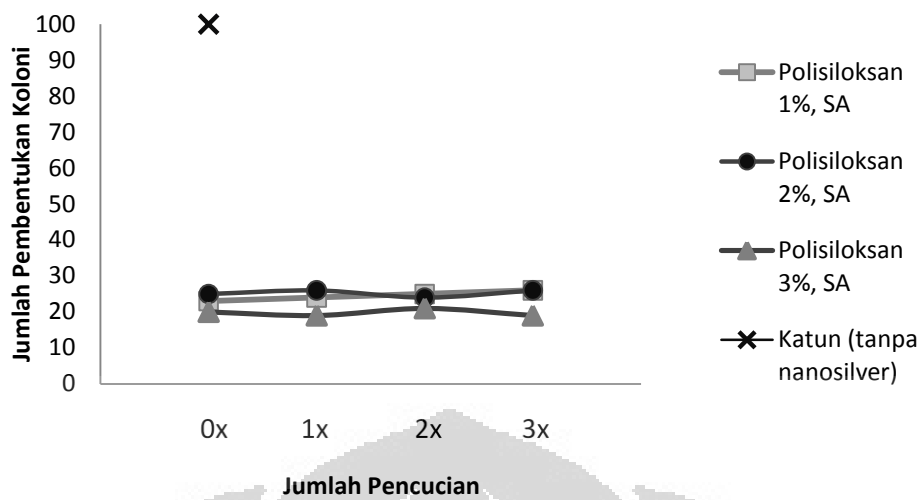
Tahapan penelitian yang paling penting adalah uji antibakteri pada komposit poliester/katun-nanosilver yang telah dipreparasi. Uji antibakteri ini dilakukan dengan metode Colony Forming Units (CFU), yakni menghitung jumlah koloni bakteri yang terbentuk pada sampel komposit poliester/katun-nanosilver. Tahapan penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan polisiloksan pada berbagai konsentrasi dengan pencucian sampel komposit

terhadap aktivitas antibakteri. Uji aktivitas antibakteri dilakukan pada 2 jenis bakteri, yaitu bakteri gram positif (*Staphylococcus aureus*) dan gram negatif (*Eschericia coli*). Gambar 4.19 menunjukkan foto dari hasil uji antibakteri dengan metode pembentukan koloni. Koloni bakteri ditunjukkan oleh titik/area berwarna putih.

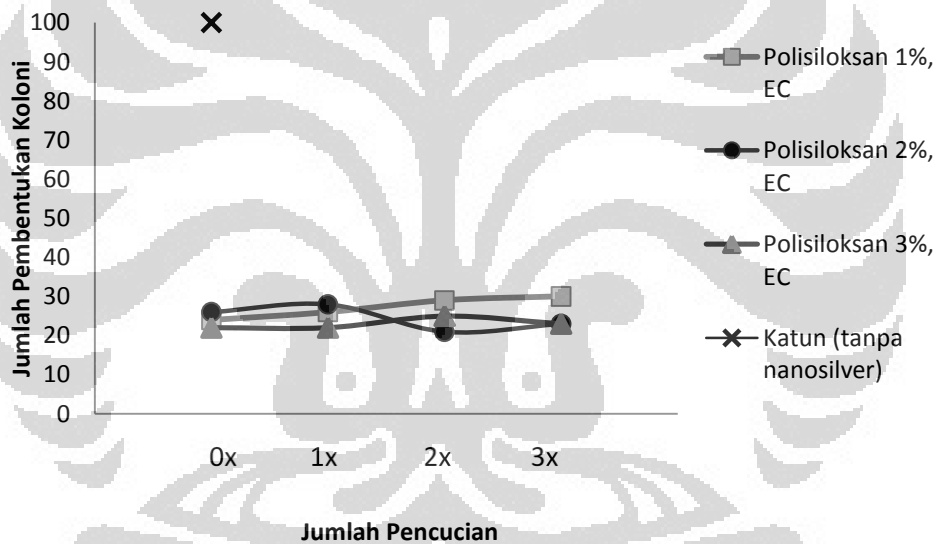


Gambar 4.18 Visualisasi uji antibakteri dengan CFU; (a) serat tanpa nanosilver, (b) katun-nanosilver, dan (c) poliester-nanosilver

Gambar 4.19 dan 4.20 menunjukkan hasil uji antibakteri pada komposit katun-nanosilver. Dapat dilihat bahwa katun yang tidak ditambahkan nanosilver memberikan jumlah pembentukan koloni mencapai 100, sedangkan komposit katun-nanosilver hanya menghasilkan jumlah koloni bakteri sekitar 20, baik untuk bakteri *S.Aureus* ataupun *E.Coli*. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa komposit nanosilver memang memiliki aktivitas antibakteri yang baik.



Gambar 4.19 Hasil uji antibakteri komposit katun-nanosilver pada bakteri *S. aureus*

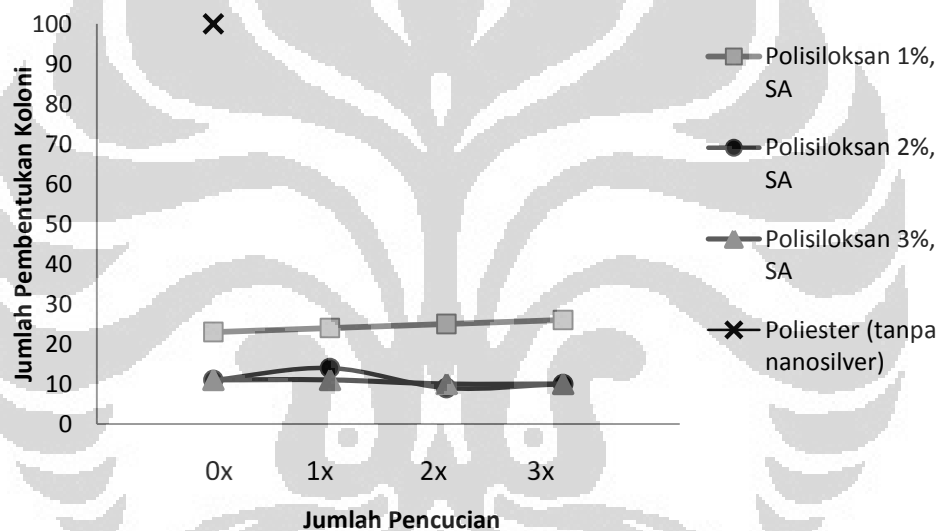


Gambar 4.20 Hasil uji antibakteri komposit katun-nanosilver pada bakteri *E. coli*

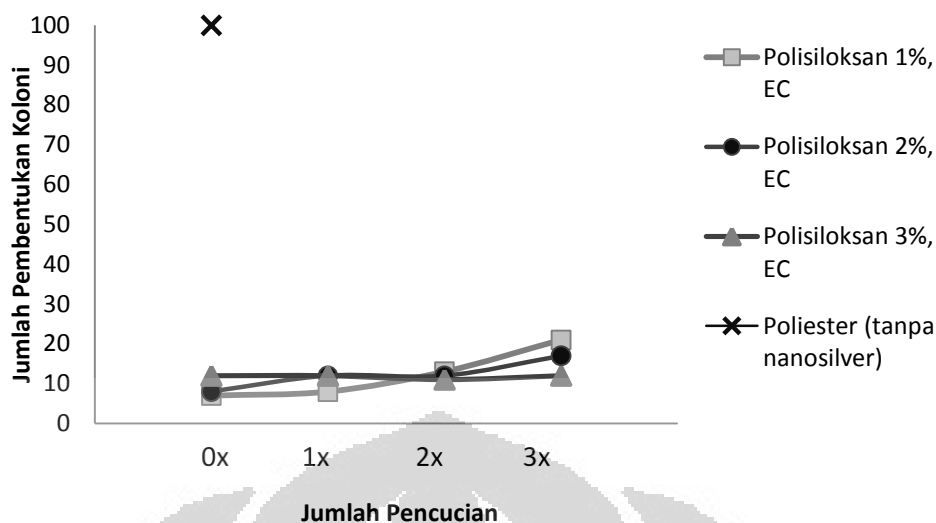
Dari kedua gambar di atas, dapat dilihat bahwa kemampuan antibakteri dari komposit katun- nanosilver terhadap bakteri *S.Aureus* ataupun *E.Coli* relatif stabil setelah 3 kali perlakuan pencucian. Pada polisoloksan dengan konsentrasi 1%, terlihat cenderung terjadi peningkatan jumlah koloni bakteri walaupun hanya sedikit. Sedangkan pada konsentrasi 2% dan 3% jumlah koloni yang terbentuk relatif stabil dan berkisar antara 20 koloni. Dapat dilihat juga bahwa komposit katun-nanosilver memiliki kemampuan antibakteri yang sedikit lebih baik terhadap *S.Aureus*

dibandingkan terhadap *E.Coli*. Hal ini dapat disebabkan karena *S.Aureus* merupakan golongan bakteri gram negatif yang hanya memiliki plasma tunggal.

Sedangkan Gambar 4.21 dan 4.22 menunjukkan hasil uji antibakteri pada komposit poliester-nanosilver. Dapat dilihat bahwa poliester yang tidak ditambahkan nanosilver juga memberikan jumlah pembentukan koloni mencapai 100, sedangkan komposit katun-nanosilver hanya menghasilkan jumlah koloni bakteri sekitar <20, baik untuk bakteri *S.Aureus* ataupun *E.Coli*. Berdasarkan data tersebut, dapat dikatakan bahwa penambahan nanosilver pada serat poliester memang dapat memberikan aktivitas antibakteri yang baik.



Gambar 4.21 Hasil uji antibakteri komposit poliester-nanosilver pada bakteri *S.Aureus*



Gambar 4.22 Hasil uji antibakteri komposit poliester-nanosilver pada bakteri *E.Coli*

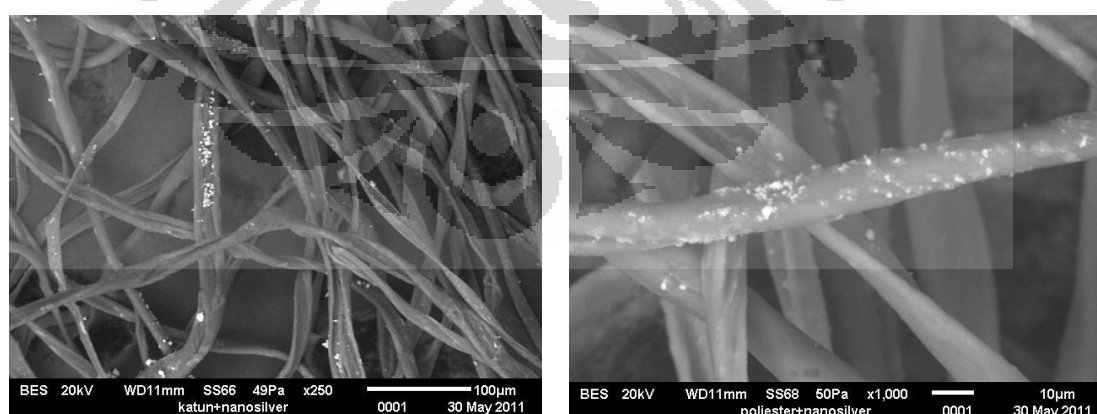
Berdasarkan Gambar 4.21, dapat dilihat bahwa kemampuan antibakteri dari komposit poliester-nanosilver terhadap bakteri *S.Aureus* ataupun relatif stabil setelah 3 kali perlakuan pencucian. Namun pada polisiloksan dengan konsentrasi 1%, masih terlihat cenderung terjadi peningkatan jumlah koloni bakteri. Sedangkan pada konsentrasi 2% dan 3% sama sekali tidak terjadi peningkatan jumlah koloni. Sedangkan dari Gambar 4.22, dapat dilihat bahwa kemampuan antibakteri komposit poliester-nanosilver terhadap bakteri *E.Coli* terlihat sedikit menurun (terjadi jumlah peningkatan koloni) pada polisiloksan dengan konsentrasi 1% dan 2%. Kemampuan antibakteri komposit poliester-nanosilver baru terlihat lebih stabil pada penambahan konsentrasi polisiloksan 3%. Hasil uji antibakteri ini juga menunjukkan bahwa komposit poliester-nanosilver memiliki kemampuan antibakteri yang sedikit lebih baik dibandingkan katun-nanosilver berdasarkan jumlah pembentukan koloni. Hal ini dapat dikarenakan sifat serat katun yang memiliki kelembaban lebih tinggi sehingga merupakan media yang lebih baik bagi berkembangnya bakteri/jamur dibandingkan dengan poliester.

Menurut Reis et al. (2006), senyawa PVA memiliki sifat semi-kristalin dan bersifat hidrofil. Sedangkan senyawa polisiloksan cenderung memiliki sifat hidrofob. Berdasarkan penelitian ini, pada konsentrasi

polisiloksan 3% dianggap optimal terhadap proses penempelan partikel nanosilver pada serat katun dan poliester. Setelah 3 kali perlakuan pencucian, terlihat adanya kecenderungan kestabilan jumlah koloni. Oleh karena itu, dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penambahan senyawa polisiloksan berpengaruh terhadap kestabilan aktivitas antibakteri komposit serat katun-nanosilver dan poliester-nanosilver.

4.2.3 Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

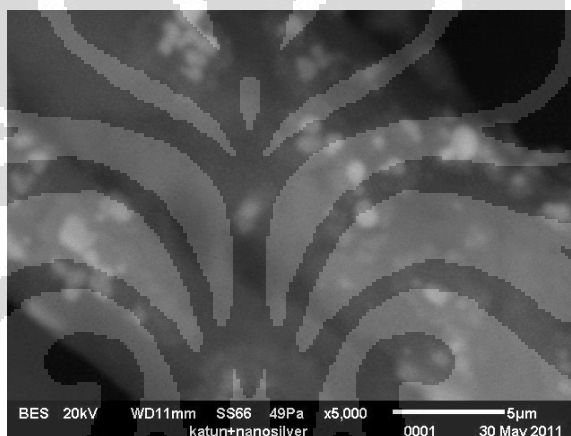
Analisis SEM dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui morfologi dari serat katun dan poliester, setelah diberikan perlakuan deposisi nanosilver dan perlakuan pencucian beberapa kali. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. Prinsip kerja SEM adalah dengan 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. Analisis ini juga dilakukan untuk melihat morfologi dari koloid partikel nanosilver yang menempel pada serat.



Gambar 4.23 Hasil analisis SEM pada komposit katun-nanosilver perbesaran 250x dan 1000x

Dari gambar 4.23, dapat dilihat struktur morfologi sebaran partikel nanosilver pada serat katun. Berdasarkan gambar terlihat bahwa partikel nanosilver

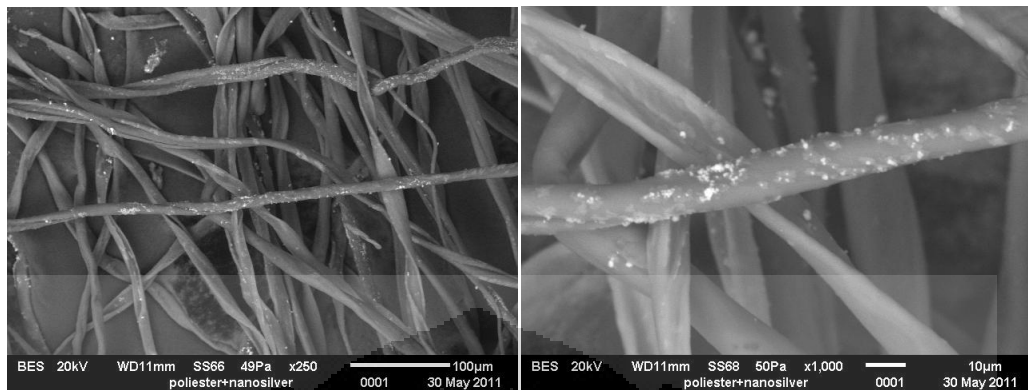
tetap menempel pada serat katun walaupun telah diberi perlakuan pencucian. Hal ini sesuai dengan hasil uji antibakteri pada serat katun yang menunjukkan stabilitas yang baik, karena memang partikel nanosilver masih terdapat pada serat walaupun telah mengalami pencucian. Namun dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa persebaran nanosilver pada serat katun tidak merata. Hal ini dimungkinkan karena waktu deposisi yang cukup singkat yaitu hanya 1 menit. Selain itu terlihat bahwa ukuran partikel yang tidak sama pada serat 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. Gambar 4.24 menunjukkan morfologi nanosilver yang menempel pada serat.



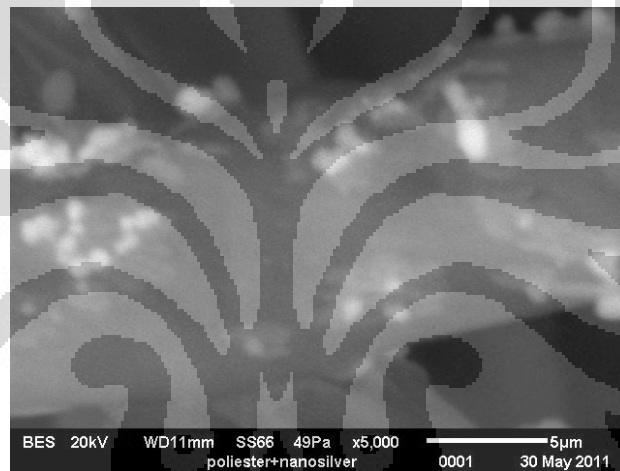
Gambar 4.24 Hasil analisis SEM pada komposit katun-nanosilver perbesaran 5000x

Analisis SEM pada komposit poliester- nanosilver dapat dilihat pada Gambar 4.25 dan 4.26. Dari gambar tersebut terlihat bahwa partikel nanosilver juga tetap terdapat pada serat poliester walaupun telah diberi perlakuan pencucian. Oleh karena itu, hasil uji antibakteri pada serat poliester memiliki stabilitas yang baik karena adanya partikel nanosilver yang masih menempel pada serat. Analisis SEM pada komposit poliester-nanosilver juga menunjukkan persebaran nanosilver pada serat yang tidak merata. Hal ini juga dapat disebabkan karena waktu deposisi pada serat poliester juga sama dengan serat katun yaitu hanya 1 menit. Selain itu terlihat juga ukuran partikel nanosilver yang berbeda. Hal ini dapat disebabkan terjadinya aglomerasi dari nanosilver, atau 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.



Gambar 4.25 Hasil analisis SEM pada komposit poliester-nanosilver perbesaran 250x dan 1000x



Gambar 4.26 Hasil analisis SEM pada komposit poliester-nanosilver perbesaran 5000x

Berdasarkan hasil analisis SEM di atas, dapat dibuktikan bahwa penambahan senyawa polisiloksan pada komposit katun/poliester-nanosilver dapat meningkatkan stabilitas antibakteri karena mampu mengikat partikel nanosilver pada serat walaupun diberikan beberapa kali perlakuan pencucian.

4.3 Uji Toksisitas Nanosilver

Terkait dengan aplikasi nanosilver pada bahan tekstil, maka diperlukan uji toksisitas dari nanosilver terhadap makhluk hidup. Uji toksisitas dilakukan untuk menentukan *Lethal Dose akut oral* dari nanosilver yang diberikan sebagai dosis tunggal pada mencit. Uji ini mengacu secara umum pada :

1.) **OECD**. 2001. Harmonised Integrated Classification System for Human Health and Environmental Hazards of Chemical Substances and Mixtures. Environment Directorate Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology.

2.) **EPA**. 1998. Health Effects Test Guidelines. OPPTS 870.1000. Acute Toxicity Testing – Background. EPA 712-C-98-189.

Uji toksisitas akut oral LD-50 14 hari pada koloid nano silver dilakukan untuk mendapatkan nilai LD-50 14 hari dengan menggunakan hewan uji mencit (*Mus musculus*). Bahan uji diberikan secara oral dalam sekali pemberian, langsung ke lambung kepada 6 kelompok dosis yang masing-masing terdiri atas 10 ekor mencit (5 ekor jantan dan 5 ekor betina) pada tingkat dosis 0 (kontrol), 1.256; 2.771; 5.825; 11.322 dan 21.804mg/KgBB. Pengaruh sampel terhadap sistem syaraf mencit dilihat dengan mengamati aktivitas motorik spontan dan perilaku eksplorasi dan keingintahuan yang dilakukan 30 menit sebelum dan 30 menit sesudah pemberian sampel pada contoh mencit perlakuan dan mencit kontrol. Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap angka mortalitas, hasil pengamatan tanda-tanda klinis dan hasil pengamatan patologi anatomis. Pengamatan organ juga dilakukan dengan mengukur berat masing-masing organ-dalam (hati, limpa, jantung, paru-paru, ginjal dan testes/ovarium) dari contoh mencit perlakuan dan kontrol. Dari hasil pengujian terhadap sistem syaraf 30 menit setelah pemberian sampel, sampel cenderung menyebabkan penurunan ketahanan mencit dalam mencengkeram termasuk pada mencit kontrol jantan, kecuali mencit jantan dan betina yang diberi sampel dengan dosis ke 3 (5.825mg/kgBB) dan mencit jantan yang diberi sampel dengan dosis ke 5 (21.804mg/KgBB). Sedangkan pengamatan terhadap perilaku eksplorasi dan keingintahuan, 30 menit setelah pemberian sampel pada rata-rata mencit menyebabkan terjadinya peningkatan perilaku ini baik pada jantan maupun betina, kecuali mencit jantan yang diberi sampel dengan dosis ke 2 (2.771mg/kgBB). Kontrol menunjukkan penurunan dalam perilaku ini. Ditemukan tanda-tanda kesakitan pada mencit sebelum mati yaitu penurunan bobot badan dan mencret. Terdapat kematian pada semua mencit perlakuan sebanyak masing-masing 2, 4, 4, 4 dan 3 ekor atau sebesar 10, 20, 20, 20 dan 15% pada dosis pemberian 1.256; 2.771; 5.825; 11.322 dan 21.804mg/KgBB. Kematian pada mencit jantan kurang lebih 2

kali lipat kematian yang terjadi pada mencit betina. Tidak terdapat kematian pada kontrol. Dari hasil pemeriksaan patologi anatomi, ditemukan perbedaan warna pada organ pada mencit yang diberi sampel, yaitu warna hati menjadi merah gelap bila dibandingkan warna hati mencit kontrol. Nilai berat organ (baik dalam gram maupun dalam persentase terhadap bobot badan) pada mencit perlakuan pada semua dosis pemberian, nilainya mendekati nilai berat organ pada mencit kontrol, kecuali pada hati dan limpa, terutama pada hati, nilai berat (g dan %) lebih tinggi bila dibandingkan dengan berat hati pada kontrol pada semua dosis pemberian. Pemberian sampel cenderung meningkatkan berat (g dan %) limpa dan hati. Walaupun dari hasil perhitungan statistik didapatkan angka LD-50, akan tetapi karena dari pertimbangan hasil pemeriksaan klinik yaitu kematian terjadi pada semua dosis pemberian dan dari pemeriksaan patologi-anatomi, yaitu terjadi perubahan pada hati dan limpa, maka nilai LD-50 14 hari dari sampel koloid nano silver pada mencit adalah pada nilai-nilai yang lebih besar dari 21.804mg/KgBB atau lebih besar dari 21,8mL/KgBB. Koloid nano silver masuk kategori toksisitas 5 menurut OECD, dan mempunyai toksisitas akut relatif rendah, akan tetapi pada kondisi tertentu, dapat menyebabkan efek merugikan pada populasi yang rentan (OECD) atau mempunyai efek relatif tidak berbahaya (relatively harmless) menurut Peraturan Pemerintah RI No.74/2001 atau masuk kategori toksisitas IV menurut EPA (1998). Walaupun masuk kategori toksisitas seperti tersebut di atas, akan tetapi pemberian sampel ini mempunyai efek merugikan pada mencit yaitu menyebabkan kematian pada semua dosis pemberian dan perubahan pada berat dan warna hati dan limpa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

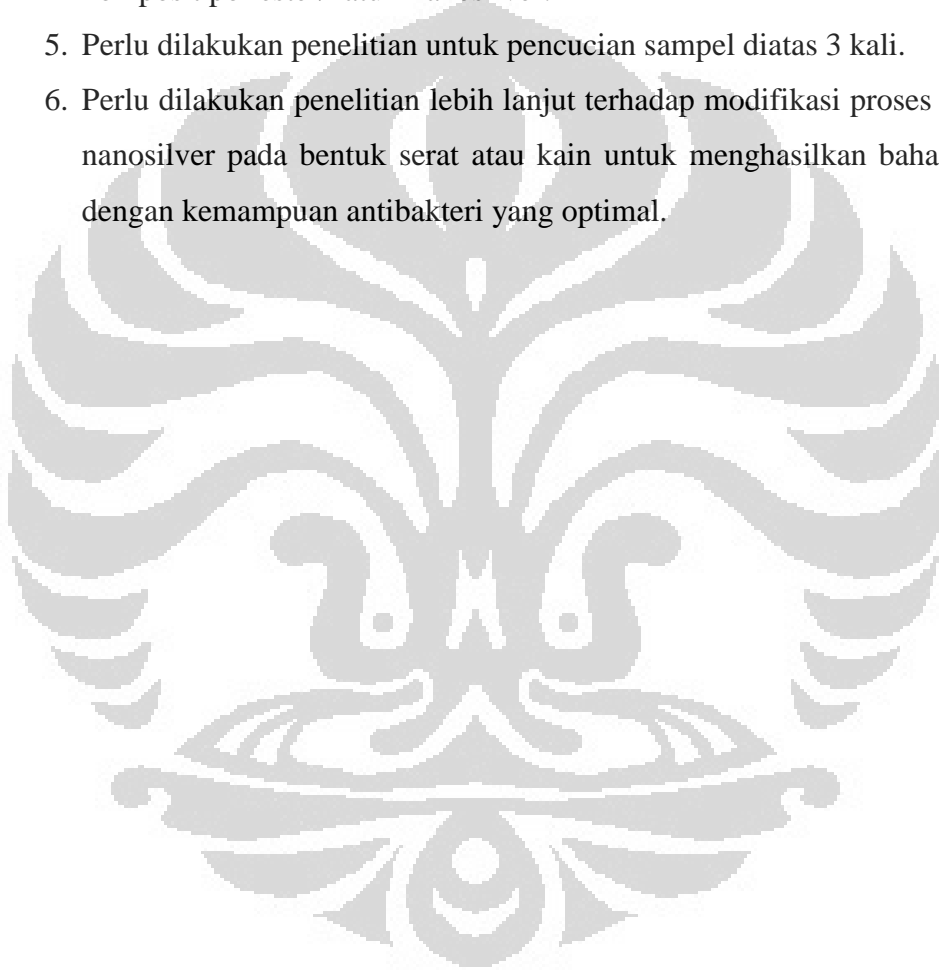
1. Hasil preparasi nanosilver dari reduksi perak nitrat menunjukkan bahwa konsentrasi umpan AgNO_3 250 ppm dengan reduktor asam sitrat menghasilkan aktivitas antibakteri yang paling optimal.
2. Berdasarkan penelitian ini, sampel nanosilver dengan ukuran partikel <100 nm memiliki kemampuan antibakteri yang lebih baik dibandingkan dengan partikel yang berukuran >100 nm.
3. Dari hasil analisis FTIR pada perbandingan spektrum serapan bilangan gelombang komposit katun/poliester-nanosilver dengan polisiloksan dan PVA tersendiri, menunjukkan *crosslinking* antara antara serat, PVA dan polisiloksan pada komposit.
4. Hasil uji antibakteri pada komposit poliester-nanosilver dan katun-nanosilver menggunakan metode *colony forming unit* (CFU) menunjukkan bahwa penambahan polisiloksan memberikan hasil stabilitas antibakteri yang baik setelah tiga kali pencucian.
5. Hasil analisis SEM terhadap komposit poliester/katun-nanosilver menunjukkan partikel nanosilver yang masih terdeposisi pada serat setelah diberi perlakuan pencucian tiga kali.
6. Hasil uji toksisitas pada koloid nanosilver mempunyai efek relatif tidak berbahaya (*relatively harmless*) menurut Peraturan Pemerintah RI No.74/2001 atau masuk kategori toksisitas IV menurut EPA (1998).

5.2. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, hal-hal berikut dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk konsentrasi umpan AgNO_3 di bawah 250 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 lebih lanjut terhadap jenis pengikat lainnya selain polisiloksan yang dapat memberikan stabilitas antibakteri terhadap komposit poliester/katun-nanosilver.
5. Perlu dilakukan penelitian untuk pencucian sampel diatas 3 kali.
6. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap modifikasi proses deposisi nanosilver pada bentuk serat atau kain untuk menghasilkan bahan tekstil dengan kemampuan antibakteri yang optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Alcama I.E. (2001). *Fundamentals of microbiology*. Boston: Jones and Bartlett.
- Chen J, Wang K, Xin J, Jin Y. (2008). Microwave-assisted Green Synthesis of Silver Nanoparticle by Carboxymethyl Cellulose Sodium and Silver Nitrate. *Mater. Chem. Phys.*, 108, 421.
- Damm, Cornelia., Münstedt, Helmut., Rösch. (2007). Long-term Antimicrobial Polyamide 6/Silver – Nanocomposites. *J. Mater. Sci.*, 42, 6067- 6073.
- 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.
- Djafri, Chamroel. (2003). *Gagasan Seputar Pengembangan Industri Dan Perdagangan TPT (Tekstil dan Produk Tekstil)*. Asosiasi Pertekstilan Indonesia (API) dan Cidesindo, Jakarta.
- 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.
- 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.
- Funke B.R., Tortora G.J., Case C.L. (2004). *Microbiology: an introduction*, 8th ed. San Francisco: Benjamin Cummings.

- Gaylord, M.W. (1974). Reinforced Plastics, Theory and Practice, 2nd edition. Massachusetts: Cahner Books.
- Harper, Charles A. (2002). Handbook Of Plastics, Elastomers, and Composite. Mc. Grew Hill. Lutherville, Maryland USA.
- Haryono, Agus., Sri Budi Harmami. (2010). Aplikasi Nanopartikel Perak pada Serat Katun sebagai Produk Jadi Tekstil Antimikroba. *Jurnal Kimia Indonesia*, Vol.5, 1-6.
- Haryono, Agus., 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.
- Heslop, R.B., P.L. Robinson. (1960). Inorganic Chemistry: A Guide to Advanced Study, Elsevier Publishing Company, The Netherlands.
- Laksmono, J.A. (2010). Pengaruh Penambahan Senyawa Polisiloksan pada Komposit Nilon-Nanosilver terhadap Stabilitas Antibakteri pada Bahan Tekstil. Tesis Program Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- 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.
- 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.

- 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.
- Miranti, Ermina. (2007). Mencermati Kinerja Tekstil Indonesia: Antara Potensi dan Peluang, *Economic Review*. No. 209, September, 1 - 10.
- Panacek A, Kvitek L, Pucek R, Kolar M, Vecerova R, Pizurova N. (2006). Silver Colloid Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Their Antibacterial Activity. *J. Phys. Chem.*, 110, 33, 16248 - 16253.
- Rai, Mahendra., Yadav, Alka., Gade, Aniket. (2009). Nanoparticles as a New Generation of Antimicrobials. *Biotechnology Advances*, 27, 76 - 83.
- Reis, E.F. dos., 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.
- Saputra, Asep H. (2001). Diktat Kuliah Komposit. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Shahverdi A.R., 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.
- 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.

- 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.
- Sileikaite, Asta., Prosycevas, Igoris., Puiso, Judita. Juraitis, Algimantas., Guobiene, Asta. (2006). Analysis of Silver Nanoparticles Produced by Chemical Reduction of Silver Salt Solution. *J.Mat. Scie*, 12, 1392 – 1320.
- Song, H.Y, 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.
- Widiyarti, Galuh. (2007). Sintesis α -monolaurin dan uji aktivitasnya sebagai antibakteri. Tesis Program Magister Bidang Kimia Hayati, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
- Yeo, Sang Young., Lee, Hong Joo., Jeong, Sung Hong. (2003). Preparation of Nanocomposite Fibers for Permanent Antibacterial Effect. *J. Mat. Scie.*, 38, 2143 - 2147.
- Zielinska, Anna., Skwarek, Ewa., Zaleska, Adriana., Gazda, Maria., Hupka, Jan. (2009). Preparation of silver nanoparticles with controlled particle size. *Procedia Chemistry*, 1, 1560-1566.

LAMPIRAN A. HASIL KARAKTERISASI KOLOID NANOSILVER MENGUNAKAN PARTICLE SIZE ANALYZER (PSA)

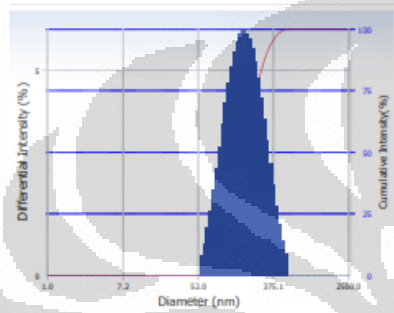
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

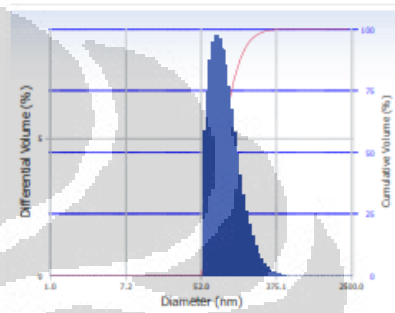
User : Common	Group : AS.ASKORBAT-250ppm	Repetition : 1/1
Date : 3/8/2011	File Name : AS.ASKORBAT-250ppm_20110308_152244	
Time : 15:22:44	Sample Information : AS.ASKORBAT-250ppm	
SOP Name : Nanotech		Security : No Security

Version 2.31 / 2.00

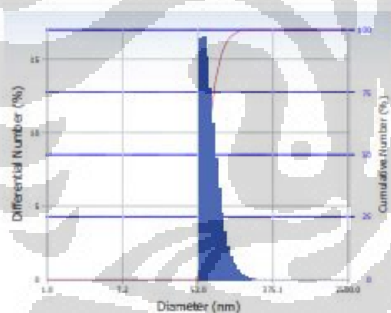
Intensity Distribution



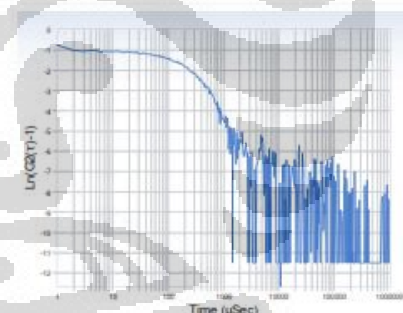
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

Diameter (d) : 153.3 (nm)
 Polydispersity Index (P.I.) : 0.201
 Diffusion Const. (D) : 3.208e-008 (cm²/sec)
 Residual : 5.875e-003 (O.K)

Measurement Condition

Temperature : 25.0 (°C)
 Diluent Name : WATER
 Refractive Index : 1.3328
 Viscosity : 0.8878 (cP)
 Scattering Intensity : 9162 (cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	192.4	93.6	1	103.4	45.7	1	75.5	21.1
2	0.0	0.0	2	0.0	0.0	2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	192.4	93.6	Average	103.4	45.7	Average	75.5	21.1

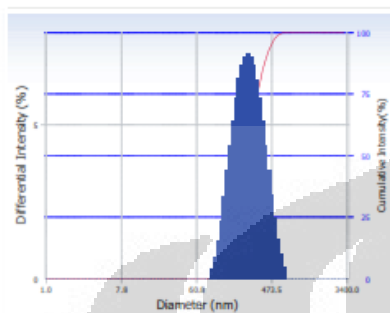
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

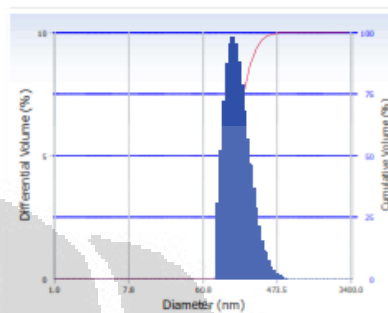
User	: Common	Group	: AS.ASKORBAT-500ppm	Repetition	: 1/1
Date	: 3/8/2011	File Name	: AS.ASKORBAT-500ppm_20110308_153439		
Time	: 15:34:39	Sample Information	: AS.ASKORBAT-500ppm		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

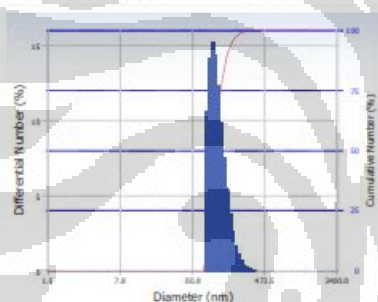
Intensity Distribution



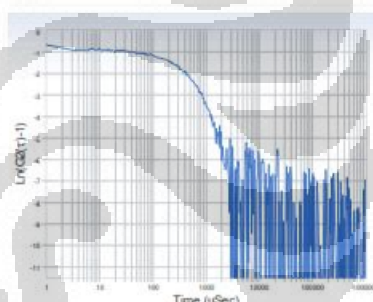
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

Diameter (d)	: 220.8	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.174	
Diffusion Const. (D)	: 2.228e-008	(cm ² /sec)
Residual	: 8.570e-003	(O.K)

Measurement Condition

Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 8490	(cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	267.5	110.9	1	168.8	64.8	1	128.2	34.9
2	0.0	0.0	2	0.0	0.0	2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	267.5	110.9	Average	168.8	64.8	Average	128.2	34.9

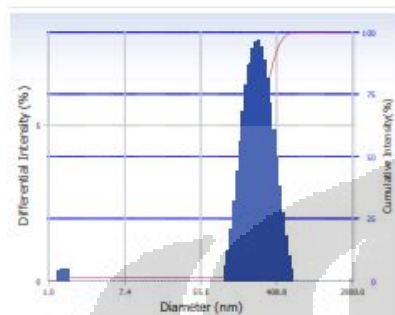
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

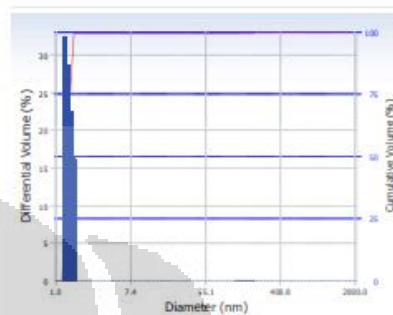
User	: Common	Group	: AS.ASKORBAT-1000ppm	Repetition	: 1/1
Date	: 3/8/2011	File Name	: AS.ASKORBAT-1000ppm_20110308_143527		
Time	: 14:35:27	Sample Information	: AS.ASKORBAT-1000ppm		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

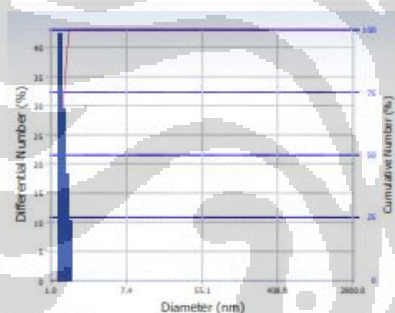
Intensity Distribution



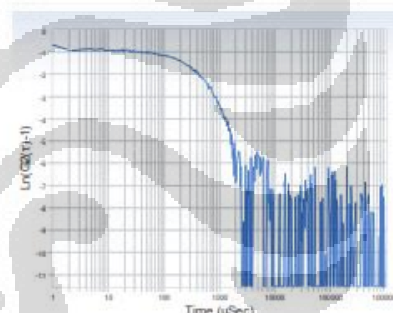
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

Diameter	(d)	: 233.2	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)		: 0.108	
Diffusion Const.	(D)	: 2.110e-008	(cm ² /sec)
Residual		: 7.206e-003	(O.K)

Measurement Condition

Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 9514	(cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	1.4	0.1	1	1.4	0.1	1	1.4	0.1
2	265.8	99.9	2	182.2	63.3	2	143.7	36.6
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	261.9	104.1	Average	2.5	14.9	Average	1.4	0.1

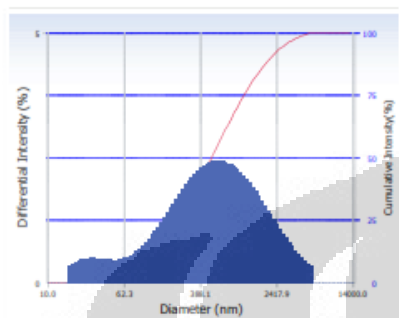
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

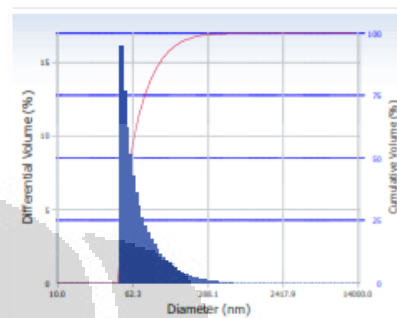
User	: Common	Group	: AS.SITRAT-250ppm	Repetition	: 1/1
Date	: 3/9/2011	File Name	: AS.SITRAT-250ppm_20110309_083709		
Time	: 08:37:09	Sample Information	: AS.SITRAT-250ppm		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

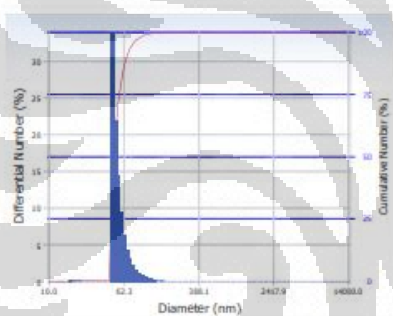
Intensity Distribution



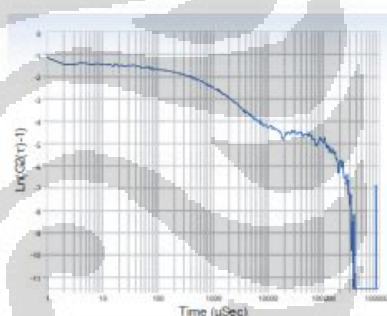
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs τ



Cumulants Results

Diameter (d)	: 705.8	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.300	
Diffusion Const. (D)	: 6.932e-009	(cm ² /sec)
Residual	: 1.562e-002	(O.K)

Measurement Condition

Temperature	: 24.8	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8919	(cP)
Scattering Intensity	: 13661	(cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	28.5	8.0	1	22.4	5.7	1	19.6	3.7
2	917.9	972.0	2	81.4	63.7	2	55.2	13.8
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	862.8	965.5	Average	81.4	63.7	Average	55.0	14.0

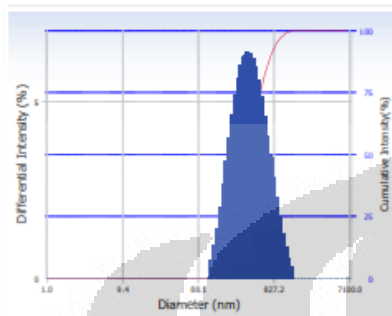
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

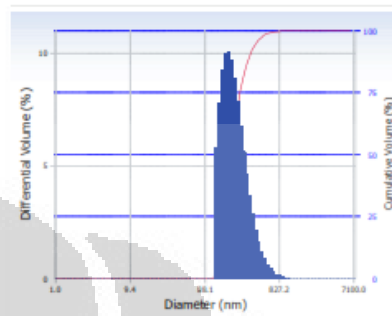
User	: Common	Group	: AS.SITRAT-500ppm	Repetition	: 1/1
Date	: 3/9/2011	File Name	: AS.SITRAT-500ppm_20110309_100157		
Time	: 10:01:57	Sample Information	: AS.SITRAT-500ppm		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

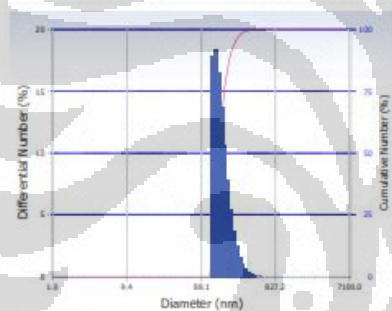
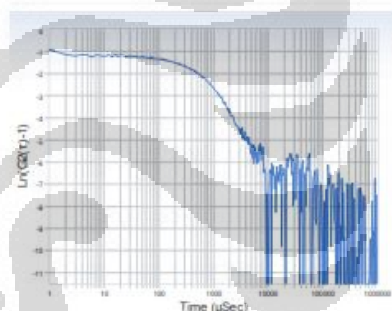
Intensity Distribution



Volume Distribution



Number Distribution

LN(G2(τ)-1) vs τ 

Cumulants Results

Diameter (d)	: 374.3	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.273	
Diffusion Const. (D)	: 1.314e-008	(cm ² /sec)
Residual	: 8.521e-003	(O.K)

Measurement Condition

Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 11824	(cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution

Volume Distribution

Number Distribution

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	451.6	239.9	1	230.9	103.8	1	168.7	46.9
2	0.0	0.0	2	0.0	0.0	2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	451.6	239.9	Average	230.9	103.8	Average	168.7	46.9

1 / 4 Scale Distribution

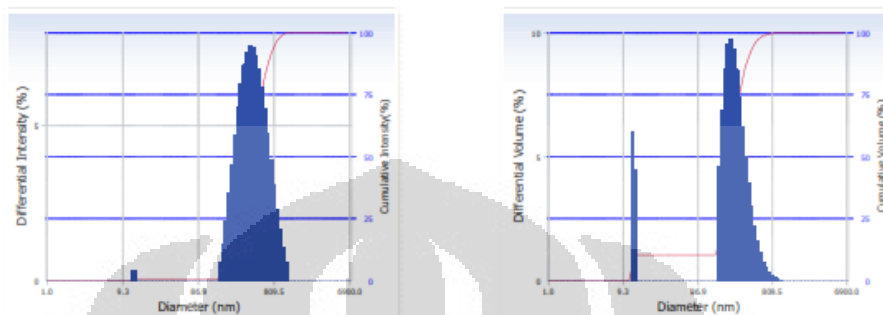
S/N :

User	: Common	Group	: AS.SITRAT-1000ppm	Repetition	: 1/1
Date	: 3/9/2011	File Name	: AS.SITRAT-1000ppm_20110309_091726		
Time	: 09:17:26	Sample Information	: AS.SITRAT-1000ppm		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

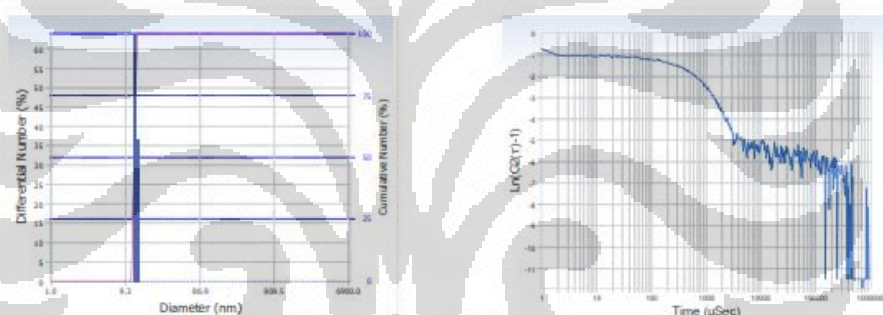
Version 2.31 / 2.00

Intensity Distribution

Volume Distribution



Number Distribution

LN(G2(τ)-1) vs τ 

Cumulants Results

Diameter	(d)	: 389.2	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)		: 0.240	
Diffusion Const.	(D)	: 1.264e-008	(cm ² /sec)
Residual		: 8.833e-003	(O.K)

Measurement Condition

Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 8049	(cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	12.7	0.6	1	12.7	0.6	1	12.6	0.5
2	462.3	201.8	2	284.7	110.4	2	218.2	57.5
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	459.4	204.4	Average	256.2	133.6	Average	12.9	7.8

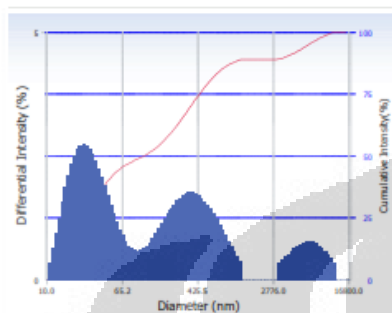
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

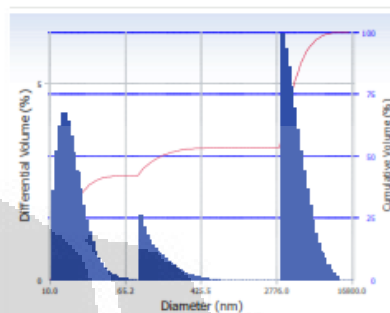
User	: Common	Group	: Tri-sodium-sitrat	Repetition	: 1/1
Date	: 3/8/2011	File Name	: Tri-sodium-sitrat_20110308_121059		
Time	: 12:10:59	Sample Information	: 250ppm		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

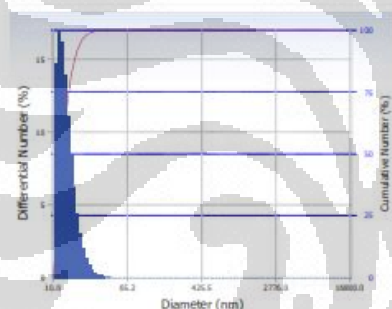
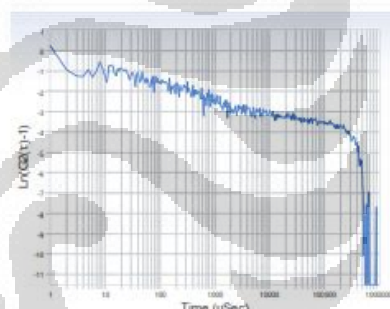
Intensity Distribution



Volume Distribution



Number Distribution

LN(G2(τ)-1) vs τ 

Cumulants Results

Diameter	(d)	: 787.8	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.350		
Diffusion Const.	(D)	: 6.244e-009	(cm ² /sec)
Residual	: 8.295e-002	(N.G)	

Measurement Condition

Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 1451	(cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution

Volume Distribution

Number Distribution

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	32.2	17.0	1	18.0	7.1	1	14.1	3.5
2	409.6	252.8	2	157.1	82.5	2	114.8	29.0
3	6,845.4	2,458.2	3	4,754.8	1,603.3	3	3,907.3	860.8
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	940.5	2,252.2	Average	2,239.1	2,590.9	Average	14.2	4.3

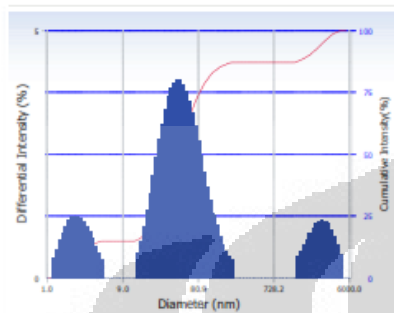
1 / 4 Scale Distribution

S/N :

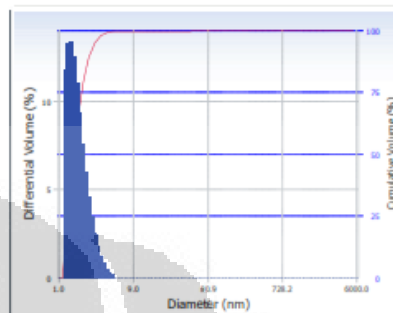
User	: Common	Group	: Tri-Sodium-Sitrat	Repetition	: 1/1
Date	: 3/8/2011	File Name	: Tri-Sodium-Sitrat_20110308_140911		
Time	: 14:09:11	Sample Information	: 500ppm		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

Version 2.31 / 2.00

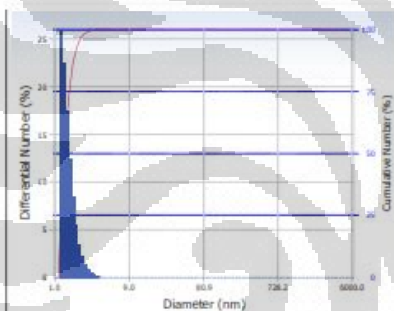
Intensity Distribution



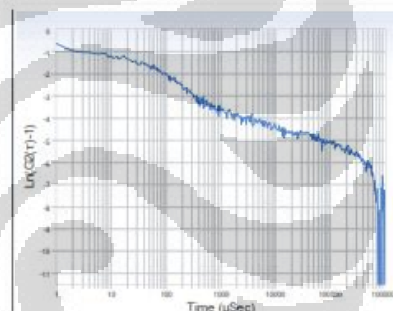
Volume Distribution



Number Distribution



LN(G2(τ)-1) vs T



Cumulants Results

Diameter	(d)	: 379.9	(nm)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.187		
Diffusion Const.	(D)	: 1.295e-008	(cm ² /sec)
Residual	: 1.855e-002	(O.K)	

Measurement Condition

Temperature	: 25.0	(°C)
Diluent Name	: WATER	
Refractive Index	: 1.3328	
Viscosity	: 0.8878	(cP)
Scattering Intensity	: 5832	(cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution

Volume Distribution

Number Distribution

Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	2.5	0.9	1	1.8	0.6	1	1.5	0.3
2	57.6	36.7	2	25.0	12.1	2	18.1	5.0
3	2,942.5	948.4	3	2,164.7	681.8	3	1,792.7	396.6
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	419.4	1,026.4	Average	4.6	81.0	Average	1.5	0.3

1 / 4 Scale Distribution

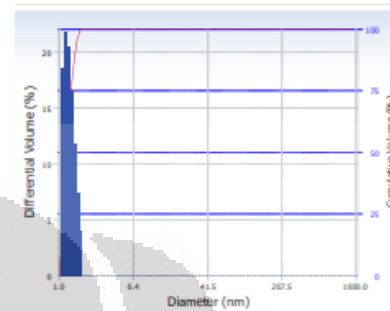
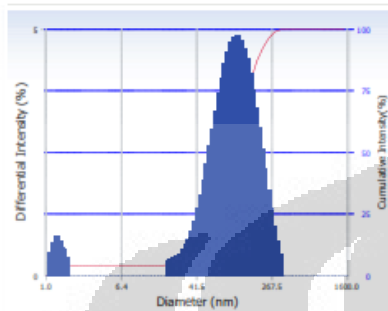
S/N :

User	: Common	Group	: Tri-Sodium-Sitrat	Repetition	: 1/1
Date	: 3/8/2011	File Name	: Tri-Sodium-Sitrat_20110308_134314		
Time	: 13:43:14	Sample Information	: 1000ppm		
SOP Name	: Nanotech	Security	: No Security		

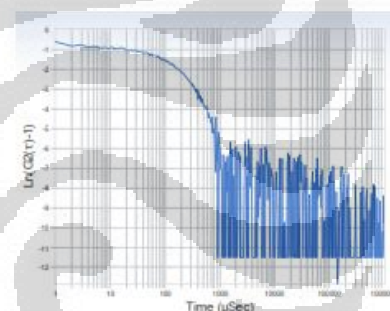
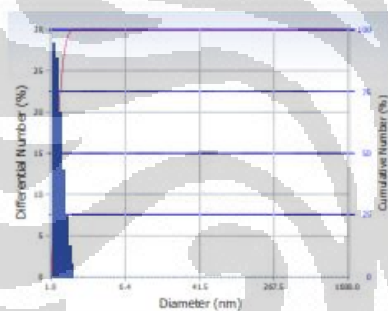
Version 2.31 / 2.00

Intensity Distribution

Volume Distribution



Number Distribution

LN(G2(τ)-1) vs τ 

Cumulants Results

Measurement Condition

Diameter (d)	: 85.1	(nm)	Temperature	: 25.0	(°C)
Polydispersity Index (P.I.)	: 0.267		Diluent Name	: WATER	
Diffusion Const. (D)	: 5.783e-008	(cm ² /sec)	Refractive Index	: 1.3328	
Residual	: 7.892e-003	(O.K)	Viscosity	: 0.8878	(cP)
			Scattering Intensity	: 9470	(cps)

Distribution Results (Contin)

Intensity Distribution			Volume Distribution			Number Distribution		
Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.	Peak	Diameter (nm)	Std. Dev.
1	1.3	0.2	1	1.3	0.2	1	1.2	0.1
2	118.2	63.3	2	43.0	27.2	2	25.2	8.3
3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0
4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
5	0.0	0.0	5	0.0	0.0	5	0.0	0.0
Average	113.1	66.3	Average	1.3	1.7	Average	1.2	0.1

**LAMPIRAN B. HASIL LENGKAP UJI ANTIBAKTERI KOMPOSIT
DENGAN METODE COLONY FORMING UNIT (CFU)**

Sampel	Konsentrasi Polisiloksan	Pencucian	Jumlah Koloni (Colony Forming Unit)	
			S. Aureus	E.Coli
Katun / Poliester (tanpa Nanosilver)	-	-	100	100
Katun + Nanosilver	1%	0	23	24
		1x	24	26
		2x	25	29
		3x	26	30
	2%	0	25	26
		1x	26	28
		2x	24	21
		3x	26	23
	3%	0	20	22
		1x	14	22
		2x	21	25
		3x	19	23
Poliester + Nanosilver	1%	0	5	7
		1x	10	8
		2x	10	13
		3x	20	21
	2%	0	11	8
		1x	14	12
		2x	9	12
		3x	10	17
	3%	0	11	12
		1x	11	12
		2x	10	11
		3x	10	12