

**Ulasan Artikel:
Teknologi Transformasi *Green Nanosilver particles* (G-NSPs) dan Aplikasinya pada Berbagai
Produk Agroindustri**

Muhammad Syukur Sarfat^{a)}*

^{a)} Program Studi Teknik Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor, 16680 Bogor, Jawa Barat, Indonesia

*Corresponden author: msyukursarfat@apps.ipb.ac.id

Abstrak

G-NSPs adalah proses produksi NSPs melalui proses green synthesis atau Biosynthesis menggunakan berbagai sistem biologis seperti bakteri, ekstrak jamur, ragi, dan ekstrak tumbuhan. Greensynthesis atau Biosynthesis dari G-NSPs telah mendapatkan perhatian luas karena meningkatnya kebutuhan untuk metode sintesis ramah lingkungan yang menggunakan agen pereduksi dan pembatasan ramah lingkungan. Karakterisasi G-NSPs dapat dilakukan dengan UV-VIS characterization of silver nanoparticles, X-ray diffractometry (XRD), Transmission electron microscopy (TEM), Malvern nano-size and potential analyzer, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray photoelectron spectrometry (XPS). Meskipun ada informasi terbatas mengenai toksisitas dan biologis perilaku in vivo NSPs, struktur nano ini digunakan untuk waktu yang lama sebagai agen antibakteri dalam industri kesehatan, kosmetik, penyimpanan makanan, pelapis tekstil, dan beberapa aplikasi lingkungan. Kinerja NSPs sangat berfungsi sebagai anti bakteri, anti jamur, anti virus, dan anti inflamasi.

Daftar Isi

1. Pendahuluan	2
1.1. Pengertian G-NSPs.....	2
1.2. Sumber Bahan Baku G-NSPs.....	2
2. Teknologi Transformasi G-NSPs Menggunakan Metode <i>Greensynthesis</i> atau <i>Biosynthesis</i>	2
3. Karakterisasi G-NSPs.....	4
3.1. <i>UV-VIS characterization of silver nanoparticles</i>	4
3.2. <i>X-ray diffractometry (XRD)</i>	5
3.3. <i>Transmission electron microscopy (TEM)</i>	5
3.4. <i>Malvern nano-size and potential analyzer</i>	6
3.5. <i>Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)</i>	6
3.6. <i>X-ray photoelectron spectrometry (XPS)</i>	7
4. Aplikasi G-NSPs pada Berbagai Produk Agroindustri	7
4.1. Aplikasi G-NSPs pada Industri Kesehatan.....	8
4.2. Aplikasi G-NSPs pada Kosmetik	8
4.3. Aplikasi G-NSPs pada Penyimpanan Makanan	9
4.4. Aplikasi G-NSPs pada Pelapis Tekstil	10
4.5. Aplikasi G-NSPs pada Lingkungan (<i>Water Treatment</i>)	10
5. Kinerja G-NSPs.....	10
5.1. Sifat Anti Bakteri	10
5.2. Sifat Anti Jamur	11
5.3. Sifat Anti Virus	11
5.4. Sifat Anti Inflamasi	12
Kesimpulan	12
Daftar Pustaka	12

1. Pendahuluan

1.1. Pengertian G-NSPs

"Nano" adalah kata Yunani yang berarti kecil atau kerdil. Partikel nano dapat didefinisikan sebagai partikel dengan ukuran mulai dari 1 hingga 100 nm di kedua arah tetapi dapat dianggap berkisar hingga beberapa ratus nanometer [1]. Ini sebenarnya adalah agregat atom, ion, atau molekul [1]. Dengan kata lain, "nano" digunakan untuk mewakili satu miliar meter atau dapat disebut sebagai 10^{-9} m. Konsep nanoteknologi pertama kali didefinisikan oleh Profesor Norio Taniguchi pada tahun 1974, dan sejak itu, bidang nanoteknologi telah menerima perhatian besar, terutama dari awal 1980-an [2,3]. Berbagai terminologi digunakan untuk partikel perak seperti koloid perak, nanosilver, nanostruktur perak, dan nanosilver partikel (NSPs) [4].

Teknologi NSPs telah menjadi pusat perhatian bagi para peneliti dalam beberapa tahun terakhir, karena aplikasinya pada berbagai bidang dan sifat *intrinsic therapeutic* [5]. NSPs umumnya berada pada ukuran 1 hingga 100 nm dan setidaknya berada pada satu dimensi [5-8]. Ketika ukuran partikel menurun, rasio luas permukaan dan volume NSPs meningkat secara dramatis, yang mengarah pada perubahan signifikan dalam sifat fisik, kimia, dan biologisnya. NSPs telah menjadi salah satu nano material yang paling umum digunakan dalam sistem perawatan kesehatan kita selama ratusan tahun. Baru-baru ini, NSPs telah menjadi minat yang kuat dalam aplikasi biomedis karena aktivitas anti bakteri, anti jamur, anti virus, dan anti inflamasi [9,10].

G-NSPs adalah proses produksi NSPs melalui proses *green synthesis* atau *Biosynthesis* menggunakan berbagai sistem biologis seperti bakteri, ekstrak jamur, ragi, dan ekstrak tumbuhan [11,12–15]. Saat ini, ekstrak tanaman telah digunakan sebagai bahan sintesis NSPs. Aplikasi ekstrak tanaman sebagai agen pereduksi dan penstabil merupakan metode alternatif. Aktivitas stabilisasi ekstrak tanaman bersumber dari kandungan biomolekulnya (flavonoid, asam amino, polisakarida, alkaloid, dan steroid) yang memiliki sifat kompleks [16].

1.2. Sumber Bahan Baku G-NSPs

Beberapa jenis tanaman sebagai sumber bahan baku G-NSPs yang dapat diproduksi melalui proses *green synthesis*, yaitu daun Neem atau mimba (*Azadirachta indica*) (Gambar 1a) [17], buah Tansy (*Achillea biebersteinii*) (Gambar 1b) [18,19], Jarak pagar (*Jatropha curcas*) (Gambar 1c) [20], kulit apel (Gambar 1d) [21], kulit mangga (Gambar 1e) [22], kulit kayu Pinus (*elastica*) (Gambar 1f) [23], biji nangka (Gambar 1g) [24], Daun mint India (Gambar 1h) [25], Daun *Carob* (Gambar 1i) [26], Daun kelor (Gambar 1j) [27], Bunga fajar biru (Gambar 1k) [28], daun kayu cacing india (Gambar 1l) [29], kulit jeruk manis (Gambar 1m) [30], dan beberapa sumber lain.

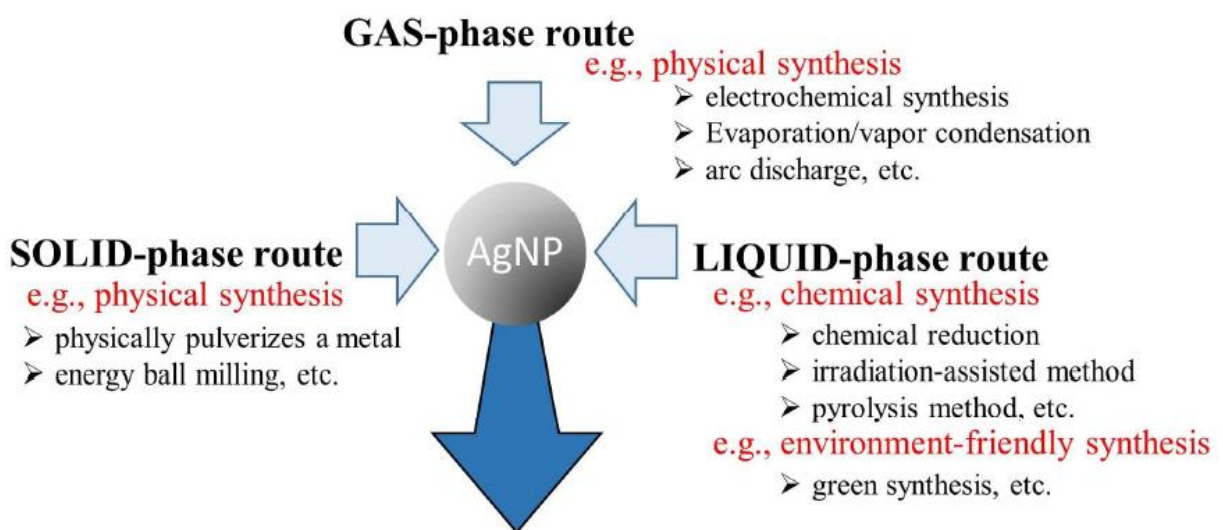
2. Teknologi Transformasi G-NSPs Menggunakan Metode *Greensynthesis* atau *Biosynthesis*

NSPs telah disintesis menggunakan berbagai metode, yang dapat diklasifikasikan sebagai *gas or aerosol*, *solid*, dan *liquid-phase routes* (Gambar 2). Baik metode sintesis kimia dan fisik untuk NSPs terkenal [31]. Dalam beberapa tahun terakhir, jalur *Greensynthesis* atau *Biosynthesis* juga telah diusulkan [32]. *Greensynthesis* atau *Biosynthesis* mengurangi generasi produk sampingan berbahaya yang merusak lingkungan. *Greensynthesis* atau *Biosynthesis* juga memungkinkan sintesis hemat sumber daya yang efisien.

Greensynthesis atau *Biosynthesis* dari G-NSPs telah mendapatkan perhatian luas karena meningkatnya kebutuhan untuk metode sintesis ramah lingkungan yang menggunakan agen pereduksi dan pembatasan ramah lingkungan, seperti protein [33], peptida [34], karbohidrat [35], berbagai spesies bakteri [36], jamur [37], dan ragi [38] serta ganggang dan tanaman [39]



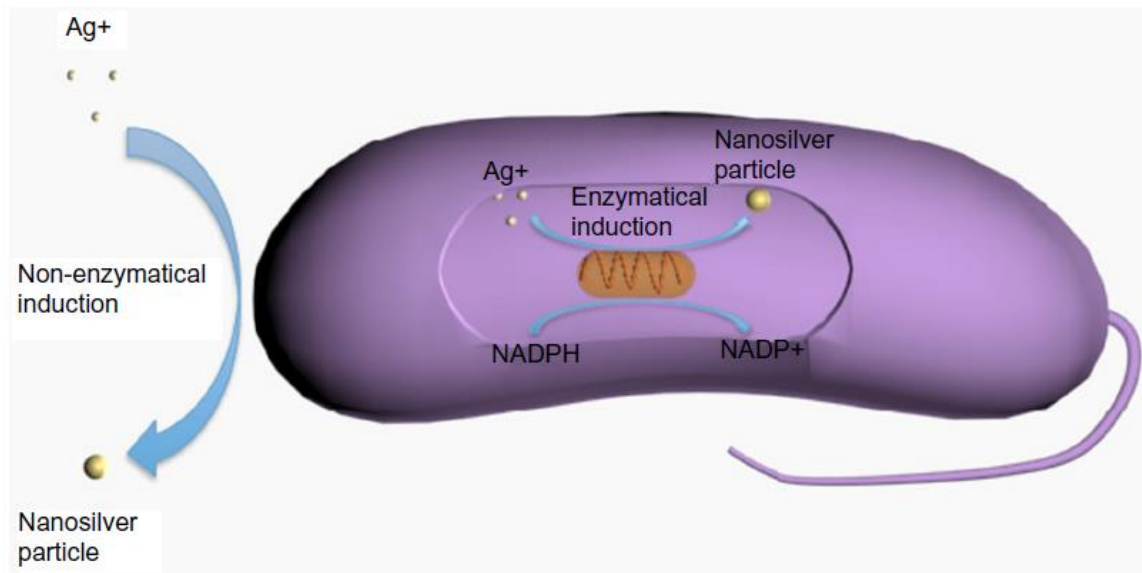
Gambar 1. Berbagai sumber bahan baku G-NSPs; ^aDaun neem atau mimba, ^bBuah tansy, ^cJarak pagar, ^dKulit apel, ^eKulit mangga, ^fKulit pohon pinus, ^gBiji kacang, ^hDaun mint, ⁱDaun carob, ^jDaun kelor, ^kBunga fajar biru, ^lDaun kayu cacing, ^mKulit jeruk manis,



Research and development of Ag NP-based materials

Gambar 2. Berbagai metode untuk sintesis NSPs

Dalam sintesis biologis, karena zat pereduksi dan zat penstabil adalah molekul yang diproduksi oleh protein, karbohidrat, bakteri, jamur, ragi, ganggang, atau tanaman, maka pelarut organik dan reagen beracun harus dihindari. Mekanisme sintesis biologis yang memungkinkan termasuk pengurangan enzimatik dan non-enzimatik (Gambar 3). Reduktase dependen fosfat nikotinamid adenin dinukleotida dapat menghasilkan G-NSPs melalui reduksi enzimatik, namun laju reduksi enzim seringkali lambat (antara 24 dan 120 jam) [40]. Reduksi non-enzimatik dari perak mirip dengan reduksi kimia, tetapi zat pereduksi dan penstabil adalah mikroorganisme atau tanaman. Reduksi non-enzimatik biasanya cepat, sering selesai dalam beberapa menit dan dapat menangani parameter ekstrim, seperti pH tinggi atau suhu tinggi yang mempercepat sintesis.



Keterangan:

NADP⁺: nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (bentuk teroksidasi)

NADPH: nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (bentuk tereduksi)

Ag: perak

Gambar 3. *Greensynthesis* atau *Biosynthesis* dari G-NSPs

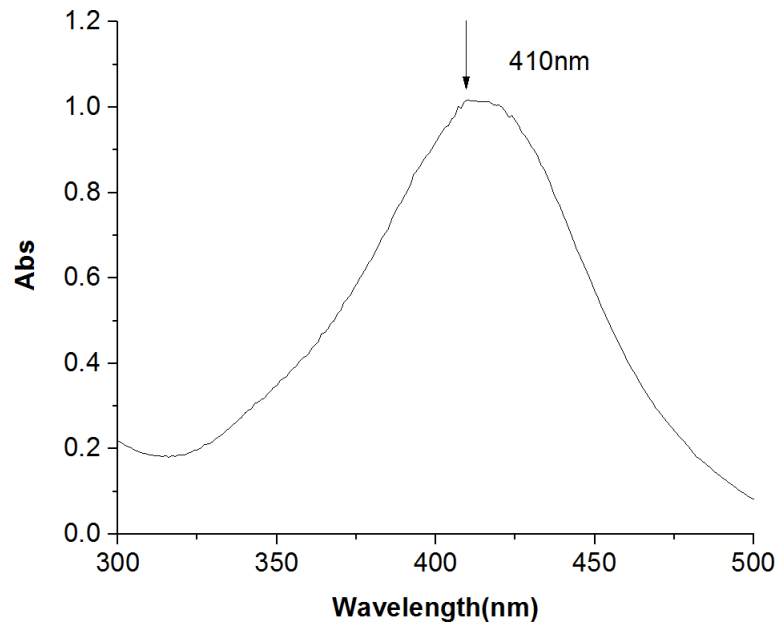
Keuntungan utama *Greensynthesis* atau *Biosynthesis* dibandingkan metode lain adalah bahwa *Greensynthesis* atau *Biosynthesis* menghindari pelarut organik dan pereaksi beracun. Dengan demikian, NSPs yang ter biosintesis lebih stabil dari pada NSPs yang diproduksi secara kimia, dan mereka dapat tetap stabil dalam dalam periode waktu yang lama [41]. Selain itu, *Greensynthesis* atau *Biosynthesis* memungkinkan untuk menghasilkan NSPs di bawah konsentrasi nitrat perak nontoksik karena sel mikroba dapat terus berlanjut dalam *multiply* [42]. Namun, kelemahan *Greensynthesis* atau *Biosynthesis* adalah bahwa proses pemurnian dapat menyebabkan bakteri patogen dan bakteri potensial dapat menyebabkan kontaminasi, yang seharusnya menjadi alasan untuk berhati-hati dalam aplikasi medis [38].

3. Karakterisasi G-NSPs

Karakterisasi G-NSPs dapat dilakukan dengan *UV-VIS characterization of silver nanoparticles*, *X-ray diffractometry (XRD)*, *Transmission electron microscopy (TEM)*, *Malvern nano-size and potential analyzer*, *Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)*, *X-ray photoelectron spectrometry (XPS)* [43].

3.1. *UV-VIS characterization of silver nanoparticles*

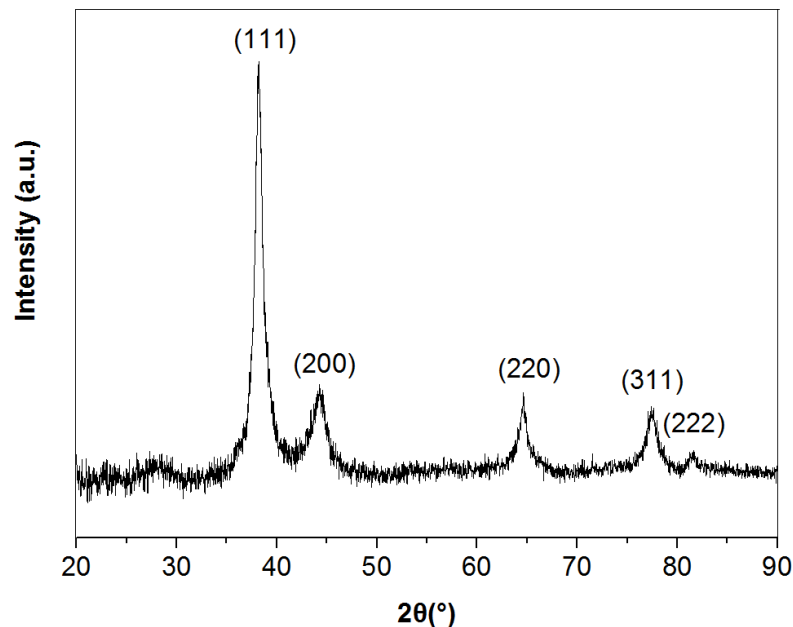
Air terdeionisasi diukur dalam spektrofotometer UV-VIS UV-2100-type (Unike (Shanghai) Instrument Co., Ltd., Shanghai, China) sebagai kontrol. Sampel larutan encer G-NSPs dilarutkan ditempatkan dalam sel sampel untuk pengukuran. Contoh hasil analisis menggunakan UV-VIS UV-2100-type dapat dilihat pada gambar 4 [43].



Gambar 4. Spektrum ultraviolet NSPs

3.2. X-ray diffractometry (XRD)

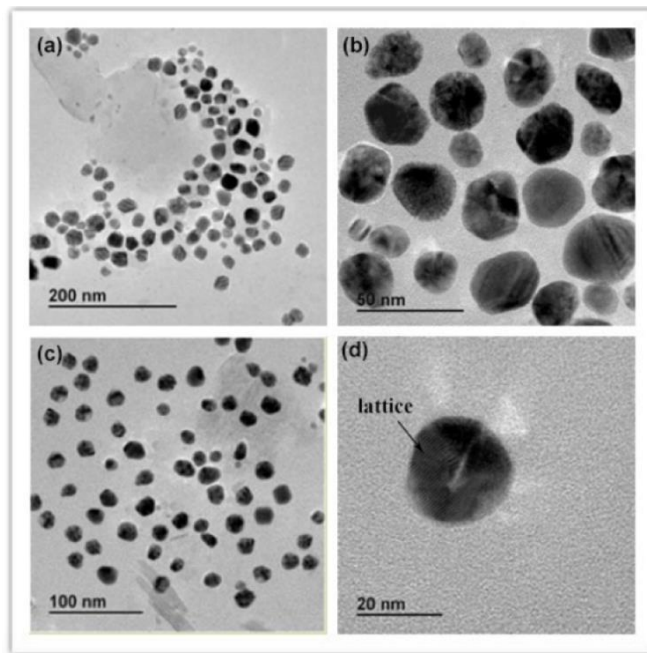
Setelah sentrifugasi larutan NSPs pada 10.000 rpm, bubuk hitam yang diperoleh dikeringkan. Serbuk diuji dalam D8 ADVANCE X-type X-ray difraktometer (Bruker, Karlsruhe, Jerman) di bawah kondisi berikut: target tembaga, insiden panjang gelombang 0,15418 nm, filter Ni, tekanan tabung 40 KV, aliran tabung 40 mA, pindai ukuran langkah 0,02°, kecepatan pemindaian 19,2 s/step, celah DS 1°, dan RS 8 mm (sesuai dengan detektor *array LynxExe*). Contoh hasil analisis menggunakan D8 ADVANCE X-type X-ray difraktometer dapat dilihat pada gambar 5 [43].



Gambar 5. Pola difraksi sinar-X dari NSPs

3.3. Transmission electron microscopy (TEM)

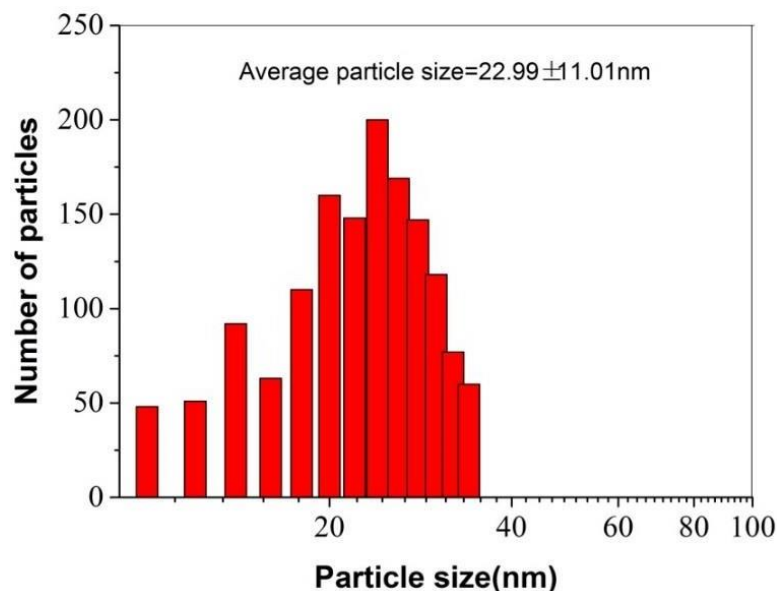
Larutan NSPs yang terdispersi ditetaskan ke jala tembaga. Sampel dikeringkan selama 1 menit sebelum pengamatan di bawah mikroskop elektron transmisi *Philips Tecnai10* (Amsterdam, Belanda). Contoh hasil analisis menggunakan mikroskop elektron transmisi *Philips Tecnai10* dapat dilihat pada gambar 6 [43].



Gambar 6. Mikroskop elektron transmisi emisi lapangan

3.4. *Malvern nano-size and potential analyzer*

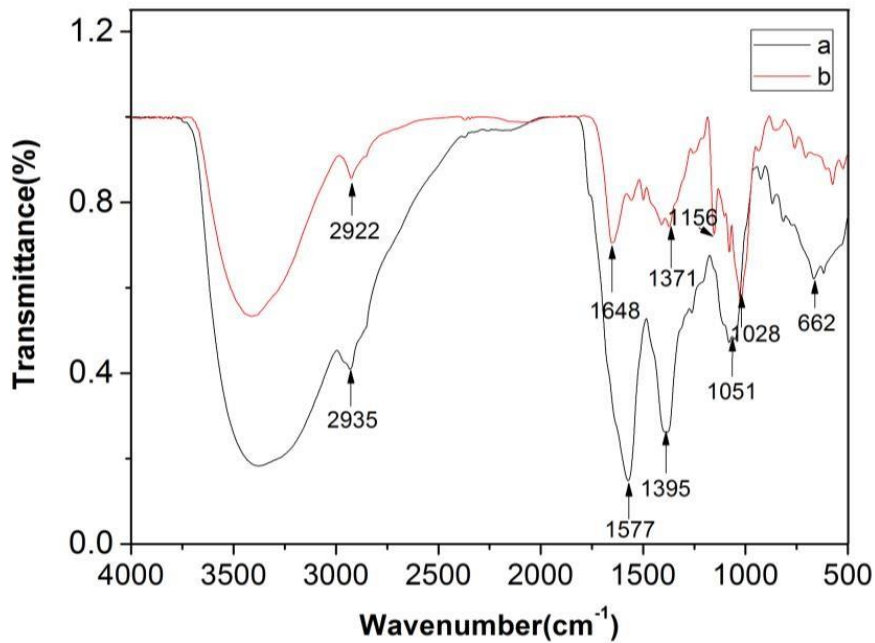
Malvern ukuran nano dan penganalisis potensial dapat menentukan jumlah partikel diameter berbeda dalam larutan dengan mengukur jumlah cahaya yang tersebar di berbagai sudut dalam larutan dalam kasus cahaya datang, di mana ukuran partikel dari NSPs yang disiapkan. Ukuran memiliki penilaian kasar. Setelah menetapkan kondisi pengujian dalam perangkat lunak, solusi NSPs diencerkan beberapa kali dan ditempatkan di pengukur ukuran partikel *Malvern* untuk pengujian. Contoh hasil analisis menggunakan *Malvern nano-size and potential analyzer* dapat dilihat pada gambar 7 [43].



Gambar 7. Distribusi ukuran NSPs bulat

3.5. *Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)*

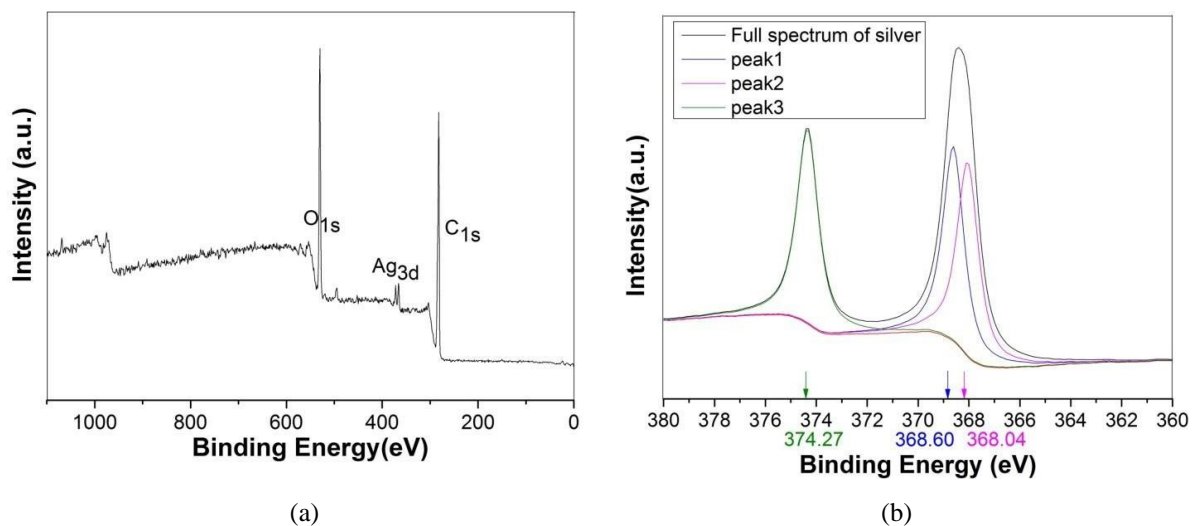
Bubuk perak nanometer dan bubuk ekstrak dicampur dengan bubuk kalium bromida. Campuran ditumbuk dan ditekan menjadi lembaran. Sampel ditempatkan di alat *Bruker TENSOR27* (Karlsruhe, Jerman) untuk pengujian. Contoh hasil analisis menggunakan *Bruker TENSOR27* dapat dilihat pada gambar 8 [43].



Gambar 8. Spektra inframerah dari ekstrak serai dan produk-produk reaksi

3.6. X-ray photoelectron spectrometry (XPS)

Spektrometer fotoelektron X-ray AXIS Ultra DLD (Kratos Co., Manchester, Inggris) digunakan. Ruangan itu dioperasikan pada ruang hampa $\sim 5 \times 10^{-9}$ torr. Sumber sinar-X adalah sumber monokromatik Al $K\alpha$ s (Mono Al $K\alpha$) dengan energi 1487,7 eV dan $5 \text{ mA} \times 15 \text{ kV}$, dengan ukuran titik sinar $700 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$. Mode pemindaian adalah CAE, dengan pemindaian spektrum penuh 170 eV dan pemindaian pita sempit 40 eV. Jumlah pemindaian adalah 1. Contoh hasil analisis menggunakan Spektrometer fotoelektron X-ray AXIS Ultra DLD dapat dilihat pada gambar 9 [43].



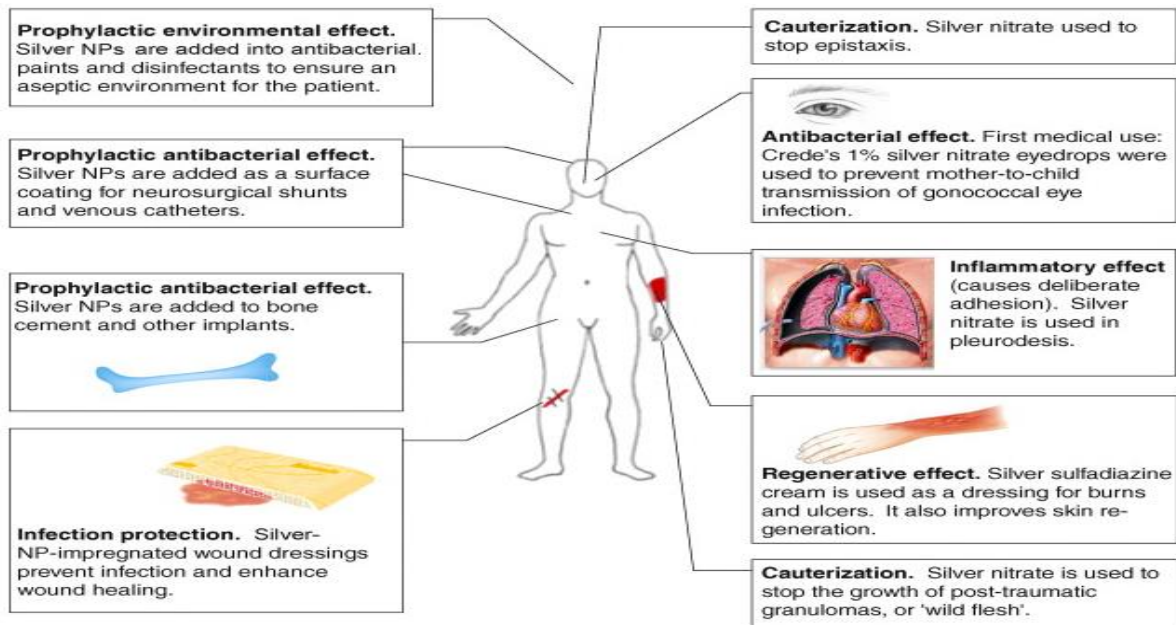
Gambar 9. ^(a) Spektroskopi fotoelektron sinar-X dari nanopartikel perak, ^(b) XPS spektrum perak produk reaksi

4. Aplikasi G-NSPs pada Berbagai Produk Agroindustri

Meskipun ada informasi terbatas mengenai toksisitas dan biologis perilaku *in vivo* NSPs, struktur nano ini digunakan untuk waktu yang lama sebagai agen antibakteri dalam industri kesehatan [44,45], kosmetik [46,47], penyimpanan makanan [48,49], pelapis tekstil [50,51], dan beberapa aplikasi lingkungan [52-54].

4.1. Aplikasi G-NSPs pada Industri Kesehatan

NSP telah menjadi salah satu nanomaterial yang paling umum digunakan dalam sistem perawatan kesehatan kita selama ratusan tahun. Baru-baru ini, NSP telah menjadi minat yang kuat dalam aplikasi biomedis (Gambar 10), karena aktivitas antibakteri, antijamur, antivirus, dan anti-inflamasi. NSP telah banyak digunakan untuk diagnosis [55], perawatan [56], pengiriman obat [57], pelapisan alat medis [58], pembalut luka [59], tekstil medis [60], dan alat kontrasepsi [61].



Gambar 10. Aplikasi NSPs pada biomedis

4.2. Aplikasi G-NSPs pada Kosmetik

Masalah toksisitas atau keamanan menjadi perhatian karena ukuran nano dan penetrasi selanjutnya dan atau permeasi melalui kulit ketika NSPs dimasukkan dalam produk kosmetik. Tidak ada pendapat yang pasti di antara para ilmuwan tentang toksisitas partikel-partikel ini. Ada klaim yang saling bertentangan dan klaim balik dan kekurangan kesepakatan antara peneliti tentang keamanan untuk penggunaan kulit. Karena ukurannya, partikel nano ini dapat dengan mudah meresap di kulit, kemudian ke berbagai organ. Mereka dapat merusak struktur seluler dan rendering DNA organ mati [62].

Sekelompok ilmuwan di Universitas California Santa Barbara mengklaim bahwa, NSPs terhanyut, dari aliran darah, mengurangi toksisitas [63]. Juga dilaporkan bahwa NSPs dapat melindungi beberapa penyakit kulit seperti dermatitis atopik [64]. Penjelasan tentang pelindung efeknya masih belum dipahami. Disarankan bahwa perak dapat mengganggu dinding sel bakteri. Minimal dan masuk akal konsentrasi perak, tidak ada efek samping pada kesehatan manusia [65]. Karena sifat antibakteri NSPs dapat digunakan sebagai pengawet dalam kosmetik dan persiapan anti jerawat. Misalnya, NSPs yang memiliki aktivitas antibakteri, juga dimasukkan ke dalam pasta gigi dan sampo sebagai pengawet. Kim et al. mengamati bahwa NSPs menghambat pertumbuhan dermatofita dan membuatnya agen anti-infeksi potensial [66,67]. NSPs juga digunakan dalam suplemen makanan, karena antibakteri, efek penghambatan anti flu, dan kanker. Itu juga terbukti menjadi penerima dalam kadar darah rendah dan kulit yang rusak [68]. Dengan munculnya nanosains dan teknologi, penelitian telah dimulai untuk mengeksploitasi yang tidak biasa dan unik sifat bahan nano. Studi dengan berbagai jenis nanopartikel menunjukkan bahwa mereka mungkin memiliki antibakteri dan sifat antijamur. NSPs telah dipelajari secara luas dalam hal ini. Literatur menunjukkan bahwa, sementara aktivitas antimikroba dari NSPs mungkin karena pelepasan ion perak, itu adalah

mungkin mereka menunjukkan efek tambahan yang tidak dapat dijelaskan hanya dengan pelepasan ion perak [69].

4.3. Aplikasi G-NSPs pada Penyimpanan Makanan

Menurut Almeida et al. [70] kemasan dengan aplikasi nanoteknologi memiliki sifat fisik kimia yang lebih baik, mengurangi karakteristik hidrofilik, biodegradabilitas yang lebih baik, dan meningkatkan nilai tambah. Kemasan aktif membentuk generasi baru kemasan makanan yang diperoleh dari penggabungan NSPs ke film polimer [71]. Keuntungan dari agen antimikroba silver adalah bahwa mereka dapat dengan mudah dimasukkan ke beberapa bahan, seperti plastik, tekstil, membuat mereka berguna dalam aplikasi spektrum luas, mempertahankan aktivitas antimikroba mereka dengan sistem *in situ*, di mana agen antimikroba tradisional akan tidak stabil [70]. Menurut Carbone et al. [72], NSPs dapat dimasukkan ke polimer yang tidak dapat terdegradasi (polietilen, polivinil klorida, vinil alkohol) dan biodegradable (selulosa, pati, kitosan, agarosa) untuk menghasilkan kemasan makanan, seperti yang disajikan dalam Tabel 1

Tabel 1. Efek antimikroba dari NSPs yang tergabung dalam kemasan makanan.

Karakteristik NSPs	Paket	Produk makanan	Kondisi penyimpanan	Efek antimikroba	Referensi
Bulat (40-50 nm)	PVC	Daging sapi cincang	3 ± 1 ° C selama 14 hari	Efek penghambatan pada pertumbuhan mikroba setelah 7 hari untuk mesofilik, total bakteri dan <i>S. aureus</i> , dan setelah 10 hari untuk <i>E. coli</i>	[73]
Seng oksida + AgNP	LDPE	Dada ayam dimasak	4 ° C selama 21 hari	Efek penghambatan pada Enterobacteriaceae dan bakteri mesofilik	[74]
Pullulan + bola (40-100 nm)	NI	Dada kalkun mentah, daging sapi mentah, dan dada kalkun siap makan	4 ° C selama 21 hari	Efektivitas terhadap <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> O157: H7	[75]
Bulat (3-20 nm)	LDPE	Sirloin babi segar	6 ° C selama 28 hari	Jumlah penurunan <i>L. piscium</i> , <i>B. termosakta</i> , <i>H. alvei</i> , <i>L. sakei</i> dan <i>C. divergens</i> yang layak	[76]
Bulat (10,10 + 0,60 nm)	LDPE	Fillet dada ayam	4 ° C selama 12 hari	Perubahan dalam jumlah yang layak dari bakteri psikrotrofik, <i>Pseudomonas</i> spp., Bakteri asam laktat, <i>B. thermosphacta</i> , <i>E. coli</i> , dan total coliform	[77]
NI	Plastik	Bakso ayam segar	5 ± 1 ° C selama 7 hari	Efektivitas terhadap Enterobacteriaceae dan <i>Pseudomonas</i> spp.	[78]
Bulat (35 nm) + CuO (50 nm) + ZnO (50-30 nm)	LDPE	Keju yang sangat disaring	$4 \pm 0,5$ ° C selama 28 hari	Kurangi jumlah coliform yang paling mungkin	[79]
AgNP	PVC	Walnut, hazelnut, pistachio almond	Suhu kamar, 24 bulan	Kurangi jumlah total bakteri dan koliform	[80]
TiO ₂ + Ag (10nm)	PLA	Keju cottage Yunnan	5 ± 1 ° C selama 25 hari	Efek penghambatan terhadap jumlah total bakteri, ragi dan pertumbuhan jamur	[81]

Karakteristik NSPs	Paket	Produk makanan	Kondisi penyimpanan	Efek antimikroba	Referensi
Minyak esensial Bergamot + TiO ₂ + AgNPS	PLA	Mangga	Suhu kamar, 15 hari	Efektivitas terhadap jumlah total bakteri	[82]

4.4. Aplikasi G-NSPs pada Pelapis Tekstil

Selama beberapa dekade terakhir, berbagai penelitian sedang terjadi di seluruh dunia yang dibuat untuk memproduksi bahan tekstil berlapis antibakteri karena pertumbuhan besar infeksi mikroba melalui permukaan tekstil [83,84]. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengembangkan sumber non-toksik penyelesaian tekstil antimikroba untuk aplikasi perawatan kesehatan. Serat kapas sebagian besar digunakan sebagai bahan baku untuk produk medis dan kesehatan [85]. Namun daya serap kelembaban serat kapas sangat tinggi, yang membuatnya lebih rentan terhadap serangan mikroba dalam kondisi kelembaban dan suhu tertentu. Kapas dapat bertindak sebagai nutrisi, menjadi media yang cocok untuk pertumbuhan bakteri dan jamur [86]. Oleh karena itu, serat kapas diperlakukan dengan berbagai bahan kimia untuk mendapatkan tekstil kapas antimikroba yang lebih baik [87-89]. Di antara berbagai perawatan antimikroba, perawatan berbasis bahan nano sangat efektif. NSPs telah menunjukkan efek penghambatan dan antibakteri yang kuat [90].

4.5. Aplikasi G-NSPs pada Lingkungan (*Water Treatment*)

Nanoteknologi berkembang pesat dan saat ini menjadi lebih efektif daripada teknologi konvensional yang digunakan dalam pengolahan air yang menawarkan peluang aman untuk menggunakan sumber pasokan air yang tidak konvensional. Busa poliuretan digunakan sebagai pembawa *silver* dan larutan NSPs untuk menghilangkan bakteri patogen dalam air yang tercemar. NSPs yang disintesis menunjukkan sifat antibakteri yang sangat baik pada galur bakteri gram positif dan gram negatif [91].

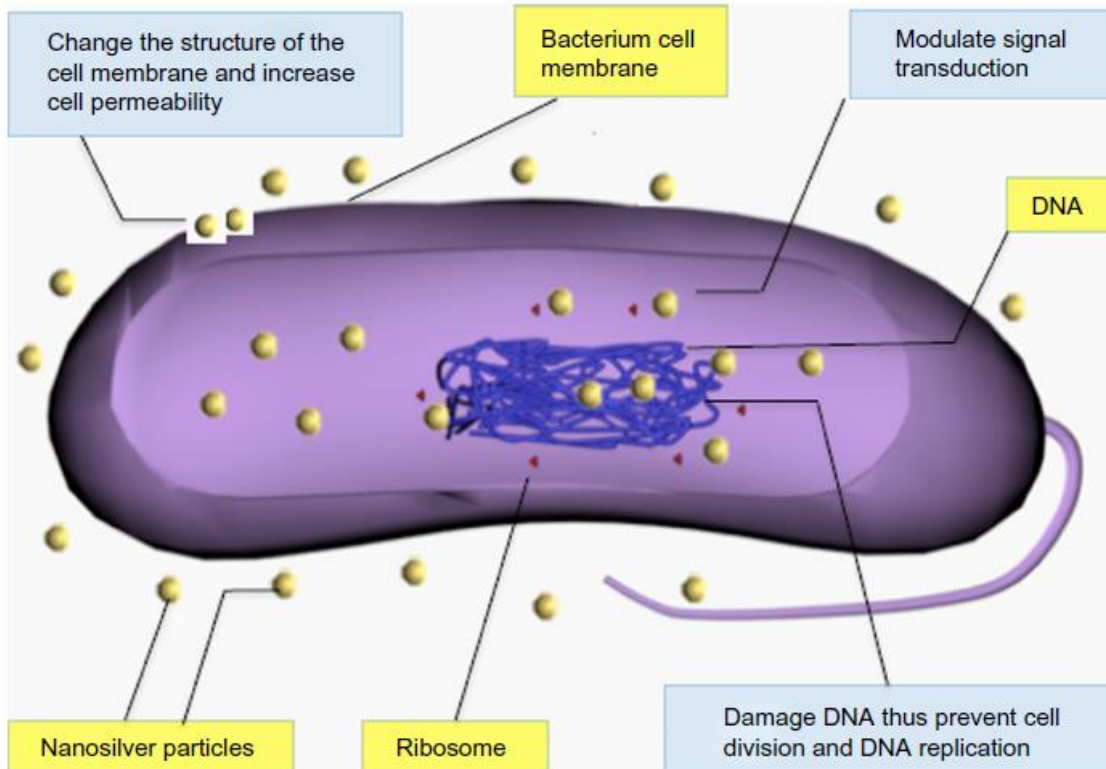
5. Kinerja G-NSPs

5.1. Sifat Anti Bakteri

NSPs memiliki efek antibakteri yang luas pada serangkaian bakteri Gram-negatif dan Gram-positif dan strain bakteri resisten-antibiotik [92] Khasiat antimikroba NSP tergantung pada ukuran dan konsentrasi mereka. Biasanya, konsentrasi tinggi menyebabkan aktivitas antimikroba yang lebih efektif, sementara partikel berukuran kecil dapat membunuh bakteri pada konsentrasi yang lebih rendah. Terlepas dari ukuran dan konsentrasi, bentuk juga memengaruhi efisiensi antimikroba NSPs. Sadeghi et al menyelidiki aktivitas antimikroba dari berbagai bentuk nanosilver, termasuk nanoplate perak, nanorod perak, dan nanopartikel perak, pada *Staphylococcus aureus* dan *E. coli*. Mereka menemukan bahwa nanoplates perak memiliki aktivitas antimikroba terbaik [93] Juga telah dilaporkan bahwa NSPs yang dikombinasikan dengan berbagai antibiotik memiliki efek antimikroba yang lebih baik daripada NSPs atau antibiotik saja. Li et al, misalnya, menemukan efek antibakteri yang lebih besar pada *E. coli* ketika amoksisilin dan nanopartikel perak digabungkan daripada ketika mereka diterapkan secara terpisah [94].

Meskipun efek antimikroba dari nanosilver telah dipelajari secara luas, mekanisme pasti NSP masih sulit dipahami. Telah diterima secara luas bahwa NSP dapat berlabuh dan kemudian menembus dinding sel bakteri, sehingga menyebabkan perubahan struktural membran sel dan meningkatkan permeabilitas sel, yang menyebabkan kematian sel (Gambar 11) [95]. Pembentukan radikal bebas dan radikal bebas berikutnya Kerusakan membran yang diinduksi adalah mekanisme potensial lain, yang telah diselidiki oleh Kim et al [92]. Telah ditemukan bahwa NSPs dapat melepaskan ion perak dan berinteraksi dengan gugus tiol dari banyak enzim vital dan basa yang mengandung fosfor, sehingga menghambat beberapa fungsi dalam sel, seperti mencegah pembelahan sel dan replikasi DNA [96] Selain itu, NSPs dapat

memodulasi transduksi sinyal melalui perubahan profil *fosfotyrosin* dari peptida bakteri untuk mekanisme potensial antibakteri (Gambar 11) [97].



Keterangan: DNA (deoxyribonucleic acid)

Gambar 11. Mekanisme antibakteri NSPs

5.2. Sifat Anti Jamur

NSPs adalah agen antijamur yang efektif terhadap spektrum luas jamur umum. Kim et al. menyelidiki sifat antijamur NSPs pada total 44 jenis enam spesies jamur, dan menemukan bahwa NSPs dapat menghambat pertumbuhan *Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Candida parapsilosis*, *Candida krusei*, dan *Trichophyton mentagrophytes* secara efektif [98]. Nasrollahi et al [99] dan Kim dan Kim et al [100] mengamati bahwa NSPs dapat mengganggu membran sel dan menghambat proses tunas normal; Namun, mekanisme aksi nanosilver terhadap jamur masih belum jelas.

5.3. Sifat Anti Virus

NSPs juga merupakan agen antivirus terhadap HIV-1 [101], virus hepatitis B [102], virus *syncytial* pernapasan [103], herpes simplex virus tipe 1 [104], dan virus *monkeypox* [105]. Telah diamati bahwa NSPs memiliki aktivitas antivirus yang lebih tinggi daripada ion perak, karena perbedaan spesies ketika mereka larut untuk melepaskan gugus Ag^0 (atom) dan Ag^+ (ionik), sedangkan garam perak hanya melepaskan Ag^+ [106]. Lara menemukan bahwa mekanisme anti-HIV dari NSPs didasarkan pada penghambatan tahap awal dari siklus hidup HIV-1 [107]. NSPs dapat berikatan dengan glikoprotein (gp) 120, sehingga menghambat *cluster of differentiation* (CD) 4-dependent binding, *fusion*, dan *infectivity*. Mereka bertindak sebagai agen virucidal yang efektif untuk memblokir HIV-1 dan infeksi terkait sel. Lebih lanjut, NSPs menghambat tahap *pasca* masuk dari siklus hidup HIV-1 [107]. Meskipun mekanisme yang mendasari aktivitas penghambatan virus mereka belum sepenuhnya dipahami, NSPs dapat dianggap sebagai agen spektrum luas terhadap berbagai jenis virus dan tidak rentan terhadap pengembangan resistensi.

5.4. Sifat Anti Inflamasi

NSPs menunjukkan sifat anti inflamasi pada hewan dan di klinik. Misalnya, dalam babi dengan dermatitis kontak yang diinduksi dengan menerapkan 1,2-dinitrochlorobenzena secara topikal, NSPs mengubah ekspresi sitokin proinflamasi mengubah faktor pertumbuhan-b dan faktor nekrosis tumor-a [108]. Shin dan Ye menemukan bahwa NSPs melemahkan gejala alergi hidung pada tikus dan menghambat imunoglobulin E-IL spesifik OVA, IL-4, dan interleukin-10, dan bahwa infiltrasi sel radang dan hiperplasia sel goblet dihambat oleh nanosilver [109]. Kemampuan NSPs untuk mengurangi pelepasan sitokin dan matriks metalloproteinases [100] mengurangi infiltrasi limfosit dan sel mast [108] dan menginduksi apoptosis pada inflamasi sel [109] dapat menggambarkan mekanisme anti-inflamasi.

Kesimpulan

G-NSPs adalah proses produksi NSPs melalui proses *green synthesis* atau *Biosynthesis* menggunakan berbagai sistem biologis seperti bakteri, ekstrak jamur, ragi, dan ekstrak tumbuhan. *Greensynthesis* atau *Biosynthesis* dari G-NSPs telah mendapatkan perhatian luas karena meningkatnya kebutuhan untuk metode sintesis ramah lingkungan yang menggunakan agen pereduksi dan pembatasan ramah lingkungan. Karakterisasi G-NSPs dapat dilakukan dengan *UV-VIS characterization of silver nanoparticles*, *X-ray diffractometry (XRD)*, *Transmission electron microscopy (TEM)*, *Malvern nano-size and potential analyzer*, *Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)*, *X-ray photoelectron spectrometry (XPS)*. Meskipun ada informasi terbatas mengenai toksisitas dan biologis perilaku *in vivo* NSPs, struktur nano ini digunakan untuk waktu yang lama sebagai agen antibakteri dalam industri kesehatan, kosmetik, penyimpanan makanan, pelapis tekstil, dan beberapa aplikasi lingkungan. Kinerja NSPs sangat berfungsi sebagai anti bakteri, anti jamur, anti virus, dan anti inflamasi.

Daftar Pustaka

- [1] Gong P, Li H, He X, et al. 2007. Preparation and antibacterial activity of Fe₃O₄@Ag nanoparticles. *Nanotechnology*. 18(28): 285604
- [2] Taniguchi N. 1974. *On the Basic Concept of Nanotechnology: Proceedings of the International Conference on Production Engineering, 1974, Tokyo. Part II*. Tokyo: Japan Society of Precision Engineering
- [3] Fox CL Jr, Modak SM. 1974. Mechanism of silver sulfadiazine action on burn wound infections. *Antimicrob Agents Chemother*, 5(6):582–588
- [4] Gurunathan S, Han JW, Kwon DN, Kim JH. 2014. Enhanced antibacterial and anti-biofilm activities of silver nanoparticles against Gram-negative and Gram-positive bacteria. *Nanoscale Res Lett*, 9(1):373
- [5] Ullah Khan S, Saleh TA, Wahab A, Khan MHU, Khan D, Ullah Khan W, Rahim A, Kamal S, Ullah Khan F, Fahad S. 2018. Nanosilver: new ageless and versatile biomedical therapeutic scaffold. *International Journal of Nanomedicine*, 13: 733—762
- [6] Mohamed A, Xing MM. 2012. Nanomaterials and nanotechnology for skin tissue engineering. *Int J Burns Trauma*, 2(1):29–41
- [7] Tian Y, Chen J, Zahtabi F, Keijzer R, Xing M. 2013. Nanomedicine as an innovative therapeutic strategy for pediatric lung diseases. *Pediatric Pulmonol*, 48(11):1098–1111
- [8] Xing M, Zhong W, Xu X, Thomson D. 2010. Adhesion force studies of nanofibers and nanoparticles. *Langmuir*, 26(14):11809–11814
- [9] El-Badawy A, Feldhake D, Venkatapathy R. 2010. *State of the Science Literature Review: Everything Nanosilver and More*. Washington, DC: US Environmental Protection Agency
- [10] Zhong W, Xing MM, Maibach HI. 2010. Nanofibrous materials for wound care. *Cutan Ocul Toxicol*, 29(3):143–152
- [11] R. Arunachalam, S. Dhanasingh, B. Kalimuthu, M. Uthirappan, C. Rose, A. B. Mandal, 2012. Phytosynthesis of silver nanoparticles using *Coccinia grandis* leaf extract and its application in the photocatalytic degradation," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 94: 226-230

- [12] M. Kowshik, S. Ashtaputre, S. Kharrazi, W. Vogel, J. Urban, S. Kulkarni, *et al.* 2003. Extracellular synthesis of silver nanoparticles by a silver-tolerant yeast strain MKY3. *Nanotechnology*, 14: 95.
- [13] S. Senapati, A. Ahmad, M. I. Khan, M. Sastry, and R. Kumar. 2005. Extracellular biosynthesis of bimetallic Au–Ag alloy nanoparticles. *Small*, 1: 517-520.
- [14] A. R. Shahverdi, S. Minaeian, H. R. Shahverdi, H. Jamalifar, and A.-A. Nohi. 2007. Rapid synthesis of silver nanoparticles using culture supernatants of Enterobacteria: A novel biological approach. *Process Biochemistry*, 42: 919-923.
- [15] P. Manivasagan, J. Venkatesan, K. Senthilkumar, K. Sivakumar, and S.-K. Kim. 2013. Biosynthesis, Antimicrobial and Cytotoxic Effect of Silver Nanoparticles Using a Novel *Nocardiosis* sp. MBRC-1. *BioMed research international*
- [16] D. Mubarak Ali, N. Thajuddin, K. Jeganathan, and M. Gunasekaran, 2011. Plant extract mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and its antibacterial activity against clinically isolated pathogens. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 85: 360-365.
- [17] G. M. Nazeruddin, N. R. Prasad, S. R. Waghmare, K. M. Garadkar, and I. S. Mulla. 2014. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticle using *Azadirachta indica* leaf extract and its anti-microbial activity. *Journal of Alloys and Compounds*, 583: 272-277
- [18] S. P. Dubey, M. Lahtinen, and M. Sillanpää. 2010. Tansy fruit mediated greener synthesis of silver and gold nanoparticles. *Process Biochemistry*, 45: 1065-1071
- [19] F. Namvar, J. Baharara, T. Ramezani et al. 2014. Green synthesis of silver nanoparticles using *Achillea biebersteinii* flower extract and its anti-angiogenic properties in the rat aortic ring model. *Molecules*, 19(4): 4624–4634
- [20] H. Bar, D. K. Bhui, G. P. Sahoo, P. Sarkar, S. P. De, and A. Misra. 2009. Green synthesis of silver nanoparticles using latex of *Jatropha curcas*. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, 339: 134-139
- [21] R. Kumar, S. M. Roopan, A. Prabhakarn, V. G. Khanna, and S. Chakroborty. 2012. Agricultural waste *Annona squamosa* peel extract: Biosynthesis of silver nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 90: 173-176
- [22] N. Yang and W.-H. Li. 2013. Mango peel extract mediated novel route for synthesis of silver nanoparticles and antibacterial application of silver nanoparticles loaded onto non-woven fabrics. *Industrial Crops and Products*, 48: 81-88
- [23] S. Iravani and B. Zolfaghari. 2013. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Pinus eldarica* Bark Extract. *BioMed research international*, 2013
- [24] U. B. Jagtap and V. A. Bapat. 2013. Green synthesis of silver nanoparticles using *Artocarpus heterophyllus* Lam. seed extract and its antibacterial activity. *Industrial Crops and Products*, 46: 132-137
- [25] M. Vanaja and G. Annadurai. 2012. *Coleus aromaticus* leaf extract mediated synthesis of silver nanoparticles and its bactericidal activity. *Applied Nanoscience*, 1: 1-7
- [26] A. M. Awwad, N. M. Salem, and A. O. Abdeen. 2013. Green synthesis of silver nanoparticles using carob leaf extract and its antibacterial activity. *International Journal of Industrial Chemistry*, 4: 1-6
- [27] S. Das, U. K. Parida, and B. K. Bindhani. 2013. Green Biosynthesis Of Silver Nanoparticles Using *Moringa Oleifera* L. Leaf," *International Journal of Nanotechnology*
- [28] K. Pavani, K. Gayathamma, A. Banerjee, and S. Suresh. 2013. Phyto-synthesis of Silver Nanoparticles Using Extracts of *Ipomoea ndica* Flowers. *American Journal of Nanomaterials*, 1: 5-8
- [29] M. Vijayakumar, K. Priya, F. Nancy, A. Noorlidah, and A. Ahmed. 2013. Biosynthesis, characterisation, and anti-bacterial effect of plant-mediated silver nanoparticles using *Artemisia nilagirica*. *Industrial Crops and Products*, 41: 235-240
- [30] S. Kaviya, J. Santhanalakshmi, B. Viswanathan, J. Muthumary, and K. Srinivasan. 2011. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Citrus sinensis* peel extract and its antibacterial Activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79: 594-598

- [31] De Matteis, V.; Cascione, M.; Toma, C.C.; Leporatti, S. 2018. Silver Nanoparticles: Synthetic Routes, In Vitro Toxicity and Theranostic Applications for Cancer Disease. *Nanomaterials*, 8: 319
- [32] Vijayaraghavan K, Nalini SP. 2010. Biotemplates in the green synthesis of silver nanoparticles. *Biotechnol. J*, 5: 1098–1110
- [33] Naik RR, Stringer SJ, Agarwal G, Jones SE, Stone MO. 2002. Biomimetic synthesis and patterning of silver nanoparticles. *Nat Mater*, 1(3):169–172
- [34] Nam KT, Lee YJ, Krauland EM, Kottmann ST, Belcher AM. 2008. Peptide-mediated reduction of silver ions on engineered biological scaffolds. *ACS Nano*. 2(7):1480–1486
- [35] Anisha BS, Biswas R, Chennazhi KP, Jayakumar R. 2013. Chitosan-hyaluronic acid/nano silver composite sponges for drug resistant bacteria infected diabetic wounds. *Int J Biol Macromol*. 62:310–320
- [36] Sintubin L, De Windt W, Dick J, et al. 2009. Lactic acid bacteria as reducing and capping agent for the fast and efficient production of silver nanoparticles. *Appl Microbiol Biotechnol*. 84(4):741–749
- [37] Balaji DS, Basavaraja S, Deshpande R, Mahesh DB, Prabhakar BK, Venkataraman A. 2009. Extracellular biosynthesis of functionalized silver nanoparticles by strains of *Cladosporium cladosporioides* fungus. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 68(1): 88–92
- [38] Sintubin L, Verstraete W, Boon N. 2012. Biologically produced nanosilver: current state and future perspectives. *Biotechnol Bioeng*. 109(10):2422–2436
- [39] Shankar SS, Ahmad A, Sastry M. 2003. Geranium leaf assisted biosynthesis of silver nanoparticles. *Biotechnol Prog*. 19(6):1627–1631
- [40] Anil Kumar S, Abyaneh MK, Gosavi SW, et al. 2007. Nitrate reductase-mediated synthesis of silver nanoparticles from AgNO₃. *Biotechnol Lett*. 29(3):439–445
- [41] Saifuddin N, Wong CW, Yasumira AAN. 2009. Rapid biosynthesis of silver nanoparticles using culture supernatant of bacteria with microwave irradiation. *E-Journal of Chemistry*. 6(1):61–70
- [42] Mukherjee P, Ahmad A, Mandal D, et al. 2001. Fungus-mediated synthesis of silver nanoparticles and their immobilization in the mycelial matrix: a novel biological approach to nanoparticle synthesis. *Nano Lett*. 1(10):515–519
- [43] Qifeng Chen, Ting Mi, Guangxue Chen, and Yiwei Li. 2017. Green Synthesis of Nano-silver Particles Using Plant Active Substance from Lemongrass Extract. *Nano-silver synthesis, BioResources*, 12(4): 7096-7106
- [44] Chowdhury, N.R.; MacGregor-Ramiasa, M.; Zilm, P.; Majewski, P.; Vasilev, K. 2016. ‘Chocolate’ silver nanoparticles: Synthesis, antibacterial activity and cytotoxicity. *J. Colloid Interface Sci*, 482: 151–158
- [45] Tavaf, Z.; Tabatabaei, M.; Khalafi-Nezhad, A.; Panahi, F. 2017. Evaluation of antibacterial, antibiofilm and antioxidant activities of synthesized silver nanoparticles (AgNPs) and casein peptide fragments against streptococcus mutans. *Eur. J. Integr. Med*, 12: 163–171
- [46] Domeradzka-Gajda, K.; Nocun, M.; Roszak, J.; Janasik, B.; Quarles, C.D., Jr.; Wasowicz, W.; Grobelny, J.; Tomaszewska, E.; Celichowski, G.; Ranhoszek-Soliwoda, K.; et al. 2017. A study on the in vitro percutaneous absorption of silver nanoparticles in combination with aluminum chloride, methyl paraben or di-n-butyl phthalate. *Toxicol. Lett*, 272: 38–48
- [47] Kraeling, M.E.K.; Topping, V.D.; Keltner, Z.M.; Belgrave, K.R.; Bailey, K.D.; Gao, X.; Yourick, J.J. 2018. In vitro percutaneous penetration of silver nanoparticles in pig and human skin. *Regul. Toxicol. Pharm*, 95: 314–322
- [48] Fortunati, E.; Peltzer, M.; Armentano, I.; Jiménez, A.; Kenny, J.M. 2013. Combined effects of cellulose nanocrystals and silver nanoparticles on the barrier and migration properties of pla nano-biocomposites. *J. Food Eng*, 118: 117–124
- [49] Kumar, S.; Shukla, A.; Baul, P.P.; Mitra, A.; Halder, D. 2017. Biodegradable hybrid nanocomposites of chitosan/gelatin and silver nanoparticles for active food packaging applications. *Food Packag. Shelf*, 16: 178–184

- [50] Pannerselvam, B.; Dharmalingam Jothinathan, M.K.; Rajenderan, M.; Perumal, P.; Pudupalayam Thangavelu, K.; Kim, H.J.; Singh, V.; Rangarajulu, S.K. 2017. An in vitro study on the burn wound healing activity of cotton fabrics incorporated with phytosynthesized silver nanoparticles in male Wistar albino rats. *Eur. J. Pharm. Sci*, 100: 187–196
- [51] Zhou, Y.; Tang, R.C. 2018. Facile and eco-friendly fabrication of agnps coated silk for antibacterial and antioxidant textiles using honeysuckle extract. *J. Photochem. Photobiol. B*, 178: 463–471
- [52] Kejlová, K.; Kašpárková, V.; Krsek, D.; Jírová, D.; Kolářová, H.; Dvořáková, M.; Tománková, K.; Mikulcová, V. 2015. Characteristics of silver nanoparticles in vehicles for biological applications. *Int. J. Pharm*, 496: 878–885
- [53] Zhang, L.; Zeng, G.; Dong, H.; Chen, Y.; Zhang, J.; Yan, M.; Zhu, Y.; Yuan, Y.; Xie, Y.; Huang, Z. 2017. The impact of silver nanoparticles on the co-composting of sewage sludge and agricultural waste: Evolutions of organic matter and nitrogen. *Bioresour. Technol*, 230: 132–139
- [54] Gupta, S.D.; Agarwal, A.; Pradhan, S. 2018. Phytostimulatory effect of silver nanoparticles (AgNPs) on rice seedling growth: An insight from antioxidative enzyme activities and gene expression patterns. *Ecotoxicol. Environ. Saf*, 161: 624–633
- [55] Uchihara T. 2007. Silver diagnosis in neuropathology: principles, practice and revised interpretation. *Acta Neuropathol*, 113(5):483–499.
- [56] Sibbald RG, Contreras-Ruiz J, Coutts P, Fierheller M, Rothman A, Woo K. 2007. Bacteriology, inflammation, and healing: a study of nanocrystalline silver dressings in chronic venous leg ulcers. *Adv Skin Wound Care*, 20(10):549–558.
- [57] Skirtach AG, Muñoz Javier A, Kreft O, et al. 2006. Laser-induced release of encapsulated materials inside living cells. *Angew Chem Int Ed Engl*, 45(28):4612–4617.
- [58] Galiano K, Pleifer C, Engelhardt K, et al. 2008. Silver segregation and bacterial growth of intraventricular catheters impregnated with silver nanoparticles in cerebrospinal fluid drainages. *Neurol Res*, 30(3):285–287.
- [59] Moore K. 2006. A new silver dressing for wounds with delayed healing. *Wounds UK*, 2(2):70–78.
- [60] Vigneshwaran N, Kathe AA, Varadarajan PV, Nachane RP, Balasubramanya RH. 2007. Functional finishing of cotton fabrics using silver nanoparticles. *J Nanosci Nanotechnol*, 7(6):1893–1897.
- [61] Chen X, Schluesener HJ. 2008. Nanosilver: a nanoparticle in medical application. *Toxicol Lett*, 176(1):1–12.
- [62] Raj, S. and Jose, S. 2012. Nanotechnology in Cosmetic: Opportunities and Challenges. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 4, 186-193.
- [63] Iyer, S. 2014. New Non-Toxic Silver Nano Particles May Soon Target Cancer Tumors. Article from Medical Daily Science/Tech.
- [64] Shoseyov, O. and Levy, I. 2008. Nano BioTechnology, BioInspired Devices and Materials of the Future. 322.
- [65] European Commission Public Health: Are Silver Nanoparticles Safe? Implications for Health, the Environment and Microbial Resistance. <http://copublications.greenfacts.org/en/silver-nanoparticles/index.htm>
- [66] Kim, K.-J. 2008. Antifungal Effect of Silver Nanoparticles on Dermatophytes. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18: 1482-1484.
- [67] Noorbakhsh, F. 2011. Antifungal Effects of Silver Nanoparticle Alone and with Combination of Antifungal Drug on Dermatophyte Pathogen *Trichophyton Rubrum*. *International Conference on Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics IPCBEE*, 5, 364-367.
- [68] Anonim. 2014. Scientists Warn against Harmful Effects of Silver Nanoparticles Used in Cosmetics and More. <http://cosmetics.specialchem.com/news/industry-news/scientists-warn-against-harmful-effects-of-silver-nanoparticles-used-in-cosmetics-and-more>

- [69] Mukherji, S., *et al.* 2012. Nano-Antimicrobials Progress and Prospects. In: Cioffi, N. and Rai, M., Eds., 226.
- [70] Almeida, A. C. S., Franco, A. E. N., Peixoto, F. M., Pessanha, K. L., & Melo, N. R. 2015. Application of nanotechnology in food packaging. *Polímeros*, 25: 89-97
- [71] Emamifar, A., Kadivar, M., Shahedi, M., & Solimani-Zad, S. 2012. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on reducing pasteurization temperature of orange juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(2): 104-112
- [72] Carbone, M., Donia, D. T., Sabbatella, G., & Antiochia, R. 2016. Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging. *Journal of King Saud University - Science*, 28(4): 273-279
- [73] Mahdi, S. S., Vadood, R., & Nourdahr, R. (2012). Study on the antimicrobial effect of nanosilver tray packaging of minced beef at refrigerator temperature. *Global Veterinaria*, 9(3), 284-289
- [74] Panea, B., Ripoll, G., González, J., Fernández-Cuello, Á., & Albertí, P. (2014). Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Ag on chicken breast meat quality. *Journal of Food Engineering*, 123, 104-112
- [75] Morsy, M. K., Khalaf, H. H., Sharoba, A. M., El-Tanahi, H. H., & Cutter, C. N. (2014). Incorporation of Essential Oils and Nanoparticles in Pullulan Films to Control Foodborne Pathogens on Meat and Poultry Products. *Journal of Food Science*, 79(4), M675-M684
- [76] Kuuliala, L., Pippuri, T., Hultman, J., Auvinen, S. M., Kolppo, K., Nieminen, T., Karp, M., Björkroth, J., Kuusipalo, J., & Jääskeläinen, E. (2015). Preparation and antimicrobial characterization of silver-containing packaging materials for meat. *Food Packaging and Shelf Life*, 6, 53-60
- [77] Azlin-Hasim, S., Cruz-Romero, M. C., Morris, M. A., Cummins, E., & Kerry, J. P. (2015). Effects of a combination of antimicrobial silver low density polyethylene nanocomposite films and modified atmosphere packaging on the shelf life of chicken breast fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 4, 26-35
- [78] Gallochio, F., Cibir, V., Biancotto, G., Roccato, A., Muzzolon, O., Carmen, L., Simone, B., Manodori, L., Fabrizi, A., Patuzzi, O., & Ricci, A. (2016). Testing nano-silver food packaging to evaluate silver migration and food spoilage bacteria on chicken meat. *Food Additives and Contaminants - Part A*, 33(6), 1063-1071
- [79] Beigmohammadi, F., Peighambaroust, S. H., Hesari, J., Azadmard-Damirchi, S., Peighambaroust, S. J., & Khosrowshahi, N. K. (2016). Antibacterial properties of LDPE nanocomposite films in packaging of UF cheese. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*, 65, 106-111
- [80] Tavakoli, H., Rastegar, H., Taherian, M., Samadi, M., & Rostami, H. (2017). The effect of nano silver packaging in increasing the shelf life of nuts: an in vitro model. *Italian Journal of Food Safety*, 6(4), 6874
- [81] Li, W., Li, L., Zhang, H., Yuan, M., & Qin, Y. (2018). Evaluation of PLA nanocomposite films on physicochemical and microbiological properties of refrigerated cottage cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), 1-9
- [82] Chi, H., Song, S., Luo, M., Zhang, C., Li, W., Li, L., & Qin, Y. (2019). Effect of PLA nanocomposite films containing bergamot essential oil, TiO₂ nanoparticles, and Ag nanoparticles on shelf life of mangoes. *Scientia Horticulturae*, 249, 192-198
- [83] Danese PN. 2002. Antibiofilm approaches: prevention of catheter colonization. *Chem Biol* 9(8): 873-880
- [84] Lewis K, Klibanov AM. 2005. Surpassing nature: rational design of sterile-surface materials. *Trends Biotechnol* 23 (7): 343-348
- [85] Czajka R. 2005. Development of Medical Textile Market. *Fib Text East Eur* 13(1): 13-15
- [86] Gao Y, Cranston R. 2008. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. *Text Res J* 78(1): 60-72

- [87] Duran N, Marcato P, De Souza GIH, Alves OL, Elisa E. 2007. Antibacterial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on textile fabrics and their effluent treatment. *Journal of Biomedical Nanotechnology* 3(2): 203-208
- [88] Son YA, Kim BS, Ravi kumar K, Lee SG. 2006. Imparting durable antimicrobial properties to cotton fabrics using quaternary ammonium salts through 4-aminobenzenes sulfonic acid-chloro-triazine adduct. *Eur Polym J* 42(11): 3059-3067
- [89] Lim SH, Hudson SM. 2004. Application of a fibre-reactive chitosan derivative to cotton fabric as an antimicrobial textile finish, *Carbohydr Polym* 56(1): 227-234
- [90] Uchida M. 1995. Antimicrobial zeolite and its application. *Chem Ind* 46(1): 48-54
- [91] Moustafa MT. 2017. Removal of pathogenic bacteria from wastewater using silver nanoparticles synthesized by two fungal species. *Water Science* 31(2): 164-176
- [92] Kim JS, Kuk E, Yu KN, et al. 2007. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine*, 3(1):95–101.
- [93] Sadeghi B, Garmaroudi FS, Hashemi M, et al. 2012. Comparison of the anti-bacterial activity on the nanosilver shapes: nanoparticles, nanorods and nanoplates. *Adv Powder Technol*, 23(1):22–26.
- [94] Li P, Li J, Wu C, Wu Q, Li J. 2005. Synergistic antibacterial effects of β -lactam antibiotic combined with silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16(9):1912–1917.
- [95] Sondi I, Salopek-Sondi B. 2004. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J Colloid Interface Sci*, 275(1):177–182.
- [96] Matsumura Y, Yoshikata K, Kunisaki S, Tsuchido T. 2003. Mode of bactericidal action of silver zeolite and its comparison with that of silver nitrate. *Appl Environ Microbiol*, 69(7):4278–4281.
- [97] Shrivastava S, Bera T, Roy A, Singh G, Ramachandrarao P, Dash D. 2007. Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 18(22):225103.
- [98] Kim KJ, Sung WS, Moon SK, Choi JS, Kim JG, Lee DG. 2008. Antifungal effect of silver nanoparticles on dermatophytes. *J Microbiol Biotechnol*, 18(8):1482–1484.
- [99] Nasrollahi A, Pourshamsian Kh, Mansourkiaee P. 2011. Antifungal activity of silver nanoparticles on some of fungi. *International Journal of Nano Dimension*, 1(3):233–239.
- [100] Kim KJ, Sung WS, Suh BK, et al. 2009. Antifungal activity and mode of action of silver nanoparticles on *Candida albicans*. *Biometals*, 22(2):235–242.
- [101] Sun RW, Chen R, Chung NP, Ho CM, Lin CL, Che CM. 2005. Silver nanoparticles fabricated in HEPES buffer exhibit cytoprotective activities toward HIV-1 infected cells. *Chem Commun (Camb)*, (40): 5059–5061.
- [102] Lu L, Sun RW, Chen R, et al. 2008. Silver nanoparticles inhibit hepatitis B virus replication. *Antivir Ther*, 13(2):253–262.
- [103] Taylor PL, Omotoso O, Wiskel JB, Mitlin D, Burrell RE. 2005. Impact of heat on nanocrystalline silver dressings. Part II: physical properties. *Biomaterials*, 26(35):7230–7240.
- [104] Baram-Pinto D, Shukla S, Perkash N, Gedanken A, Sarid R. 2009. Inhibition of herpes simplex virus type 1 infection by silver nanoparticles capped with mercaptoethane sulfonate. *Bioconjug Chem*, 20(8):1497–1502.
- [105] Rogers JV, Parkinson CV, Choi YW, Speshock JL, Hussain SM. 2008. A preliminary assessment of silver nanoparticle inhibition of monkeypox virus plaque formation. *Nanoscale Res Lett*, 3(4):129–133.
- [106] Taylor PL, Ussher AL, Burrell RE. 2005. Impact of heat on nanocrystalline silver dressings. Part I: chemical and biological properties. *Biomaterials*, 26(35):7221–7229.
- [107] Lara HH, Ayala -Nuñez NV, Ixtapan-Turrent L, Rodriguez-Padilla C. 2010. Mode of antiviral action of silver nanoparticles against HIV-1. *J Nanobiotechnology*, 8:1.
- [108] Nadworny PL, Wang J, Tredget EE, Burrell RE. 2008. Anti-inflammatory activity of nanocrystalline silver in a porcine contact dermatitis model. *Nanomedicine*, 4(3):241–251.
- [109] Shin SH, Ye MK. 2012. The effect of nano-silver on allergic rhinitis model in mice. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 5(4):222–227.

[110] Castillo PM, Herrera JL, Fernandez-Montesinos R, et al. 2008. Tiopronin monolayer-protected silver nanoparticles modulate IL-6 secretion mediated by Toll-like receptor ligands. *Nanomedicine (Lond)*, 3(5): 627–635.