

SINTESIS NANOKOMPOSIT *Nata de coco*/TiO₂/Ag DAN EFEKTIVITASNYA SEBAGAI ANTIBAKTERI TERHADAP BAKTERI *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*

Heriyanto Tinentang¹, Henry F. Aritonang¹, Harry S.J Koleangan¹

¹ Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Samratulangi Manado
henryaritonang@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang kemampuan aktivitas anti bakteri untuk bakteri *Staphylococcus aureus* (gram positif) dan *Escherichia coli* (gram negatif) dengan menggunakan nanokomposit *nata de coco*/TiO₂, *nata de coco*/Ag, dan *nata de coco*/TiO₂/Ag dengan variasi konsentrasi Ag 0,5 M; 0,6 M; 0,7 M; 0,8 M dan 0,9 M menggunakan metode reduksi kimia. Nanopartikel tersebut dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometry* (XRD), *scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDS) dan anti bakteri. Untuk uji aktivitas antibakteri menggunakan metode kertas cakram dan dilakukan sebanyak dua kali ulangan untuk tiap-tiap sampel dan bakteri yang diuji. Hasil penelitian menunjukkan, aktivitas anti bakteri nanokomposit yang paling baik dalam menghambat pertumbuhan bakteri adalah nanokomposit *Nata de coco*/TiO₂/Ag mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*, namun nanokomposit tersebut lebih efektif menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*.

Kata kunci: nanopartikel, *Nata de coco*, TiO₂, Antibakteri.

ABSTRACT

Research on the ability of anti-bacterial activity for *Staphylococcus aureus* (gram positive) and *Escherichia coli* (gram negative) bacteria using *nata de coco* / nanocomposites TiO₂, *nata de coco* / Ag, and *nata de coco* / TiO₂ / Ag with variations of Ag 0,5 M; 0.6 M; 0.7 M; 0.8 M and 0.9 M using the chemical reduction method. Nanoparticles were characterized using *X-Ray Diffractometry* (XRD), *scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDS) and anti-bacterial activity. Test the antibacterial activity using the paper disc method and repeated two times for each sample and bacteria tested. The results showed that the good anti-bacterial activity of nanocomposites in inhibiting bacterial growth was nanocomposite *nata de coco* /TiO₂/Ag able to inhibit the growth of *Escherichia coli* and *S. aureus*, but the nanocomposite is more effective in inhibiting the growth of *Escherichia coli* bacteria.

Keywords: nanoparticles, *Nata de coco*, TiO₂, Antibacterial.

PENDAHULUAN

Dewasa ini, peran nanoteknologi begitu penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk kesejahteraan kehidupan manusia. Nanoteknologi telah banyak menarik perhatian tidak hanya para ilmuwan dan peneliti, melainkan juga para pengusaha karena diyakini bahwa nanoteknologi dapat diaplikasikan pada berbagai bidang. Nanopartikel yang menghasilkan partikel berukuran nano atau disebut nanopartikel telah populer dan semakin pesat perkembangannya sejak awal tahun 2000. Hal ini disebabkan oleh manfaat dan dampaknya yang sangat luas dalam kehidupan manusia. Manfaat dan aplikasi nanopartikel saat ini telah berkembang di berbagai bidang, diantaranya yaitu di bidang lingkungan,

biomedis, perawatan kesehatan, pertanian dan pangan, tekstil, industri, elektronika, serta energi (Tsuzuki, 2009). Nanopartikel yang dihasilkan tersebut, baik dalam bentuk logam (atau paduan beberapa logam) maupun dalam bentuk komposit yang telah digabung dengan material nonlogam, seperti *nata de coco* (Li dkk., 2010).

Salah satu nanopartikel terpenting yang dimiliki dan menarik perhatian besar karena sifat uniknya adalah titaniumdioksida (TiO₂). Serbuk TiO₂ memiliki sifat optik yang menarik, sifat dielektrik, dan katalitik, yang mengarah ke industri aplikasi seperti pigmen, pengisi, katalis pendukung, dan fotokatalis (Tian dkk., 2013; Chong dkk., 2010; Bumajdad A dkk., 2014; Liou and Chang, 2012). Selain itu, nanopartikel TiO₂ juga efektif sebagai antibakteri (Duymaza dkk., 2016; Ahmad & Sardar, 2013). Selain dalam bentuk tunggal,

nanopartikel TiO₂ juga digabung dengan logam lain dalam bentuk nanokomposit, seperti nanopartikel Ag dan ternyata efektivitasnya sebagai antibakteri relatif lebih baik dibanding bila TiO₂ dalam bentuk tunggal (Barudin dkk., 2019). Nanokomposit paduan logam atau logam/oksida logam, khususnya nanokomposit TiO₂/Ag kebanyakan dilaporkan disintesis melalui metode sol-gel (Santos dkk., 2015; Ubonchonlakate dkk., 2011; Silva dkk., 2017) hidrotermal (Castro dkk., 2011; Sarteeep dkk. 2016) dan kopresipitasi. Sementara itu, untuk mensintesis nanopartikel logam, khususnya Ag lebih banyak dilaporkan disintesis dengan metode reduksi kimia menggunakan reduktor dan penstabil dari bahan kimia, diantaranya, penstabil natrium sitrat (Quintero-Quiroz dkk., 2019) dan natrium dodekil sulfat (Song dkk., 2009).

Khalid dkk. (2017) telah mensintesis nanokomposit *Nata de coco*/TiO₂ untuk digunakan sebagai regenerasi jaringan. Penelitian tersebut melaporkan bahwa nanokomposit menunjukkan efektivitasnya sebagai antibakteri, baik bakteri gram negatif yaitu bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) maupun positif, *Staphylococcus aureus* (*S. Aureus*). Berdasarkan penelitian ini, peneliti mencoba untuk mensintesis nanokomposit *Nata de coco*/TiO₂/Ag dan dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffractometry* (XRD). Tujuan untuk mensintesis nanokomposit *nata de coco*/TiO₂/Ag dan membuktikan aktivitas antibakteri pada *E. coli* maupun *S. Aureus*.

BAHAN DAN METODE

Beberapa bahan kimia yang digunakan dalam penelitian adalah titan oksida, perak nitrat, natrium boron tetrahidrat, etanol, asam asetat glasial diperoleh dari Merck (Damstadt, Germany), sedangkan *nata de coco*, air kelapa diperoleh dari pasar lokal di Manado. Tablet *cyprofoxasin*, bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, larutan *Mc. Farland* diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi, Prodi Farmasi, FMIPA Unsrat.

Pembuatan *nata de coco*

Pembuatan *nata de coco* mengikuti prosedur Radiman dkk. (2008). Sebanyak 5 L air kelapa tua disaring dengan kain kasa, dimasak hingga mendidih. Kemudian ditambahkan 500 g gula putih, 25 g urea dan

30 mL asam asetat glasial, sambil diaduk. Sebanyak 300 mL larutan ini dituangkan ke dalam nampan plastik, ditutup dan dibiarkan hingga benar-benar dingin. Setelah dingin, *Acetobacter xylinum* ditambahkan sebanyak 10% volume media, yakni sekitar 30 mL bakteri untuk 300 mL larutan media kemudian dibiarkan selama 6 hari. Gel *nata de coco* yang dihasilkan dicuci dengan air panas selama 15 menit, direndam dalam larutan 10 g NaOH dalam 1 L larutan (1% (b/v)) selama 24 jam. Kemudian gel *nata de coco* ini direndam lagi dengan 10 ml larutan asam asetat glasial dalam 1 L larutan (1% (v/v)) selama 24 jam dan dicuci dengan aquades hingga pH netral. Selanjutnya gel *nata de coco* disimpan dalam larutan 200 mL etanol dalam 1 L larutan (20% (v/v)) di dalam lemari es. Untuk membuat membran *nata de coco* yang tipis digunakan alat pres dari batu timbangan. *Nata de coco* dipotong dengan ukuran 3 cm x 3 cm dan dikurangi kadar airnya dengan cara dihimpitkan diantara 2 buah batu timbangan selama 15 menit untuk selanjutnya digunakan pada sintesis nanokomposit.

Sintesis nanokomposit *Nata de coco* TiO₂/Ag (Song dkk., 2009)

Sebanyak 0,1 g TiO₂ dilarutkan ke dalam 50 mL akuades dan diaduk dengan bantuan stirer selama 1 jam. Kemudian, ke dalam larutan tersebut dimasukkan sebanyak 10 mL larutan AgNO₃ 0,5 M dan diaduk kembali dengan bantuan stirer selama 1 jam. Ke dalam campuran tersebut dimasukkan *nata de coco* dan bersamaan dengan penambahan kembali akuades sebanyak 10 mL dan diikuti dengan penambahan 20 mL larutan NaBH₄ 0,05M dan diaduk kembali selama 2 jam. Selanjutnya, *Nata de coco* yang telah mengandung nanopartikel TiO₂/Ag (*nata de coco*/TiO₂/Ag) dikeluarkan dari larutannya dan komposit yang dihasilkan tersebut dihimpitkan diantara 2 buah batu timbangan selama 15 menit untuk mengurangi kadar airnya dan dikering-anginkan selama 6 hari. Nanokomposit *nata de coco*/TiO₂/Ag yang telah kering siap untuk dianalisis dengan XRD, SEM-EDS dan dianalisis efektivitasnya sebagai antibakteri. Sebagai kontrol, disintesis juga nanokomposit *nata de coco*/TiO₂ dan *nata de coco*/Ag. Dengan cara yang sama, dilakukan juga untuk variasi konsentrasi AgNO₃ yaitu 0,6M; 0,7M; 0,8M, dan 0,9M.

X-ray diffraction (XRD)

Pola XRD dicatat pada difraktometer sinar-X (PW1710, Philips), menggunakan radiasi Cu K α ($\lambda = 0.154\ 056\ \text{nm}$) pada 40 kV dan 30 mA. Sudut difraksi berkisar antara 25° sampai 80°. Ukuran kristalit nanopartikel *nata de coco*/TiO₂/Ag dihitung berdasarkan pengukuran difraksi sinar-X. Ukuran kristal dihitung dari FWHM puncaknya dengan menggunakan rumus Scherrer (Monshi dkk., 2012)

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots (1)$$

dimana L adalah ukuran kristal rata-rata partikel TiO₂/Ag, K adalah konstanta yang bernilai 0,9, λ adalah panjang gelombang sinar-X, β adalah (FWHM) dalam radian, dan θ adalah sudut difraksi.

Pembuatan media tumbuh dan aseptilisasi alat

Sebanyak 8,2 g *nutrient agar* (NA) dilarutkan dalam 300 mL akuades kemudian larutan NA yang telah dibuat dan 14 cawan petri maupun alat-alat gelas yang digunakan dalam pengujian dimasukkan ke dalam *autoclave* selama 30 menit untuk disterilisasi.

Pembuatan larutan Mc Farland

Sebanyak 0,5 mL BaCl₂ 1,75 % (dibuat dengan cara melarutkan 1.75 g BaCl₂ ke dalam 100 mL akuades) ditambahkan dengan 9,5 mL H₂SO₄ 1% (dibuat dengan cara 1 mL H₂SO₄ pekat ditambahkan aquades sampai 100 mL) sehingga volume larutan mencapai 10 mL. Kemudian, larutan dipindahkan ke dalam tabung reaksi dan divortex dan dilihat kekeruhannya.

Pembuatan bakteri uji

Bakteri diencerkan dengan mencampurkan masing-masing 1 ose suspensi bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* ke dalam tabung reaksi yang telah berisi 5 mL larutan NaCl 0,9 %. Kemudian dihomogenkan menggunakan vortex dan kekeruhannya dibandingkan dengan kekeruhan 0,5 *McFarland* hingga kekeruhan larutan bakteri harus sama dengan kekeruhan larutan 0,5 *Mc Farland*. Jika kekeruhan larutan belum sama, maka ke dalam larutan bakteri ditambahkan lagi 1 ose suspensi bakteri hingga

kekeruhan larutan bakteri sama dengan kekeruhan larutan 0,5 *Mc Farland*, sehingga jumlah bakteri memenuhi standarisasi untuk uji kepekaan yaitu: 10⁵–10⁸/ml.

Uji daya hambat bakteri (Eko, 2013)

Dimasukkan sebanyak 20 mL larutan *nutrient Agar* ke dalam cawan petri kemudian didiamkan selama 15 menit sampai larutan *nutrient Agar* mengeras. Kemudian sebanyak 0,1 mL larutan bakteri yang telah distandarisasi tadi, dioleskan pada media tumbuh *nutrient Agar*. Setelah itu, diletakkan kontrol negatif, kontrol positif, dan sampel yang telah disiapkan (2 ulangan). Media yang telah dibuat, diinkubasi ke dalam inkubator dengan suhu 37°C selama 24 jam, dan diukur pada keesokan harinya dengan diameter zona bening (*clear zone*) yang terbentuk dengan menggunakan jangka sorong (Eko, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan *nata de coco*

Pembuatan *nata de coco* (bacterial selulose) sebagai capping agent atau agen penstabil untuk pembuatan sintesis nanopartikel. Capping agen berperan dalam membuat partikel menjadi berukuran nano. Bakteri *Acetobacter xylinum* berperan dalam mensintesis *nata de coco* sedangkan air kelapa menjadi media tumbuh atau sumber pangan bakteri *Acetobacter xylinum* dari *nata de coco*. Dalam pembuatan tersebut ditambahkan amonium sulfat dan glukosa yang merupakan sumber karbohidrat dan nitrogen untuk metabolisme dari bakteri. Penambahan asam asetat glacial bertujuan untuk terciptanya suasana asam agar bakteri dapat tumbuh dengan baik (Iguchi dkk., 2000).

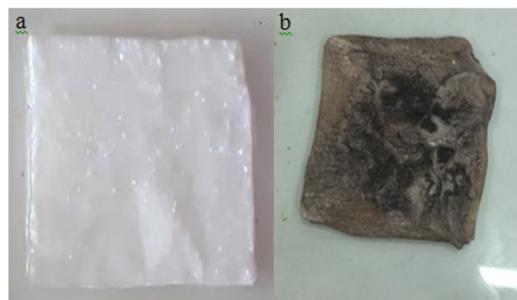
Lapisan selulosa tebal pada permukaan media dihasilkan dari bakteri *Acetobacter xylinum*. Sintesis polisakarida oleh bakteri *Acetobacter xylinum* dalam pembuatan *nata de coco* berasal dari gula sederhana baik sukrosa, maltosa, maupun glukosa pada umumnya sama dengan mensintesis pati dari glukosa. Oleh bakteri *Acetobacter xylinum* glukosa yang ada dalam air kelapa dikonversi ke dalam bentuk fruktosa dan glukosa dikarenakan adanya enzim sukrase yaitu bakteri yang dapat mengubah fruktosa dan glukosa (Radiman & Yuliani, 2008). Dalam proses sintesis nanokomposit, pencucian dengan air panas

pada gel *nata de coco* bertujuan untuk menghilangkan bakteri yang masih menempel pada gel *nata de coco*. Perendaman selama 24 jam dengan NaOH untuk menciptakan suasana basah sehingga pH menjadi naik dan bakteri *Acetobacter xylinum* benar-benar hilang dari permukaan gel *nata de coco*. Selanjutnya direndam lagi selama 24 jam dengan asam asetat glasial bertujuan untuk menurunkan pH, dan pencucian dengan aquades bertujuan untuk menetralkan gel *nata de coco*. Selanjutnya gel *nata de coco* yang telah dihasilkan dipotong dengan ukuran 3 cm x 3 cm dan dihipitkan dengan dua buah batu timbangan selama 15 menit untuk mengurangi kadar air yang masih terdapat dalam rongga *nata de coco* agar efektif dalam menyerap nanopartikel TiO₂ dan Ag.

Sintesis nanokomposit *Nata de coco*/TiO₂/Ag

Membran nanokomposit *nata de coco* TiO₂/Ag disintesis dengan cara merendam *nata de coco* kedalam larutan TiO₂ dan AgNO₃. Secara *insitu* proses ini dilakukan dengan tujuan agar nanopartikel TiO₂ dan Ag terdepositasi dengan baik. Penambahan NaBH₄ kedalam larutan, bertujuan untuk mereduksi AgNO₃ sehingga terbentuk Ag. Dengan menggunakan stirrer proses deposisi tersebut dilakukan agar nanopartikel yang terbentuk terdistribusi secara merata kedalam serat *nata de coco*. Sebelum dan setelah proses deposisi, perubahan warna yang terjadi pada membran *nata de coco* menunjukkan bahwa telah terdeposisinya TiO₂ dan Ag. Secara visual perbedaan morfologi dari membran nanokomposit, sebelum dan setelah terdeposisinya masing-masing

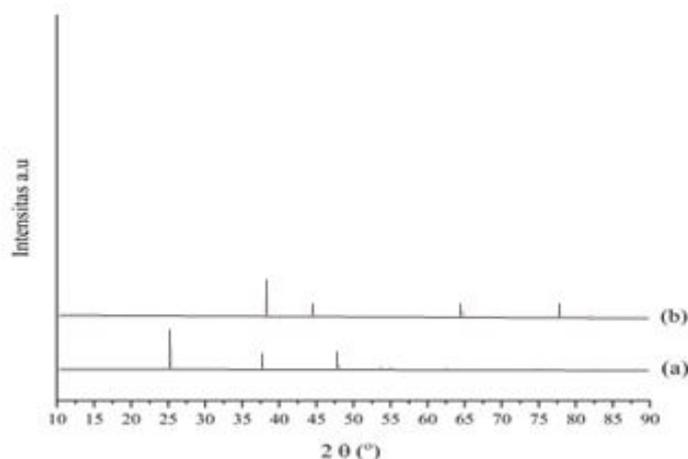
nanopartikel TiO₂ dan Ag dari hasil sintesis, disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Perbedaan morfologi membran *nata de coco* sebelum dan setelah deposisi, (a) nanokomposit *nata de coco*/TiO₂, (b) *Nata de coco* TiO₂/Ag

Karakterisasi dengan X-ray diffractometry (XRD)

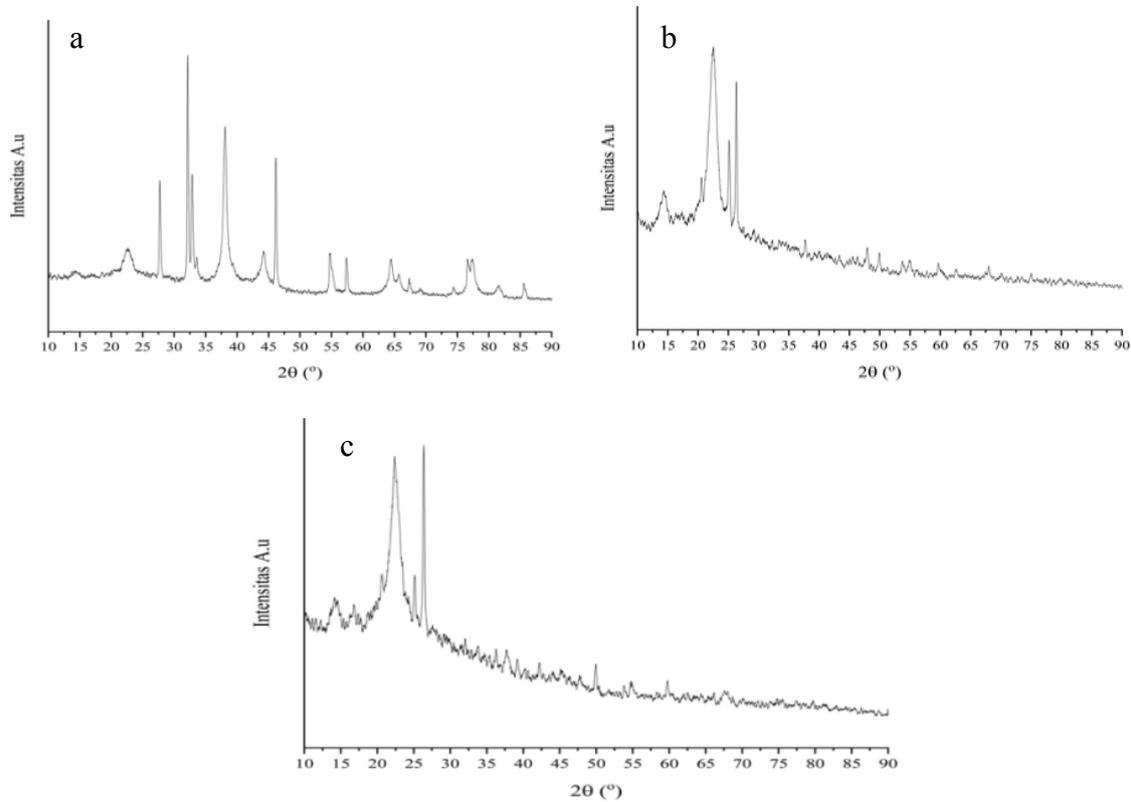
Untuk mengetahui telah terbentuknya partikel-partikel TiO₂ dan Ag dari sumber prekursor di dalam membran *nata de coco*, maka dianalisis dengan XRD. Pada difraktogram akan muncul pola difraksi dengan adanya puncak-puncak pada daerah 2θ yang karakteristik dengan partikel tersebut seperti tersaji pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Difraktogram (a) Standar TiO₂, dan (b) standar Ag

Pola difraksi sampel membran nanokomposit telah dibandingkan dengan pola difraksi standar untuk partikel-partikel TiO₂ dan Ag. Dalam penelitian ini, sebagai pembanding menggunakan standar dari *Inorganic Crystal Structure Database (ICSD)*.

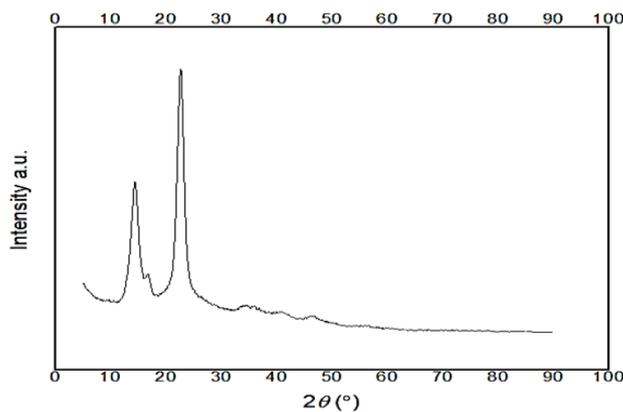
Berdasarkan data dari ICSD tersebut, daerah 2θ untuk TiO₂ standar yaitu 25,28°; 36,96°; 37,70°; 38,54°; 47,98°; 53,76°; 55,00°; 62,18°; 62,56°; 62,74°; 62,8°; 68,50°, sedangkan untuk Ag standar yaitu 38,08°; 44,56°; 64,76°; 64,76°



Gambar 3. Difraktogram sampel nanokomposit (a) *Nata de coco*/Ag, (b) *Nata de coco*/TiO₂ (c) *Nata de coco* TiO₂/Ag (0,5 M)

Berdasarkan difraktogram tersebut puncak-puncak daerah 2θ sampel *Nata de coco*/Ag yaitu 14,11°; 22,33°; 27,71°; 32,13°; 32,9°; 38,06°; 46,12°; 54,68°; 57,36°; 64,48°. Sedangkan untuk *Nata de coco*/TiO₂ yaitu

14,32°; 22,49°; 25,14°; 26,33°; 47,85°; 49,89°; 67,84°. Dan untuk *Nata de coco*/TiO₂/Ag berada pada posisi puncak 2 θ yaitu 25,16°; 26,37°; 67,73°.

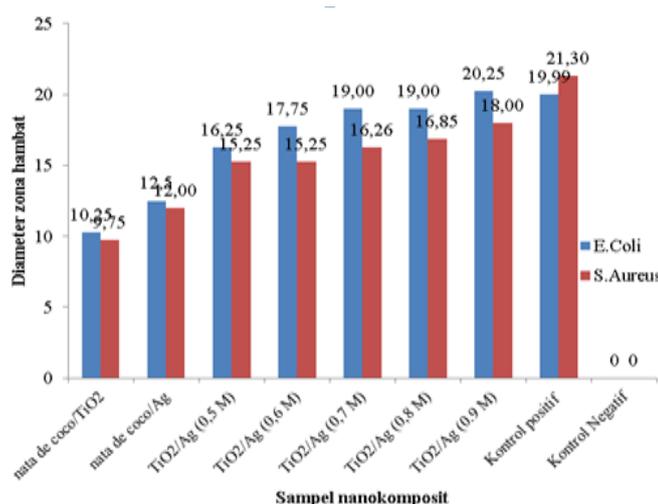


Gambar 4. Difraktogram *nata de coco* (Aritonang dkk., 2017)

Selain puncak-puncak nanopartikel TiO₂ dan Ag pada difraktogram nanokomposit juga muncul puncak *nata de coco*. Menurut Aritonang dkk. (2017), puncak *nata de coco* berada pada daerah $2\theta = 14^\circ$, 17° , dan 22° seperti yang tampak pada (Gambar 4). Berdasarkan difraktogram *nata de coco*, tampak bahwa intensitas puncak-puncak *nata de coco* pada membran nanokomposit, khususnya pada daerah $2\theta = 14^\circ$ dan 17° semakin rendah bahkan hampir hilang. Ini disebabkan karena permukaan *nata de coco* telah ditutupi oleh nanopartikel TiO₂ dan Ag.

Uji aktivitas antibakteri menggunakan nanokomposit *nata de coco*/TiO₂/Ag

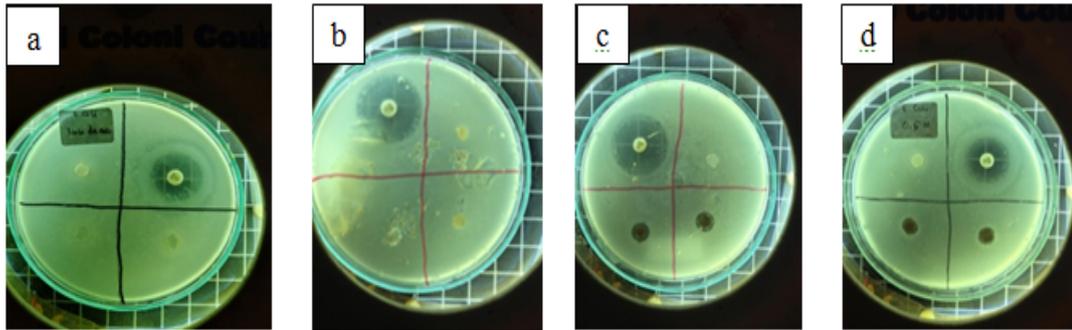
Sampel nanokomposit *nata de coco*/TiO₂/Ag yang dihasilkan dalam penelitian ini diuji aktivitas antibakterinya, baik bakteri gram-negatif (*Escherichia coli*) maupun gram-positif (*Staphylococcus aureus*) serta analisis efektivitasnya. Uji aktivitas antibakteri diukur berdasarkan daya hambat pertumbuhan bakteri (Bonang, 1992). Data daya hambat pertumbuhan bakteri tersaji pada Gambar 5.



Gambar 5. Aktivitas antibakteri dari membran nanokomposit terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*

Gambar 5 menunjukkan bahwa nanopartikel TiO₂ dan Ag relatif lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dibandingkan bakteri *Staphylococcus aureus*. Dengan variasi konsentrasi Ag yang berbeda-beda terhadap nanokomposit *nata de coco*/TiO₂/Ag, menunjukkan daya hambat pertumbuhan bakteri yang dihasilkan juga berbeda-beda. Pada saat menggunakan membran nanokomposit *nata de coco*/TiO₂/Ag (Ag : 0,5 M), daya hambat rata-rata yang dihasilkan lebih rendah, hal ini disebabkan karena nano

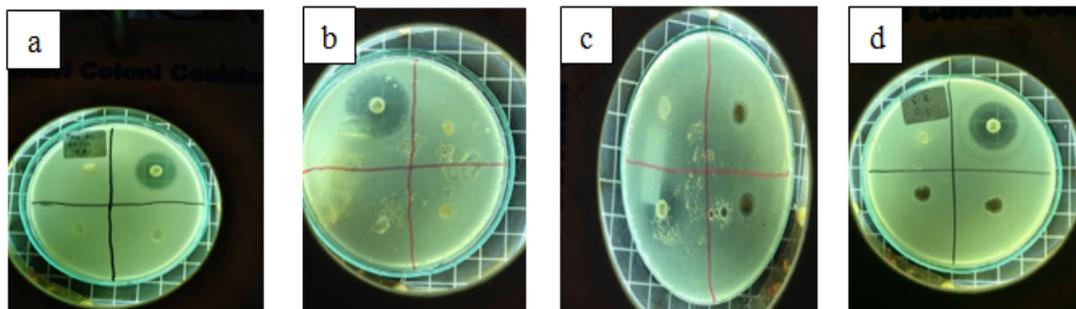
partikel logam yang masuk kedalam serat selulosa hanya sedikit karena konsentrasi Ag hanya sebesar 0,5 M sehingga menyebabkan daya hambat dari bakteri lebih rendah, dan akan terus naik daya hambatnya hingga konsentrasi Ag : 0,9 M. Naiknya daya hambat tersebut karena nanopartikel logam yang masuk dan menempel kesemua bagian serat-serat selulosa terdistribusi secara merata sehingga menyebabkan daya hambat dari bakteri lebih tinggi (Mahendra dkk., 2009; Aritonang dkk., 2015; Maneerung dkk., 2007).



Gambar 6. hasil uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri gram negatif (*Escherichia coli*). (a) *Nata de coco* (b) *Nata de coco*/TiO₂; (c) *Nata de coco*/Ag (d) TiO₂/Ag 0,5 M

Jika dibandingkan aktivitas membran nanokomposit terhadap masing-masing kedua bakteri tersebut berdasarkan daya hambatnya menunjukkan kecenderungan yang sama. Ketika dipadukan antara nanopartikel TiO₂ dan Ag, maka daya hambatnya selalu diawali lebih rendah dan akan naik terus karena konsentrasi Ag yang terus meningkat. Jadi dapat dikatakan

bahwa semakin tinggi konsentrasi Ag maka semakin efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Dengan demikian membran nanokomposit *nata de coco* TiO₂/Ag ini lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri gram-negatif *Escherichia coli*.



Gambar 7. Hasil uji aktivitas antibakteri terhadap bakteri gram positif (*Staphylococcus aureus*). (a) *Nata de coco* (b) *Nata de coco*/TiO₂; (c) *Nata de coco*/Ag (d) TiO₂/Ag 0,5 M

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, nanokomposit *nata de coco* TiO₂/Ag dapat disintesis melalui proses perendaman *nata de coco* di dalam larutan yang berisi TiO₂ dan AgNO₃ dan diikuti dengan penambahan reduktor NaBH₄ untuk mereduksi AgNO₃ menjadi nanopartikel Ag. Nanokomposit *nata de coco* TiO₂/Ag mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*, namun nanokomposit tersebut lebih efektif menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R. & Sardar, M. 2013. TiO₂ nanoparticles as an antibacterial agents against *E. coli*. *International Journal of Innovative Research and Science Engeneering Technology*. 2(8), 3569-3574.
- Aritonang, H.F., Onggo, D. & Radiman, C.L. 2015. Insertion of platinum particles in bacterial cellulose membranes from PtCl₄ and H₂PtCl₆ precursors. *Macro molecular Symposia*. 353(1), 55-61.
- Aritonang, H. F., Kamu, V. S., Cipati, C., Onggo, D., Randiman, C. L. 2017. Performance of platinum nanoparticles/multiwalled carbon nanotubes/bacterial cellulose

- composite as anode catalyst for proton exchange membrane fuel cells. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 12(2), 287-292.
- Bumajdad, A., Madkour, M., Abdel-Moneam, Y. & El-Kemary, M. 2014. Nanostructured mesoporous Au/TiO₂ for photocatalytic degradation of a textile dye: the effect of size similarity of the deposited Au with that of TiO₂ pores. *Journal of Materials Science*. 49(4), 1743-1754.
- Castro, A.L., Nunes, M.R., Carvalho, A.P., Costa, F. M. & Florêncio, M.H. 2008. "Synthesis of anatase TiO₂ nanoparticles with high temperature stability and photocatalytic activity". *Solid State Sciences*. 10(5), 602-606.
- Duymaz, B., Yigit, Z.V., Şeker, M.G. & Dündar, F. 2016. Antibacterial properties of sol-gel derived TiO₂ nanoparticles. *Acta Physica Polonica, A*. 129(4), 872-874.
- Iguchi, M., Yamanaka, S. & Budhiono, A. 2000. Bacterial Cellulose A Masterpiece Of Nature's Arts. *Journal of Material Science*. 35(2), 261-270.
- Ubonchonlakate, K., Sikong, L. & Saito, F. 2011. Photocatalytic disinfection of *P. aeruginosa* bacterial Ag-doped TiO₂ film. *Procedia Engineering*. 32(5), 656-662.
- Khalid, A., Ullah, H., Ul-Islam, M., Khan, R., Khan, S., Ahmad, F. & Wahid, F. 2017. Bacterial cellulose-TiO₂ nanocomposites promote healing and tissue regeneration in burn mice model. *RSC Advances*. 7(75), 47662-47668.
- Li, Y., Herman, J., Schluesener & Xu, S. 2010. Gold nanoparticles-based biosensors. *Gold Bulletin*. 43(1), 29-41.
- Liou, J. W. & Chang, H.H. 2012. Bactericidal effects and mechanisms of visible light-responsive titanium dioxide photocatalysts on pathogenic bacteria." *Archivum immunologiae et therapiae experimentalis*. 60(4), 267-275.
- Quintero-Quiroz, C., Natalia Acevedo, N., Zapata-Giraldo, J., Botero, L.E., Quintero, J., Zárate-Triviño, D., Saldarriaga, J. & Pérez, V.Z. 2019. Optimization of silver nanoparticle synthesis by chemical reduction and evaluation of its antimicrobial and toxic activity. *Biomaterials Research*. 23(1), 1-15.
- Quintero-Quiroz, C., Acevedo, N., Zapata-Giraldo, J., Botero, L.E., Quintero, J., Zárate-Triviño, D. & Pérez, V.Z. 2019. Optimization of silver nanoparticlesynthesis by chemical reduction andevaluation of its antimicrobial and toxicactivity. *Biomaterials Research*. 23(1), 1-15.
- Tian, W.C., Ho, Y.H., Chen, C.H. & Kuo, C.Y. 2013. Sensing performance of precisely ordered TiO₂ nanowire gas sensors fabricated by electron-beam lithography. *Sensors*. 13(1), 865-874.
- Tsuzuki, T. 2009. Commercial scale production of inorganic nanoparticles. *International Journal of Nanotechnology*. 6(5), 567-578.
- Yang, G., Xie, J., Hong, F., Cao, Z. & Yang, X. 2012. Antimicrobial activity of silver nanoparticle impregnated bacterial cellulose membrane: Effect of fermentation carbon sources of bacterial cellulose. *Carbohydrat Polymers*. 87(1), 839-845.
- Sarteep, Z., Ebrahimian Pirbazari, A. & Aroon, M.A. 2016. Silver doped TiO₂ nanoparticles: preparation, characterization and efficient degradation of 2,4 dichlorophenol under visible light.. *Journal of Water and Enviromental Nanotechnology*. 1(2), 135-144.