

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Disinfeksi

Bakteri pathogen di badan air merupakan salah satu penyebab utama penyakit dengan air sebagai media penyebaran yang secara luas dampaknya akan membahayakan kesehatan masyarakat (WHO, 2011). Pengolahan air minum dan bahkan sekarang pengolahan air limbah telah menetapkan standar tersendiri untuk parameter bakteri pathogen. EPA (2002) dalam publikasinya tentang disinfeksi air olahan (disinfection of treated water) menyebutkan bahwa tujuan utama dari pengolahan air limbah dan disinfeksi adalah menghasilkan efluen yang memenuhi kriteria minimum yang dibutuhkan dalam kaitannya dengan kesehatan manusia maupun penggunaan lain, dengan kata lain menghilangkan bakteri patogen. Disinfeksi dapat dilakukan dengan berbagai metode yang umum digunakan antara lain secara kimiawi (contohnya: klorinasi, ozonasi), fisik (contohnya: radiasi ultraviolet, mikrofiltrasi), dan biologi (contohnya: kolam detensi).

Disinfeksi mikroorganisme pathogen merupakan proses esensial dalam system penyediaan pasokan air publik. Klorin, klorin dioksida, ozon, *chloramines* adalah beberapa metode disinfeksi yang paling sering digunakan saat ini. Meskipun desinfektan-desinfektan tersebut terbukti ampuh dalam menghilangkan mikroorganisme pathogen dalam air namun disamping kemampuannya itu desinfektan tersebut menyisakan produk sampingan seperti *trihalomethanes* (THMs), *Haloacetic Acids* (HAAs), *bromate*, dan *chlorite* yang terkenal sebagai senyawa teratogenik dan karsinogenik. Maka dari itu dibutuhkan teknologi lain yang lebih minim risiko (Song *et al*, 2016).

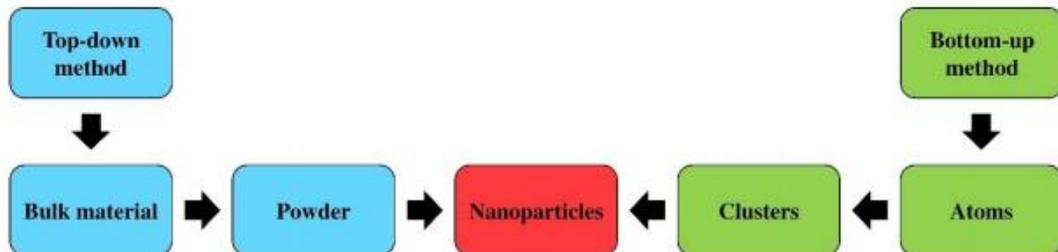
Berbagai keunggulan seperti efisiensi, stabilitas kimiawi dan keamanannya bagi manusia dan lingkungan telah menjadikan penggunaan teknologi nano dalam proses disinfeksi mendapat perhatian lebih. Nanopartikel/diatomit merupakan suatu jenis material alami yang aman dan telah banyak digunakan sebagai absorben, agen filtrasi, mineral pengisi dalam industry pengolahan air. Dalam penelitiannya Yijie Xia (2016) menyebutkan bahwa 0,5 gram nanopartikel perak diatomit dapat membunuh hingga lebih dari 99,9% bakteri *Escherecia coli* hanya dalam waktu setengah jam.

2.2 Nanopartikel

Nanotechnology (teknologi nano) telah menjadi riset yang banyak diminati sejak diperkenalkan pertama kali oleh Richard P. Feynman pada tahun 1959 dalam kuliahnya yang berjudul “There’s Plenty of Room at The Bottom” (Feynman, 1960), dan sejak saat itu banyak perkembangan revolusioner terhadap penelitian terkait teknologi nano. Teknologi nano menghasilkan berbagai jenis material dalam ukuran nano, nanopartikel (NPs) menurut Laurent *et al.* (2010) merupakan material yang termasuk dalam zat partikulat dengan ukuran 1-100 nm.

Nanopartikel (NPs) dapat diklasifikasikan ke dalam kelas-kelas yang berbeda berdasarkan sifat, bentuk atau ukurannya. Nanopartikel mempunyai sifat fisik dan kimia yang unik, hal tersebut dikarenakan luas permukaan dan ukuran dalam skala nano yang dimilikinya. Bahkan warna yang dihasilkan NPs bergantung pada ukuran partikelnya berdasarkan serapan pada cahaya tampak (Khan *et al.*, 2017). Di sisi lain, keunikan sifat nanopartikel yang mempunyai ukuran kecil dan luas permukaan yang besar merupakan sebuah keterbatasan, menurut Lee (2008) nanopartikel yang teraglomerasi membuat penanganan fisik akan sulit untuk dilakukan pada nanopartikel dalam wujud kering dan larutan. Selain itu nanopartikel juga mempunyai potensi sebagai zat toksik bagi manusia dan lingkungan, dimana manusia dapat terpapar nanopartikel melalui pernapasan, kontak kulit, pencernaan dan melalui suntikan ke aliran darah (Oberdorster *et al.*, 2005). Namun sejauh ini belum ada data

atau publikasi yang menunjukkan pengaruh signifikan toksisitas dan genotoksik nanopartikel pada manusia, meskipun telah banyak produk-produk sehari-hari yang menggunakan teknologi nano (Fu *et al.*, 2014).



Gambar 2.1 Proses Sintesis Nanopartikel

Sumber: (Saravanakumar *et al.*, 2017)

Banyak metode yang dapat digunakan untuk mensintesis nanopartikel (NP), namun secara garis besar metode tersebut dibagi menjadi metode bottom-up dan metode top-down (Wang dan Xia, 2014). Metode top-down dilakukan dengan pendekatan secara destruktif untuk memecah molekul yang besar menjadi molekul-molekul yang lebih kecil hingga mencapai ukuran nanopartikel yang diinginkan, sedangkan metode bottom-up merupakan pendekatan yang digunakan secara terbalik karena nanopartikel terbentuk dari substansi atau zat yang lebih sederhana, metode ini juga disebut sebagai build-up methods dengan contohnya adalah sedimentasi dan reduksi (Irvani, 2011). Metode sintesis nanopartikel bottom-up dinilai lebih baik digunakan untuk keperluan dengan biaya yang relatif lebih murah, dengan skala tertentu dan digunakan untuk keperluan tertentu dengan hasil sintesis yang relatif seragam (Guo Z. dan Tan L., 2009).

Tabel 2.1 Metode Sintesis Nanopartikel

Metode	Deskripsi	Ukuran	Referensi
<i>Sol-gel</i>	Larutan koloid padat yang tersuspensi dalam fase cair. Gel – padat makromolekul terendam dalam suatu pelarut	1-42 nm	Ramesh, S. 2013. <i>Sol-Gel Synthesis and Characterization of Nanoparticle</i> . Journal of Nanoscience. Vol. 9. Hal. 9
<i>Spinning</i>	Spinning dilakukan oleh reaktor cakram berputar (SDR). Reaktor umumnya diisi dengan nitrogen atau gas lembam lainnya untuk mengeluarkan oksigen di dalam dan menghindari reaksi kimia	50-80 nm	Tai C Y, Tai C, Chang M and Liu H. 2007. Synthesis of Magnesium Hydroxide and Oxide Nanoparticles Using a Spinning Disk Reaktor. Industrial & Engineering Chemistry Research. Vol. 46. Hal. 5536-5541
<i>Chemical reduction</i>	Larutan garam perak direduksi oleh agen pereduksi anorganik atau organik	2-25 nm	Gebregeorgis A, Bhan C, Wilson O, Raghavan D.2013. <i>Characterization of silver/bovine serum albumin (Ag/BSA) nanoparticles structure: morphological, compositional, and interaction studies</i> . J Colloid Interface Sci. 389: 31-41.
<i>Chemical Vapour Deposition</i>	Pengendapan film tipis reaktan gas ke substrat. Deposisi dilakukan dalam ruang reaksi pada suhu kamar dengan menggabungkan molekul gas.	1-2 nm	Bhaviripudi S, Mile E, Iii S A S, Zare A T, Dresselhaus M S, Belcher A M and Kong J. 2007. <i>CVD Synthesis of Single-Walled Carbon Nanotubes from Gold Nanoparticle Catalysts</i> . Journal of The American Science Society. 1516–7
<i>Pyrolysis</i>	Dilakukan untuk produksi skala besar nanopartikel. Ini melibatkan pembakaran prekursor dengan api	<100 nm	Kammler B H K, Mädler L and Pratsinis S E. 2001. <i>Flame Synthesis of Nanoparticles</i> . Chemical Engineering and Technology. Vol. 24 583

Metode	Deskripsi	Ukuran	Referensi
<i>Biosynthesis</i>	Menggunakan bakteri, ekstrak tumbuhan, jamur, dll bersama dengan prekursor untuk menghasilkan nanopartikel bukan bahan kimia konvensional untuk tujuan bioreduction dan capping	1-50 nm	Kuppusamy P, Yusoff M M and Govindan N. 2014. <i>Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications</i> . An updated report SAUDI Pharm. J.
<i>Mechanical Milling</i>	Menggunakan milling dan annealing nanopartikel selama sintesis di mana elemen yang berbeda digiling dalam atmosfer inert.	14-40 nm	Yadav T P, Yadav R M and Singh D P. 2012. <i>Mechanical Milling : a Top Down Approach for the Synthesis of Nanomaterials and Nanocomposites</i> . Nanoscience and Technology. Vol. 2 Hal. 22–48
<i>Nanolithography</i>	Pencetakan bentuk atau struktur yang diperlukan pada material peka cahaya yang secara selektif menghilangkan sebagian material untuk membuat bentuk dan struktur yang diinginkan	1-40 nm	Pimpin A dan Srituravanich W. 2012. <i>Review on Micro- and Nanolithography Techniques and their Applications</i> . Engineering Journal. Vol. 16. Hal.37–55
<i>Laser Ablation</i>	Penguapan bahan dengan <i>laser pulse</i> . Menghasilkan uap yang kemudian dikondensasikan dan menghasilkan nanopartikel	1-5 nm	Amendola V, Polizzi S, Meneghetti M. 2007. <i>Free silver nanoparticles synthesized by laser ablation in organic solvents and their easy functionalization</i> . Langmuir. 23: 6766-6770.
<i>Sputtering</i>	Pengendapan nanopartikel pada permukaan dengan mengeluarkan partikel dari itu dengan bertabrakan dengan ion	15-30 nm	Shah P and Gavrin A Ñ .2006. <i>Synthesis of nanoparticles using high-pressure sputtering for magnetic domain imaging</i> . Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Vol. 301. Hal. 118–23

Metode	Deskripsi	Ukuran	Referensi
<i>Thermal Decomposition</i>	Dekomposisi kimia endotermik yang dihasilkan oleh panas yang memecah ikatan kimia di dalam senyawa	40 nm	Salavati-niasari M, Davar F and Mir N. 2008. <i>Synthesis and characterization of metallic copper nanoparticles via thermal decomposition Polyhedron</i> . Vol. 27

Secara garis besar metode sintesis nanopartikel tersebut dapat disederhanakan sebagai berikut:

Tabel 2.2 Kategori Sintesis Nanopartikel Berdasarkan Metodenya

Kategori	Metode	Nanopartikel
Bottom-Up	Sol-gel	Karbon, Logam, Logam oksida
	Spinning	Polimer organik
	Chemical Reduction	Logam, logam oksida
	Chemical Vapour Deposition	Karbon, logam
	Pyrolysis	Karbon, metal oksida
	Biosynthesis	Polimer organik, logam
Top-Down	Mechanical Milling	Logam oksida, polimer
	Nanolithography	Logam
	Laser ablation	Karbon, logam oksida
	Sputtering	Logam
	Thermal decomposition	Karbon, logam oksida

2.3 Nanopartikel Perak (AgNP)

Secara umum perak (Ag) telah diakui sebagai antibakteri yang paling efektif karena kapabilitasnya dalam menghilangkan bakteri, virus dan mikroorganisme eukariotik lainnya (Rai *et al.* 2009) dan nanopartikel perak (AgNP) merupakan jenis nanopartikel yang paling banyak disintesis dibandingkan jenis lain (Hasan, 2015). Perak yang disintesis menjadi nanopartikel perak (AgNP) mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi dan komponen fisika kimia unik telah digunakan dalam berbagai bidang secara luas termasuk untuk filtrasi dalam pengolahan air (Soukupova *et al.* 2008).

2.3.1 Sintesis Nanopartikel Perak (AgNP)

Ada beberapa metode dalam memproduksi nanopartikel perak. Reduksi kimia merupakan metode yang relative lebih banyak digunakan karena berbagai factor keunggulannya dibanding metode lain, seperti faktor kemudahan, biaya yang relatif murah serta kemungkinannya untuk diproduksi dalam skala besar (Huy *et al*, 2013). Berbagai zat pereduksi dapat digunakan mulai dari yang bersifat lemah (semisal glukosa), medium (semisal formaldehida), dan kuat (hidrazin dan natrium borohidrida). Penting untuk menstabilkan partikel koloid nanopartikel perak yang terbentuk agar tidak mengalami proses aglomerasi (Wahyudi *et al*, 2011). Stabilitas nanopartikel perak terutama ketika nanopartikel tersebut dikarakterisasi dan diaplikasikan ke dalam sebuah produk memegang peranan penting. Secara umum Haryono *et al* (2008) menyebutkan bahwa preparasi nanopartikel logam dilakukan dengan mereduksi ion logam dengan agen pereduksi dan agen protektif untuk menstabilkan nanopartikel.

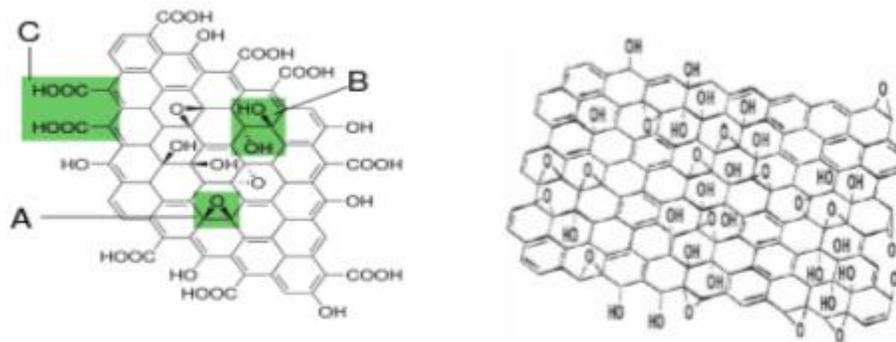
Pendekatan kimiawi dengan *reductor agent* dalam mensintesis nanopartikel perak berpotensi menghasilkan residu yang mungkin bersifat toksik (Song *et al*, 2008), namun hal tersebut dapat diatasi dengan adanya *reductor agent* seperti borohidrat, sitrat, askorbat dan glukosa (El-nour *et al*, 2010). Sintesis nanopartikel perak yang sering dilakukan yaitu reduksi kimia oleh reduktor natrium sitrat atau natrium borohidrat. Metode ini dilakukan oleh Guzman *et al* (2009), yaitu melakukan sintesis nanopartikel perak dengan menggunakan perak nitrat (AgNO_3) 1×10^{-3} M sebagai garam perak dan natrium sitrat ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) sebagai zat pereduksinya.

Tabel 2.3 Reduktor Sintesis Nanopartikel Perak

Reduktor	Deskripsi	Ukuran partikel	Referensi
NaBH₄	Sekumpulan nanopartikel perak dibentuk dengan mereaksikan larutan perak nitrat (AgNO ₃) dengan natrium borohidrida (NaBH ₄)	13 nm	Ifeanyi T. Nzekwe1 et al. 2016
Sodium Citrate	Nanopartikel dibentuk dengan mereaksikan larutan perak nitrat dengan Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) sebagai penstabil dan Sodium sitrat sebagai agen reduksi	10-20 nm	Maribel G. Guzmán et al. 2009
Gallic Acid	AgNO ₃ dalam bentuk larutan direaksikan dengan gallic acid yang berlaku sebagai agen reduksi dan penstabil	7-89 nm	G. A. Martínez-Castañón et al. 2008
Anilin	Anilin digunakan sebagai reduktor dan penstabil dalam rekasi oembentukan nanopartikel perak dari AgNO ₃	10-30 nm	KZaheer Khan et al. 2011

2.4 Graphene Oxide (GO)

Graphene merupakan lembaran atom dua dimensi yang mempunyai sifat elektronik, mekanik dan termal. Metode yang praktis dan termurah dalam menghasilkan *graphene oxide* (GO) adalah dengan mensintesisnya dari serbuk grafit (Nur Suhaili, 2017). *Graphene oxide* mempunyai struktur berlapis sebagai berikut:



Gambar 2.2 Struktur *Graphene Oxide* dengan Gugus Fungsional. A: Gugus Epoksi, B: Gugus Hidroksil, C: Gugus Karboksil.

Sumber: (Lerf *et al*, 1998)

Posisi atom karbon dalam *graphene oxide* ditambah dengan kehadiran kelompok atom oksigen, tidak hanya memperluas jarak antar lapisan tapi juga membuat lapisan atom yang tebal dan bersifat hidrofilik. Sebagai hasilnya, oksidasi lapisan ini dapat berinteraksi dengan air di bawah perlakuan ultrasonifikasi. (Novoselov *et al*, 2004).

Pengolahan air dan air limbah membutuhkan bahan yang tidak toksik, stabil dalam jangka panjang, dan relatif murah. Material nanokomposit seperti *graphene* banyak digunakan. Dalam penelitian lebih lanjut material ini banyak digabungkan dengan nanomaterial (Tesh, 2014).

Graphene Oxide yang terkenal sebagai karbon atom lapisan tunggal yang membentuk struktur sarang lebah dua dimensi telah menjadi bahan yang menarik sejak ditemukan oleh Geim (2004) dan dalam penelitian Akhavan (2010) dilaporkan bahwa *graphene oxide* dapat dijadikan antibakteri yang efektif dengan karakteristik morfologinya yang dapat merusak permukaan bakteri dan menghilangkan karakteristik serta bocornya RNA pada bakteri yang terkontak. Nanokomposit *graphene oxide* perak (AgGO) juga telah digunakan secara luas sebagai bahan antibakteri aktif, selain itu AgGO yang bersinergi dengan nanopartikel perak (AgNPs) telah dikonfirmasi sangat superior terhadap *E.coli* (Ma *et al*. 2011).

Tabel 2.4 Metode sintesis *graphene oxide*

Metode	Deskripsi	Referensi
Hummers and Offeman	Serbuk grafit halus dan natrium nitrat NaNO_3 dalam kondisi <i>ice bath</i> dengan pereaksi kalium permanganat serbuk (KMnO_4), senyawa tersebut digunakan sebagai pengoksidasi dan penstabil. Suspensi yang terbentuk dibersihkan dengan menambahkan hidrogen peroksida (H_2O_2) untuk mengoksidasi dan membersihkan <i>Graphene Oxide</i> .	Hummers <i>et al.</i> 1957
Brodie	Asap asam nitrat ditambahkan ke dalam labu. Bubuk grafit dimasukkan ke dalam labu dan benar-benar tersebar untuk menghindari aglomerasi. Selanjutnya, kalium klorat ditambahkan, dan campuran reaksi diaduk selama 21 jam pada 0 C. Perhatian khusus diperlukan selama penambahan kalium klorat karena ledakan dapat terjadi. Setelah reaksi selesai, campuran itu diencerkan dalam air suling dan vakum disaring sampai pH filtrat netral.	Cristina <i>et al.</i> 2013
Exfoliation	Biasanya dicapai dalam larutan cair menggunakan metode ultrasonik dengan pelarut yang berbeda. Prosedur yang khas melibatkan pemaparan bubuk grafit atau grafit oksida ke pelarut tertentu seperti DMF atau NMP.	Bakhshandeh <i>et al.</i> 2018
Thermal Chemical Vapor Deposition (CVD)	Kamper digunakan untuk mensintesis graphene pada Ni foils. Kamper diuapkan pada suhu 180 ° C dan kemudian dipirolisis dengan tungku CVD pada suhu 700 hingga 850 ° C, menggunakan argon. Kemudian didinginkan pada suhu ruang, beberapa lembar <i>graphene</i> yang terbentuk dapat diamati pada Ni foils.	Wonbong <i>et al.</i> 2010

2.5 Nanopartikel Perak-Graphene Oxide (AgGO)

Dalam studi yang dilakukan oleh Chook *et al.* (2012) mengenai nanopartikel perak-graphene oxide (AgGO) sebagai antibakteri terhadap bakteri gram positif (*Staphylococcus Aureus* dan *Staphylococcus Epidermidis*) dan bakteri gram negatif (*Escherichia Coli* dan *Salmonella Typhii*), nanopartikel perak-graphene oxide (AgGO) diuji aktivitas antibakterinya terhadap bakteri tersebut pada lima konsentrasi yang berbeda, yaitu 100 mg/mL, 50 mg/mL, 25 mg/mL, 12,5 mg/mL, dan 6,25 mg/mL. Air distilasi steril digunakan sebagai sampel kontrol. Setelah proses inkubasi, semua cawan diamati pertumbuhan bakteri koloninya pada permukaan media agar. Pengamatan ini dirangkum dalam tabel berikut :

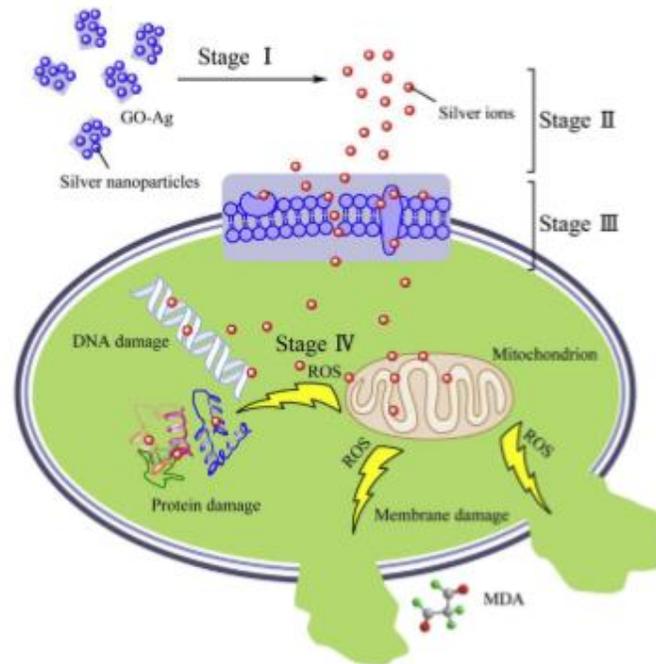
Tabel 2.5 Efek Penghambatan AgGO terhadap Bakteri Gram Positif dan Negatif

Bakteri	Konsentrasi Sampel (ug/ml)				
	100	50	25	12,5	6,25
Gram-positif					
S. aureus	x	x	X	x	X
S. epidermidis	x	x	X	x	X
Gram-negatif					
E. coli	v	v	V	v	V
S. typhi	v	v	V	v	V

Tanda centang (v) menunjukkan reaksi positif terhadap penghambatan pertumbuhan bakteri, tanda silang (x) menunjukkan reaksi negatif terhadap penghambatan pertumbuhan bakteri.

Berdasarkan tabel di atas, AgGO menunjukkan aktivitas antibakteri yang kuat terhadap bakteri gram negatif dibandingkan bakteri gram positif. AgGO efektif dalam menghambat pertumbuhan *E. coli* dan *S. typhii* pada seluruh konsentrasi sampel uji. Berbanding terbalik, AgGO menunjukkan efek kontras dengan tidak adanya efek penghambatan pada bakteri gram positif *S. aureus* dan *S. epidermidis*. Perbedaan struktural antara bakteri gram positif dan bakteri gram negatif menjadi penyebab adanya perbedaan signifikan dalam aktivitas antibakteri. Bakteri gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan yang tipis, sehingga AgGO memiliki efek antibakteri yang kuat

terhadap *E. coli* daripada *S. aureus* dibandingkan efeknya terhadap bakteri gram positif yang memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tebal. Dimana lapisan peptidoglikan tersebut memberikan perlindungan lebih terhadap efek AgGO. Berikut merupakan mekanisme kerja antibakteri AgGO:

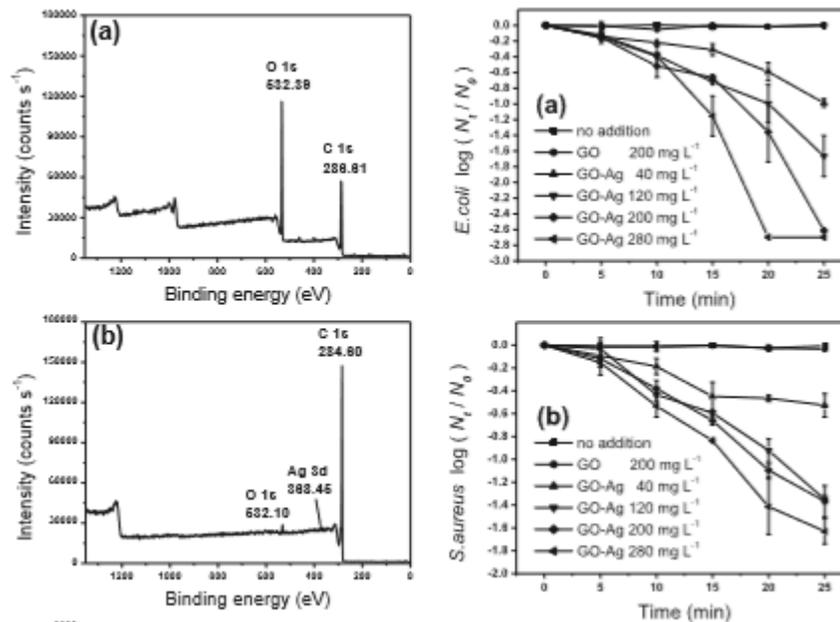


Gambar 2.3 Mekanisme Antibakteri AgGO melawan Bakteri *E. coli*

AgGO mempunyai mekanisme yang serupa dengan AgNPs hanya saja ada penambahan efek dari GO. Lapisan Graphene Oxide yang fleksibel menjadikan luas permukaan untuk AgNPs melekat bertambah (Liu *et al.*, 2011) selain itu GO dapat berfungsi untuk menghambat pengambilan nutrisi oleh bakteri dari sekitar dan di saat bersamaan meningkatkan interaksi antara AgNPs dengan bakteri dan menjadikannya reaksi berantai terhadap penghancuran membran bakteri oleh AgNPs, dengan reaksi tersebut ion Ag^+ dapat dilepas lebih mudah ke bakteri dan menyebabkan mutulasi respirasi dan pertumbuhan bakteri yang pada akhirnya akan menyebabkan kematian sel bakteri (Zhang *et al.* 2011).

Studi mengenai aktivitas nanopartikel perak-graphene oxide (AgGO) sebagai antibakteri pada disinfeksi air pernah dilakukan Song *et al.* (2016), dalam penelitiannya ini AgGO yang terbentuk mempunyai struktur lapisan graphene oxide (GO) yang

berkerut pada permukaan yang lembut sedangkan AgNPs yang berukuran antara 5-15 nm menempel pada permukaannya, kombinasi keduanya merupakan antibakteri pada proses disinfeksi air. Selain dosis AgGO sebagai antibakteri waktu kontak juga berpengaruh pada efektivitas AgGO sebagai antibakteri, adapun aktivitas antibakteri yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar berikut:



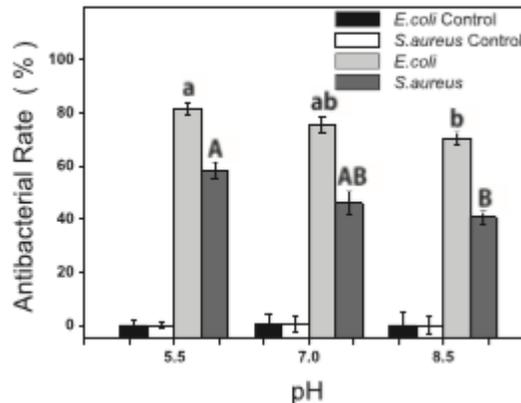
Gambar 2.4 Unjuk Kerja Aktivitas Antibakteri AgGO

Sumber: (Chook *et al*, 2012)

Meskipun *graphene oxide* sendiri bersifat antibakteri (Deng, C.H., *et al*. 2014) namun tanpa adanya penambahan AgNPs terjadi pengurangan aktivitas antibakteri sebesar 3-5%. Dalam penelitian Chook *et al* (2012) perbedaan efektivitas removal terletak pada waktu kontak, dan untuk mendapatkan hasil yang cepat dan jelas maka digunakan rentang waktu terkontrol hingga 25 menit. Dari hasil uji diperoleh bahwa perilaku antibakteri dari AgGO dalam melawan bakteri tidak hanya bergantung pada dosis yang digunakan melainkan juga pada waktu kontak. Pada waktu 25 menit, persen removal bakteri AgGO terhadap *E. coli* mencapai 89.72%, 97.83%, 99.99% dan 99.99%, sedangkan pada *S. aureus* sebesar 70.32%, 95.53%, 95.70% dan 97.65%. hasil ini didapat dari konsentrasi AgGO secara berurutan 40, 120, 200 dan 280 mg/L. Dari

data tersebut dapat dilihat bahwa AgGO lebih efektif untuk melawan *E. coli* dibanding *S. aureus*.

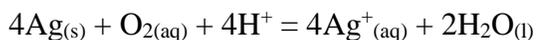
Faktor lain yang berpengaruh adalah tingkat keasaman (pH), pengaruh pH dapat diamati pada Gambar berikut:



Gambar 2.5 Aktivitas Antibakteri AgGO dengan variasi pH

Sumber: (Chook *et al*, 2012)

Diketahui bahwa AgGO menunjukkan aktivitas antibakteri yang lebih baik dalam mengatasi *E. coli* dan *S. aureus* dalam kondisi asam. Dalam perbandingan untuk disinfeksi air dengan pH yang lebih tinggi. Persen removal dalam melawan *E. coli* tercatat 81.68%, 75.5% dan 70.5% dan untuk *S. aureus* sebesar 58.23%, 45.96% dan 40.6% hasil tersebut didapatkan dalam pH secara berurutan sebesar 5.5, 7 dan 8.5. Hasil ini dapat dijelaskan dengan perbedaan konsentrasi ion perak yang dilepas oleh AgNP pada pH yang bervariasi (Shao, W., *et al*, 2015). Ion perak mempunyai spesialisasi tertentu dalam memberi dampak langsung pada bakteri (Jiraroj, D., *et al*, 2014). Dalam larutan, AgNP kemungkinan dioksidasi menjadi ion perak oleh oksigen terlarut seperti dalam persamaan berikut:



Jumlah ion perak yang terlepas dari AgGO bergantung pada tingkat oksidasi AgNP yang mana secara signifikan dipengaruhi oleh konsentrasi ion hydrogen.

Sehingga, semakin rendah pH yang dihasilkan maka semakin cepat ion perak terlepas dan semakin tinggi aktivitas antibakterinya.

Dari penelitian perbandingan aktivitas antibakteri dan karakteristik nanopartikel perak (AgNP), graphene oxide (GO) dan nanopartikel perak-graphene oxide (AgGO) dapat dikatakan bahwa AgGO punya potensi yang relative lebih baik sebagai pelapis media antibakteri untuk pengolahan air dan air limbah.

2.6 Coating (pelapisan)

Coating merupakan proses pelapisan material ke suatu permukaan objek dengan maksud tertentu. Fungsi pelapisan yang diterapkan pada permukaan adalah untuk pelindung, dekoratif, fungsional atau bahkan kombinasi diantaranya. Pelapisan untuk tujuan fungsional menggambarkan bahwa pelapisan punya fungsi lain dalam memenuhi tujuan pelapisan itu sendiri, sebagai contohnya adlah pelapisan untuk tujuan antibakteri (Mathiazhagan, 2011). Coating pada AgNPs punya pengaruh besar terhadap nasib, stabilitas, toksisitasnya pada larutan, system biologi dan lingkungan (Sharma *et al*, 2014). Penggunaan bahan *Graphene Oxide* yang bersinegi dengan antibakteri dapat menguatkan unjuk kerja dan ketahanan dari media yang digunakan (Liu *et al*, 2011).

2.6.1 Media Coating

Media coating yang pernah digunakan sebagai antibakteri selama ini bervariasi, antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.6 Macam Media Coating

Material	Efisiensi Removal (LRV)	Efisiensi Removal (%)	Referensi
<i>Ceramic</i>	3	100%	Bondioli, F. <i>et al.</i> 2013
<i>Textile (fibers)</i>	3	100%	Fan L. <i>et al.</i> 2008
<i>Polyurethane foams</i>	3	100%	Prashant Jain <i>et al.</i> 2005
<i>Rice Husk Ash</i>	1,7	90%	He D. <i>et al.</i> 2014
<i>Cellulose filter paper</i>	7-8	99%-100%	Mangala <i>et al.</i> 2016

2.7 Luffa cylindrica

Spons *Luffa cylindrica* merupakan serat dari buah tanaman *Luffa cylindrica* (Oyong). Tanaman luffa mempunyai daun oval, bentuk buahnya silinder dengan lima sampai tujuh rongga, dengan bentuk gerigi di tengah dan kulit luarnya, serta berwarna hijau tua. Biasanya mempunyai panjang 10 hingga 30 cm dan lebar antara 5 sampai 25 cm. Saat mengering, akan terlihat jelas jaringan serat-seratnya. Serat-serat dari luffa ini biasanya digunakan untuk keperluan industri, seperti filter dan peredam getaran maupun suara (Adie *et al.*, 2013).



Gambar 2.6 *Luffa cylindrica*

Sumber: (Eric Danell, 2012)

Menurut Zampieri *et al* (2006) serabut gambas memiliki serat-serat yang terdiri dari struktur yang menyerupai jaring membentuk sistem pori yang hirarkis multimodal sehingga bisa digunakan sebagai pembentuk struktur/template dalam pembuatan material berpori. Spons *Luffa Cylindrica* merupakan serat berkapasitas penyerapan air tinggi, sehingga cocok sebagai penyerap, termasuk dalam mengurangi warna keruh pada air limbah (Nat, 2012).

2.8 Tinjauan Mikrobiologi

2.8.1 *Escherichia coli*

Escherichia coli atau sering disebut *E. coli* merupakan mikroorganisme jenis bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya pencemaran air oleh tinja (Melliawati, 2009). Bakteri ini masuk dalam kelompok gram negatif, berbentuk batang pendek, memiliki panjang sekitar 2 μm , diameter 0,7 μm , lebar 0,4-0,7 μm dan bersifat anaerob fakultatif. *E. coli* pada pertumbuhannya membentuk koloni yang bundar, cembung, dan halus dengan tepi yang nyata (Tristyanto, 2016).

Suhu optimum pertumbuhan *E. coli* adalah 30-37 °C. Umumnya bakteri *E. coli* berwarna putih, kadang-kadang berwarna putih kekuningan, coklat keemasan, jingga

kemerahan atau merah dengan karakter berombak-ombak, basah dan homogen (Anshari, 2011).

2.8.2 Uji Antibakteri

Pengukuran aktivitas antibakteri dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah metode *Most Probable Number* (MPN). Metode MPN digunakan untuk menghitung jumlah mikroba tertentu yang terdapat di antara campuran mikroba lain, misalnya jika digunakan media kaldu laktosa maka ditunjukkan dengan terbentuknya MPN kelompok bakteri *coliform* (Tristyanto, 2016). Perhitungan jumlah bakteri berdasarkan jumlah tabung reaksi yang positif dapat dilihat dengan mengamati timbulnya kekeruhan atau terbentuknya gas di dalam tabung kecil (tabung durham) yang dipasang terbalik di dalam larutan kaldu laktosa tabung reaksi. Prinsip utama metode ini adalah mengencerkan sampel sampai tingkat tertentu, sehingga didapatkan konsentrasi mikroorganisme yang sesuai dan jika ditanam dalam tabung reaksi menghasilkan frekuensi pertumbuhan tabung positif (Dwidjoseputro, 2005).

Dalam Buku Dasar-dasar Mikrobiologi Dwidjoseputro (2005) langkah pengujian bakteri dalam air adalah sebagai berikut:

1. Uji dugaan (*Presumptive Test*)

Pada pengujian ini digunakan tabung reaksi yang berisi media *Lactosa Broth* (LB) ganda dan tunggal dan tabung durham pada posisi terbalik. Volume inoculum bergantung pada asal-usul sampel, jika diduga sampel banyak mengandung bakteri maka 1 ml dari sampel telah cukup. Pada media ini diinkubasi dalam waktu 48 jam, jika timbulnya gelembung dan keruh pada tabung durham maka dinyatakan positif. Sedangkan jika tidak terdapat gelembung dan keruh, maka dinyatakan negatif.

2. Uji kepastian (*Confirmed Test*)

Sampel yang dinyatakan positif pada uji dugaan, kemudian ditanamkan pada media *Brilliant Green Lactosa Broth* (BGLB). BGLB berguna untuk menghambat pertumbuhan bakteri Gram positif dan meningkatkan pertumbuhan bakteri

golongan kolon. Jika timbul gas sebelum waktu inkubasi berakhir atau 48 jam maka tes ini dinyatakan positif. Indeks Metode Most Probable Number (MPN) dapat dilihat di table berikut:

Tabel 2.7 Indeks JPT per 100 ml sampel dengan tiga jenis pengenceran

Jumlah TB. (+) Gas pd penanaman			Index MPN per 100 ml	Jumlah TB. (+) Gas pd penanaman			Index MPN per 100 ml
3 x 10 ml	3 x 1 ml	3 x 10 ml		3 x 10 ml	3 x 1 ml	3 x 0,1 ml	
0	0	0	0	2	0	0	10
0	0	1	3	2	0	1	14
0	0	2	6	2	0	2	19
0	0	3	9	2	0	3	24
0	1	0	3	2	1	0	15
0	1	1	6	2	1	1	20
0	1	2	9	2	1	2	25
0	1	3	12	2	1	3	30
0	2	0	6	2	2	0	21
0	2	1	9	2	2	1	26
0	2	2	12	2	2	2	31
0	2	3	16	2	2	3	37
0	3	0	9	2	3	0	27
0	3	1	13	2	3	1	33
0	3	2	16	2	3	2	38
0	3	3	19	2	3	3	44
1	0	0	4	3	0	0	29
1	0	1	7	3	0	1	39
1	0	2	11	3	0	2	49
1	0	3	14	3	0	3	60
1	1	0	7	3	1	0	46
1	1	1	11	3	1	1	58
1	1	2	15	3	1	2	72
1	1	3	18	3	1	3	86
1	2	0	11	3	2	0	76
1	2	1	15	3	2	1	95
1	2	2	19	3	2	2	116

Jumlah TB. (+) Gas pd penanaman			Index MPN per 100 ml	Jumlah TB. (+) Gas pd penanaman			Index MPN per 100 ml
3 x 10 ml	3 x 1 ml	3 x 10 ml		3 x 10 ml	3 x 1 ml	3 x 0,1 ml	
1	2	3	23	3	2	3	139
1	3	0	15	3	3	0	190
1	3	1	19	3	3	1	271
1	3	2	23	3	3	2	438
1	3	3	27	3	3	3	1898

Sumber: (Isolasi dan Identifikasi Bakteri Klinik, 2010)

Penentuan jumlah mikroba dilakukan dengan mengkonversi jumlah tabung reaksi positif berdasarkan tabel indeks *Most Probable Number* (MPN) dan dikali faktor pengenceran. Untuk mengetahui efisiensi removal bakteri (R), maka langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R (\%) = \left(\frac{C_{influen} - C_{effluen}}{C_{influen}} \right) \times 100 \% \dots \dots \dots (2.1)$$

Log Removal Values (LRV) merupakan langkah lain dalam mengetahui efisiensi antibakteri secara kuantitatif. *Log Removal Values* (LRV) diartikan sebagai ukuran kemampuan suatu proses pengolahan dalam menghilangkan mikroorganisme patogen. LRV ditentukan dengan mengambil logaritma dari ratio konsentrasi patogen pada influen dan effluen air dari proses pengolahan dengan langkah sebagai berikut:

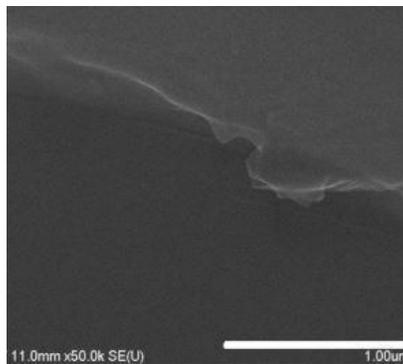
$$LRV = \log_{10} \left(\frac{C_{influen}}{C_{effluen}} \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan ketentuan bahwa data LRV dengan nilai 1, 2, dan 3 secara berurutan akan setara dengan persen removal sebesar 90%, 99%, dan 99,9% dari patogen target (Water Research Australia, 2014).

2.9 Karakterisasi Nanopartikel Perak-Graphene Oxide

2.9.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron *Microscopy* (SEM) merupakan metode penelitian struktur permukaan sampel. Instrumen ini memberikan kedalaman bidang yang besar, yaitu area sampel mampu dilihat dalam fokus yang cukup besar. SEM memiliki keuntungan berupa kisaran pembesaran yang relatif luas. Gambar-Gambar yang dihasilkan instrumen ini muncul dalam bentuk tiga dimensi, sehingga lebih menarik bagi mata manusia dan mempermudah peneliti untuk analisis (Stadlander, 2007).

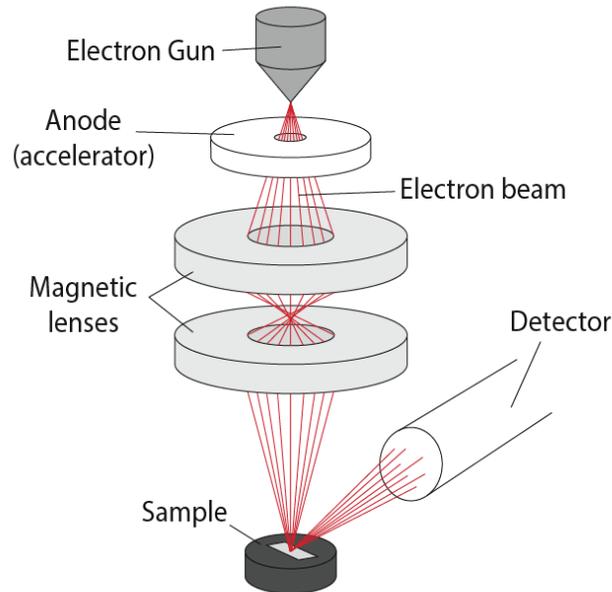


Gambar 2.7 Contoh Hasil SEM Lapisan *Graphene Oxide*

Sumber: (Tu *et al*, 2013)

Scanning Electron Microscopy (SEM) memberikan informasi permukaan detail dengan menelusuri sampel dalam pola raster dengan berkas elektron.

Scanning Electron Microscope (SEM)



Gambar 2.8 Skema Scanning Electron Microscopy (SEM)

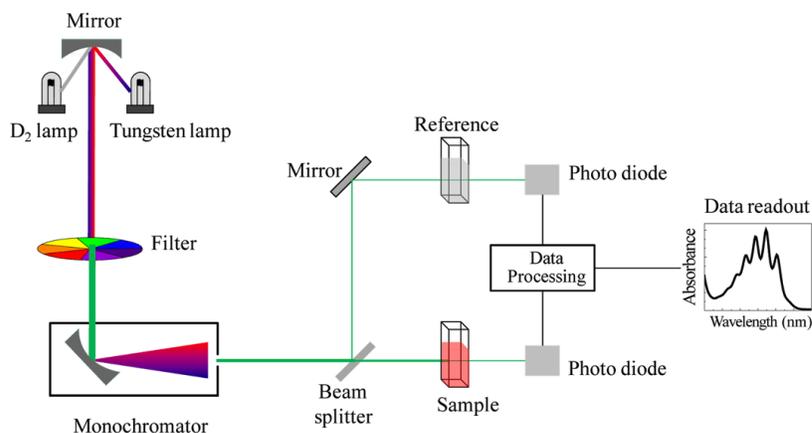
Sumber: (Engineering Atoms - University of Cambridge, 2015)

Proses pemindaian (*scanning*) dimulai dengan senapan elektron menghasilkan berkas elektron energik di bawah kolom dan menuju rangkaian lensa elektromagnetik. Lensa ini adalah tabung yang dibungkus dalam gulungan dan disebut sebagai solenoida. Gulungan tersebut disesuaikan untuk memfokuskan berkas elektron ke sampel yang menyebabkan fluktuasi tegangan, meningkatkan/mengurangi kecepatan elektron bersentuhan dengan permukaan spesimen. Melalui komputer, operator SEM menyesuaikan balok elektron untuk mengontrol pembesaran serta menentukan luas permukaan yang dipindai. Pancaran difokuskan ke ruang vakum, di mana sampel padat ditempatkan. Sebagian besar sampel memerlukan beberapa persiapan sebelum ditempatkan di ruang vakum. Ketika berkas elektron kontak dengan sampel, elektron energik dilepaskan dari permukaan sampel. Pola pancar yang dibuat oleh interaksi

sampel dengan berkas elektron menghasilkan informasi tentang ukuran, bentuk, tekstur, dan komposisi sampel (Choudhary dan Priyanka, 2017).

2.9.2 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu metode menggunakan alat Spektrofotometer dalam kimia analisis untuk menentukan komposisi suatu sampel baik secara kuantitatif dan kualitatif. Metode ini didasarkan pada interaksi antara materi dengan cahaya. Cahaya yang dimaksud dapat berupa cahaya visibel, UV dan inframerah, sedangkan materi dapat berupa atom dan molekul namun yang lebih berperan adalah elektron valensi (Kusnanto, 2012).



Gambar 2.9 Skema Spektrofotometri UV-Vis

Sumber: (aavos.eu, UV-Vis Spektrofotometri)

Menurut Sileikaite *et al* (2006) metode spektrofotometri UV-Vis terbukti cukup sensitif terhadap pembentukan koloid perak yang menunjukkan puncak penyerapan yang intens karena eksitasi pada permukaan plasmon. Panjang gelombang koloid perak ada pada kisaran 300 nm – 700 nm. Serapan di wilayah cahaya tampak adalah 370 nm – 550 nm, dengan puncak plasmon berkisar pada 445 nm yang menunjukkan ciri khas nanopartikel perak. Sehingga metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi terbentuknya partikel perak pada sampel

