

## Sintesis aditif antimikroba Ag/Zn-zeolit dalam bahan pelapis polivinil asetat

## Synthesis of Ag/Zn-zeolite antimicrobial additives in polyvinyl acetate coatings

Erfina Oktariani<sup>1)\*</sup>, Nia Iriyani<sup>1)</sup>, Mira Dwijayani<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta, Jakarta – Indonesia

\*Email: [erfina@kemenperin.go.id](mailto:erfina@kemenperin.go.id)

### Abstrak

Agen antimikroba berupa *coating* sudah diterapkan dalam berbagai komponen. Zeolit alam memiliki kemampuan sebagai penukar ion yang dapat digunakan untuk membuat agen antimikroba. Zeolit alam dari Tasikmalaya dengan mordenit sebagai komposisi terbesar, masih belum dikembangkan sebagai agen pertukaran ion sebagaimana zeolit alam klinoptilolit. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas antimikroba modifikasi zeolit dengan perak dan seng, khususnya dalam hal aktivitas mikroba. Modifikasi zeolit dengan perak dilakukan melalui proses pertukaran ion meliputi kation yang terdapat pada zeolit seperti natrium ( $\text{Na}^+$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), dan kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dapat dipertukarkan dengan ion perak ( $\text{Ag}^+$ ) yang bersifat antimikroba terhadap banyak bakteri. Logam yang digunakan untuk memodifikasi zeolit adalah perak dan seng dengan konsentrasi larutan  $\text{AgNO}_3$  0,05 M dan  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  0,4 M. Pada pembuatan *coating*, serbuk antimikroba perlu dienkapsulasi pada Polivinil Asetat. Antimikroba Ag/Zn-Zeolit yang ditambahkan ke Polivinil Asetat menggunakan tiga variasi komposisi. Stabilitas termal produk antimikroba yang diperoleh menunjukkan bahwa ada kecenderungan semakin besar persentase berat Ag-zeolit ataupun Zn-zeolit menjadikan stabilitas termal produk antimikroba juga semakin tinggi. Ag-Zeolit dengan konsentrasi 2% dan 3% (berat) memiliki aktivitas antimikroba yang lebih efektif dibandingkan dengan Zn-Zeolit pada konsentrasi yang sama. Hal tersebut dapat terlihat dari diameter zona hambat Ag-Zeolit mencapai 6,28 mm.

**Kata Kunci:** antimikroba, Ag-zeolit, Zn-zeolit, aditif, Polivinil Asetat.

### Abstract

Antimicrobial agents in the form of coatings have been applied to various components. Natural zeolite has the ability as an ion exchanger that can be used to make antimicrobial agents. Natural zeolite from Tasikmalaya with mordenite as the largest composition, has not yet been developed as an ion exchange agent as clinoptilolite natural zeolite. This objective of this study is to compare the antimicrobial effectiveness of zeolite modified with silver and zinc, in terms of microbial activity. Zeolite modification with silver is carried out through an ion exchange process including cations found in zeolites such as sodium ( $\text{Na}^+$ ), potassium ( $\text{K}^+$ ), and calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) which can be exchanged with silver ions ( $\text{Ag}^+$ ) which are antimicrobial against many bacteria. The metals used to modify the zeolite are silver and zinc with a concentration of 0.05 M  $\text{AgNO}_3$  and 0.4 M  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ . In the manufacture of coatings, antimicrobial powders need to be encapsulated in polyvinyl acetate. Antimicrobial Ag/Zn-Zeolite added to Polyvinyl Acetate using three variations of composition. The thermal stability of the antimicrobial product obtained indicates that there is a tendency that the greater the percentage by weight of Ag-zeolite or Zn-zeolite makes the thermal stability of the antimicrobial product also higher. Ag-Zeolite with concentrations of 2% and 3% (by weight) had more effective antimicrobial activity than Zn-Zeolite at the same concentration. This can be seen from the diameter of the Ag-Zeolite inhibition zone reaching 6.28 mm.

**Keywords:** antimicrobial, Ag-zeolite, Zn-zeolite, Additive, Polyvinyl Acetate.

## 1. PENDAHULUAN

Antimikroba zeolit yang dimodifikasi dengan perak dapat membunuh, menghambat dan mencegah pertumbuhan mikroba sebelum maupun sesudah kontak dengan permukaan (Irshad et al., 2020) Antimikroba Ag-Zeolit yang sudah dijumpai di pasaran menggunakan zeolit sintetis sebagai matriknya (contoh merk yang dijumpai di marketplace adalah Zeomic®). Hal ini dikarenakan aktivitasnya yang dapat mencapai 14 mm zona hambat dengan pengujian metode cakram (Ustaoglu Iyigünođdu et al., 2014)).

Zeolit A dan zeolite faujasite (X dan Y) yang dimodifikasi dengan perak, mampu menangkal mikroba seperti bakteri dan jamur (Cerrillo et al., 2018) Zeolit A yang dimodifikasi dengan Ag<sup>+</sup> dan Cu<sup>2+</sup> menghasilkan aktivitas antimikroba yang cukup tinggi dan sifat termal yang baik (Yeasmin et al., 2019).

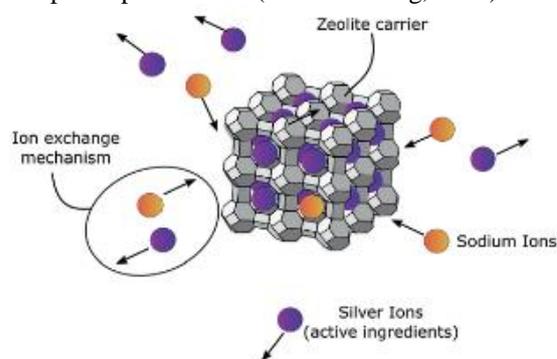
Sampai saat ini, zeolit sintetis di Indonesia masih impor dengan harga yang cukup tinggi untuk dimanfaatkan sebagai antimikroba. Di sisi lain, mineral zeolit alam tersebar di banyak wilayah di Indonesia (Kusdarto, 2008). Zeolit alam yang umum dijumpai saat ini berasal dari Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung. Zeolit alam Lampung merupakan jenis klinoptilolit yang memiliki luas permukaan dan pori yang lebih besar daripada zeolit Bayah dan Tasikmalaya (Ginting et al., 2007). Zeolit Bayah dan zeolit Tasikmalaya memiliki struktur mordenit yang sangat dominan. Hasil eksplorasi mineral zeolit di kabupaten Tasikmalaya menunjukkan kandungan mordenit rata-rata 81,62% (Latief et al., 2003). Sampai saat ini zeolit alam dengan struktur klinoptilolit lebih disukai karena luas permukaan, porositas dan adsorpsinya yang lebih besar (Ginting et al., 2007).

Mordenit memiliki struktur kimia Na<sub>3</sub>KCa<sub>2</sub>(Al<sub>8</sub>Si<sub>40</sub>O<sub>96</sub>).28H<sub>2</sub>O. Mordenit tidak pernah ditemukan di sedimen laut dalam (Gottardi & Galli, 1985). Mordenit memiliki stabilitas termal dan asam yang tinggi. Mordenit digunakan sebagai katalis untuk reaksi hidroisomerisasi, perengkahan air, reforming, alkilasi, dewaxing, dan produksi dimetil amina. Selalin itu, mordenit juga digunakan dalam pemisahan adsorptif campuran gas atau cair (Hussain & Mohammed, 2019).

Telah banyak ditemukan pengembangan klinoptilolit dari zeolit alam untuk antimikroba. Di antaranya adalah mempelajari bagaimana peran dan mekanisme zeolit dalam pertukaran ion dengan ion-ion logam perak, tembaga, seng dan lain-lain. Pertukaran ion pada zeolit alam jenis klinoptilolit dengan ion Ag<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup> dan Zn<sup>2+</sup>. Ag<sup>+</sup>-klinoptilolit menunjukkan aktivitas antibakteri terbaik, tetapi aktivitasnya tidak meningkat seiring dengan penambahan jumlah Ag<sup>+</sup> di klinoptilolit (Top & Ülkü, 2004). Zeolit alam yang dimodifikasi dengan surfaktan juga dapat mengikat spesies logam anionik

seperti arenat, kromat, iodida, nitrat, peerklorat, dan antimonat (Misaelides et al., 2011).

Ag<sup>+</sup> serta Cu<sup>2+</sup> dan Zn<sup>2+</sup> memiliki kecenderungan yang kuat untuk berikatan dengan ligan yang mengandung S, N dan O. Sehingga, senyawa yang secara biologis, seperti tiol, asam karboksilat, fosfat, amina akan bertindak sebagai ligan untuk ion-ion perak, tembaga dan seng. Selain itu, Ag<sup>+</sup> juga menjadi pengikat dalam enzim, khususnya gugus besi-sulfur enzim bakteri yang terlibat dalam sintesis asam amino dan dengan basa DNA. Jadi, serangan di dalam maupun permukaan sel, serta efek multi-cabang Ag<sup>+</sup> ini bertanggung jawab atas aktivitas antimikroba. Intervensi ion perak, tembaga dan seng pada konsentrasi mikromolar dengan fungsi sel terbukti dalam penghambatan penyerapan dan pertukaran fosfat, serta menyebabkan penghabisan suksinat, glutamin, dan prolin pada *E. coli* (Dutta & Wang, 2019).



**Gambar 1.** Mekanisme pertukaran ion antara ion Ag<sup>+</sup> dengan zeolit (Marturano et al., 2017)

Zeolit dengan porositas tinggi adalah struktur metastabil. Hal ini mendorong terjadinya proses pertukaran ion menggantikan kation dalam zeolit hasil sintesis dengan ion Ag<sup>+</sup>, Cu<sup>+</sup> dan Zn<sup>+</sup>. Ion perak terpolarisasi oleh medan listrik yang kuat di dalam *frame work* zeolit, dan menghasilkan daya tarik yang kuat antara ion dan kerangka zeolit. Pengikatan yang kuat ini juga menyiratkan bahwa pelepasan Ag<sup>+</sup> oleh *frame work* akan membutuhkan solusi kekuatan ionik yang lebih tinggi (Top & Ülkü, 2004). Secara umum, semua zeolit menunjukkan selektivitas yang tinggi untuk Ag<sup>+</sup>, dan dengan meningkatnya rasio Si/Al untuk kerangka tertentu, selektivitas terhadap Ag<sup>+</sup> cenderung lebih tinggi (Dutta & Wang, 2019). Pernyataan ini mengangkat potensi zeolit alam jenis mordenit dikarenakan rasio Si/Al yang lebih tinggi daripada klinoptilolit. Struktur kerangka dan rasio Si/Al dari zeolit menentukan serapan dan pelepasan Ag<sup>+</sup> (Dutta & Wang, 2019).

Investigasi terhadap aktivitas antimikroba *E. coli* pada klinoptilolit yang sudah bertukar ion dengan Ag<sup>+</sup> (4,34 % berat) telah dilakukan secara simultan dengan Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> dan Zn<sup>2+</sup>. Kinetika pertukaran ion berperan penting dalam aktivitas

antimikroba khususnya meningkatkan aktivitas Ag<sup>+</sup>-zeolit (Akhigbe et al., 2014).

Zeolit alam jenis *chabazite* juga telah diamati potensinya dalam menghasilkan AgNP. Metode yang dilakukan adalah dengan mengurangi pertukaran Ag<sup>+</sup>-zeolit melalui perlakuan panas di udara. Dengan 105 CFU/ml bakteri dan variasi zeolit 0,001; 0,1 dan 1 % berat dalam suatu larutan garam, bakteri terbunuh semuanya dalam 48 jam kecuali *S. aureus* (Flores-López et al., 2012).

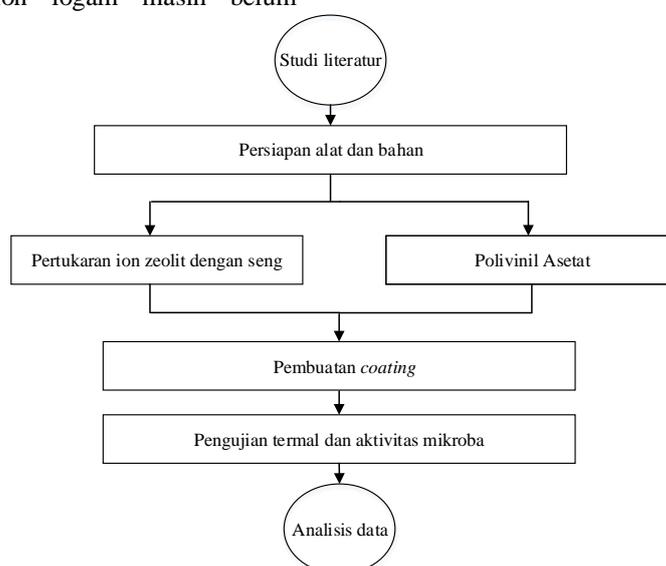
Sampai saat ini minim sekali literatur yang mengembangkan zeolit alam tipe mordenit sebagai agen antimikroba. Ditemukan satu penelitian yang membuat antimikroba nanokomposit berbasis perak dengan mordenit (Jaime-Acuña et al., 2016).

Melihat pemanfaatan mordenit sebagai bahan antimikroba dengan ion logam masih belum

dikembangkan khususnya di Indonesia, maka mordenit yang dijumpai dari zeolit Tasikmalaya menarik untuk diteliti. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan efektivitas antimikroba modifikasi zeolit dengan perak dan seng, khususnya dalam hal aktivitas mikroba.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu persiapan bahan baku, proses pertukaran ion zeolit dengan seng, pembuatan *coating*, dan analisis karakterisasi sampel. Diagram alir prosedur pembuatan *coating* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Prosedur pembuatan *coating*

### 2.1 Persiapan bahan baku

Bahan baku menggunakan zeolit alam dari daerah Tasikmalaya yang dihaluskan menggunakan mortir. Setelah itu, zeolit halus sebanyak 400 g diayak dengan ukuran 80/100 *mesh*. Selanjutnya proses pencucian zeolit dengan menggunakan aquades. Campurkan 200 g zeolit dan 1 L aquades ke dalam gelas beker. Aduk campuran tersebut menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit, kemudian air dibuang setelah selesai. Zeolit yang sudah dicuci, kemudian dikeringkan menggunakan *oven* bersuhu 150°C selama 3 jam.

Zeolit kering sebanyak 100 g dimasukkan ke dalam 1 L larutan NaCl 0,5 N. Setelah itu, diaduk menggunakan *hotplate* bersuhu 60°C. Waktu kontak proses tersebut adalah 24 jam. Campuran tersebut disaring menggunakan saringan, lalu dikeringkan menggunakan *oven* bersuhu 130°C selama 3 jam.

### 2.2 Proses pertukaran ion zeolit dengan seng

Pembuatan spesimen antimikroba dengan proses pertukaran ion zeolit dan seng. Zeolit

sebanyak 4 g ditambahkan ke dalam 0,4 M larutan Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sebanyak 80 ml. Campuran tersebut diaduk selama 5 jam dengan suhu 50°C menggunakan *hot plate*. Pengambilan padatan pada larutan tersebut menggunakan *centrifuge* pada kecepatan 3500 rpm selama 25 menit. Kemudian zeolit modifikasi yang basah dikeringkan menggunakan *oven* pada suhu 80°C selama 5-6 jam.

### 2.3 Pembuatan *coating*

Proses enkapsulasi zeolit dilakukan ke Polivinil Asetat. Zeolit modifikasi sebanyak 4 g ditambahkan ke Etil Asetat menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 1200 rpm selama 15 menit. Kemudian campurkan larutan tersebut dengan Polivinil Asetat selama 4 jam. Zeolit yang ditambahkan ke dalam Polivinil Asetat sebanyak 1%, 3%, dan 5% berat.

### 2.4 Analisis aktivitas bakteri

Pengujian aktivitas antimikroba pada sampel diperlukan untuk melihat perkembangbiakan

mikroba pada sampel. Pengujian ini menggunakan metode difusi cakram. Pengujian dilakukan dengan menggunakan media Mueller-Hinton Agar dan bakteri *Escherichia coli* ATCC 10536. Sampel yang digunakan sebanyak 1 gram, dilarutkan dengan aquades sebanyak 100 mL. Cawan yang sudah diberikan agar, disebarkan bakteri sebanyak  $1,5 \times 10^8$  CFU dibantu dengan batang penyebar. Kemudian kertas cakram diletakkan di tengah cawan, lalu diberikan sampel yang sudah diencerkan 10 $\mu$ L. Pengujian diinkubasi selama 48 jam. Setelah itu dilihat zona hambat pertumbuhan bakteri.

## 2.5 Analisis stabilitas termal

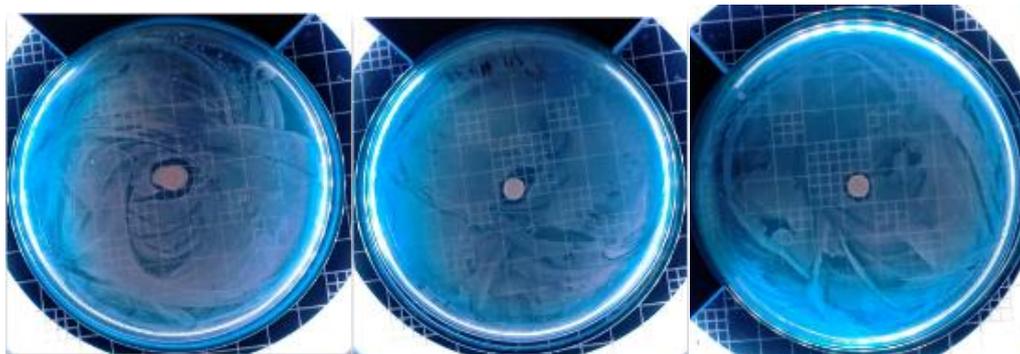
Pengujian stabilitas termal dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi Politeknik STMI Jakarta. Pengujian stabilitas termal dari sampel *coating* menggunakan TGA 55. *Coating* perlu dioleskan pada permukaan *aluminum foil* berukuran 1,5 $\times$ 1,5 cm dan dibiarkan mengering sehingga sampel mengalami perubahan wujud menjadi padatan. Massa sampel yang diujikan seberat  $\pm 15$

mg diletakkan pada *pan*. Pemanasan dilakukan pada suhu 300-600°C. Laju pemanasan sebesar 10°C/menit untuk menentukan laju dekomposisi. Setelah mencapai suhu maksimal, hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik. Kemudian *pan* dikeluarkan dan dibersihkan. Sampel mengalami perubahan massa karena terjadinya dekomposisi, penguapan pelarut, oksidasi, dan reduksi.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil analisis aktivitas antimikroba

Berdasarkan hasil karakterisasi aktivitas antimikroba pada setiap variasi menunjukkan adanya pengaruh terhadap aktivitas antimikroba dengan bakteri *E. coli*. Hasil karakterisasi aktivitas antimikroba pada *coating* antimikroba dengan variasi 1%; 3% dan 5% perak-zeolit alam dalam polivinil asetat menunjukkan adanya zona hambat berwarna bening terhadap bakteri *E. coli* yang terbentuk disekitar kertas cakram setelah diinkubasi selama 48 jam.

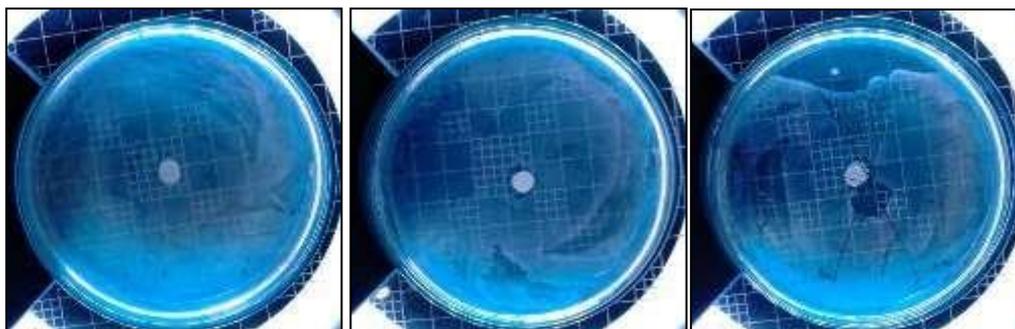


**Gambar 2** Aktivitas antimikroba terhadap bakteri *Escherichia coli* pada antimikroba Ag-Zeolit dengan variasi persentase berat agen antimikroba (a) 1%; (b) 3%; (c) 5%.

Zona hambat yang terbentuk disekitar kertas cakram dapat diukur menggunakan jangka sorong dengan mengukur zona bening dari jarak terdekat dengan kertas cakram. Nilai zona hambat yang diperoleh setelah diukur dengan jangka sorong untuk variasi 1% berat Ag-Zeolit alam dalam PVAc sebesar 0,05mm, sedangkan untuk variasi 3% dan 5% berat Ag-Zeolit alam dalam PVAc sebesar 0,14 mm. Nilai zona hambat yang dihasilkan tersebut dapat dihitung menggunakan rumus: Diameter zona hambat =  $2 \times$  nilai zona hambat+6 mm. Setelah dihitung menggunakan rumus, maka diperoleh diameter zona hambat untuk variasi 1% berat Ag-Zeolit alam dalam PVAc sebesar 6,10 mm,

sedangkan untuk variasi 3% dan 5% berat Ag-Zeolit alam dalam PVAc sebesar 6,28 mm.

Diameter zona hambat yang dihasilkan pada setiap variasi sampel termasuk dalam klasifikasi zona hambat dengan kekuatan daya sedang. Dengan adanya zona hambat yang dihasilkan dari setiap variasi menunjukkan bahwa Ag-Zeolit alam sebagai aditif antimikroba dalam PVAc memiliki kemampuan dapat menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli*. Hal ini dikarenakan perak merupakan bahan aktif yang terkandung dalam aditif antimikroba sehingga mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme walaupun pada konsentrasi yang rendah (Cerrillo et al., 2018).



**Gambar 3.** Zona penghambatan terhadap *Escherichia coli* Zn-Zeolit dengan variasi persentase berat agen antimikroba (a) 1%; (b) 3%; (c) 5%

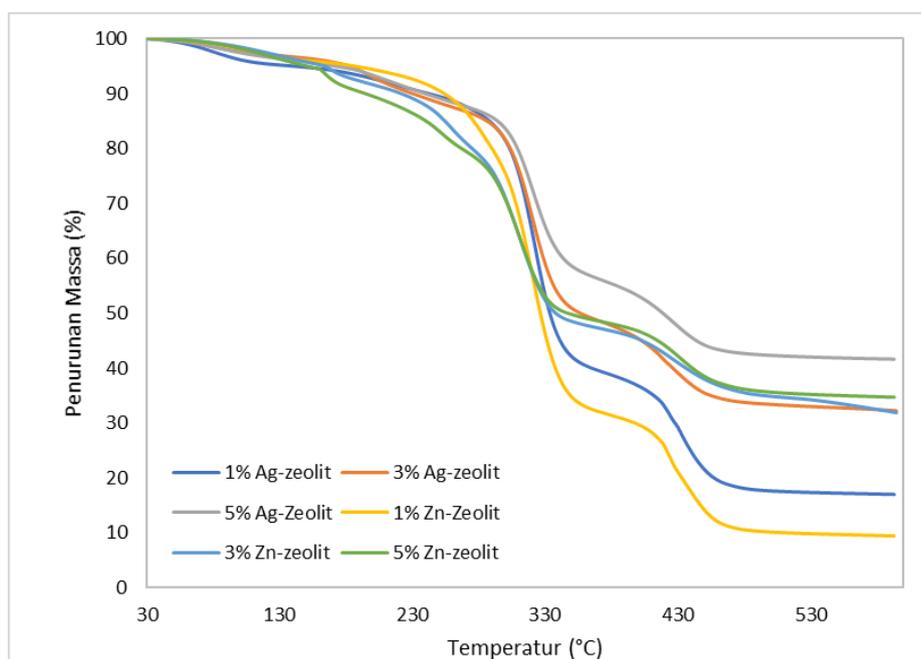
*Coating* dengan kandungan 1% Zn-zeolit dalam larutan polivinil asetat tidak menunjukkan adanya zona penghambatan karena agen antimikroba yang terkandung belum cukup untuk menghambat pertumbuhan bakteri. Berbeda pada *coating* dengan kandungan Zn-zeolit 3% dan 5% dalam polivinil asetat menunjukkan zona penghambatan sebesar 6,1 mm. *Coating* yang mengandung agen antimikroba relatif besar menunjukkan daya hambat yang sedang/moderate terhadap *E. coli*.

*Coating* dengan persentase berat Zn-zeolit yang besar menunjukkan aktivitas antimikroba yang baik meskipun menunjukkan zona hambat yang tidak meningkat. Konsentrasi larutan  $Zn(NO_3)_2$  yang

kurang tinggi dapat mempengaruhi kemampuan *coating* antimikroba. Selain itu, seng memiliki kemampuan melawan jamur dengan baik dibandingkan dengan bakteri (Ustaoğlu Iyigündođdu et al., 2014)

### 3.2 Hasil analisis stabilitas termal

*Coating* antimikroba mengalami dua tahap dekomposisi dikarenakan penggunaan bahan polivinil asetat. Polivinil asetat terdekomposisi sebanyak dua tahap pada suhu sekitar 300°C dan terus mengalami dekomposisi hingga suhu 500°C (Ahmad & Hägg, 2013).



**Gambar 4.** Penurunan massa antimikroba dengan pengujian TGA

Pada tahap pertama variasi 1% terdekomposisi pada suhu sekitar 300°C-336°C dengan kehilangan massa sebesar 56,520%. Pada tahap kedua variasi 1% terdekomposisi pada suhu 415°C-452°C dengan kehilangan massa sebesar 21,511% dan sisa hasil pemanasan sebesar 17,336%. Variasi 3% mengalami dekomposisi pada suhu lebih rendah yaitu 292,63°C-335°C dengan kehilangan massa

sebesar 49,068%. Pada tahap kedua variasi 3% terdekomposisi pada suhu 404,82°C-447,93°C dengan 14,117% massa yang hilang dan sisa hasil pemanasan sebesar 32,666%. Variasi 5% mengalami kehilangan massa sebesar 37,417% pada suhu 304,43°C-338,43°C di tahap pertama. Pada tahap kedua variasi 5% mengalami kehilangan massa sebesar 12,802% pada suhu

408,91°C-452,84°C dengan sisa hasil pemanasan sebesar 41,945%.

Jika dilihat dari masing-masing kurva di Gambar 2, penurunan massa yang terjadi selama pemanasan hingga 600°C adalah akibat dekomposisi dari polivinil asetat. Hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan yang dihasilkan pada kurva sebanyak dua tahap. Menurut Yeasmin dkk., (2019) polimer memiliki stabilitas termal yang baik setidaknya dapat menahan panas pada suhu 300°C-500°C. Sisa hasil pemanasan pada *coating* antimikroba adalah perak-zeolit alam yang tidak dapat terdekomposisi sempurna saat dilakukan pemanasan.

Penambahan perak-zeolit alam dalam PVAc dapat menyebabkan suhu dekomposisi sampel naik. Hal ini dikarenakan menurut Ahmad dan May-britt, (2013) zeolit memiliki stabilitas termal yang baik. Dalam hal ini terlihat bahwa hasil stabilitas termal

paling baik pada *coating* antimikroba yaitu variasi 5% berat. Dapat terlihat pada variasi 5% mengalami dekomposisi pada suhu meningkat yaitu 304,43°C-338,43°C di tahap pertama dan 408,91°C-452,84°C pada tahap kedua dengan sisa hasil pemanasan yang dihasilkan sebanyak 41,945%.

Sedangkan untuk antimikroba dengan menggunakan Zn-Zeolit menunjukkan pada tahap I, dekomposisi pada *coating* dengan 3% agen antimikroba terjadi hingga suhu 174,78 °C dengan kehilangan massa sebanyak 4,771%. Pada tahap II, dekomposisi terjadi hingga suhu 330,90 °C dengan kehilangan massa sebanyak 45,168%. Pada tahap III, dekomposisi terjadi hingga suhu 461,12 dengan kehilangan massa sebanyak 11,531%. Grafik stabilitas termal melandai setelah tahap III karena tidak lagi terjadi dekomposisi.

**Tabel 1.** Massa residu *coating* antimikroba

Produk Antimikroba	Massa Awal (mg)	Massa Residu (mg)	Penurunan Massa (%)
Ag-Zeolit 1%	15,669	2,664	83%
Ag-Zeolit 3%	15,694	5,048	68%
Ag-Zeolit 5%	20,89	8,669	59%
Zn-Zeolit 1%	15,757	0,246	98%
Zn-Zeolit 3%	15,255	0,741	95%
Zn-Zeolit 5%	15,076	0,785	95%

Massa residu *coating* antimikroba yang tersisa mengalami peningkatan seiring dengan kandungan agen antimikroba di dalam *coating* seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1. *Coating* dengan 1% agen antimikroba menghasilkan residu yang paling sedikit yaitu 0,246 mg. *Coating* dengan 5% agen antimikroba menghasilkan residu yang paling banyak yaitu 0,785 mg. Hal tersebut dikarenakan banyaknya kandungan agen antimikroba berupa Zn-Zeolit dalam larutan polivinil asetat.

Stabilitas termal paling baik terjadi pada *coating* mengandung 5% agen antimikroba. Hal tersebut dapat dilihat bahwa sampel memiliki ketahanan terhadap suhu hingga 458,12 °C. Hasil sisa tertinggi sebanyak 35,207%. Stabilitas termal mengalami peningkatan seiring dengan penambahan variasi berat agen antimikroba pada *coating*. *Coating* yang mengandung sedikit agen antimikroba memiliki stabilitas termal yang kurang baik dibanding dengan *coating* yang mengandung banyak agen antimikroba. Stabilitas termal semakin baik jika agen antimikroba dalam *coating* semakin banyak. Pemilihan *coating* yang mengandung 3% agen antimikroba dapat dilakukan karena memiliki stabilitas termal yang baik seperti pada *coating* yang mengandung 5% agen antimikroba.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat ditarik simpulan bahwa produk antimikroba yang paling efektif adalah Ag-zeolit dilihat dari kemampuan aktivitas antimikroba serta ketahanan termalnya. Komposisi yang paling optimal diperoleh pada konsentrasi berat antimikroba sebesar 5% Ag-zeolit di dalam larutan polivinil asetat sebagai bahan *coating* polimer.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan atas bantuan dana penelitian dosen dari Politeknik STMI Jakarta Tahun Anggaran 2021. Seluruh kegiatan eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, J., & Hägg, M. B. (2013). Preparation and characterization of polyvinyl acetate/zeolite 4A mixed matrix membrane for gas separation. *Journal of Membrane Science*, 427, 73–84. <https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2012.09.036>

- Akhigbe, L., Ouki, S., Saroj, D., & Lim, X. M. (2014). Silver-modified clinoptilolite for the removal of *Escherichia coli* and heavy metals from aqueous solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, *21*(18), 10940–10948. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2888-6>
- Cerrillo, J. L., Palomares, A. E., Rey, F., Valencia, S., Pérez-Gago, M. B., Villamón, D., & Palou, L. (2018). Functional Ag-Exchanged Zeolites as Biocide Agents. *ChemistrySelect*, *3*(17), 4676–4682. <https://doi.org/10.1002/slct.201800432>
- Dutta, P., & Wang, B. (2019). Zeolite-supported silver as antimicrobial agents. In *Coordination Chemistry Reviews* (Vol. 383, pp. 1–29). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2018.12.014>
- Flores-López, N. S., Castro-Rosas, J., Ramírez-Bon, R., Mendoza-Córdova, A., Larios-Rodríguez, E., & Flores-Acosta, M. (2012). Synthesis and properties of crystalline silver nanoparticles supported in natural zeolite chabazite. *Journal of Molecular Structure*, *1028*, 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2012.05.080>
- Ginting, A. B., Anggraini, D., Indaryati, S., & Kriswarini R. (2007). Potensi Zeolit di Indonesia. *J. Tek. Bhn. Nukl.*, *3* (1), 38-48.
- Gottardi, G., & Galli, E., (1985): Natural zeolite, *Minerals and rocks*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 4-300.
- Hussain, H. M., & Mohammed, A. A. K., (2019): Preparation and characterization of mordenite zeolite from iraqi sand. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *518*(6), 1-5.
- Irshad, K., Rehman, K., Sharif, H., & Sajid Hamid Akash, M. (2020). *Antimicrobial Polymer Coating*.
- Jaime-Acuña, O. E., Meza-Villezcás, A., Vasquez-Peña, M., Raymond-Herrera, O., Villavicencio-García, H., Petranovskii, V., Vazquez-Duhalt, R., & Huerta-Saquero, A. (2016). Synthesis and complete antimicrobial characterization of CEObACTER, an Ag-Based nanocomposite. *PLoS ONE*, *11*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166205>
- Kusdarto. (2008). Potensi Zeolit di Indonesia. *Jurnal Zeolit Indonesia*. 7(2).
- Latief, N. A. dan Kusdarto. (2003) Eksplorasi rinci endapan zeolit di Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.
- Marturano, V., Cerruti, P., & Ambrogi, V. (2017). 5. Polymer additives. In *Polymer Engineering* (pp. 139–170). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110469745-005>
- Misaelides, P., (2011): Application of natural zeolites in environmental remediation: A short review. *Microporous and Mesoporous Materials*, *144*(1–3), 15–18.
- Top, A., & Ülkü, S. (2004). Silver, zinc, and copper exchange in a Na-clinoptilolite and resulting effect on antibacterial activity. *Applied Clay Science*, *27*(1–2), 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2003.12.002>
- Ustaoglu Iyigündoğdu, Z., Demirci, S., Baç, N., & Şahin, F. (2014). Development of durable antimicrobial surfaces containing silver- and zinc-ion-exchanged zeolites. *Turkish Journal of Biology*, *38*(3), 420–427. <https://doi.org/10.3906/biy-1311-41>
- Yeasmin, R., Zhang, H., Zhu, J., & Cadieux, P. (2019). Fabrication and analysis of antimicrobial additives for powder coated surface. *Progress in Organic Coatings*, *127*, 308–318. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.11.016>