

Vol. 11, No. 2, October 2022
9872

ISSN: 2085-

JURNAL SAINS DASAR

PENERBIT
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

PENGARUH GIBERELIN DAN ZAT RETARDAN TERHADAP PEMANJANGAN BATANG JAGUNG (*Zea Mays L.*)

THE EFFECT OF GIBERELIN AND RETARDANT SUBSTANCE TO STEM ELONGATION OF MAIZE (*Zea Mays L.*)

Annisa Latifa^{1*}, Toto Indriyatmoko²

¹Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

²Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

*email korespondensi: annisalatifa@uny.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai konsentrasi optimum giberelin yang berpengaruh meningkatkan pemanjangan batang dan konsentrasi paklobutrazol yang berpengaruh menghambat pemanjangan batang pada tanaman jagung (*Zea mays L.*). Penelitian dilaksanakan di Krajan Wedomartani Yogyakarta dari bulan Maret hingga bulan April 2022. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan yaitu tanpa perlakuan (kontrol), giberelin 20 ppm dan 40 ppm, serta paklobutrazol 50 ppm dan 100 ppm. Peubah yang diamati adalah panjang batang dan sel epidermis batang tanaman jagung (*Zea mays L.*). Analisis statistik meliputi sidik ragam dan dilanjutkan dengan uji jarak berganda duncan (DMRT) pada taraf kepercayaan 95%. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi optimum giberelin yang meningkatkan pemanjangan batang secara signifikan pada tanaman jagung (*Zea mays L.*) adalah 40 ppm, sedangkan konsentrasi optimum paklobutrazol yang menghambat pemanjangan batang secara signifikan pada tanaman jagung (*Zea mays L.*) adalah 100 ppm. Hal tersebut juga ditunjukkan dari nilai panjang sel epidermis tertinggi pada perlakuan giberelin 40 ppm dan nilai terendah pada perlakuan paklobutrazol 100 ppm.

Kata kunci: jagung, panjang batang, giberelin, zat retardan

Abstract

The aim of this experiment was to obtain information on the optimum concentration of gibberellins which increase stem elongation and the concentration of paclobutrazols which inhibits stem elongation in maize. The experiment was conducted from March to April 2022 at Krajan Wedomartani Yogyakarta. This experiment used a completely randomized design with five treatments which are without treatment (control), gibberellin 20 ppm and 40 ppm, paclobutrazol 50 ppm and 100 ppm. The observation traits were the length of stem and epidermal cell of maize (*Zea mays L.*). Statistical analysis included analyses of variance followed by DMRT at a confidence level of 95%. The results showed that an optimum concentration of gibberellins that significantly increased the length of maize was 40 ppm and an optimum concentration of paclobutrazols that significantly inhibited the length of maize was 100 ppm. The results also showed that the highest value of epidermal cell length was found at gibberellin 40 ppm and the lowest value of epidermal cell length was found at paclobutrazol 100 ppm.

Keywords: maize, stem length, gibberellin, retardant substance

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sangat besar dalam sektor pertanian. Sektor pertanian memberikan kontribusi yang besar dalam menunjang perekonomian nasional. Salah satu subsektor dari sektor pertanian, adalah subsektor tanaman pangan. Subsektor tanaman pangan memiliki peranan yang sangat penting dalam penyediaan bahan pangan utama bagi masyarakat guna memenuhi kebutuhan gizi masyarakat. Pertanian tanaman pangan di Indonesia terdiri atas pertanian padi dan palawija. Salah satu tanaman palawija yang banyak dibudidayakan oleh petani di Indonesia adalah tanaman jagung. Jagung merupakan salah satu

tanaman pangan pokok yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat selain beras, ubi kayu, ubi jalar, talas, dan sagu.

Jagung digemari oleh masyarakat karena rasanya yang enak dan kandungan gizinya yang bermanfaat bagi kesehatan terutama apabila dikonsumsi dalam bentuk jagung rebus. Jagung mengandung karbohidrat, lemak, protein, dan beberapa vitamin serta mineral [1]. Selain itu, jagung juga telah banyak dimanfaatkan sebagai komponen penting dalam pakan ternak, sebagai sumber minyak pangan, sebagai bahan dasar tepung maizena, serta berbagai produk turunannya dijadikan sebagai bahan baku berbagai produk pada industri farmasi, kosmetika, dan kimia [2].

Dalam budidaya tanaman jagung, umumnya pemenuhan kebutuhan hara masih dipenuhi menggunakan pupuk kimia seperti urea, SP-36, dan KCl. Kebutuhan jagung terhadap sumber nitrogen (urea) dapat mencapai 250-300 kg/ha yang diberikan 1/3 dosis saat tanam dan setelah tanaman berumur 4 minggu, pupuk SP-36 dosis 200kg/ha, dan KCl sebesar 75-100 kg/ha pada saat tanam. Belum banyaknya informasi mengenai penggunaan zat pengatur tumbuh tanaman dalam budidaya tanaman jagung sedangkan seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, telah banyak digunakan zat pengatur tumbuh tanaman untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produk pertanian.

Giberelin aktif menunjukkan banyak efek fisiologi, masing-masing tergantung pada tipe giberelin dan juga spesies tanaman. Beberapa proses fisiologi yang dipengaruhi oleh giberelin adalah merangsang pemanjangan batang dengan merangsang pembelahan sel dan pemanjangan, merangsang pembungaan pada hari panjang, dan memecah dormansi pada beberapa tanaman. Bila giberelin diberikan di tempat yang dapat mengangkut ke apek tajuk, maka peningkatan pembelahan sel dan pertumbuhan sel tampak mengarah kepada pemanjangan batang dan (pada beberapa spesies) perkembangan daunnya berlangsung lebih cepat, sehingga terpacu laju fotosintesis menghasilkan peningkatan.

Giberelin meningkatkan pemanjangan batang, terutama pada tanaman kerdil dan tanaman roset. Tanaman roset (seperti bayam, selada, dan kubis) tidak berbunga dalam bentuk roset. Tepat sebelum inisiasi pembungaan, tanaman ini mengalami *bolting* (pemanjangan internodus secara berlebihan). *Bolting* umumnya dirangsang oleh sinyal lingkungan (fotoperiode/suhu rendah). Giberelin telah ditemukan sebagai faktor pembatas dalam pertumbuhan batang tanaman roset. Perlakuan eksogen GA₃ dapat menggantikan persyaratan suhu rendah pada beberapa spesies tanaman [3]. Beberapa tanaman mengembangkan bentuk roset pada hari-hari pendek dan mengalami pemanjangan tunas pada hari-hari panjang. Penggunaan giberelin dapat mengakibatkan *bolting* (pertumbuhan batang) pada tanaman di hari-hari pendek dan *bolting* yang normal diatur oleh giberelin endogen. Dengan demikian, target aksi giberelin adalah meristem interkalar (meristem di dekat pangkal internodus) [4]. Bila zat pengatur tumbuh merangsang pertumbuhan, ada pula zat penghambat tumbuh yang disebut zat retardan. Cara kerja zat retardan adalah menghambat pembelahan atau pemanjangan sel.

Zat retardan yang paling populer adalah paklobutrazol. Paklobutrazol merupakan salah satu bentuk zat pengatur tumbuh yang dapat menghambat pertumbuhan vegetatif tanaman karena bersifat menghambat biosintesis giberelin. Menurut [5], pemberian paklobutrazol menghambat sintesis giberelin melalui penghambatan oksidasi kaurene menjadi asam kaurenat sehingga pemanjangan sel pada meristem sub-apikal berjalan lambat.

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai konsentrasi optimum giberelin yang berpengaruh meningkatkan pemanjangan batang dan konsentrasi paklobutrazol yang berpengaruh menghambat pemanjangan batang pada tanaman jagung (*Zea mays* L.).

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Krajan Wedomartani Yogyakarta dari bulan Maret hingga bulan April 2022. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yaitu dengan 5 perlakuan diulang sebanyak 3 ulangan, sehingga diperoleh 15 unit percobaan. Perlakuan pada penelitian ini adalah 0 ppm (kontrol), giberelin 20 ppm, giberelin 40 ppm, paklobutrazol 50 ppm, dan paklobutrazol 100 ppm.

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari persiapan alat dan bahan, persiapan media tanam, penanaman, pemberian perlakuan, dan pengamatan. Alat dan bahan yang dipersiapkan adalah gelas ukur, gelas piala, *hand sprayer*, *polybag*, bilah bambu penyangga, tali rafia atau kawat halus, kertas label, penggaris, mikroskop, gelas benda, gelas penutup, mikrometer, silet, bibit tanaman *Zea mays* L., akuades, larutan stok GA, larutan stok paklobutrazol, media tumbuh (tanah), dan kompos. Selanjutnya menyiapkan larutan 0 ppm (kontrol), giberelin 20 ppm, giberelin 40 ppm, paklobutrazol 50 ppm, dan paklobutrazol 100 ppm kemudian memasukkannya ke dalam *hand sprayer* plastik.

Persiapan media tanam dilakukan dengan menyiapkan 15 *polybag* kemudian mengisinya dengan campuran media tumbuh (tanah) dan kompos dengan perbandingan 1 : 1. Penanaman dilakukan dengan menanam bibit tanaman jagung (*Zea mays* L.) yang telah disiapkan ke dalam media tumbuh pada *polybag* dan memberi label (nomor) untuk masing-masing tanaman. Penyiraman tanaman dilakukan setiap dua hari sekali. Setelah tanaman berumur satu minggu,

menyemprot (dengan *hand sprayer*) masing-masing dua tanaman dengan giberelin atau paklobutrazol sesuai konsentrasi. Setiap tanaman mendapat 10 ml giberelin atau paklobutrazol sesuai konsentrasi yang diaplikasikan.

Pengamatan dilakukan dengan mengukur tinggi tanaman seminggu sekali selama empat minggu dan menghitung reratanya. Pada akhir penelitian membuat sayatan epidermis dari batang jagung (*Zea mays* L.) yang diperlakukan dengan kontrol, giberelin, dan paklobutrazol. Kemudian meletakkan sayatan epidermis tersebut pada gelas benda, memberinya dengan sedikit air, menutupnya dengan gelas penutup, dan mengamati sel-sel epidermisnya dengan mikroskop. Selanjutnya, mengukur panjang sel epidermis dari setiap perlakuan dengan menggunakan mikrometer.

Semua data dianalisis menggunakan analisis sidik ragam satu jalur (*One-way analysis of variance*). Data hasil penelitian yang berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji beda rata-rata berdasarkan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 5\%$).

Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, parameter yang diukur adalah panjang batang tanaman jagung (*Zea mays* L.) setiap minggu selama empat minggu dan panjang sel epidermis batang tanaman jagung (*Zea mays* L.) yang diberi perlakuan giberelin dan paklobutrazol. Adapun hasil pengamatan panjang batang tanaman jagung setiap minggu selama empat minggu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Panjang batang tanaman jagung (*Zea mays* L.) setiap minggu selama empat minggu dengan perlakuan giberelin dan paklobutrazol

Perlakuan	Panjang batang (cm)			
	Minggu ke-I	Minggu ke-II	Minggu ke-III	Minggu ke-IV
Kontrol	3,61 bc	9,08 bc	12,91 c	17,29 bc
GA 20 ppm	3,73 b	9,71 b	14,23 b	18,33 b
GA 40 ppm	7,58 a	14,75 a	17,91 a	21,75 a
Paklobutrazol 50 ppm	3,34 c	7,76 d	12,83 cd	16,03 c
Paklobutrazol 100 ppm	3,08 d	6,83 e	11,21 d	14,01 d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada $\alpha = 5\%$

Perlakuan giberelin 40 ppm memberikan pengaruh yang nyata terhadap pemanjangan batang tanaman jagung (*Zea mays* L.) setiap minggunya selama empat minggu daripada

perlakuan kontrol dan giberelin 20 ppm. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya nilai yang berbeda nyata antara kontrol dan giberelin 20 ppm dengan giberelin 40 ppm sedangkan antara kontrol dan giberelin 20 ppm tidak berbeda nyata (Tabel 1). Perlakuan paklobutrazol 100 ppm menunjukkan nilai panjang batang terendah di antara semua perlakuan. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya nilai yang berbeda nyata antara paklobutrazol 100 ppm dengan keempat perlakuan lainnya (Tabel 1).

Pada minggu pertama, panjang batang dengan perlakuan giberelin 40 ppm telah mencapai 7,58 cm dan terus mengalami pemanjangan yang signifikan hingga mencapai panjang maksimum pada minggu keempat yaitu 21,75 cm. Pada perlakuan giberelin 20 ppm, pada minggu pertama panjang batang baru mencapai 3,73 cm dan terus mengalami pemanjangan hingga mencapai panjang maksimum pada minggu keempat yaitu 18,33 cm. Pemanjangan batang tanaman jagung setiap minggunya selama empat minggu pada perlakuan giberelin 20 ppm dan giberelin 40 ppm lebih tinggi bila dibandingkan kontrol, akan tetapi pada giberelin 40 ppm pemanjangan batangnya lebih tinggi daripada giberelin 20 ppm yang ditunjukkan perbedaan panjang batang yang cukup besar setiap minggunya di antara keduanya.

Pemanjangan batang tanaman jagung setiap minggunya selama empat minggu pada perlakuan paklobutrazol 50 ppm lebih tinggi daripada perlakuan paklobutrazol 100 ppm yang ditunjukkan dengan nilainya yang berbeda secara signifikan. Pemanjangan batang tanaman jagung setiap minggunya selama empat minggu pada perlakuan paklobutrazol 50 ppm dan paklobutrazol 100 ppm lebih rendah bila dibandingkan kontrol meskipun tidak signifikan pada perlakuan paklobutrazol 50 ppm. Pemanjangan batang tanaman jagung pada perlakuan paklobutrazol lebih rendah secara signifikan bila dibandingkan dengan perlakuan giberelin. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi giberelin maka pemanjangan batangnya setiap minggu semakin tinggi sedangkan pada paklobutrazol, semakin tinggi konsentrasi paklobutrazol maka pemanjangan batangnya setiap minggu semakin rendah.

Pada pemanjangan batang tersebut juga mengukur panjang sel epidermis batang tanaman jagung (*Zea mays* L.) yang diberi perlakuan giberelin dan paklobutrazol. Hasil pengukuran panjang sel epidermis batang tanaman jagung dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata panjang sel epidermis batang tanaman jagung (*Zea mays* L.) dengan perlakuan giberelin dan paklobutrazol

Perlakuan	Panjang Sel Epidermis (μm)
Kontrol	67,60 bc
GA 20 ppm	72,40 b
GA 40 ppm	83,13 a
Paklobutrazol 50 ppm	41,60 d
Paklobutrazol 100 ppm	32,40 e

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada $\alpha = 5\%$

Perlakuan giberelin 40 ppm memberikan pengaruh yang nyata terhadap panjang sel epidermis batang tanaman jagung (*Zea mays* L.) daripada perlakuan kontrol dan giberelin 20 ppm. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya nilai yang berbeda nyata antara kontrol dan giberelin 20 ppm dengan giberelin 40 ppm sedangkan antara kontrol dan giberelin 20 ppm tidak berbeda nyata (Tabel 2). Perlakuan paklobutrazol 100 ppm menunjukkan nilai panjang sel epidermis batang terendah di antara semua perlakuan. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya nilai yang berbeda nyata antara paklobutrazol 100 ppm dengan keempat perlakuan lainnya (Tabel 2).

Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi giberelin maka pemanjangan batangnya setiap minggu semakin tinggi yang ditunjukkan dengan panjang sel epidermis yang tinggi sedangkan pada paklobutrazol, semakin tinggi konsentrasi paklobutrazol maka pemanjangan batangnya setiap minggu semakin rendah yang ditunjukkan dengan panjang sel epidermis yang rendah.

Perlakuan giberelin 40 ppm memberikan pengaruh nyata terhadap pemanjangan batang tanaman jagung (*Zea mays* L.) setiap minggunya selama empat minggu daripada perlakuan giberelin 20 ppm. Pada giberelin 40 ppm pemanjangan batangnya lebih tinggi secara signifikan daripada dengan kontrol dan giberelin 20 ppm. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang menunjukkan bahwa giberelin meningkatkan tinggi tanaman padi IR-64 secara maksimal pada konsentrasi 10 ppm [6], tanaman selada pada konsentrasi 100 ppm [7], tanaman tomat pada konsentrasi 80 ppm dan auksin 30 ppm [8], dan tanaman kedelai pada konsentrasi 200 ppm [9].

Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa giberelin meningkatkan pemanjangan sel dan pembelahan sel. Perlakuan giberelin menyebabkan aktivitas mitosis meningkat tajam di daerah subapikal meristem tanaman roset hari panjang. Tidak seperti auksin, giberelin meningkatkan ekstensibilitas dinding sel tanpa pengasaman. Laju

pemanjangan dipengaruhi oleh ekstensibilitas dinding sel dan laju penyerapan air yang digerakkan secara osmotik. Giberelin menyebabkan peningkatan baik ekstensibilitas mekanis dinding sel maupun relaksasi stres dinding sel hidup. Enzim xyloglucan endotransglikosilase (XET) terlibat dalam ekstensi dinding sel yang dipicu oleh giberelin. Fungsi XET mungkin untuk memfasilitasi penetrasi expansin ke dalam mikrofibril selulosa dinding sel [4]. Pada perlakuan paklobutrazol, pemanjangan batang tanaman jagung setiap minggunya selama empat minggu pada perlakuan paklobutrazol 50 ppm lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan paklobutrazol 100 ppm.

Pemanjangan batang pada perlakuan paklobutrazol 50 ppm dan paklobutrazol 100 ppm lebih rendah bila dibandingkan dengan kontrol. Semakin tinggi konsentrasi paklobutrazol maka pemanjangan batangnya setiap minggu semakin rendah. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian [10] pada tanaman bunga matahari dengan aplikasi paklobutrazol 0 (P_0), 40 ppm (P_1), 50 ppm (P_2), dan 60 ppm (P_3), hasilnya menunjukkan bahwa 50 ppm menunjukkan efektivitas tertinggi dalam menghambat pertumbuhan yang terlihat dari nilai tinggi tanaman yang terendah pada konsentrasi tersebut. Begitu juga pada penelitian [11] yang menggunakan aplikasi paklobutrazol pada tanaman kawista yaitu 0, 100, 200, dan 300 ppm, hasilnya juga menunjukkan bahwa 300 ppm menyebabkan tinggi tanaman terendah. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa paklobutrazol yang diaplikasikan dalam tanaman menyebabkan penghambatan tinggi tanaman dikarenakan paklobutrazol menghambat biosintesis giberelin [12]. Selain itu, [13] menyatakan bahwa penurunan sintesis giberelin dapat menyebabkan penurunan pada poliferasi sel sehingga terjadi penurunan pemanjangan batang.

Kesimpulan

Konsentrasi optimum giberelin yang berpengaruh nyata meningkatkan pemanjangan batang pada tanaman jagung (*Zea mays* L.) adalah 40 ppm yang ditunjukkan dengan panjang sel epidermis tertinggi pada konsentrasi tersebut sedangkan konsentrasi optimum paklobutrazol yang berpengaruh nyata menghambat pemanjangan batang pada tanaman jagung (*Zea mays* L.) adalah 100 ppm yang ditunjukkan dengan panjang sel epidermis terendah pada konsentrasi tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Syukur, M., & Azis Rifianto, S. P. (2013). *Jagung manis*. Penebar Swadaya Grup.
- [2] Aidah, S. N., & Indonesia, T. P. K. (2020). *Ensiklopedi jagung: Deskripsi, filosofi, manfaat, budidaya dan peluang bisnisnya* (vol. 2). Penerbit KBM Indonesia.
- [3] Kochhar, S. L., & Gujral, S. K. (2020). *Plant physiology: Theory and applications*. Cambridge University Press.
- [4] Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2018). *Plant physiology, development, and metabolism*. Springer.
- [5] Anggraeni, A. F., Kamal, M., & Sunyoto, S. (2015). Pengaruh aplikasi paclobutrazol dengan konsentrasi dan frekuensi berbeda terhadap pertumbuhan tajuk tanaman ubi kayu (*Manihot Esculenta Crantz.*). *Jurnal Agrotek Tropika*, 3(3), 309-315.
- [6] Parman, S. (2015). Pengaruh pemberian giberelin pada pertumbuhan rumpun padi Ir-64 (*Oryza Sativa Var Ir-64*). *Anatomi Fisiologi*, 23(1), 118-124.
- [7] Syamsiah, M., & Marlina, G. (2017). Respon pertumbuhan tanaman selada (*Lactuca sativa L.*) varietas kriebo terhadap konsentrasi asam giberelin. *Agroscience*, 6(2), 55-60.
- [8] Andianingsih, N., Rosmala, A., & Mubarak, S. (2021). Pengaruh pemberian hormon auksin dan giberelin terhadap pertumbuhan tomat (*Solanum lycopersicum L.*) Var. Aichi First. *Agroscript: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 3(1), 48-56.
- [9] Pertiwi, P. D., Agustiansyah, A., & Nurmiaty, Y. (2014). Pengaruh giberelin (Ga3) terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai (*Glycine Max (L.) Merrill.*). *Jurnal Agrotek Tropika*, 2(2), 276-281.
- [10] Suhadi, I., Nurhidayati., & Sharon, B. A. (2017). Efektifitas retardan sintetik terhadap pertumbuhan dan masa pajang bunga matahari (*Helianthus annus L.*). *Agrifor*, 16(2), 219-228.
- [11] Kurniawati, A. P., Kusumaningrum, N. A., & Syafriani, E. (2021). Pengaruh konsentrasi dan frekuensi pemberian paclobutrazol terhadap pertumbuhan bibit kawista (*Limonia acidissima L.*). In *Seminar Nasional Agroteknologi UPN" Veteran" Jawa Timur* (pp. 84-91).
- [12] Lolaei, A., Mobasheri, S., Bemana, R., & Teymori, N. (2013). Role of paclobutrazol on vegetative and sexual growth of plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(9), 958-961.
- [13] Sumadi, S., Suminar, E., Murgayanti, M., & Nuraini, A. (2015). Pengaruh pemberian zat retardan terhadap pertumbuhan dan hasil ubi pada dua kultivar kentang (*Solanum tuberosum L.*) di dataran medium. *Kultivasi*, 14(2), 49-55.

PRODUKSI BIOETANOL DARI MIKROALGA LAUT AMBON *Chlorella* sp. GALUR TAD

BIOETHANOL PRODUCTION FROM AMBON MARINE MICROALGAE *Chlorella* sp. STRAIN TAD

Ivonne Telussa^{1,*}, Eirene G. Fransina¹, Joisana Singerin²

¹Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura, Indonesia

²Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura, Indonesia

*email korespondensi: ivon_telussa@ymail.com

Abstrak

Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintesis yang mengandung karbohidrat sehingga dapat diubah menjadi glukosa melalui proses hidrolisis, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. *Chlorella* sp. galur TAD merupakan jenis mikroalga laut yang tersebar pada perairan laut teluk ambon dalam (TAD) dan dimanfaatkan dalam pembuatan bioetanol. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kandungan karbohidrat dan bioetanol yang dihasilkan dari mikroalga laut Ambon *Chlorella* sp. galur TAD. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu kultivasi sel *Chlorella* sp. galur TAD untuk mendapatkan biomassa, menentukan kandungan karbohidrat dalam biomassa, melakukan hidrolisis biomassa dan pembuatan bioetanol melalui proses fermentasi dengan bantuan *Saccharomyces cerevisiae*. Hasil penelitian menghasilkan biomassa kering *Chlorella* sp. galur TAD sebanyak $1,599 \pm 0,0119$ g dengan produktivitas $0,151 \pm 0,012$ gL⁻¹h⁻¹. Kandungan karbohidrat dalam *Chlorella* sp. galur TAD sebesar 3,14%. Proses hidrolisis menggunakan asam sulfat dianalisa kandungan gula sebesar $117,134 \pm 0,758$ mg. Proses fermentasi menghasilkan bioetanol dengan kandungan 3,4325%.

Kata kunci: *Chlorella* sp. galur TAD, fermentasi, hidrolisis asam, bioetanol

Abstract

Microalgae are photosynthetic microorganisms that contain carbohydrates that can be converted into glucose through the hydrolysis process so that they can be used as raw materials for bioethanol production. *Chlorella* sp. strain TAD is a type of marine microalgae that is spread in the deep Ambon Bay (TAD) sea waters and is used to manufacture bioethanol. This study aims to determine the content of carbohydrates and bioethanol produced from marine microalgae Ambon *Chlorella* sp. strain TAD. The research was carried out through several stages, namely cultivating *Chlorella* sp. strain TAD cells to obtain biomass, determine the carbohydrate content in biomass, hydrolyzing biomass, and make bioethanol through a fermentation process with the help of *Saccharomyces cerevisiae*. The results showed that dry biomass of *Chlorella* sp. TAD strain was $1,599 \pm 0.0119$ g with a productivity of 0.151 ± 0.012 gL⁻¹h⁻¹. The carbohydrate content in the *Chlorella* sp. strain TAD is 3.14%. The hydrolysis process using sulfuric acid was analyzed for a sugar content of 117.134 ± 0.758 mg. The fermentation process produces bioethanol with a content of 3.4325%.

Keywords: *Chlorella* sp. strain TAD, fermentation, sulfuric acid, bioethanol

Pendahuluan

Perubahan iklim, kenaikan permintaan bahan bakar dan eksploitasi sumber daya alam bahan bakar fosil yang terbatas secara terus menerus menjadi masalah ketersediaan bahan bakar. Oleh sebab itu, pengembangan sumber energi yang dapat diperbaharui, merupakan suatu fundamental bagi kesinambungan ketersediaan energi masa depan. Saat ini, sumber bahan bakar alternatif yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan berasal dari sumber daya hayati. Beberapa dekade sebelumnya, bahan baku biofuel berasal dari biomassa bahan pangan sehingga muncul masalah baru berupa kompetisi produksi bahan pangan

dengan bahan bakar. Upaya mencari sumber bahan baku pembuatan biofuel terus dilakukan [1].

Mikroorganisme fotosintetik yang dapat memberikan solusi terhadap masalah kompetisi bahan pangan dan lahan sebagai bahan baku biofuel yaitu mikroalga. Mikroalga merupakan alga berukuran renik dan tidak memiliki akar, batang, dan daun. Oleh karena ukuran yang sangat kecil, mikroalga mampu menangkap cahaya matahari sangat besar dan efisien sehingga perbanyakan sel sangat mudah berlangsung. Semua mikroalga mampu menghasilkan senyawa bioaktif yang dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan biofuel seperti biodiesel dan bioetanol [2-8].

Bioetanol merupakan senyawa alkohol yang diperoleh melalui fermentasi biomassa bantuan atau melalui termografimetri. Untuk menjadi bahan bakar alternatif, bioetanol harus diproduksi murah, ramah lingkungan serta berkelanjutan [9]. Bioetanol sebagai biofuel memiliki prospek yang lebih baik untuk dikembangkan dibandingkan biodiesel. Hal ini disebabkan oleh bahan baku bioetanol dapat berasal dari biomassa mikroalga secara langsung [3] maupun biomassa yang sudah diekstrak lemaknya [6]. Dengan demikian, produksi bioetanol berbahan mikroalga hijau (*Chlorella* sp.) yang diambil dari Teluk Ambon bagian dalam [10] menjadi organisme model untuk dieksplorasi sebagai bahan baku bioetanol. Dalam penelitian ini *Chlorella* sp. galur TAD yang ditumbuhkan dalam medium modifikasi sehingga dapat meningkatkan akumulasi karbohidrat untuk memproduksi bioethanol.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini pro analisis (Merck, Germany) : Etanol, H_2SO_4 , Dinatrio Salisilat (DNS), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, NaOH, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , MgSO_4 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, HNO_3 , KI, Na-K Tatrak, Na-Metabisulfit, *Saccharomyces cerevisiae* dan yeast ekstrak. Peralatan yang digunakan terdiri dari erlenmeyer, gelas ukur, tabung reaksi, rak tabung reaksi, Baker glass, pipet tetes, mikro pipet, batang pengaduk, cawan petri, water bath, Mikroskop cahaya Nikon YS-100, *Scanning Electron Microscope* (SEM), GC-FID, spektrofotometer Uv-Vis agilent, *Rotary Vacuum Evaporator*.

Prosedur Kerja

Kultivasi *Chlorella* sp. Galur TAD

Sel *Chlorella* sp. galur TAD ditanam dalam medium modifikasi [11]. Kultivasi dilakukan dengan kerapatan sel awal 5×10^5 sel mL^{-1} dalam fotobioreaktor sederhana pada temperatur ruang di bawah intensitas cahaya $67,5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ dengan fotoperiode 12:12 jam (gelap:terang), salinitas 28 ppt, pH 8,2–8,5 dan diaerasi dengan gelembung udara bebas. Fotobioreaktor sederhana yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari botol kaca transparan dengan tinggi 25 cm, diameter eksternal 9 cm, dan volume kerja 900 mL. Pertumbuhan sel dalam kultur diukur dengan menghitung jumlah sel (dalam satuan sel mL^{-1}) menggunakan *Neubauer Haemocytometer* di bawah mikroskop cahaya.

Pemanenan Biomassa *Chlorella* sp. galur TAD

Sel *Chlorella* sp. galur TAD yang telah dikultivasi dipanen dengan menggunakan teknik sedimentasi dan filtrasi menggunakan kain katun Masini™. Biomassa basah Sel *Chlorella* sp. galur TAD ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mendapatkan berat biomassa basah. Selanjutnya, biomassa basah dikeringkan menggunakan alat pengering beku selama 24 jam sampai kering dan ditimbang untuk mendapatkan berat biomassa kering. Biomassa kering dikarakterisasi dengan FTIR.

Pengamatan Perubahan Morfologi Sel

Pengamatan perubahan morfologi sel diamati menggunakan mikroskop cahaya dan mikroskop elektron (*Scanning Electron Microscope*, SEM). Pengamatan bentuk dan ukuran *Chlorella* sp. galur TAD menggunakan mikroskop cahaya dilakukan dengan pengambilan kultur sel dan diamati pada perbesaran 400. Pengamatan dengan SEM, kultur sel disentrifugasi, dan pelet sel difiksasi dengan 2,5% glutaraldehid selama 2,5 jam pada 4°C . Setelah itu, dicuci dengan HNO_3 pekat pada 4°C dan didehidrasi dengan etanol 20, 60, dan 90%. Kemudian dikeringkan dan diamati dengan SEM.

Analisis Kadar Karbohidrat Luff Schrool (AOAC, 1984)

Sebanyak 5 g biomassa kering ditambahkan 200 mL HCl 3% dan batu didih. Selanjutnya, labu Erlenmeyer dipasang pada pendingin tegak dan dihidrolisis selama 3 jam. Larutan didinginkan dan dinetralkan dengan NaOH. Larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL, ditambahkan air suling sampai pada tanda batas dan disaring. Sebanyak 10 mL larutan dipipet ke dalam labu erlenmeyer 250 mL dan ditambahkan larutan luff 25 mL serta 15 mL air suling, sedangkan untuk pembuatan blanko dibuat larutan tanpa menambahkan sampel selanjutnya dianalisis. Larutan dalam labu erlenmeyer dipasang pada pendingin balik dan dididihkan selama 10 menit. Setelah itu, larutan langsung didinginkan pada air akuades yang mengalir. Selanjutnya, ditambahkan larutan KI 30% dan 25 mL H_2SO_4 25% ke dalam larutan yang telah didinginkan dan ditambahkan indikator berupa larutan kanji. Selanjutnya, larutan dititrasi sampai reaksi terhenti dan dititrasi lagi dengan larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ sampai berwarna biru muda. Kadar karbohidrat dapat dihitung berdasarkan persamaan (1),

$$\text{kadar karbohidrat (\%)} = \frac{G \times P \times 0.9}{g} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan:

- 0,9 = Faktor pembandingan berat molekul satu unit gula dalam molekul pati
 G = Glukosa setara dengan mL $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang dipergunakan untuk titrasi (mg) setelah gula diperhitungkan
 P = Pengenceran

Produksi Bioetanol

Hidrolisis Asam

Hidrolisis berlangsung menggunakan rangkaian alat kondensor dan labu leher tiga dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Dalam proses hidrolisis digunakan biomassa kering kemudian dilarutkan dalam asam sulfat dengan konsentrasi 3,5%. Campuran kemudian dimasukkan kedalam labu didih leher tiga yang telah dipasang kondensor. Untuk mendapatkan kondisi terbaik dalam proses hidrolisis maka proses hidrolisis dilakukan selama 1 jam pada suhu 110°C (0,86 g biomassa) dan 30 menit pada temperature 90°C (2,5 g biomassa). Hidrosilat kemudian disaring dan dilakukan proses penetralan dengan NaOH 4 M hingga pH 4-5, setelah itu dilanjutkan analisis gula pereduksi [12].

Fermentasi

Gula yang telah terbentuk pada proses sakarifikasi kemudian diproses ke tahap fermentasi menggunakan *S. cerevisiae*. Proses fermentasi gula menjadi etanol dilakukan pada kondisi yang berbeda yaitu fermentasi selama 3 hari tanpa menambahkan nutrisi untuk ragi dan proses fermentasi selama 5 hari dengan menggunakan starter/nutrisi ragi. Kemudian Hasil fermentasi disaring setelah itu dilanjutkan dengan proses destilasi dan dianalisis menggunakan GC untuk mengetahui kadar etanol yang dihasilkan.

Analisis Kualitatif Bioetanol

Analisis kualitatif etanol dilakukan dengan uji warna dengan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Sebanyak 1 ml $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 6 tetes H_2SO_4 pekat. Larutan diaduk kemudian ditambahkan destilat hasil fermentasi. Uji dinyatakan positif mengandung etanol jika larutan berubah warna dari jingga menjadi hijau atau biru. Setelah itu dilakukan uji lanjut menggunakan FTIR.

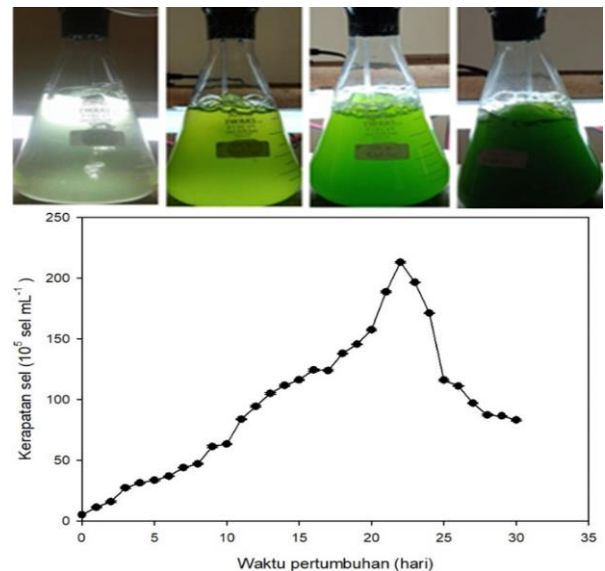
Analisis Kuantitatif Bioetanol

Pengukuran kadar etanol sampel dilakukan dengan menggunakan instrumen GC. Dengan tujuan dapat melihat berapa banyak kandungan etanol yang terdapat pada sampel.

Hasil dan Pembahasan

Kultivasi *Chlorella* sp. galur TAD

Sel *Chlorella* sp. galur TAD dikultivasi dalam medium modifikasi dengan sel awal 5×10^5 sel mL^{-1} pada intensitas cahaya 5000 lux. Peningkatan kerapatan sel *Chlorella* sp. galur TAD dapat dilihat pada perubahan warna kultur yang semakin gelap (Gambar 1a). Pada Gambar 1b menunjukkan kurva pertumbuhan sel semakin bertambah, dengan kerapatan sel tertinggi pada hari ke 22 sebesar $213,167 \times 10^5 \pm 0,656$ sel mL^{-1} dan warna kultur semakin berwarna hijau pekat. Dapat dilihat dari perubahan warna pada kultur menunjukkan pertumbuhan *Chlorella* sp. galur TAD berlangsung baik. Warna hijau pekat yang dihasilkan disebabkan adanya peningkatan jumlah biomassa pada kultur.



Gambar 1. Pertumbuhan *Navicula* sp. galur TAD (a) Warna kultur (hari ke-0, 8, 16, 24) (dari kiri ke kanan)); (b). Kurva pertumbuhan

Kerapatan sel maksimum pada hari ke-22 memiliki laju pertumbuhan 0,605 sel/hari. Dari data tersebut maka waktu panen dilakukan pada hari ke-14 yang termasuk dalam fase eksponensial karena memiliki jumlah sel yang banyak dengan bentuk sel yang baik. Bentuk sel yang baik ini berpengaruh terhadap kandungan yang ada pada sel *Chlorella* sp. galur TAD.

Pemanenan Biomasa *Chlorella* sp. galur TAD

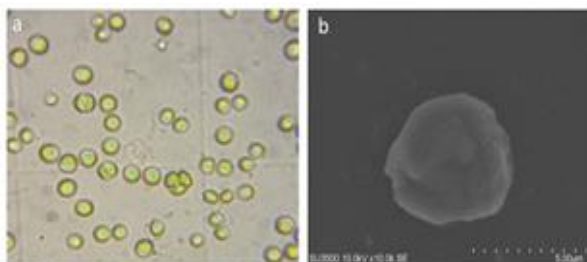
Kultur *Chlorella* sp. galur TAD dipanen pada hari ke-14 yang berada dalam fase eksponensial dengan kerapatan sel yang cukup tinggi. Gambar 2 menunjukkan proses pemanenan kultur *Chlorella* sp. galur TAD dengan teknik sedimentasi dan filtrasi menggunakan Kanebo. Proses sedimentasi dilakukan selama 48 jam dikarenakan ukuran sel dan berat jenis yang dimiliki sangat kecil sehingga waktu yang diperlukan dalam proses sedimentasi lebih lama [13]. Sedangkan untuk teknik filtrasi digunakan kanebo untuk memisahkan biomassa dari media kultur. Hasil pemanenan dari 760 ml kultur diperoleh $1,599 \pm 0,0119$ g biomassa kering dengan produktivitas biomassa yang diperoleh sebesar $0,151 \pm 0,012$ gL⁻¹h⁻¹.



Gambar 2. Proses pemanenan biomassa *Chlorella* sp. galur TAD (a) Kultur pada hari ke-14, (b) Proses penyaringan menggunakan kanebo, (c) Biomassa basa, dan (d) Biomassa kering

Morfologi *Chlorella* sp. galur TAD

Pertumbuhan sel *Chlorella* sp. galur TAD selama kultivasi diamati melalui perubahan warna kultur, kerapatan sel, produk biomassa, maupun morfologi sel. Pengamatan morfologi sel dilakukan dengan mikroskop cahaya dan elektron (SEM). Bentuk sel *Chlorella* sp. galur TAD melalui pengamatan di bawah mikroskop cahaya berbentuk bulat dan berwarna hijau. Warna hijau ini menunjukkan dominan pigmen klorofil (klorofil a dan b) dalam sel *Chlorella* sp. [14]. Sementara itu, pengamatan sel dengan SEM menunjukkan sel berbentuk bulat dengan permukaan yang halus tanpa pori. Citra sel dari *Chlorella* sp. galur TAD dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sel *Chlorella* sp. galur TAD . (a) Pengamatan di bawah mikroskop cahaya; (b) Pengamatan SEM

Analisis Kandungan Karbohidrat *Chlorella* sp. galur TAD

Biomassa kering yang telah didapat, kemudian dilanjutkan dengan analisis kandungan karbohidrat dengan menggunakan metode Luff Schreel. Kandungan karbohidrat yang dimiliki oleh mikroalga *Chlorella* sp. galur TAD adalah 3,14%. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Byung dan Young-Soo terhadap kandungan karbohidrat yang dimiliki oleh *Chlorella* sp. berkisar antara 12% [15]. Kandungan karbohidrat dari *Chlorella* sp. galur TAD sangat berbeda signifikan dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya. Perbedaan kandungan karbohidrat ini, dimungkinkan karena faktor lingkungan dan nutrisi pada saat proses kultivasi. Selain itu, suplai CO₂ yang mempengaruhi kualitas nutrisi dalam biomassa, pH, Cahaya, dan ketersediaan unsur fosfor dan nitrogen sebagai unsur-unsur dalam nutrisi [3, 16].

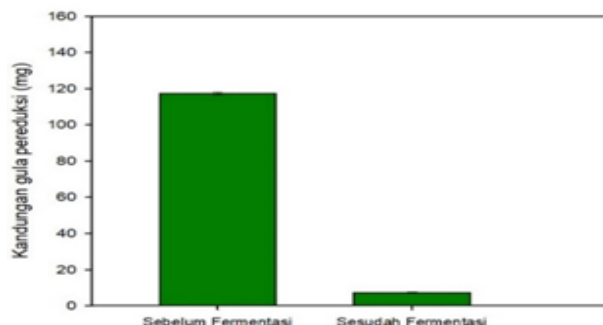
Penentuan Total Gula Pereduksi *Chlorella* sp. galur TAD

Dalam proses hidrolisis dengan metode asam, kondisi hidrolisis yaitu waktu dan temperatur merupakan salah satu faktor yang sangat penting yang harus diperhatikan dalam menganalisis kandungan gula pereduksi dalam suatu sampel. Berdasarkan Penelitian yang dilakukan oleh Qaishum (2015) kandungan gula pereduksi yang dihasilkan dengan waktu yang dipakai selama 50 menit mengalami penurunan yang signifikan [17]. Dikarenakan ion H⁺ pada asam telah mencapai titik optimumnya dalam melepas ikatan rantai glikosidik pada selulosa. Hal yang sama dihasilkan oleh Harun (2010) dimana pada waktu 45 menit kandungan glukosa mengalami penurunan [18]. Proses hidrolisis *Chlorella* sp. galur TAD diuji pada kondisi dengan waktu hidrolisis selama 30 menit pada suhu 90°C. Pada kondisi ini diperoleh kandungan gula *Chlorella* sp. galur TAD sebesar $117,134 \pm 0,758$ mg.

Proses Fermentasi

Untuk mendapatkan bioetanol dengan konsentrasi yang tinggi, maka dilanjutkan proses fermentasi. Fermentasi merupakan tahap konversi glukosa, fruktosa, dan sukrosa menjadi sejumlah kecil ATP dan menghasilkan etanol serta produk samping berupa gas CO₂. Proses fermentasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu fermentasi anaerob yang tidak membutuhkan oksigen dan

berbantuan mikroba *Saccharomyces cerevisiae* untuk mendapatkan bioetanol. Sampel difermentasi pada pH 5 dengan suhu sekitar 25-30°C sebagai pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* yang optimum. Hasil hidrolisis dari 2,5 g biomassa difermentasi selama 5 menunjukkan kandungan gula pereduksi menurun selama proses fermentasi (Gambar 4). Hal ini menunjukkan terjadi konversi glukosa menjadi etanol yang dianalisa kandungan etanol dengan GC.

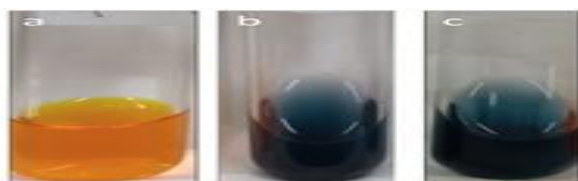


Gambar 4. Histogram kandungan gula pereduksi sebelum dan sesudah Fermentasi dan *Chlorella* sp. galur TAD

Analisis Bioetanol

Analisis Kualitatif Bioetanol

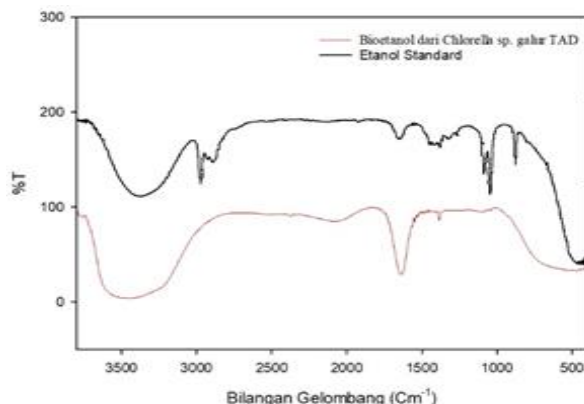
Analisis kualitatif pada hasil destilasi bioethanol dari *Chlorella* sp. galur TAD, dilakukan dengan $K_2Cr_2O_7$ bertujuan memastikan ada tidaknya etanol di dalam destilat hasil fermentasi. Prinsipnya, $K_2Cr_2O_7$ mengoksidasi etanol dalam suasana asam menjadi senyawa aldehida jika di dalam larutan mengandung etanol. Reaksi yang terjadi pada saat etanol mengalami reaksi oksidasi, $K_2Cr_2O_7$ akan mengalami reduksi yang ditandai dengan warna larutan yang semula berwarna jingga berubah menjadi hijau/biru. Hal ini dikarenakan ion dikromat (VI) yang jingga akan tereduksi menjadi ion kromium (III) yang hijau/biru. Hasil uji p sampel bioethanol dari *Chlorella* sp. galur TAD (gambar 5) dengan etanol murni dan aquades sebagai pembanding ditandai dengan warna akhir reaksi hijau/biru yang terbentukkan bioetanol selama proses fermentasi.



Gambar 5. Hasil uji kualitatif bioetanol. (a) Aquades; (b) Etanol standard (c) Bioetanol dari *Chlorella* sp. galur TAD

Karakterisasi Bioetanol dengan FTIR

Hasil yang diperoleh dari destilasi, kemudian dianalisis kualitatif menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*). Spektrum hasil uji bioetanol dari *Chlorella* sp. galur TAD dapat dilihat pada Gambar 6 dan Tabel 1.



Gambar 6. Spektrum etanol (hitam), spektrum bioetanol dari *Chlorella* sp. galur TAD (merah)

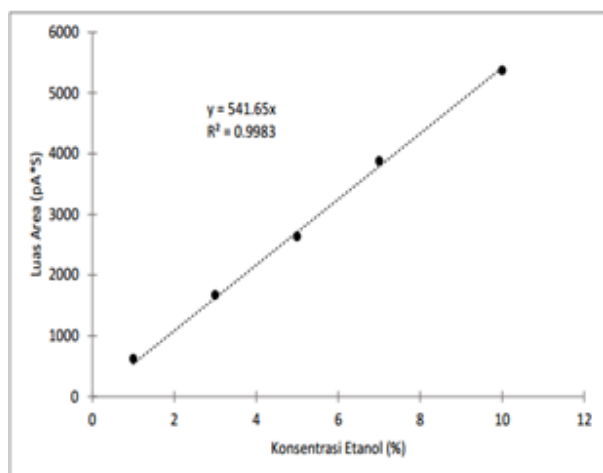
Tabel 1. Data spektrum FTIR bioetanol

Struktur	Serapan Hasil Uji (cm ⁻¹)	
	<i>Chlorella</i> sp. galur TAD	Etanol
OH	3443	3445
C-H	2999	2998
C-O	1061	1050

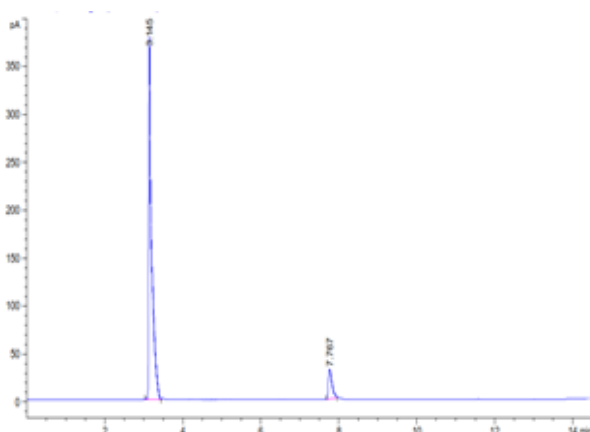
Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka hasil fermentasi dari *Chlorella* sp. galur TAD mengandung etanol, yang ditandai dengan adanya serapan gugus -OH, CH₃ dan CH₂, dan C-O. Ikatan O-H pada alkohol menyerap pada bilangan gelombang yang lebih besar dari suatu asam yaitu antara 3230 - 3550 cm⁻¹. Absorpsi ini berada pada bilangan gelombang yang lebih besar lagi jika alkohol ini tidak mengandung ikatan hidrogen seperti dalam keadaan gas. Absorpsi ikatan C-H sedikit berada dibawah 3000 cm⁻¹, dan serapan pada daerah pada 1000 dan 1100 cm⁻¹ salah satunya berasal dari ikatan C-O.

Analisis Kuantitatif Bioetanol Menggunakan GC

Kandungan bioetanol dari *Chlorella* sp. galur TAD ditentukan menggunakan GC. Detektor yang digunakan untuk menganalisis yaitu detektor ionisasi nyala (*Flame Ionization Detector*) dimana detektor ini digunakan untuk menganalisis komponen-komponen yang memiliki gugus alkil C-H dalam sampel. Penentuan kandungan bioetanol berdasarkan persamaan linier $Y = 541,65x$ yang diperoleh dari kurva standard etanol antara luas area dan kadar.



Gambar 7. Grafik hubungan antara luas area dan kadar etanol



Gambar 8. Kromatogram GC bioetanol dari *Chlorella* sp. galur TAD

Berdasarkan grafik hubungan antara luas area dan kadar etanol standar yang telah diperoleh (Gambar 7), maka dapat dihitung kadar bioetanol *Chlorella* sp. galur TAD yang difermentasi selama 5 hari. Berdasarkan hasil Kromatogram GC (Gambar 8) menunjukkan sampel hasil destilasi memiliki dua puncak. Puncak dengan waktu retensi 3,145 merupakan puncak bioetanol. Hal ini menunjukkan bahwa hasil destilasi pada bioetanol tersebut belum benar-benar murni bioetanol. Kadar bioetanol yang diperoleh sebesar 3,4325%. Penelitian yang dilakukan oleh Putnaruban, dkk (2018) menghasilkan bioetanol sebesar 0,035% dari *Chlorella* sp. [6], sementara *Chlorella pyrenoidosa* menghasilkan bioetanol sebesar 0,28% [19]. Negara, dkk (2019) menghasilkan bioetanol sebesar 2,38% dari *Tetraselmis chuii* [20]. Hal ini menunjukkan bahwa *Chlorella* sp. galur TAD berpotensi dalam menghasilkan bioetanol.

Kesimpulan

Kultivasi *Chlorella* sp. galur TAD menghasilkan biomassa kering sebesar $1,599 \pm 0,0119$ g dengan produktivitas $0,151 \pm 0,012$ gL⁻¹h⁻¹. Kandungan karbohidrat dalam *Chlorella* sp. galur TAD sebesar 3,14%. Proses hidrolisis biomassa *Chlorella* sp. galur TAD menggunakan asam sulfat mengandung gula pereduksi sebesar $117,134 \pm 0,758$ mg. Fermentasi *Chlorella* sp. galur TAD menghasilkan 3,4325% bioetanol.

Daftar Pustaka

- [1] Suharto, I. I. (2018). *Bioteknologi dalam bahan bakar nonfosil*. Andi publishing.
- [2] Lakatos, G. E., Ranglová, K., Manoel, J. C., Grivalský, T., Kopecký, J., & Masojídek, J. (2019). Bioethanol production from microalgae polysaccharides. *Folia Microbiologica*, 64(5), 627-644.
- [3] Agustini, N. W., & Febrian, N. (2019). Hidrolisis biomassa mikroalga *Porphyridium cruentum* menggunakan asam (H₂SO₄ dan HNO₃) dalam produksi bioetanol. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 41(1), 1-10.
- [4] Guo, H., Daroch, M., Liu, L., Qiu, G., Geng, S., & Wang, G. (2013). Biochemical features and bioethanol production of microalgae from coastal waters of Pearl River Delta. *Bioresour Technol*, 127(1), 422-428.
- [5] Padil, P., Syamsiah, S., Hidayat, M., & Kasiamdari, R. S. (2017). Kinerja enzim ganda pada pretreatment mikroalga untuk produksi bioetanol. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5(2), 92-100.
- [6] Putnaruban, C., Suratno, W., Adyaningsih, P., & Haerudin, H. (2012). Penelitian pendahuluan pembuatan biodisel dan bioetanol dari *Chlorella* sp secara simultan. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*, 18(1), 1-6.
- [7] Noer, A. H., & Dessy, A. Potensi Mikroalga sebagai sumber biomasa dan pengembangan produk turunannya. *Teknik*, 33(2), 58-66.
- [8] Azzahra, N., Amri, A., & Utami, S. P. (2015). *Hidrolisis mikroalga Tetraselmis Chuii menjadi glukosa menggunakan enzim selulase* (Doctoral dissertation, Riau University).

- [9] Harun, R., Singh, M., Forde, G. M., & Danquah, M. K. (2010). Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 1037-1047.
- [10] Telussa, I., Hattu, N., & Sahalessy, A. (2022). Morphological observation, identification and isolation of tropical marine microalgae from Ambon Bay, Maluku. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 9(3) 137-243.
- [11] Telussa, I., & Nurachman, Z. (2019). Dynamics of β -carotene and fucoxanthin of tropical marine *Navicula* sp. as a response to light stress conditions. *Algal Research*, 41(1), 101-110.
- [12] Miranda, G., Amri, A., & Utami, S. P. (2014). *Hidrolisis mikroalga tetraselmis chuii dengan variasi konsentrasi asam sulfat dan temperatur* (Doctoral dissertation, Riau University).
- [13] Santoso, A. D. (2017). Pemanenan mikroalga dengan metode sedimentasi. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 10(1), 15-27.
- [14] Bold, H. C., Alexopoulos, C. J., & Delevoryas, T. (1980). *Morphology of plants and fungi* (No. BOOK). Harper & Row, Publishers.
- [15] Um, B. H., & Kim, Y. S. (2009). A chance for Korea to advance algal-biodiesel technology. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15(1), 1-7.
- [16] Ho, S. H., Huang, S. W., Chen, C. Y., Hasunuma, T., Kondo, A., & Chang, J. S. (2013). Characterization and optimization of carbohydrate production from an indigenous microalga *Chlorella vulgaris* FSP-E. *Bioresource Technology*, 135(1), 157-165.
- [17] Qaishum, F., Amri, A., & Utami, S. P. (2015). *Hidrolisis mikroalga Tetraselmis Chuii menjadi glukosa menggunakan solvent H2SO4 dengan variasi waktu hidrolisis* (Doctoral dissertation, Riau University).
- [18] Harun, R., Danquah, M. K., & Forde, G. M. (2010). Microalgal biomass as a fermentation feedstock for bioethanol production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 85(2), 199-203.
- [19] Elystia, S., & Aprilia, D. (2018, September). Potensi mikroalga *Chlorella pyrenoidosa* dari limbah cair kelapa sawit menjadi bioetanol sebagai sumber energi alternatif. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan III 2018*.
- [20] Negara, B. F. S., Nursalim, N., Herliany, N. E., Renta, P. P., Purnama, D., & Utami, M. A. F. (2019). Peranan dan pemanfaatan mikroalga *Tetraselmis chuii* sebagai bioetanol. *Jurnal Enggano*, 4(2), 136-147.

PEMANFAATAN FILM ALGINAT DAN ALGINAT/MONTMORILLONITE SEBAGAI ADSORBEN CU(II)

UTILIZATION OF ALGINATE AND ALGINATE/MONTMORILLONITE FILM AS CU(II) ADSORBENT

Borneo Satria Pratama^{1,2*}, Erliza Hambali², Mohamad Yani², Naoto Matsue³

¹Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri
Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia, 35365

²Departemen Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Indonesia, 16680

³Department of Science and Technology for Biological Resources and Environment, Faculty of Agriculture,
Ehime University, Matsuyama-shi, Japan

*email korespondensi: borneo.pratama@tip.itera.ac.id

Abstrak

Air merupakan kebutuhan yang esensial untuk keberlanjutan hidup manusia dan lingkungan. Namun, World Water Forum telah memprediksi bahwa pada tahun 2025, Indonesia akan menjadi salah satu negara yang mengalami krisis air, yang salah satunya disebabkan oleh penurunan kualitas air akibat pencemaran limbah cair industri. Cu(II) merupakan salah satu logam berat pencemar dalam limbah cair industri yang dapat menyebabkan gangguan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, adsorben berbasis film Alginat dan film alginat/montmorillonite telah dikembangkan untuk menyerap tembaga dari dalam air secara adsorptif. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian performa adsorpsi larutan Cu(II) oleh film alginat (A-F-1%, A-F-1.5%, A-F-2%), film alginat montmorillonite (A-M-2%), dan bead alginat (A-B-2%) pada konsentrasi 1.5 mmol/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan pengocokan, massa adsorben, morfologi adsorben, serta penambahan campuran Montmorillonite pada film berpengaruh terhadap kinerja adsorpsi Cu(II). Kinerja adsorpsi terbaik didapatkan pada adsorben A-F-2% dengan kecepatan pengocokan 150 rpm, yang menghasilkan persentase pengurangan konsentrasi tembaga dari dalam air sebesar 96,45% setelah tercapainya kesetimbangan (60 menit). Adsorben film Alginat memiliki kecocokan terhadap model isoterm Freundlich dan Langmuir, dengan nilai $R^2 > 99,99\%$ untuk kedua model yang diregresikan secara linear.

Kata kunci: adsorpsi, tembaga, alginat, montmorillonite, isoterm

Abstract

Water is essential for the sustainability of human life and the environment. However, the World Water Forum has predicted that Indonesia will be one of the countries experiencing a water crisis by 2025 caused by the decline in water quality due to industrial wastewater pollution. Copper (Cu(II)) is one of the common heavy metal contaminants in industrial wastewater that cause human health and environmental problems. Therefore, this study had developed Alginate film and Alginate/Montmorillonite composite based film adsorbent for the adsorptive removal of copper. In this study, the adsorption performance of Cu(II) solution was tested by alginate film (A-F-1%, A-F-1.5%, A-F-2%), alginate/montmorillonite film (A-M-2%), and alginate bead (A-B-2%) at a concentration of 1.5 mmol/L. The results showed that the agitation speed, adsorbent mass, adsorbent morphology, and the addition of Montmorillonite to the composite film affected the copper adsorption performance. The best adsorption performance was obtained by adsorbent A-F-2% with a shaking speed of 150 rpm, which result in percentage reduction in the copper concentration of 96.45% after reaching equilibrium (60 minutes). Alginate film adsorbent fit Freundlich and Langmuir isotherm models, with $R^2 > 99.99\%$ for both linearly regressed models.

Keywords: adsorption, copper, alginate, montmorillonite, isotherm

Pendahuluan

Setiap makhluk hidup membutuhkan air bersih untuk keberlangsungan metabolisme tubuh. Pada kehidupan sehari-hari, manusia juga membutuhkan air bersih untuk aktivitas seperti MCK (mandi, cuci, dan kakus) serta untuk pemenuhan kebutuhan industri. Oleh karena itu, ketersediaan dan aksesibilitas terhadap air bersih menjadi salah satu target dari pembangunan

berkelanjutan (SDGs) yang diagendakan oleh PBB hingga tahun 2030 [1]. Pada tahun 2009 lalu, Kementerian PUPR menyatakan Indonesia masih memiliki cadangan air 2.530 km³, sehingga menduduki peringkat ke-5 di dunia. Namun, adanya pertambahan jumlah penduduk, lemahnya kemampuan pengolahan air, serta kualitas air yang tidak memenuhi standar menjadi pemicu krisis air bersih di Indonesia, yang sebelumnya juga telah diprediksi oleh World Water Forum [2].

Penurunan kualitas air di Indonesia disebabkan pencemaran industri akibat masuknya zat-zat pencemar yang dibuang langsung ke perairan (sungai). Salah satu komponen pencemar yang menurunkan kualitas air dan mengakibatkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan adalah logam berat, seperti Cu, Cr, Cd, Hg, dan Pb; yang berasal dari industri *plating*, pembersih logam, dan baterai [3]. Sebagai salah satu jenis logam berat, limbah Cu(II) dapat menyebabkan gangguan kesehatan untuk manusia. Pada konsentrasi yang rendah, konsumsi tembaga dibutuhkan sebagai mikronutrien metabolisme tubuh, yaitu sebesar 2,5 mg/kg berat badan orang dewasa per hari. Namun, konsumsi tembaga dalam konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan diare, sakit perut, kerusakan hati dan ginjal.

Gangguan-gangguan tersebut juga dapat diakibatkan oleh konsumsi organisme akuatik yang telah tercemar oleh tembaga [4]. Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengatasi pencemaran logam berat di dalam air adalah adsorpsi, karena efisiensi yang lebih baik dan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan metode-metode lainnya (seperti: koagulasi, presipitasi kimia, filtrasi membran dan penukar ion). Beberapa jenis bahan yang tersedia di alam telah dikembangkan sebagai adsorben dan diaplikasikan untuk industri dan lingkungan [5].

Salah satu bahan yang telah banyak digunakan sebagai adsorben untuk menjerap jenis logam berat adalah alginat. Alginat merupakan polisakarida anionik yang terkandung dalam rumput laut coklat dan tersusun dari monosakarida asam β -D-Manuronat (M), asam α -L-guluronat (G), dan heteropolisakarida yang mengandung kedua asam tersebut. Alginat berperan meningkatkan kekuatan mekanis rumput laut coklat untuk menghadapi ombak, dengan cara berikatan *crosslinking* dengan kation bervalensi dua seperti kalsium dan magnesium [6].

Alginat telah dikembangkan dalam bentuk *bead*, secara murni atau dalam komposit, sebagai adsorben untuk mengurangi pencemaran logam berat, seperti timbal [7], tembaga [8], dan kadmium [9]. Namun, adsorben jenis *bead* membutuhkan waktu adsorpsi yang lama dan memiliki kapasitas penjerapan yang rendah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan adsorben berbasis alginat dengan morfologi berupa film sebagai upaya untuk meningkatkan performa Alginat dalam menjerap logam berat tembaga, dengan membandingkan kecepatan dan kapasitas penjerapan antara film alginat dan *bead* alginat.

Selain itu, dilakukan pengembangan material adsorben dengan mengkompositkan film alginat dengan montmorillonite sebagai upaya penurunan biaya bahan. Montmorillonite merupakan mineral utama dalam lempung (Bentonit). Lempung alam umumnya memiliki kandungan mineral impuritas lainnya (seperti: calcite, quartz, clinoptilolite) yang dapat dipisahkan untuk mendapatkan mineral montmorillonite murni. Penggunaan montmorillonite dalam penelitian ini tidak terlepas dari potensi Indonesia yang diperkirakan memiliki cadangan bentonit alam sebanyak 380 juta ton yang tersebar di pulau-pulau besar Indonesia [10]. Sebelumnya, lempung (bentonit dan montmorillonite) telah diaplikasikan dalam penjerapan berbagai jenis logam berat, seperti timbal dan kadmium [11], serta tembaga [12].

Metode Penelitian

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah (1) $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, (2) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dan (3) Natrium Alginat 300 cps (dipasok oleh Naqalai Tesque), serta (4) Montmorillonite sintetik (dipasok oleh Wako Chemicals), dan (5) air deionisasi. Seluruh bahan yang tersebut memiliki tingkat kualitas analitis.

Peralatan

Peralatan instrumen yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini adalah: (1) FT-IR Spectrum Spotlight 300 (PerkinElmer Instruments LLC); dan (2) Hitachi Z-5000 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) untuk menganalisa konsentrasi tembaga dalam larutan.

Prosedur Kerja

Sintesis Adsorben Film Alginat dan Film Alginat/Montmorillonite

Prosedur sintesis *bead* alginat: Natrium alginat dilarutkan dalam air deionisasi dengan pengadukan selama 18 jam untuk menghasilkan larutan alginat 2% b/v. Selanjutnya, larutan alginat diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 0.2 M menggunakan *syringe* dan didiamkan selama 24 jam untuk menyempurnakan reaksi *crosslinking*. Kemudian, produk hidrogel Ca-Alginat dipisahkan dan dicuci dengan air deionisasi, lalu dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan temperatur 30°C. *Bead* Ca-Alginat yang telah kering kemudian disimpan dalam desikator. Selanjutnya, *bead* alginat yang dihasilkan disebut A-B-2%.

Prosedur sintesis film alginat, natrium alginat dilarutkan dalam air deionisasi dengan pengadukan selama 18 jam untuk menghasilkan larutan alginat 1%, 1,5%, dan 2% b/v. 10 gram dari setiap larutan alginat dituangkan dalam petri dish dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan temperatur 30°C, sehingga dihasilkan film Na-Alginat. Film yang terbentuk direndam larutan CaCl_2 0.2 M selama 9 jam untuk menyempurnakan reaksi *crosslinking*. Film Ca-alginat direndam dan dibilas dengan air deionisasi, dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam bersuhu 30°C untuk mendapatkan film Ca-Alginat dan disimpan dalam desikator. Film alginat yang dihasilkan disebut A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2%. Prosedur sintesis film alginat/montmorillonite dilakukan dengan tahapan seperti film alginat, namun menggunakan bahan campuran natrium alginat dan montmorillonite dengan rasio massa 4:1 sebelum dilarutkan dalam air deionisasi. Film alginat/montmorillonite yang dihasilkan disebut A-M-2%.

Karakterisasi Adsorben

Sampel adsorben yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi dengan spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) untuk mengetahui gugus fungsional yang terkandung di dalam sampel film alginat (A-F-2%).

Uji Pengaruh Kecepatan Pengocokan terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Adsorben A-F-2% dimasukkan ke dalam 100 mL larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1.5 mmol/L dan dikocok dengan *reciprocal shaker* selama 2-60 menit pada kecepatan 50, 100, dan 150 rpm. Adsorben dipisahkan dari larutan, kemudian dilakukan pengujian konsentrasi larutan dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi akhir Cu(II) dari larutan. Pengujian dilakukan secara triplo.

Uji Pengaruh Massa Alginat terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Adsorben A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2% dimasukkan masing-masing ke dalam 100 mL larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1.5 mmol/L dan dikocok dengan *reciprocal shaker* selama 2 sampai 60 menit pada kecepatan 150 rpm. Setelah selesai, adsorben dipisahkan dari larutan, kemudian dilakukan pengujian konsentrasi larutan menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi akhir Cu(II) dari larutan. Pengujian dilakukan secara triplo.

Uji Pengaruh Morfologi Adsorben (Bead dan Film) terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Adsorben A-B-2% dan A-F-2% dimasukkan masing-masing ke dalam 100 mL larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1.5 mmol/L dan dikocok dengan *reciprocal shaker* selama 2-60 menit pada kecepatan 150 rpm. Setelah selesai, adsorben dilakukan pengujian konsentrasi larutan dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi akhir Cu(II) dari larutan. Pengujian dilakukan secara triplo.

Permodelan Isoterm Adsorpsi Film Alginat

Permodelan adsorpsi dilakukan dengan data uji pengaruh massa alginat terhadap kinerja adsorpsi Cu(II). Data dimodelkan dengan regresi linear dan dicocokkan dengan dua jenis isoterm adsorpsi, yaitu Langmuir dan Freundlich. Model isoterm Freundlich menggambarkan heterogenitas permukaan adsorben, sifat adsorpsi yang multilayer, dan adanya perubahan rasio antara solut yang teradsorpsi pada setiap massa adsorben pada konsentrasi solut yang berbeda. Persamaan matematis untuk isoterm Freundlich dapat ditunjukkan seperti persamaan (1).

$$q_e = K F C_e^{(1/n)} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1), q_e adalah jumlah solut teradsorpsi setiap gram adsorben saat kesetimbangan (mmol/g), K_f adalah konstanta isoterm Freundlich ($\text{mmol}^{1-(1/n)} \text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$), C_e adalah konsentrasi akhir solut saat kesetimbangan (mmol/L) dan n adalah intensitas adsorpsi [13]. Isoterm Langmuir menggambarkan homogenitas permukaan adsorben, dimana adsorpsi terjadi secara monolayer pada situs adsorpsi yang identik, sehingga kapasitas adsorpsi solut per massa adsorben dapat ditentukan. Persamaan matematis untuk isoterm Freundlich dapat ditunjukkan seperti persamaan (2).

$$q_e = Q_{\max} \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2), q_e adalah jumlah solut teradsorpsi setiap gram adsorben saat kesetimbangan (mmol/g), $Q_{\max}$ adalah kapasitas adsorpsi monolayer maksimum (mmol/g), K_L adalah konstanta isoterm Langmuir (L/mmol), dan C_e adalah konsentrasi akhir solut saat kesetimbangan (mmol/L) [13]. Bentuk linear dari persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk linear dari isoterm Freundlich dan Langmuir [13]

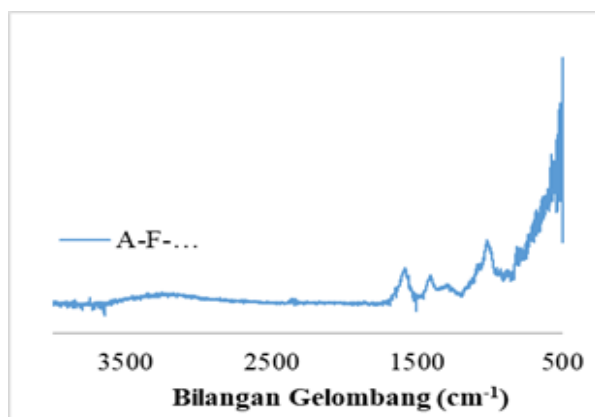
Isoterm	Linear	
	Bentuk	Plot Kurva
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{KL q_m}$	$\frac{C_e}{q_e}$ vs C_e
Freundlich	$\log(q_e) = \log(KF) + \frac{1}{n} \log(C_e)$	$\log(q_e)$ vs $\log(C_e)$

Uji Pengaruh Kandungan Montmorillonite dalam Film Alginat (Komposit) terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Adsorben film alginat/montmorillonite (A-M-2%) dimasukkan ke dalam 100 mL larutan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 1.5 mmol/L dan dikocok dengan *reciprocal shaker* selama 2-60 menit pada kecepatan 150 rpm. Setelah selesai, adsorben dilakukan pengujian konsentrasi larutan dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi akhir $\text{Cu}(\text{II})$ dari larutan. Pengujian dilakukan secara triplo.

Hasil dan Pembahasan Karakterisasi dengan Spektroskopi FT-IR

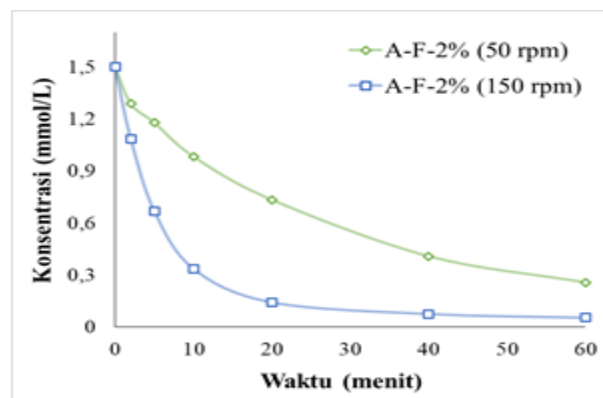
Hasil karakterisasi FT-IR terhadap sampel A-F-2% ditampilkan dalam Gambar 1. Adanya absorbansi yang lebar pada bilangan gelombang 3272 cm^{-1} diakibatkan adanya vibrasi ulur pada gugus hidroksil (O-H) [14]. Puncak absorbansi pada bilangan gelombang 1591 cm^{-1} diakibatkan oleh vibrasi ulur ikatan karbonil (C=O) dari gugus karboksilat [15]. Puncak absorbansi pada bilangan gelombang 1084 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur gugus C-O-C yang berasal dari cincin *pyranose* yang terdapat dalam struktur asam guluronat dan manuronat pada alginat [16].

**Gambar 1.** Hasil karakterisasi spektroskopi FT-IR terhadap film alginat (A-F-2%)

Puncak absorbansi pada bilangan gelombang 1025 cm^{-1} diakibatkan vibrasi ulur pada ikatan glikosidik [17]. Puncak absorbansi pada 817 cm^{-1} menunjukkan keterkaitan terhadap residu asam manuronat, yang diidentifikasi pada rentang bilangan gelombang 800 hingga 820 cm^{-1} . Hasil karakterisasi FT-IR menunjukkan material yang digunakan sampel A-F-2% merupakan alginat, dengan ciri khas absorbansi yang ditunjukkan pada rentang bilangan gelombang tertentu.

Pengaruh Kecepatan Pengocokan terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

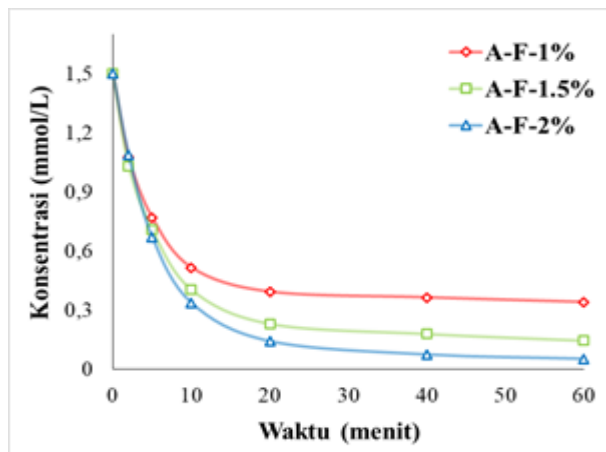
Hasil uji pengaruh kecepatan pengocokan (50 rpm dan 150 rpm) terhadap kinerja A-F-2% dalam mengadsorpsi tembaga dapat dilihat pada Gambar 2. Diketahui penurunan konsentrasi logam tembaga setelah adsorpsi pada kecepatan 150 rpm lebih tinggi daripada adsorpsi pada kecepatan 50 rpm. Secara berurutan, persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-F-2% pada kecepatan 50 rpm dan 150 rpm setelah 60 menit adsorpsi adalah 82.91% dan 96.45%.

**Gambar 2.** Hasil uji pengaruh kecepatan pengocokan (50 dan 150 rpm) terhadap kinerja adsorpsi tembaga oleh A-F-2%

Peningkatan adsorpsi tembaga pada kecepatan pengocokan yang lebih tinggi disebabkan semakin mengecilnya ketebalan *liquid boundary layer* oleh peningkatan turbulensi, sehingga meningkatkan laju difusi ion tembaga dari cairan menuju *liquid boundary layer* yang mengelilingi adsorben film alginat [18]. Namun, perbedaan penurunan konsentrasi antara kedua parameter kecepatan menjadi semakin kecil, diakibatkan semakin berkurangnya kapasitas adsorben A-F-2% (150 rpm) dalam menyerap ion tembaga akibat kondisinya yang semakin jenuh dan mencapai kesetimbangan pada 60 menit adsorpsi.

Pengaruh Massa Alginat terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

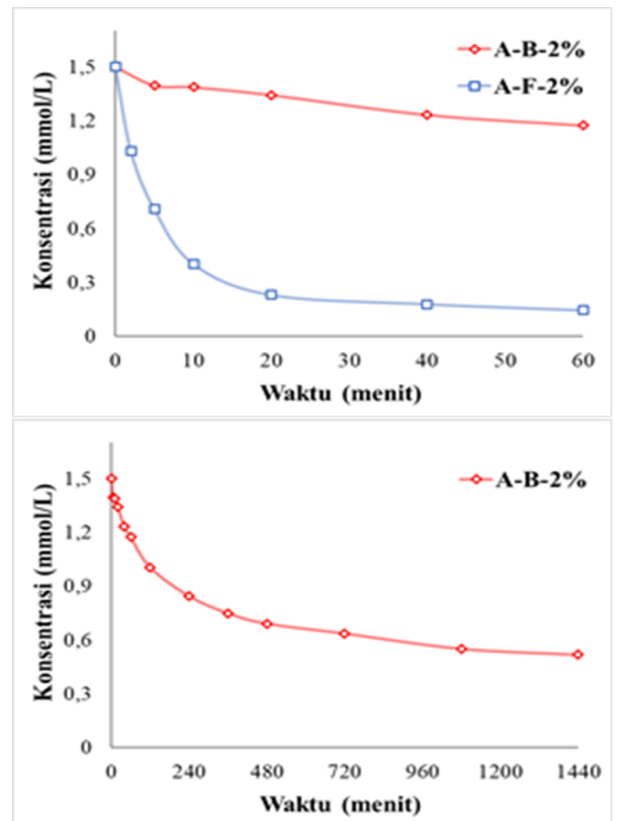
Hasil uji pengaruh massa film alginat (A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2%) terhadap kinerja adsorpsi tembaga dapat diamati pada Gambar 3. Diketahui penurunan konsentrasi logam tembaga setelah adsorpsi menjadi semakin tinggi seiring peningkatan massa alginat yang digunakan adsorpsi. Secara berurutan persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2% setelah 60 menit adsorpsi adalah 77.24%, 90.29%, dan 96.45%. Peningkatan kemampuan adsorpsi film alginat dengan massa yang semakin besar diakibatkan semakin banyaknya situs adsorpsi yang tersedia untuk menyerap logam tembaga dari dalam larutan [19].



Gambar 3. Hasil uji pengaruh massa alginat terhadap kinerja adsorpsi tembaga oleh A-F-1%, A-F-1.5%, dan A-F-2%

Pengaruh Morfologi Adsorben (*Bead* dan Film) terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Hasil uji pengaruh morfologi adsorben alginat, yaitu *bead* (A-B-2%) dan film (A-F-2%) dapat dilihat pada Gambar 4. Diketahui penurunan konsentrasi logam tembaga setelah adsorpsi A-F-2% lebih tinggi daripada A-B-2%. Beberapa riset menunjukkan film alginat memiliki porositas dalam ukuran mikrometer hingga nanometer [20]. Karakteristik pori film alginat ini memungkinkan terjadinya difusi ion menuju situs adsorpsi dalam molekul alginat secara lebih cepat. Persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-F-2% setelah 60 menit mampu mencapai 96.45%. *Bead* alginat memiliki kinerja adsorpsi yang jauh lebih rendah akibat porositasnya yang buruk, sehingga menyebabkan kelambatan difusi ion tembaga ke dalam situs adsorpsi pada alginat [21].



Gambar 4. Hasil uji pengaruh morfologi adsorben film alginat (A-B-2% dan A-F-2%) terhadap kinerja adsorpsi tembaga

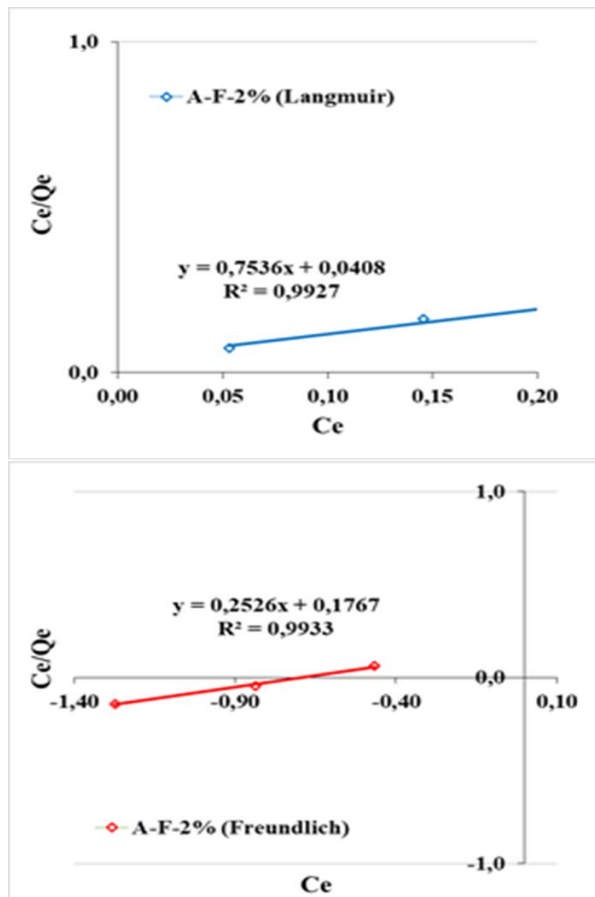
Porositas buruk ini diakibatkan pengeringan konvensional, yang mampu menyebabkan kerusakan struktur *bead* alginat akibat gaya kapiler. Fenomena ini terjadi pada polisakarida hidrofilik lainnya. Persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-B-2% setelah 1440 menit (24 jam) hanya mencapai 65.51%.

Isoterm Adsorpsi Film Alginat

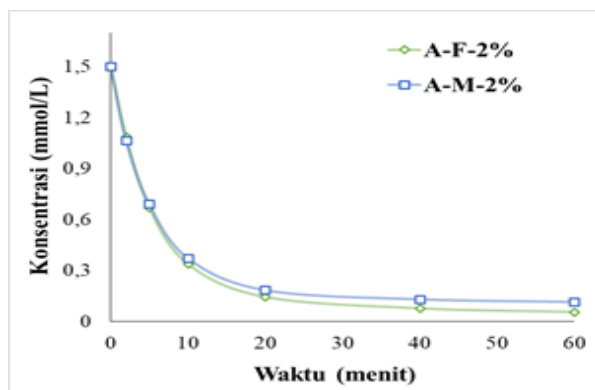
Permodelan isoterm adsorpsi dilakukan dengan data hasil uji pengaruh massa alginat terhadap kinerja adsorpsi tembaga saat waktu setimbang. Hasil permodelan isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir secara linear dapat diamati pada Gambar 4. Hasil regresi linear menunjukkan data memiliki tingkat kecocokan yang tinggi terhadap model adsorpsi Freundlich dan Langmuir, dengan nilai $R^2 > 0.99$ pada kedua regresi yang dilakukan. Sehingga, model isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir dapat menggambarkan bagaimana mekanisme adsorpsi tembaga oleh alginat. Diketahui adsorben alginat yang digunakan memiliki kapasitas adsorpsi monolayer maksimum ($Q_{\max}$) terhadap ion tembaga sebesar 1.327 mmol/g.

Pengaruh Kandungan Montmorillonite dalam Film Alginat (Komposit) terhadap Kinerja Adsorpsi Tembaga

Hasil uji pengaruh kandungan montmorillonite dapat dilihat pada Gambar 4. Diketahui penurunan konsentrasi logam tembaga setelah adsorpsi oleh A-F-2% lebih tinggi dibandingkan dengan A-M-2%.

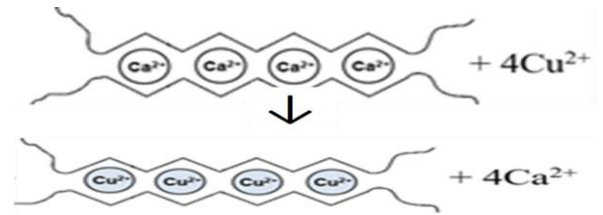


Gambar 5. Model isoterm Langmuir (kiri) dan Freundlich (kanan) pada adsorpsi tembaga oleh A-F-2%

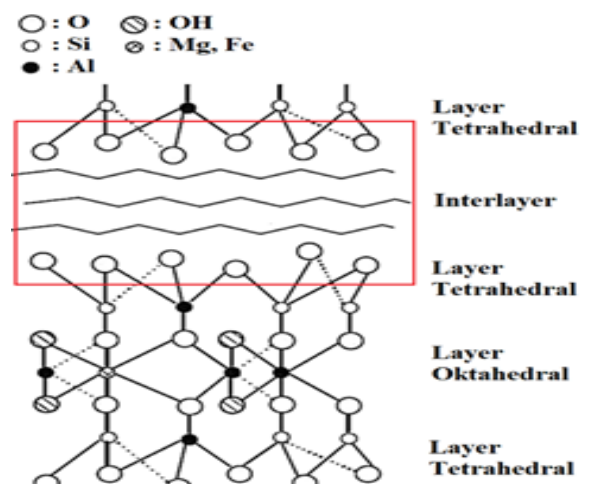


Gambar 6. Hasil uji pengaruh kandungan Montmorillonite dalam film alginat (komposit) terhadap kinerja adsorpsi tembaga

Secara berurutan persentase pengurangan konsentrasi logam tembaga oleh A-F-1% dan A-M-2% setelah 60 menit adsorpsi adalah 96.45% dan 92.41%. Diketahui film alginat memiliki kinerja lebih rendah daripada film alginat.



Gambar 7. Struktur model *Egg-box* pada molekul alginat serta pertukaran kation kalsium dan tembaga pada film alginat [13]



Gambar 8. Struktur Montmorillonite [22], bagian dalam kotak merah merupakan lokasi pertukaran kation dan interaksi kation dengan gugus oksigen

Alginat dan montmorillonite memanfaatkan kemampuan pertukaran kation dalam adsorpsi berbagai jenis logam berat melalui situs adsorpsinya. Pada alginat, kemampuan pertukaran kation yang tinggi disebabkan afinitas asam poliguluronat terhadap kation bervalensi dua, dimana kation akan berikatan dengan dua atom oksigen bermuatan negatif dari dua molekul asam poliguluronat yang berbeda, sehingga membentuk model *egg-box* seperti Gambar 7 [13]. Montmorillonite dapat mengadsorpsi logam berat melalui (1) pertukaran ion dengan adanya interaksi antara muatan positif pada kation dengan muatan negatif pada bagian *interlayer* Montmorillonite seperti pada Gambar 8, serta (2) pembentukan kompleks dengan gugus Si-O- dan Al-O- [22]. Kemampuan pertukaran kation pada kedua material tersebut dikenal *cation exchange capacity* (CEC). Diperkirakan montmorillonite memiliki CEC yang lebih rendah daripada alginat.

Kesimpulan

Film alginat dan komposit film alginat/montmorillonite berhasil diaplikasikan untuk menurunkan konsentrasi tembaga secara adsorptif dari dalam air. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui kecepatan pengocokan, massa adsorben, morfologi adsorben, serta penambahan campuran montmorillonite dalam film alginat berpengaruh terhadap kinerja adsorpsi tembaga. Kinerja adsorpsi terbaik didapatkan oleh adsorben A-F-2% dengan kecepatan pengocokan 150 rpm, dengan persentase pengurangan konsentrasi tembaga dari dalam air sebesar 96.45% setelah tercapainya kesetimbangan (60 menit). Adsorben film alginat juga memiliki kecocokan terhadap model isotherm Freundlich dan Langmuir, dengan nilai $R^2 > 99.99\%$ untuk kedua model yang diregresikan secara linear.

Daftar Pustaka

- [1] Genevaux, C., Mateus, A., Jalle, C. E., Allely, D., & Dussaux, V. (2018). The sustainable development goals for water and sanitation services: Interpreting the targets and indicators. *Programme Solidarité EAU* pp, 1-55.
- [2] Qodriyatun, S. N. (2015). *Penyediaan air bersih di Indonesia: Peran pemerintah, pemerintah daerah, swasta, dan masyarakat*. P3DI Setjen DPR RI.
- [3] Supraptini, S. (2002). Pengaruh limbah industri terhadap lingkungan di Indonesia. *Media Penelitian dan Pengembangan Kesehatan*, 12(2), 10-19.
- [4] Susanti, D., Iqbal, M., Silaban, R., & Tarigan, I. L. (2021). Pemanfaatan kitosan cangkang bekicot sebagai adsorben logam tembaga (Cu). *Jurnal Khazanah Intelektual*, 5(2), 1128-1141.
- [5] Haryanto, B., Sinaga, W. K., & Saragih, F. T. (2019). Kajian model interaksi pada adsorpsi logam berat kadmium (Cd^{2+}) dengan menggunakan adsorben dari pasir hitam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 8(2), 79-84.
- [6] Kautsari, N., Damar, A., & Santoso, J. (2013). Potency and characteristics natrium alginate of padina australis from different location in Sumbawa. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana. Insititut Pertanian Bogor.
- [7] Yantiana, I., Amalia, V., & Fitriyani, R. (2018). Adsorpsi ion logam timbal (II) menggunakan mikrokapsul Ca-alginat. *Al-Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 5(1), 17-26.
- [8] Suhada, F. A., & Alfiah, T. (2019, September). Perbandingan kemampuan *Sargassum* sp. dan alginat sebagai adsorben logam Cu dengan variasi pH. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (Vol. 1, No. 1, pp. 85-90).
- [9] Pratiwi, S. W., Triastuti, A., Nurmallasari, R., & Pinarti, I. (2020). Optimasi pembuatan mikrokapsul kalsium-alginat-EDTA sebagai adsorben untuk logam kadmium. *Jurnal Pijar Mipa*, 15(4), 384-391.
- [10] Fisli, A., Sumardjo, S., & Mujinem, M. (2019). Isolasi dan karakterisasi montmorillonite dari bentonit Sukabumi (Indonesia). *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 10(1), 12-17.
- [11] Cessar, M. R., Syukurdi, M., Jakfar, J., & Hisbullah, H. (2021). Pembuatan bentonit terpillar Al dari bentonit alam blang karing untuk peningkatan daya serap ion logam berat Pb Ddn Cd. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan*, 2(1), 6-14.
- [12] Bath, D. S., Siregar, J. M., & Lubis, M. T. (2012). Penggunaan tanah bentonit sebagai adsorben logam Cu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(1), 1-4.
- [13] Pratama, B. S., Hambali, E., Yani, M., & Matsue, N. (2021). Kinetic and isotherm studies of Cu (II) adsorption by beads and film of alginate/zeolite 4A composites. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 749, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- [14] Larosa, C., Salerno, M., de Lima, J. S., Meri, R. M., da Silva, M. F., de Carvalho, L. B., & Converti, A. (2018). Characterisation of bare and tannase-loaded calcium alginate beads by microscopic, thermogravimetric, FTIR and XRD analyses. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115(1), 900-906.
- [15] Xiao, Q., Gu, X., & Tan, S. (2014). Drying process of sodium alginate films studied by two-dimensional correlation ATR-FTIR spectroscopy. *Food Chemistry*, 164(1), 179-184.
- [16] Sakugawa, K., Ikeda, A., Takemura, A., & Ono, H. (2004). Simplified method for estimation of composition of alginates by

- FTIR. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1372-1377.
- [17] Wang, J., & Guo, X. (2020). Adsorption kinetic models: Physical meanings, applications, and solving methods. *Journal of Hazardous Materials*, 390(1), 122156.
- [18] Murithi, G., Onindo, C. O., & Muthakia, G. K. (2012). Kinetic and equilibrium study for the sorption of Pb (II) ions from aqueous phase by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia*, 26(2), 181-193.
- [19] Santhi, T., Manonmani, S., & Smitha, T. (2010). Removal of methyl red from aqueous solution by activated carbon prepared from the *Annona squamosa* seed by adsorption. *Chemical Engineering Research Bulletin*, 14(1), 11-18.
- [20] Simpliciano, C., Clark, L., Asi, B., Chu, N., Mercado, M., Diaz, S., & Mobed-Miremadi, M. (2013). Cross-linked alginate film pore size determination using atomic force microscopy and validation using diffusivity determinations. *Journal of Surface Engineered Materials and Advance Technology*, 3(1), 1-12.
- [21] Deze, E. G., Papageorgiou, S. K., Favvas, E. P., & Katsaros, F. K. (2012). Porous alginate aerogel beads for effective and rapid heavy metal sorption from aqueous solutions: Effect of porosity in Cu²⁺ and Cd²⁺ ion sorption. *Chemical Engineering Journal*, 209(1), 537-546.
- [22] Gu, S., Kang, X., Wang, L., Lichtfouse, E., & Wang, C. (2019). Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 629-654.

THE STUDY OF TAXONOMIC AFFINITY IN 7 SPECIES OF ASTERACEAE FAMILY BASED ON MORPHOLOGICAL CHARACTERS

Elfa Dina Rahmah Nahdloh, Lutfi Adi Hermawan, Hafidha Asni Akmalia*, Putri Rabiatul Adawiyah

Department of Biology Education, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
Jl. Prof. Dr. Hamka, Ngaliyan, Semarang, Indonesia

*correspondence email: akmalia.h.a@walisongo.ac.id

Abstract

Morphological characters are important characters in determining plant relationships. This study aims to analyze the phenetic relationship of the 7 member of Asteraceae family based on morphological characters. The study was conducted in May – July 2022. We used 7 species of Asteraceae including *Ageratum conyzoides* L., *Ageratum houstonianum* Mill., *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray., *Sonchus arvensis* L., *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng.) DC., *Eupatorium odoratum* L., and *Tagetes erecta* L. The equipment used were cameras, plant description books, and NTSYS software for taxonomic affinity analysis were used in this study. The results of the Asteraceae dendrogram analysis showed that 2 clusters were formed, the first cluster containing the species *Ageratum conyzoides* L., *Ageratum houstonianum* Mill., *Tagetes erecta* L., *Sonchus arvensis* L., and *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng.) DC., while the second cluster consisted of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) and *Eupatorium odoratum* L. The closest similarity coefficient of 0.8 was in the genus *Ageratus* in the first cluster and *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) and *Eupatorium odoratum* L., in the second cluster. Based on this, it can be concluded that the morphological characters that influence the clustering of 7 species Asteraceae in this study are flower type, flower color, leaf base, leaf venation, leaf margin, and leaf color.

Keywords: Asteraceae, morphology, taxonomic affinity

Introduction

The diversity of plants in Indonesia is among highest in the world [1]. There are various kinds of flowering plants that are diverse, reaching 25,000 species. One of family members of flowering plants is Asteraceae whose habitat is quite wide ranging from subpolar to tropical areas. Family Asteraceae is a family that has members of second largest species in kingdom Plantae [1]. Its appearance is mostly in form of herbs, rarely in the form of trees. *Dasyphyllum excelsum* species in Chile or *Vernonia arborea* in Malaysia have tree appearances [2]. Anatomically, Asteraceae has many laticifer cells and resin channels [3]. Pertiwi specify that members of Asteraceae family have compound flowers and various types with pollen characters dominated by tricolporate type [1]. This family is known to have flower heads formed by hundreds or thousands of tiny individual flowers, called pseudanthium.

Various benefits and uses of Asteraceae have been proven by many researchers in addition to its usefulness as an ornamental plant [4]. Susandarini's research found that Asteraceae family in Tawangmangu is widely used as medicinal plants such as *Ageratum conyzoides*, *Bidens pilosa*, *Cosmos caudatus*, *Emilia sonchifolia*, *Tithonia diversifolia*, and *Sonchus arvensis* [5]. *Lactuca sativa* as reported by Tamokou [6] has properties to inhibit microbes. Many species of Asteraceae members have been

shown to have antioxidant activity [7] as evidenced in Rolnik's study which found promising antioxidant activity in extracts of *T. officinale*, *Sylibium marianum*, as well as *Artemisia absinthium* [2]. *Tagetes erecta* extract can even be used to kill *Aedes aegypti* larvae in Zulfikar's research [8]. In addition to medicinal benefits, apparently genus *Blume* in West Bengal is edible [9] and the species *Galinsoga parviflora* Cav and *Galinsoga quadriradiata* are also edible vegetables in the Wonosobo area, Indonesia [10].

The research related to taxonomy in this family has been carried out. Through morphological identification, researchers can identify characteristics of species. Identification continues the activity of clustering species in each taxon through analysis of relationships. Wortley describes the clustering of *Allittia*, *Castroviejoa*, *Lorandersonia*, *Pembertonia* and *Rhetinocarpha* which are members of Asteraceae based characteristics of pollen [11]. Hasanudin carried out phenetic analysis on Asteraceae where *Elephantopus scaber* and *Vernonia cinera* species had the closest relation as seen from the dissimilarity index of 0.28 [12]. Kalmuk stated that genus *Crepis* (member of Asteraceae) in Turkey could be grouped based achene micromorphology [13]. Not all species have been analyzed for phenetic relationships, so this study used species belonging to Asteraceae, consist of *Ageratum conyzoides* L., *Ageratum houstonianum*

Mill, *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray., *Sonchus arvensis* L., *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng.) DC., *Eupatorium odoratum* L., and *Tagetes erecta* L.

Method

This research was conducted in May – July 2022. The species used were 7 species of Asteraceae members including *Ageratum conyzoides* L., *Ageratum houstonianum* Mill., *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray., *Sonchus arvensis* L., *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng.) DC., *Eupatorium odoratum* L., and *Tagetes erecta* L., which grow in Demak and Semarang, Central Java. Observation tools used were camera, plant description book, and NTSYS software for phenetic relationship analysis. Morphological characters were observed in the leaves, stems, and flowers and then scored. A total of 14 morphological characters from leaf, stem, and flower organs were used as the basis for clustering including stem branching, stem surface, branch nature, leaf shape, leaf tip, leaf base, leaf venation, leaf margin, leaf color, leaf surface, flower type, flower color and presence of flower reproductive organs, completeness of floral ornaments (Table 1). The score results were analyzed using NTSys-PC version 2.02i software and clustering using UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). The final result is a dendrogram of Asteraceae taxonomic affinity based on morphological characters.

Results and Discussion

The 7 species used in this study are species that grow in Indonesia with habitats in rice fields and habitus in the form of shrubs and herbs. The habitus of these 7 species are shown in Figure 1. The dendrogram (Figure 2) shows that the 7 species used are divided into 2 clusters. The first cluster consisted of *Ageratum conyzoides* L., *Ageratum houstonianum* Mill., *Tagetes erecta* L., *Sonchus arvensis* L., and *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng.) DC., while the second cluster consisted of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray., and *Eupatorium odoratum* L. The two clusters are separated at a coefficient of 0.32. *Ageratum conyzoides* L., and *Ageratum houstonianum* Mill., which are in the first cluster have a similarity coefficient of 0.8 indicating that the two species are the most closely related when compared to *Tagetes erecta* L. This is indicated by many similarities in morphological characters

possessed by the genus *Ageratum* including stem branching, stem surface, branch nature, leaf shape, leaf tip, leaf base, leaf venation, leaf margin, leaf color, leaf surface, flower type, and the presence of reproductive organs. flowers, floral accessories. Only the color of the flowers distinguishes the two *Ageratum* species. *Sonchus arvensis* L., and *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng.) DC., have a similarity coefficient of 0.46 which makes this group has a far taxonomic affinity compared to the other 5 species. Morphological characters in form of leaf venation, leaf color and direction of stem growth in *Sonchus arvensis* L., and *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng.) DC., were same while other characters were different.

Tithonia diversifolia (Hemsl.) A.Gray., and *Eupatorium odoratum* L., were separated in the second cluster. The similarity coefficient for both is 0.8 as in the genus *Ageratum*. From the dendrogram we can also observe that the character of flower type, flower color, leaf base, leaf venation, leaf margin, and leaf color contributed to the clustering of 7 species into 2 major groups. Indeed, morphological characters are one of the practical taxonomic sources to discriminate groups [14], trace taxonomic affinity of the species [15] and the approach to using morphology in taxonomic affinity is very important because it can cluster species in their taxon correctly [16]. A total of 67 species of Berkheya (family Asteraceae) were grouped into 14 groups based on the morphology of the achene [17].

Saussurea bogedaensis was detected to be closely related to *S. involucrata* and *S. orgaadayi* in terms of morphology and genetics. *S. bogedaensis* can be distinguished from the other two species through its morphological characters in the form of the phyllaries and the indumentum [18]. In the *Petrosa* genus, the morphological characters used, namely leaf length, petiole length, and the presence of ray florets prove that these characters are very influential in the grouping of the genus [15]. Meanwhile, 13 members of Asteraceae were divided into 2 clusters based on the characteristics of stem diameter, base of upper leaf blade, upper leaf width, type of leaf attachment, flower color, and achene shape according to research by Susandarini [19]. Guzel reported that *Lactuca leucoclada* is very close to *Lactuca viminea* and *Lactuca orientalis* based on the irregular character of the leaves and stems [20]. Based on these studies, morphological characters are still considered relevant for grouping species so that research related to taxonomic affinity needs to be continued in depth.

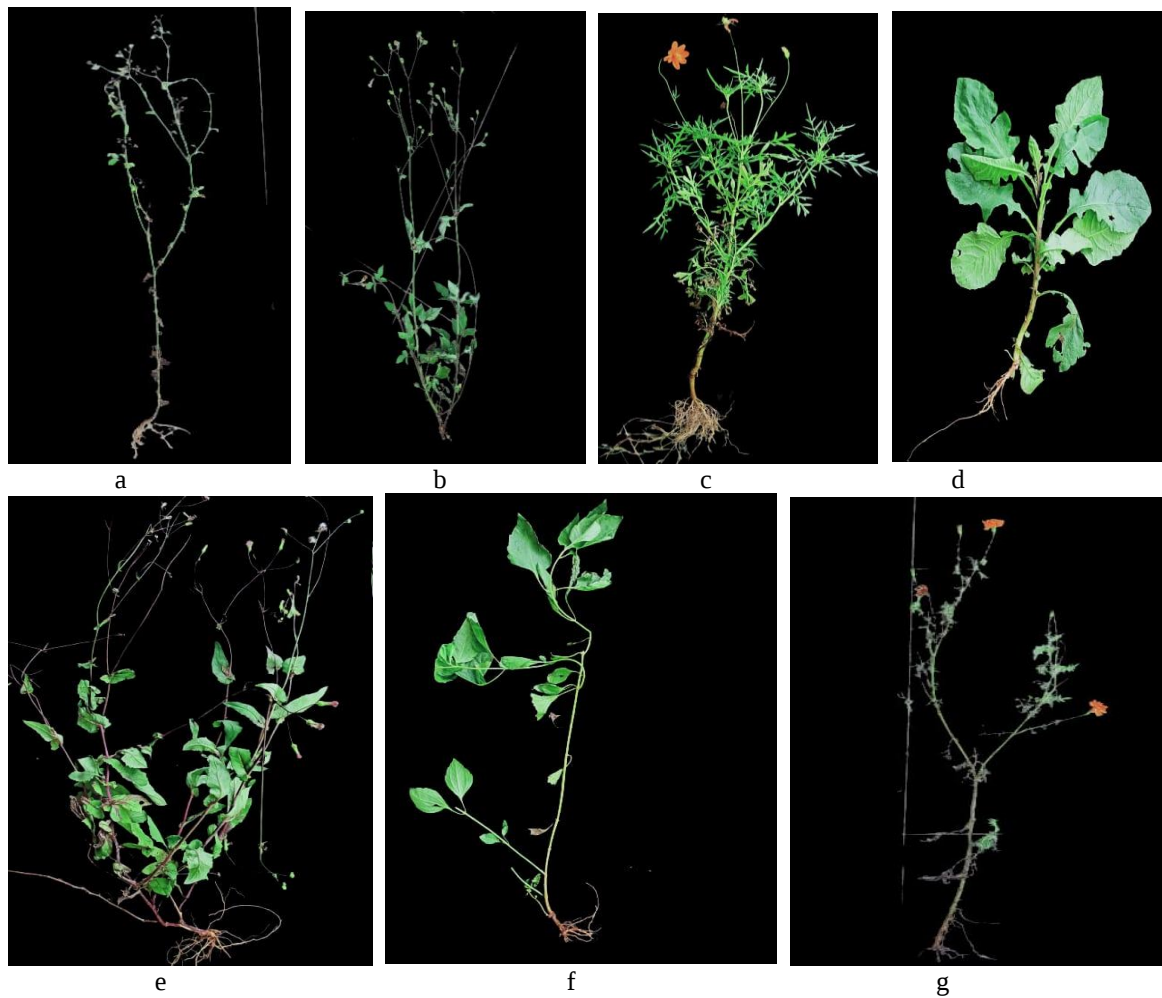
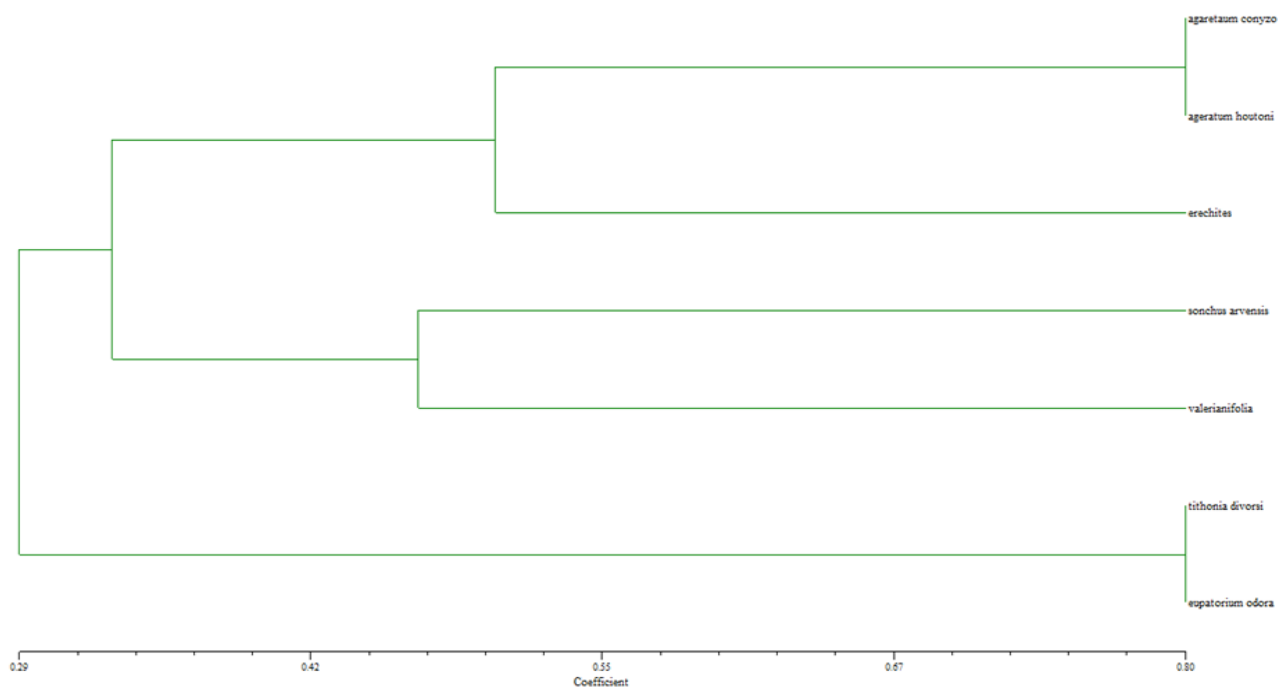


Figure 1. (a) Asteraceae morphology. A. *Ageratum conyzoides* L. (b) *Ageratum houstonianum* Mill. (c) *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. (d) *Sonchus arvensis* L. (e) *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng.) DC., (f) *Eupatorium odoratum* L. (g) *Tagetes erecta* L.



Gambar 2. (a) Asteraceae Dendrogram

Table 1. Morphological character of asteraceae family

No	Character	Species						
		A	B	C	D	E	F	G
1.	Flower type	Compound	Compound	Compound	Does not bloom	Compound	Does not bloom	Compound
2.	Flower color	White	Purple	Yellow	Does not bloom	White	Does not bloom	Yellow
3.	Branching of the stem	Dichotomous	Dichotomous	Dichotomous	Monopodial	Dichotomous	Dichotomous	Dichotomous
4.	Leaf shape	Ovoid	Ovoid	Inverted ovoid	Spathulatus	Elongated	Ovoid	Inverted ovoid
5.	Leaf Tips	Tapering	Pointed	Pointed	Blunt	Tapering	Tapering	Pointed
6.	Leaf Base	Grooved	Grooved	Pointed	Tapering	Grooved	Blunt	Pointed
7.	Leaf Venation	Pinnate	Pinnate	Palminervius	Pinnate	Pinnate	Pinnate	Palminervius
8.	Leaf Margin	Serratus	Serratus	Flat	Repandus	Serratus	Serratus	Flat
9.	Leaf Color	Dark green	Light green	Dark green	Dark green	Dark green	Light green	Light green
10.	Leaf Surface	Hairy	Hairy	No hair	Hairy	No hair	No hair	No hair
11.	Stem Surface	Hairy	Hairy	Hairy	Hairy	Soft	Hairy	Hairy
12.	The presence of reproductive organs in flowers	Only 1 reproductive organ in flower	Only 1 reproductive organ in flower	2 reproductive organs in flower	Does not bloom	Only 1 reproductive organ in flower	Does not bloom	2 reproductive organs in flower
13.	Completeness of flower jewelry	Complete	Complete	Complete	Does not bloom	Incomplete	Does not bloom	Complete
14.	The nature of the branches	Virga singularis	Virga singularis	Virgula	Virga	Virgula	Virgula	Virgula

Note: A: *Ageratum conyzoides* L.; B: *Ageratum houstonianum* Mill; C: *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray; D: *Sonchus arvensis* L.; E: *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng) DC.; F: *Eupatorium odoratum* L.; & G: *Tagetes erecta* L.

Conclusion

The closest phenetic relationship is in the species *Ageratum conyzoides* L., with *Ageratum houstonianum* Mill and *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray., with *Eupatorium odoratum* L. The similarity coefficient is the same, namely 0.8. Meanwhile, *Sonchus arvensis* L., and *Erechtites valerianifolia* (Link ex Spreng.) DC., have a similarity coefficient of 0.46 which indicates that the phenetic relationship is quite far. We recommend that further research in the Asteraceae family be expanded by using more species and adding morphological characters to extend studies in this family.

References

- [1] Pertiwi, R. H., Hendra, M., Jurusan, M., & Fmipa, B. (2015). Studi palinologi famili Asteraceae di Kebun Raya Universitas Mulawarman Samarinda (KRUS). In *Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA UNMUL* (Vol. 1, No. 1, pp. 1-7).
- [2] Rolnik, A., & Olas, B. (2021). The plants of the Asteraceae family as agents in the protection of human health. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 3009-3019.
- [3] Zhu, S., Yilin, C., Yousheng, C., Yourun, L., Shangwu, L., Xuejun, G., ... & Gottschlich, G. (2011). Asteraceae

- (Compositae). *Flora of China*; Wu, ZY, Raven, PH, Hong, DY, Eds, 20-21.
- [4] Andrade-Neto, V. F., Brandão, M. G., Oliveira, F. Q., Casali, V. W., Njaine, B., Zalis, M. G., & Krettli, A. U. (2004). Antimalarial activity of *Bidens pilosa* L.(Asteraceae) ethanol extracts from wild plants collected in various localities or plants cultivated in humus soil. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(8), 634-639.
- [5] Fauziana, M., & Susandarini, R. (2019). Species diversity and potential use of Asteraceae in Tawangmangu, Karanganyar Regency, Central Java. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 4(01), 18-23.
- [6] Tamokou, J. D. D., Mbaveng, A. T., & Kuete, V. (2017). Antimicrobial activities of African medicinal spices and vegetables. In *Medicinal spices and vegetables from Africa* (pp. 207-237). Academic Press.
- [7] Michel, J., Abd Rani, N. Z., & Husain, K. (2020). A review on the potential use of medicinal plants from Asteraceae and Lamiaceae plant family in cardiovascular diseases. *Frontiers in Pharmacology*, 11(1), 852-877.
- [8] Zulfikar, Z., Khairunnisa, K., & Yasir, Y. (2019). Pengaruh ekstrak daun bunga tahi ayam (*Tagetes erecta*) terhadap kematian larva *Aedes aegypti*. *Sel Jurnal Penelitian Kesehatan*, 6(2), 66-73.
- [9] Mitra, S., & Mukherjee, S. K. (2018). Studies on the ethnobotanically, economically and commercially important species of Asteraceae from West Bengal. *Journal of Economy, Environment and Society*, 2(2), 53-62.
- [10] Kurniawan, B., Purnomo, P., & Kasiamdari, R. S. (2022). Diversity, abundance, and traditional uses of Asteraceae species in Mount Bisma, Dieng plateau, Kejajar, Wonosobo, Central Java. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 7(1), 669-672.
- [11] Wortley, A. H., Blackmore, S., Chisoe, W. F., & Skvarla, J. J. (2012). Recent advances in Compositae (Asteraceae) palynology, with emphasis on previously unstudied and unplaced taxa. *Grana*, 51(2), 158-179.
- [12] Hasanuddin, H., & Fitriana, F. (2014). Hubungan kekerabatan fenetik 12 spesies anggota familia Asteraceae. *Jurnal EduBio Tropika*, 2(2), 187-250.
- [13] Besnard, G., Gaudeul, M., Laverigne, S., Muller, S., Rouhan, G., Sukhorukov, A. P., & Jabbour, F. (2018). Herbarium-based science in the twenty-first century. *Botany Letters*, 165(3-4), 323-327.
- [14] Viscosi, V., & Cardini, A. (2011). Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: a simplified protocol for beginners. *PloS One*, 6(10), 25630.
- [15] Klaassen, E. S., Kwembeya, E. G., & Maass, E. (2009). A taxonomic revision of the genus *Pentatrachia* (Asteraceae). *South African Journal of Botany*, 75(1), 153-164.
- [16] Agustiar, A. B., Masyitoh, D., Fibriana, I. D., Khumairoh, A. S., Rianti, K. A., Fitriani, N., & Akmalia, H. A. (2020). Phenetic kinship relationship of Apocynaceae family based on morphological and anatomical Characters. *Bioeduscience*, 4(2), 113-119.
- [17] Phaliso, N., McKenzie, R. J., Netnou-Nkoana, N. C., Karis, P. O., & Barker, N. (2016). *Reassessing taxonomic relationships in the Berckheya clade (Asteraceae, Arctotideae-Gorteriinae): The utility of achene morphology*.
- [18] Chen, J., & Wang, Y. J. (2018). New *Saussurea* (Asteraceae) species from Bogeda Mountain, eastern Tianshan, China, and inference of its evolutionary history and medical usage. *PloS One*, 13(7), 199-206.
- [19] Qatrunnada, Q., & Susandarini, R. (2022). Keanekaragaman dan hubungan kekerabatan fenetik spesies anggota famili Asteraceae di jalur pendakian Gunung Lawu berdasarkan karakter morfologis. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 24(1), 43-53.
- [20] Kandemir, A., Coşkunçelebi, K., Gültepe, M., Kilian, N., & Güzel, M. E. (2018). Contributions to the taxonomy of *Lactuca* (Asteraceae) in Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 42(2), 197-207.

ANALISIS TINGKAT KERAWANAN BENCANA ALAM BANJIR DI KABUPATEN PURBALINGGA DENGAN FUZZY LOGIC

ANALYSIS OF FLOOD VULNERABILITY LEVEL IN PURBALINGGA REGENCY WITH FUZZY LOGIC

Nisrina Amaliyah Wibowo*, Agus Maman Abadi

Jurusan Pendidikan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

*email korespondensi: nisrinaamaliyah.2018@student.uny.ac.id

Abstrak

Banjir merupakan peristiwa atau keadaan terendahnya suatu daerah karena volume air meningkat yang dapat terjadi di wilayah perkotaan atau perdesaan. Salah satu upaya untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan dari bencana banjir adalah dengan mengetahui klasifikasi tingkat kerawanan bencana banjir. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui analisis tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga dengan *fuzzy logic*. Untuk menentukan tingkat kerawanan bencana alam banjir digunakan parameter penyebab banjir di antaranya data curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, ketinggian wilayah, dan tutupan lahan. Data tersebut diolah dengan *overlay* sehingga diperoleh data *input* untuk proses *fuzzy logic* Mamdani dengan langkah-langkah di antaranya pembentukan himpunan *fuzzy*, basis aturan, fungsi implikasi MIN, komposisi aturan dengan MAX, dan *defuzzifikasi* sehingga diperoleh tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kabupaten Purbalingga memiliki tingkat kerawanan rendah sebanyak 25 wilayah dengan luas 57,5467Ha, kerawanan sedang sebanyak 317 wilayah dengan luas 2303,385Ha, kerawanan tinggi sebanyak 756 wilayah dengan luas 11232,79Ha dan kerawanan sangat tinggi sebanyak 188 wilayah dengan luas 5595,286Ha.

Kata kunci: *fuzzy logic*, kerawanan, banjir, metode *storie*.

Abstract

Flood is an event or condition in which an area is submerged due to increased water volume which can occur in urban or rural areas. One of the efforts to minimize the impact of floods is to determine the classification of the level of vulnerability to flooding. The purpose of this study is to determine the level of flood vulnerability analysis in Purbalingga Regency with *fuzzy logic*. In determining the level of vulnerability to natural disasters, flood-causing parameters were used including data on rainfall, soil type, slope, area height, and land cover. The data was processed by overlaying so that the input data for the Mamdani *fuzzy logic* process was obtained with the steps including the formation of fuzzy sets, rule base, MIN implication function, composition of rules with MAX, and defuzzification in order to obtain the level of flood vulnerability in Purbalingga Regency. The results showed that Purbalingga Regency has a low vulnerability level for 25 region with an area of 57.5467Ha, 317 region of moderate vulnerability with an area of 2303.385Ha, high vulnerability for 756 region with an area of 11232.79Ha and very high vulnerability for 188 region with an area of 5595.286Ha.

Keywords: *fuzzy logic*, flood vulnerability, *storie*. method

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang terletak pada pertemuan 3 lempeng yaitu Lempeng Indo-Australia, Pasifik dan Eurasia [1]. Selain itu, Indonesia masuk ke dalam daerah beriklim tropis sehingga mempunyai dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan [2]. Hal ini menyebabkan Indonesia menjadi rawan terhadap bencana alam. Bencana adalah peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia, sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak

psikologis [3]. Salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah banjir. Banjir merupakan peristiwa atau keadaan dimana terendahnya suatu daerah atau daratan karena volume air yang meningkat [4].

Banjir adalah hasil interaksi antar manusia dengan alam dan sistem alam yang timbul dari proses mencoba menggunakan lahan untuk berbagai aktivitas [5]. Bencana banjir disebabkan oleh dua kategori yaitu banjir alami dan banjir akibat aktivitas manusia. Banjir alami dipengaruhi oleh curah hujan, fisiografi, erosi dan sedimentasi, kapasitas sungai, kapasitas drainase dan pengaruh air pasang. Sedangkan, akibat aktivitas manusia disebabkan oleh perubahan kondisi daerah aliran sungai, kawasan pemukiman di sekitar bantaran,

rusaknya drainase lahan, kerusakan bangunan pengendali banjir, rusaknya hutan, dan perencanaan sistem pengendali banjir yang tidak tepat [6]. Bencana banjir dapat terjadi di wilayah perkotaan atau perdesaan, salah satunya di Kabupaten Purbalingga.

Kabupaten Purbalingga menduduki peringkat ke-9 dari 35 Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah dengan nilai 159,2 kategori kelas risiko tinggi terhadap bencana alam [7]. Pada tahun 2021 di Kabupaten Purbalingga tercatat terjadi banjir pada 2 kecamatan yaitu Kecamatan Kaligondang dan Kecamatan Kemangkong [8]. Pada tahun sebelumnya banjir juga mendominasi di beberapa daerah di Purbalingga, seperti Desa Jetis, Gambarsari, Muntang, Kalialang, Sumilir dan Toyareja [9]. Meskipun tidak terdapat korban jiwa, bencana banjir menyebabkan kerugian yang cukup besar.

Salah satu upaya untuk memperkecil ancaman resiko bencana adalah dengan kegiatan mitigasi berupa pemetaan bencana [10]. Pemetaan bencana dapat dilakukan dengan mengklasifikasikan daerah rawan banjir. Metode yang dapat digunakan dalam mengklasifikasikan daerah rawan banjir adalah metode *fuzzy logic*. Metode *fuzzy logic* merupakan sistem cerdas yang dapat digunakan sebagai sistem kontrol dan pemecahan masalah yang dapat digunakan untuk mendeteksi daerah rawan bencana [11]. Metode *fuzzy* memungkinkan toleransi terhadap *input*, proses dan *output* yang bersifat tidak akurat (*imprecision*), tidak pasti (*uncertainty*) dan setengah benar (*partial truth*) sehingga mampu memberikan hasil yang maksimal [12].

Penelitian ini menggunakan metode *fuzzy logic* Mamdani karena memiliki ketepatan dan keakuratan yang lebih tinggi dari metode Sugeno maupun metode Tsukamoto [13]. Dalam menentukan tingkat kerawanan banjir dengan *fuzzy logic* Mamdani diperlukan bantuan *software* ArcGIS dalam proses *overlay* parameter penyebab banjir dan pembentukan peta tingkat kerawanan banjir yang dihasilkan oleh pengolahan Matlab dengan metode *fuzzy logic*. Penelitian ini juga menggunakan metode *storie* sebagai perbandingan dengan metode *fuzzy logic*. Metode *storie* adalah metode semi kuantitatif untuk penilaian tanah berdasarkan keadaan tanah yang digunakan untuk menentukan potensi pemanfaatan tanah dan kapasitas produktivitas tanaman [14]. Metode *storie* dapat digunakan untuk menentukan tingkat kerentanan bencana alam menggunakan sistem informasi geografis.

Beberapa penelitian menggunakan metode logika *fuzzy* di antaranya penelitian tingkat kerawanan tanah longsor di Yogyakarta dengan parameter kemiringan lereng, curah hujan, jenis tanah, dan penggunaan lahan. Penelitian tersebut menghasilkan akurasi mencapai 100% dengan tingkat kerawanan rendah seluas 158.371,86 Ha, kerawanan sedang seluas 148.984,64 Ha, kerawanan tinggi seluas 7.969,18 Ha, dan kerawanan sangat tinggi seluas 53,64 Ha [15]. Selain itu, penelitian menggunakan metode indeks *storie* di Kebumen, Jawa Tengah yang menghasilkan potensi longsor sedang mendominasi 60% daerah di Kabupaten Kebumen bagian tengah dari barat ke timur, potensi longsor rendah mencapai 30% berada pada bagian selatan, dan potensi sangat rendah sekitar 10% berada pada wilayah utara dan selatan [16]. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan analisis tingkat kerawanan banjir dengan model *fuzzy logic* di Kabupaten Purbalingga. Hasil akurasi model *fuzzy logic* dibandingkan dengan metode *storie*.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan 2 metode yaitu metode *storie* dengan *software* ArcGIS dan metode *fuzzy logic* dengan *software* Matlab. Data penelitian diperoleh dari BPBD Kabupaten Purbalingga dalam rentang tahun 2018-2021. Sebelum melakukan pengolahan data dilakukan pembobotan pada masing-masing variabel sesuai Tabel 1 - Tabel 5.

Tabel 1. Klasifikasi Curah Hujan

Curah hujan (mm/th)	Kategori	Nilai
<3390	Sangat Rendah	1
3390-3430	Rendah	2
3430-3470	Sedang	3
3470-3510	Tinggi	4
>3510	Sangat Tinggi	5

Tabel 2. Klasifikasi Jenis Tanah

Jenis Tanah	Kategori	Nilai
Litosol	Sangat Peka	1
Grumosol	Peka	2
Mediterranean	Sedang	3
Latosol	Agak Peka	4
Aluvial	Tidak Peka	5

Tabel 3. Klasifikasi Kemiringan Lereng

Kemiringan (%)	Kategori	Nilai
----------------	----------	-------

0-8	Datar	5
8-15	Landai	4
15-25	Agak Curam	3
25-45	Curam	2
>45	Sangat Curam	1

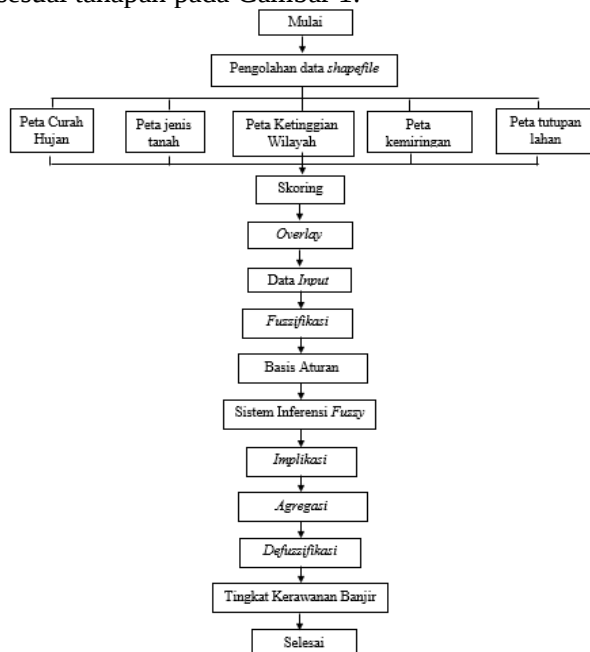
Tabel 4. Klasifikasi Ketinggian Wilayah

Ketinggian (mdpl)	Kategori	Nilai
0-25	Sangat Rendah	5
25-100	Rendah	4
100-500	Sedang	3
5000-1000	Tinggi	2
>1000	Sangat Tinggi	1

Tabel 5. Klasifikasi Jenis Lahan

Jenis Lahan	Kategori	Nilai
Semak Belukar, Padang Rumput	Sangat Baik	1
Perkebunan, Tegalan	Baik	2
Sawah	Agak Baik	3
Pemukiman	Buruk	4

Data *shapefile* parameter penyebab banjir diolah menggunakan *overlay* pada *software* ArcGIS untuk mendapatkan data *input* untuk selanjutnya diolah dengan metode *fuzzy logic* sehingga didapatkan tingkat kerawanan banjir sesuai tahapan pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Perancangan tingkat kerawanan banjir

Hasil dan Pembahasan

Tingkat kerawanan dengan GIS

Untuk menentukan tingkat kerawanan banjir dengan *ArcGis* dilakukan proses *overlay* dengan menggabungkan 5 peta parameter penyebab banjir di antaranya peta curah hujan, peta jenis tanah, peta kemiringan lereng, peta ketinggian wilayah dan peta tutupan lahan. Proses *overlay* menghasilkan 1286 data wilayah pada 5 kecamatan di Kabupaten Purbalingga. Untuk menentukan tingkat kerawanan banjir digunakan metode *storie* dengan persamaan (1) berikut :

$$L = A \times \frac{B}{10} \times \frac{C}{10} \times \frac{D}{10} \times \frac{E}{10} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) dapat ditunjukkan bahwa *L* merupakan tingkat kerawanan, *A* merupakan curah hujan, *B* merupakan jenis tanah, *C* merupakan kemiringan lereng, *D* merupakan ketinggian wilayah dan *E* merupakan tutupan lahan

Setelah mendapatkan hasil *overlay* dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (1) sehingga dihasilkan tingkat kerawanan banjir dengan metode *storie* pada Tabel 6. Pada variabel curah hujan, jenis tanah, dan tutupan lahan semakin besar bobot maka semakin tinggi pengaruh terhadap tingkat kerawanan banjir. Sedangkan pada variabel kemiringan lereng dan ketinggian wilayah semakin besar bobot maka semakin rendah pengaruh terhadap tingkat kerawanan banjir.

Tingkat Kerawanan dengan *Fuzzy Logic*

Untuk menentukan tingkat kerawanan banjir dengan metode *fuzzy logic* digunakan data hasil *overlay* sebanyak 1286 data titik wilayah. Setelah itu dilakukan tujuh langkah untuk mendapatkan tingkat kerawanan banjir. Langkah pertama yaitu menentukan variabel *input* dan variabel *output*. Variabel *input* terdiri dari 5 parameter penyebab banjir. Sedangkan variabel *output* merupakan tingkat kerawanan banjir.

Peng-input-an data variabel *input* dan *output* dilakukan pada Toolbox FIS Editor begitu juga dalam menentukan metode MIN pada proses *implikasi*, metode MAX pada *agregasi*, dan metode *centroid* pada *defuzzifikasi*. Langkah kedua menentukan himpunan semesta dari himpunan *fuzzy* sesuai Tabel 1 sampai Tabel 5 dari masing-masing variabel.

Tabel 6. Pembobotan Tingkat Kerawanan Banjir dengan Metode *Storie*

No	Kabupaten	Kecamatan	Curah Hujan	Jenis Tanah	Kemiringan Lereng	Ketinggian Wilayah	Tutupan Lahan	L	Tingkat Kerawanan
1	Bukateja	Bukateja	3	5	1	2	1	0,003	Tidak Rawan
2	Bukateja	Bukateja	4	5	1	2	1	0,004	Agak Rawan
3	Bukateja	Bukateja	2	5	1	2	2	0,004	Agak Rawan
4	Bukateja	Bukateja	3	5	1	2	2	0,006	Agak Rawan
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1284	Purbalingga	Toyareja	2	5	2	2	3	0,012	Agak Rawan
1285	Purbalingga	Toyareja	2	5	1	2	2	0,004	Agak Rawan
1286	Purbalingga	Toyareja	3	5	1	2	2	0,006	Agak Rawan

Tabel 7. Himpunan Universal

Variabel	Himpunan Semesta
Curah Hujan	[3350,3550]
Jenis Tanah	[0,6]
Kemiringan Lereng	[0,55]
Ketinggian Wilayah	[0,1400]
Tutupan Lahan	[0,5]

Langkah ketiga yaitu menentukan fungsi keanggotaan pada masing-masing variabel. Fungsi keanggotaan dapat dibangun melalui *Membership function Editor*. Pada himpunan *fuzzy* variabel curah hujan memiliki fungsi keanggotaan (2)–(6):

$$\mu_{\text{sangat rendah}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 3370 \\ \frac{3410-x}{40} & ; 3370 \leq x \leq 3410 \\ 0 & ; x \geq 3410 \end{cases} \quad (2)$$

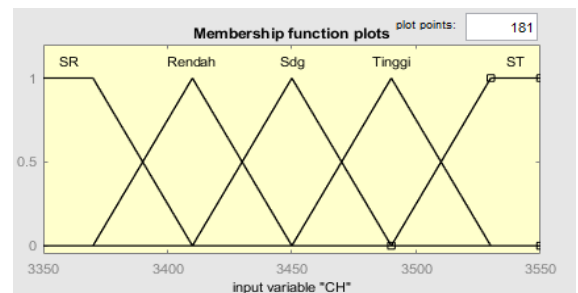
$$\mu_{\text{rendah}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3370 \text{ atau } x \geq 3450 \\ \frac{x-3370}{40} & ; 3370 \leq x \leq 3410 \\ \frac{3450-x}{40} & ; 3410 \leq x \leq 345 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{\text{sedang}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3410 \text{ atau } x \geq 3490 \\ \frac{x-3410}{40} & ; 3410 \leq x \leq 3450 \\ \frac{3490-x}{40} & ; 3450 \leq x \leq 349 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{tinggi}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3450 \text{ atau } x \geq 3530 \\ \frac{x-3450}{40} & ; 3450 \leq x \leq 3490 \\ \frac{3530-x}{40} & ; 3490 \leq x \leq 353 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{sangat tinggi}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3490 \\ \frac{x-3490}{40} & ; 3490 \leq x \leq 3530 \\ 1 & ; x \geq 3530 \end{cases} \quad (6)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel curah hujan ditunjukkan pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Fungsi keanggotaan curah hujan

Untuk himpunan *fuzzy* variabel jenis tanah memiliki fungsi keanggotaan (7)–(11):

$$\mu_{\text{sangat peka}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 1 \\ \frac{2-x}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & ; x \geq 2 \end{cases} \quad (7)$$

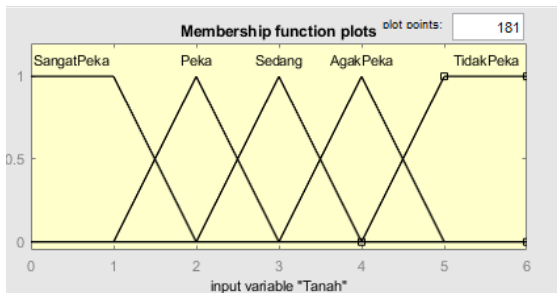
$$\mu_{\text{peka}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{x-1}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{3-x}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{\text{sedang}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{x-2}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \\ \frac{4-x}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{agak peka}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{x-3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ \frac{5-x}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{tidak peka}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 4 \\ \frac{x-4}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \\ 1 & ; x \geq 5 \end{cases} \quad (11)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel jenis tanah ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan jenis tanah

Untuk himpunan fuzzy variabel kemiringan lereng memiliki fungsi keanggotaan (12)–(16):

$$\mu_{\text{datar}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 4 \\ \frac{11,5-x}{7,5} & ; 4 \leq x \leq 11,5 \\ 0 & ; x \geq 11,5 \end{cases} \quad (12)$$

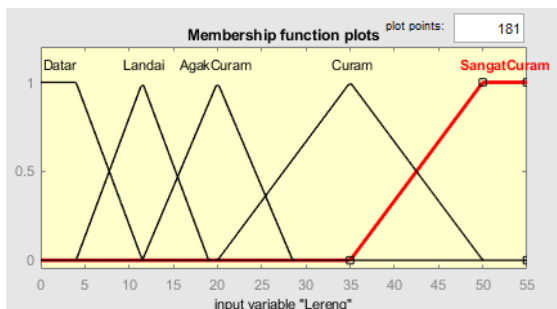
$$\mu_{\text{landai}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 4 \text{ atau } x \geq 19 \\ \frac{x-4}{7,5} & ; 4 \leq x \leq 11,5 \\ \frac{19-x}{7,5} & ; 11,5 \leq x \leq 19 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{\text{agak curam}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 11,5 \text{ atau } x \geq 28,5 \\ \frac{x-11,5}{8,5} & ; 11,5 \leq x \leq 20 \\ \frac{28,5-x}{8,5} & ; 20 \leq x \leq 28,5 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{\text{curam}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 20 \text{ atau } x \geq 50 \\ \frac{x-20}{15} & ; 20 \leq x \leq 35 \\ \frac{50-x}{15} & ; 35 \leq x \leq 50 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{\text{sangat curam}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 35 \\ \frac{x-35}{15} & ; 35 \leq x \leq 50 \\ 1 & ; x \geq 50 \end{cases} \quad (16)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel kemiringan lereng ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan lereng

Untuk himpunan fuzzy variabel ketinggian wilayah memiliki fungsi keanggotaan (17)–(21):

$$\mu_{\text{sangat rendah}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 12,5 \\ \frac{62,5-x}{50} & ; 12,5 \leq x \leq 62,5 \\ 0 & ; x \geq 62,5 \end{cases} \quad (17)$$

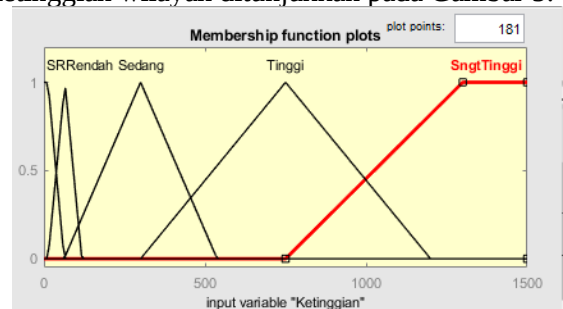
$$\mu_{\text{rendah}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 12,5 \text{ atau } x \geq 117,5 \\ \frac{x-12,5}{50} & ; 12,5 \leq x \leq 62,5 \\ \frac{112,5-x}{50} & ; 62,5 \leq x \leq 112,5 \end{cases} \quad (18)$$

$$\mu_{\text{sedang}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 62,5 \text{ atau } x \geq 537,5 \\ \frac{x-62,5}{237,5} & ; 62,5 \leq x \leq 300 \\ \frac{537,5-x}{237,5} & ; 300 \leq x \leq 537,5 \end{cases} \quad (19)$$

$$\mu_{\text{tinggi}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 300 \text{ atau } x \geq 1200 \\ \frac{x-300}{450} & ; 300 \leq x \leq 750 \\ \frac{1200-x}{450} & ; 750 \leq x \leq 1200 \end{cases} \quad (20)$$

$$\mu_{\text{sangat tinggi}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 750 \\ \frac{x-750}{450} & ; 750 \leq x \leq 1200 \\ 1 & ; x \geq 1200 \end{cases} \quad (21)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel ketinggian wilayah ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan ketinggian

Untuk himpunan fuzzy variabel tutupan lahan memiliki fungsi keanggotaan (22)–(25):

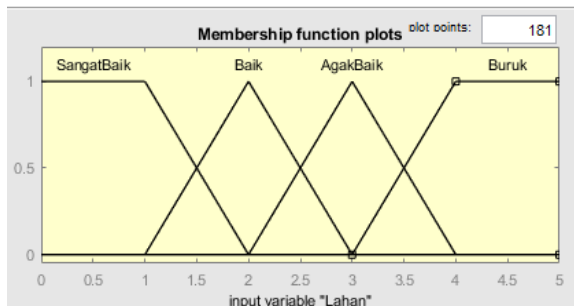
$$\mu_{\text{sangat baik}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 1 \\ \frac{2-x}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & ; x \geq 2 \end{cases} \quad (22)$$

$$\mu_{baik} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{x-1}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{3-x}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \end{cases} \quad (23)$$

$$\mu_{agak\ baik} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{x-2}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \\ \frac{4-x}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \end{cases} \quad (24)$$

$$\mu_{beresiko} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \\ \frac{x-3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ 1 & ; x \geq 4 \end{cases} \quad (25)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel tutupan lahan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Fungsi keanggotaan tutupan lahan

Untuk himpunan fuzzy variabel kerawanan banjir sebagai *output* memiliki fungsi keanggotaan (26) – (30):

$$\mu_{sangat\ rendah} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 1 \\ \frac{2-x}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & ; x \geq 2 \end{cases} \quad (26)$$

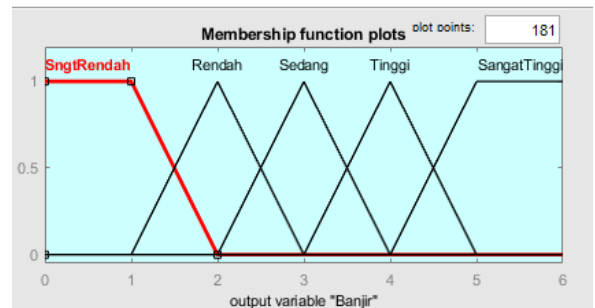
$$\mu_{rendah} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 1 \text{ atau } x \geq 3 \\ \frac{x-1}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ \frac{3-x}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \end{cases} \quad (27)$$

$$\mu_{sedang} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 2 \text{ atau } x \geq 4 \\ \frac{x-2}{1} & ; 2 \leq x \leq 3 \\ \frac{4-x}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \end{cases} \quad (28)$$

$$\mu_{tinggi} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{x-3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ \frac{5-x}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \end{cases} \quad (29)$$

$$\mu_{sangat\ tinggi} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 4 \\ \frac{x-4}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \\ 1 & ; x \geq 5 \end{cases} \quad (30)$$

Dengan grafik fungsi keanggotaan variabel kerawanan banjir ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Fungsi keanggotaan kerawanan banjir

Langkah keempat yaitu menentukan basis aturan fuzzy lengkap yang didasarkan dari banyaknya himpunan fuzzy pada setiap *input*. Dalam penelitian ini, basis aturan fuzzy yang terbentuk sebanyak 2500 aturan. Untuk menentukan aturan digunakan bobot pada setiap parameter menggunakan persamaan (31):

$$K = \sum_{i=1}^5 x_i \quad (31)$$

Berdasarkan persamaan (31) diketahui bahwa K merupakan nilai kerawanan, x_i merupakan bobot parameter ke-i. Dengan klasifikasi $K \leq 8$ untuk tingkat kerawanan sangat rendah, $8 < K \leq 12$ untuk tingkat kerawanan rendah, $12 < K \leq 16$ untuk tingkat kerawanan sedang, $16 < K \leq 20$ untuk tingkat kerawanan tinggi, serta $K > 20$ untuk tingkat kerawanan sangat tinggi.

Basis aturan fuzzy yang terbentuk sebagai berikut :

- [1] IF (curah hujan sangat rendah) AND (jenis tanah sangat peka) AND (kemiringan lereng sangat curam) AND (ketinggian wilayah sangat tinggi) AND (tutupan lahan sangat baik) THEN (tingkat kerawanan banjir sangat rendah)
- [2] IF (curah hujan sangat rendah) AND (jenis tanah sangat peka) AND (kemiringan lereng sangat curam) AND (ketinggian wilayah sangat tinggi) AND (tutupan lahan baik) THEN (tingkat kerawanan banjir sangat rendah)
- [2] IF (curah hujan sangat rendah) AND (jenis tanah sangat peka) AND (kemiringan lereng sangat curam) AND (ketinggian wilayah sangat tinggi) AND (tutupan lahan agak baik) THEN (tingkat kerawanan banjir sangat rendah)

[2500] IF (curah hujan sangat tinggi) AND (jenis tanah tidak peka) AND (kemiringan lereng datar) AND (ketinggian wilayah sangat rendah) AND (tutupan lahan sangat baik) THEN (tingkat kerawanan banjir sangat tinggi)

Langkah kelima yaitu aplikasi fungsi *implikasi*. Dalam *fuzzy* Mamdani digunakan fungsi *implikasi* MIN atau digunakan nilai terkecil dari perhitungan nilai keanggotaan pada setiap variabel *input*. Langkah keenam yaitu komposisi antar aturan. Komposisi aturan merupakan kumpulan hasil dari semua aplikasi fungsi aturan yang berlaku dalam perhitungan suatu data *input*. Hasil implikasi fungsi menggunakan metode MAX kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikan ke dalam *output* untuk keputusan akhir.

Langkah ketujuh yaitu *defuzzifikasi*. Gabungan himpunan *fuzzy* konsekuen aturan atau maksimum dari derajat keanggotaan semua aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan domain himpunan *fuzzy*. Dalam penelitian ini digunakan metode *centroid*. Metode *centroid* adalah solusi *crisp* yang diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) dengan persamaan (32) berikut:

$$z^* = \frac{\int_z \mu(z)z \, dz}{\int_z \mu(z) \, dz} \quad (32)$$

Berikut contoh untuk menentukan tingkat kerawanan banjir pada titik data wilayah pertama di Kecamatan Bukateja dengan dengan luas 7,002 Ha dengan curah hujan 3430-3470 mm/th, jenis tanah aluvial, kemiringan lereng 0-8%, ketinggian wilayah 25-100mdpl, dan tutupan lahan padang rumput.

a. Curah hujan

Curah hujan antara 3430-3470mm/th sehingga diambil nilai tengah 3450mm/th untuk dilakukan perhitungan *fuzzifikasi* dengan persamaan (3) dan (4), sebagai berikut

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3370 \text{ atau } x \geq 3450 \\ \frac{x - 3370}{40} & ; 3370 \leq x \leq 3410 \\ \frac{3450 - x}{40} & ; 3410 \leq x \leq 3450 \end{cases}$$

$$\mu_{rendah}(x) = 0$$

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3410 \text{ atau } x \geq 3490 \\ \frac{x - 3410}{40} & ; 3410 \leq x \leq 3450 \\ \frac{3490 - x}{40} & ; 3450 \leq x \leq 3490 \end{cases}$$

$$\mu_{sedang}(x) = 1$$

Maka, curah hujan termasuk dalam himpunan *fuzzy* sedang dengan derajat keanggotaan 1.

b. Jenis tanah

Jenis tanah Aluvial memiliki nilai 5. Berikut perhitungan *fuzzifikasi* dengan persamaan (10) dan (11) untuk variabel jenis tanah.

$$\mu_{agak peka}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{x - 3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ \frac{5 - x}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{agak peka}(x) = 0$$

$$\mu_{tidak peka}(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 4 \\ \frac{x - 4}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \\ 1 & ; x \geq 5 \end{cases}$$

$$\mu_{tidak peka}(x) = 1$$

Maka, jenis tanah Aluvial termasuk dalam himpunan *fuzzy* tidak peka dengan derajat keanggotaan 1.

c. Kemiringan lereng

Kecamatan Bukateja memiliki kemiringan lereng antara 0°-8° sehingga diambil nilai tengah 4°. Untuk perhitungan *fuzzifikasi* menggunakan persamaan (12).

$$\mu_{datar} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 4 \\ \frac{11,5 - x}{7,5} & ; 4 \leq x \leq 11,5 \\ 0 & ; x \geq 11,5 \end{cases}$$

$$\mu_{datar} = 1$$

Maka, kemiringan lereng termasuk dalam himpunan *fuzzy* datar dengan derajat keanggotaan 1.

d. Ketinggian wilayah

Ketinggian wilayah antara 25-100mdpl sehingga diambil nilai tengah 62,5mdpl. Untuk menghitung *fuzzifikasi* dengan persamaan (17) dan (18).

$$\mu_{\text{sempit}}(x) = \begin{cases} 1 & ; x \leq 12,5 \\ \frac{62,5 - x}{50} & ; 12,5 \leq x \leq 62,5 \\ 0 & ; x \geq 62,5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{sempit sempit}}(x) = 0$$

$$\mu_{\text{lebar}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 12,5 \text{ atau } x \geq 117,5 \\ \frac{x-12,5}{50} & ; 12,5 \leq x \leq 62,5 \\ \frac{117,5-x}{50} & ; 62,5 \leq x \leq 117,5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{lebar}} = 1$$

Maka, ketinggian wilayah termasuk dalam himpunan *fuzzy* rendah dengan derajat keanggotaan 1.

e. Tutupan lahan

Sebagian wilayah Kecamatan Bukateja tertutup lahan jenis padang rumput dengan nilai 1. Perhitungan *fuzzifikasi* dengan persamaan (22) berikut :

$$\mu_{\text{sempit}} = \begin{cases} 1 & ; x \leq 1 \\ \frac{2-x}{1} & ; 1 \leq x \leq 2 \\ 0 & ; x \geq 2 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{sempit}} = 1$$

Maka, tutupan lahan jenis padang rumput termasuk dalam himpunan *fuzzy* sangat baik dengan derajat keanggotaan 1. Kemudian aplikasi fungsi *implikasi* MIN atau menggunakan nilai terkecil dari perhitungan nilai keanggotaan pada setiap variabel *input*. Dari 2500 aturan pada bagian IF yang nilai keanggotaannya tidak nol semua hanya pada *rule* 1493. Sedangkan untuk aturan yang lain ada nilai keanggotaan nol. [1493] IF (curah hujan sedang) AND (jenis tanah tidak peka) AND (kemiringan lereng datar) AND (ketinggian wilayah rendah) AND (tutupan lahan sangat baik) THEN (tingkat kerawanan banjir tinggi).

$$\alpha - \text{predikat} = \min(\mu(3450))_{\text{sedang}}$$

$$\cap \min(\mu(5))_{\text{tidak peka}}$$

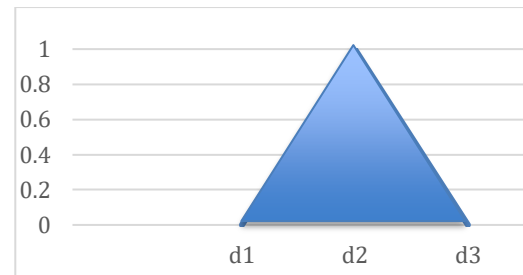
$$\cap \min(\mu(4))_{\text{datar}}$$

$$\cap \min(\mu(62,5))_{\text{rendah}}$$

$$\cap \min(\mu(1))_{\text{sangat baik}}$$

$$= \min(1; 1; 1; 1; 1) = 1$$

Setelah aplikasi fungsi *implikasi* dilakukan komposisi antar aturan. Hasil *implikasi* fungsi menggunakan metode MAX pada wilayah Kecamatan Bukateja ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Daerah hasil komposisi

Gambar 8 terbagi menjadi 3 bagian daerah hasil, yaitu D1, D2, dan D3. Untuk menemukan fungsi keanggotaan hasil komposisi, perlu dicari nilai pembatas d_i untuk $i = 1, 2, 3$. Penentuan nilai d_i didasarkan pada fungsi keanggotaan yang sesuai dengan *consequent* pada aturan *fuzzy*. Sebagai contoh pada daerah Bukateja dengan tingkat kerawanan tinggi dengan persamaan (29).

$$\mu_{\text{tinggi}} = \begin{cases} 0 & ; x \leq 3 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{x-3}{1} & ; 3 \leq x \leq 4 \\ \frac{5-x}{1} & ; 4 \leq x \leq 5 \end{cases}$$

Persamaan (29) dapat digunakan untuk mencari nilai d_i dengan derajat keanggotaan diubah berdasarkan Gambar 7, sebagai berikut:

$$\frac{d_1 - 3}{1} = 0 \rightarrow d_1 = 3$$

$$\frac{d_2 - 3}{1} = 1 \rightarrow d_2 = 4$$

$$\frac{5 - d_3}{1} = 0 \rightarrow d_3 = 5$$

Pada Gambar 8 terlihat hasil *inferensi fuzzy* berupa hasil komposisi aturan yang membentuk fungsi keanggotaan hasil komposisi aturan sesuai persamaan (31) sebagai berikut:

$$\mu(z) = \begin{cases} 0 & ; z \leq 3 \text{ atau } z \geq 5 \\ \frac{z-3}{1} & ; 3 \leq z \leq 4 \\ \frac{5-z}{1} & ; 4 \leq z \leq 5 \end{cases} \quad (33)$$

Setelah membentuk fungsi hasil komposisi dilakukan proses *defuzzifikasi* dengan metode *centroid*. Untuk perhitungan *defuzzifikasi* atau nilai

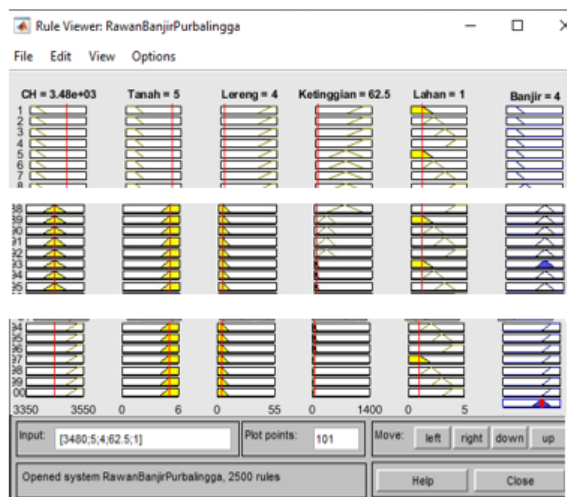
z pada wilayah Kecamatan Bukateja dengan persamaan (32).

$$z^* = \frac{\int_V z \mu_{B'}(z) dz}{\int_V \mu_{B'}(z) dz}$$

$$z^* = \frac{\int_3^4 z \left(\frac{z-3}{1}\right) dz + \int_4^5 z \left(\frac{5-z}{1}\right) dz}{\int_3^4 \left(\frac{z-3}{1}\right) dz + \int_4^5 \left(\frac{5-z}{1}\right) dz}$$

$$z^* = \frac{11/6 + 13/6}{1/2 + 1/2} = 4$$

Dari perhitungan di atas diperoleh nilai *output* 4. Nilai *output* 4 menunjukkan bahwa tingkat kerawanan tinggi sesuai pada klasifikasi fungsi keanggotaan variabel kerawanan banjir sesuai dengan persamaan (29). Sebagian wilayah Bukateja termasuk dalam wilayah dengan kerawanan tinggi. Sedangkan perhitungan dengan Matlab dilakukan dengan memasukkan 5 parameter pada kolom dialog *input Rule Viewer* dan menghasilkan *output* 4 yang menunjukkan bahwa Kecamatan Bukateja termasuk dalam wilayah dengan tingkat kerawanan banjir yang tinggi.



Gambar 9. Hasil *output* Desa Bukateja

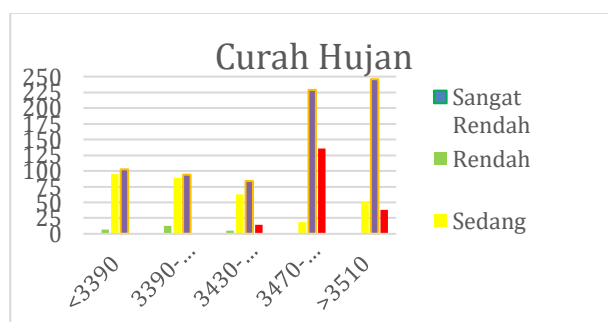
Selanjutnya untuk perhitungan seluruh titik data wilayah yang lain dilakukan menggunakan *software* Matlab untuk memperoleh hasil *output* berupa tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga sesuai pada Tabel 8. Setelah dilakukan proses perhitungan dengan metode *fuzzy logic* Mamdani, dapat diklasifikasikan tingkat kerawanan banjir setiap kecamatan di Kabupaten Purbalingga. Dengan nilai *defuzzifikasi* sebanyak 1286 wilayah dan tingkat kerawanan banjir yang berbeda

kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerawanan pada setiap kecamatan pada Tabel 9.

Berdasarkan parameter penyebab banjir di Kabupaten Purbalingga dilakukan analisis sesuai pada Gambar 10 sampai Gambar 14. Pada Gambar 10 terlihat bahwa curah hujan di Kabupaten Purbalingga didominasi sebesar 3510mm/th yang berpengaruh sangat tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir. Untuk tingkat kerawanan sedang dapat dipengaruhi oleh curah hujan < 3390mm/th, 3390 – 3430mm/th atau 3430 – 3470mm/th.

Tabel 8. Tingkat kerawanan banjir setiap kecamatan

Kecamatan	Tingkat	Luas	Persentase
Bukateja	Sedang	0,2756	0,006%
	Tinggi	2732,5	61 %
Kaligondang	Sangat Tinggi	1746,5	38,994%
	Rendah	57,547	1,16%
	Sedang	1793,1	36,15%
Kejobong	Tinggi	3082,9	62,16%
	Sangat Tinggi	26,09	0,53%
	Sedang	307,8	8,39%
Kemangkong	Tinggi	3072,5	83,73%
	Sangat Tinggi	289,34	7,88%
Purbalingga	Tinggi	1141,9	24,53%
	Sangat Tinggi	3513,2	75,47%
	Sedang	202,22	14,19%
	Tinggi	1203,0	84,4%
	Sangat Tinggi	20,156	1,41%

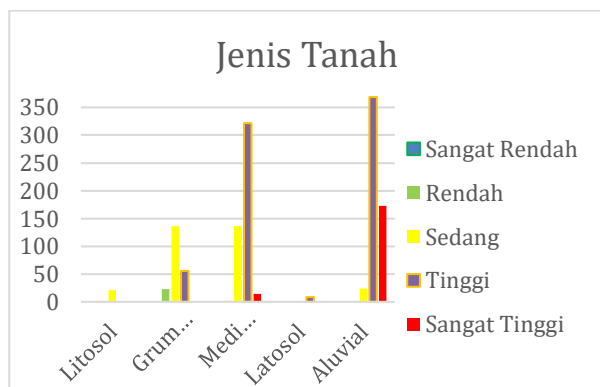


Gambar 10. Diagram parameter curah hujan

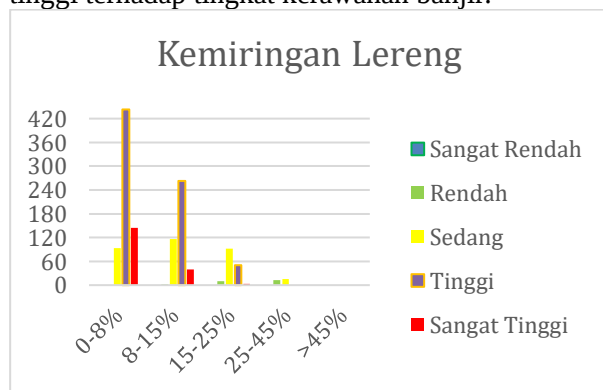
Pada Gambar 11 terlihat bahwa jenis tanah di Kabupaten Purbalingga didominasi tanah aluvial yang bersifat tidak peka sehingga berpengaruh tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir dan tanah mediteran yang memiliki kepekaan sedang sehingga berpengaruh tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir.

Tabel 9. Kerawanan banjir dengan logika fuzzy

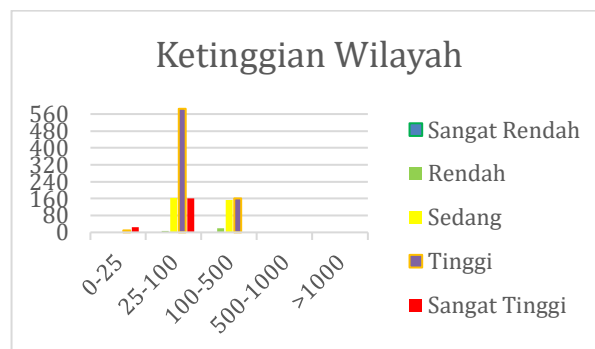
No	Kecamatan	Desa	CH (mm/th)	Tanah	KL	KW (mdpl)	Lahan	z	Tingkat
1	Bukateja	Bukateja	3430 - 3470	Aluvial	0-8%	25-100	Pdng Rmpt	4,0004	Tinggi
2	Bukateja	Bukateja	3470 - 3510	Aluvial	0-8%	25-100	Pdng Rmpt	4,0004	Tinggi
3	Bukateja	Karangcengis	>3510	Aluvial	0-8%	25-100	Pdng Rmpt	4,0004	Tinggi
4	Bukateja	Karangcengis	>3510	Aluvial	8-15%	25-100	Pdng Rmpt	4,0004	Tinggi
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1284	Purbalingga	Jatisaba	3350 - 3390	Aluvial	0-8%	25-100	Tgln/Ldng	4,0004	Tinggi
1285	Purbalingga	Toyoreja	3390 - 3430	Aluvial	0-8%	25-100	Tgln/Ldng	4,0004	Tinggi
1286	Purbalingga	Toyoreja	3430 - 3470	Aluvial	0-8%	25-100	Tgln/Ldng	4,0004	Tinggi

**Gambar 11.** Diagram parameter jenis tanah

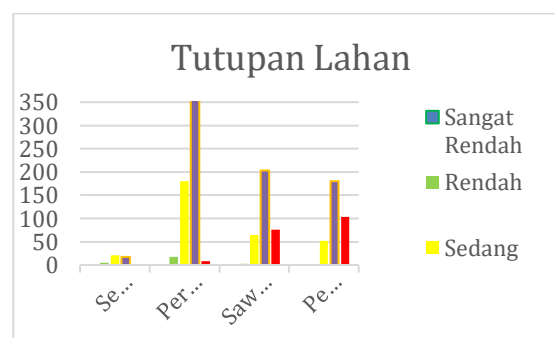
Pada Gambar 12 terlihat bahwa kemiringan lereng di Kabupaten Purbalingga didominasi kemiringan 0 – 8% atau datar yang berpengaruh sangat tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir dan kemiringan 8 – 15% atau landai berpengaruh tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir.

**Gambar 12.** Diagram parameter kemiringan

Pada Gambar 13 terlihat ketinggian wilayah di Kabupaten Purbalingga didominasi ketinggian 25–100mdpl atau ketinggian rendah yang berpengaruh tinggi terhadap tingkat kerawanan banjir.

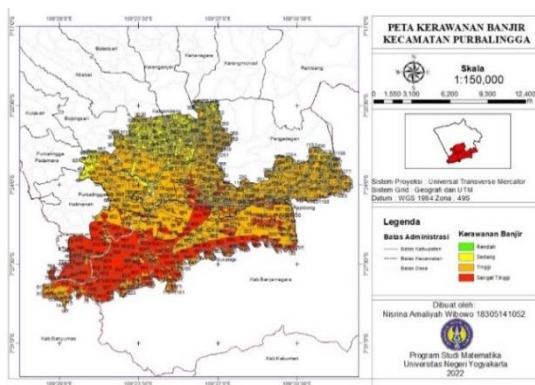
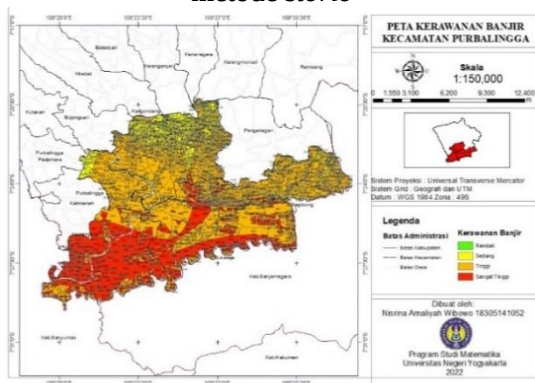
**Gambar 13.** Diagram parameter ketinggian

Pada Gambar 14 terlihat bahwa tutupan lahan di Kabupaten Purbalingga didominasi lahan perkebunan dan tegalan yang beresiko baik terhadap tingkat kerawanan banjir, lahan sawah beresiko agak baik terhadap tingkat kerawanan banjir dan lahan pemukiman beresiko buruk sehingga tingkat kerawanan banjir tinggi. Hasil dari pengolahan menggunakan ArcGIS diperoleh peta tingkat kerawanan banjir dengan metode *storie* di Kabupaten Purbalingga sesuai Gambar 15 dan peta tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga dengan metode *fuzzy logic* Mamdani sesuai Gambar 16.

**Gambar 14.** Diagram parameter tutupan lahan

Tabel 10. Perbandingan antara metode *storie* dan metode *fuzzy* Mamdani

No	Kecamatan	Desa	Luas	Metode <i>Storie</i> Skor	Ket	Metode <i>Fuzzy</i> Skor	Ket
1	Bukateja	Bukateja	7,002289706	0,03	Tinggi	4,0004	Tinggi
2	Bukateja	Bukateja	0,039271457	0,04	Tinggi	4,0004	Tinggi
3	Bukateja	Karangcengis	1,401018949	0,05	Tinggi	4,0004	Tinggi
4	Bukateja	Karangcengis	0,011426436	0,04	Tinggi	4,0004	Tinggi
...	...	...	...	...	...	...	...
1284	Purbalingga	Jatisaba	42,857672302	0,02	Sedang	4,0004	Tinggi
1285	Purbalingga	Toyareja	2,714472794	0,04	Tinggi	4,0004	Tinggi
1286	Purbalingga	Toyareja	0,665151435	0,06	Tinggi	4,0004	Tinggi

**Gambar 15.** Peta tingkat kerawanan banjir dengan metode *storie***Gambar 16.** Peta tingkat kerawanan banjir dengan metode *fuzzy* mamdani

Dari Gambar 15 dan Gambar 16 terlihat bahwa terdapat beberapa perbedaan antara peta kerawanan banjir dengan metode *storie* dan metode *fuzzy* Mamdani sehingga dapat dibuat hasil perbandingan sesuai pada Tabel 10.

Berdasarkan Tabel 10 hasil perbandingan antara metode *storie* dengan metode *fuzzy* Mamdani dilakukan perhitungan akurasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{JT - JB}{JT} \times 100\% \\
 &= \frac{1286 - 143}{1286} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 88,9\%$$

Berdasarkan persamaan tersebut dapat diketahui bahwa *JT* merupakan jumlah titik wilayah hasil *overlay*. Sementara itu *JB* merupakan jumlah titik yang berbeda antara metode *storie* dan *fuzzy* mamdani.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh 4 tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Purbalingga meliputi kerawanan rendah di 25 titik wilayah dengan luas 57,5467Ha, kerawanan sedang di 317 titik wilayah dengan luas 203,385Ha, kerawanan tinggi di 756 titik wilayah dengan luas 11232,792Ha, dan kerawanan sangat tinggi di 188 titik wilayah dengan luas 5595,286Ha. Hasil tersebut dapat digunakan oleh Pemerintah Kabupaten Purbalingga untuk mitigasi bencana alam banjir sehingga dapat meminimalisir resiko banjir.

Daftar Pustaka

- [1] Muhammad, Z. (2020). Peningkatan ketangguhan masyarakat terhadap bencana tsunami dengan menggunakan metode simulasi. *Jurnal Kesehatan Mesencephalon*, 6(1), 14-28.
- [2] Pangaribun, J., Sabri, L. M., & Amarrohman, F. J. (2019). Analisis daerah rawan bencana tanah longsor di kabupaten Magelang menggunakan sistem informasi geografis dengan metode standar nasional Indonesia dan analytical hierarchy process. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 288–297.
- [3] Pemerintahan Indonesia. (2007). *Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang penanggulangan bencana*.

- [4] BNPB. (2021). *Definisi bencana*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- [5] BNPB. (2020). *Indeks risiko bencana indonesia tahun 2020*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- [6] Kasnar, S., Hasan, M., Arfin, L., & Sejati, A. E. (2019). Kesesuaian pemetaan daerah potensi rawan banjir metode overlay dengan kondisi sebenarnya di kota Kendari. *Jurnal Tunas Geografi*, 8(2), 85–92.
- [7] Cahyani, R., Leksono, D. I. B. E. & Krama, A. V. (2020). *Identifikasi daerah rawan banjir di Kabupaten Pringsewu*.
- [8] BPBD. (2021). *Bencana Banjir*. Badan Penanggulangan Bencana Alam Daerah.
- [9] Muwahid, S. W. (2019). Pemanfaatan foto udara format kecil (FUFK) untuk analisis risiko banjir di Desa Simoboyo Kabupaten Pacitan. *Jurnal Dialog dan Penanggulangan Bencana*, 10(1), 62-76.
- [10] Batu, J. A. A. J. L. & Fibriani, C. (2017). Analisis penentuan lokasi evakuasi bencana banjir dengan pemanfaatan sistem informasi geografis dan metode simple additive weighting. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 4(2), 127-135.
- [11] Effendi, A. Y., & Hariyanto, T. (2016). Pembuatan peta daerah rawan bencana tanah longsor dengan menggunakan metode fuzzy logic (Studi Kasus : Kabupaten Probolinggo). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 714-722.
- [12] Parewe, A. M. A. K. & Mahmudy, W. F. (2016). Dental disease identification using fuzzy inference system. *Jurnal of Environmental Engineering & Sustainable Tehcnology*, 3(01), 33–41.
- [13] Ayuningtyas, L. P., & Jumadi. (2017). Analisa perbandingan *logic fuzzy* metode tsukamoto, sugeno, dan mamdani (Studi kasus : Prediksi jumlah pendaftar mahasiswa baru fakultas sains dan teknologi universitas Islam negeri sunan gunung djati Bandung). *Jurnal Teknik Informatika UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Jurnal Teknik Informatika UIN Syarif Hidayatullah*, 10(1), 133-142.
- [14] Renaold, J. P., & M. J Singer. (1979). Defining prime *farmland* by three land classification system. *Journal of Soil and Water Conservation*, 34(1), 172-176.
- [15] Wardani, S. K. (2020). *Aplikasi fuzzy mamdani untuk menentukan tingkat kerawanan tanah longsor di Yogyakarta*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [16] Sobirin, S., & Ramadhan, M. (2017). Analisis Potensi dan bahaya bencana longsor menggunakan modifikasi metode indeks storie di Kabupaten Kebumen Jawa Tengah. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 8, pp. 59-64).

AKTIVITAS ANTIBAKTERI NANOKOMPOSIT TiO_2/Cu DAN TiO_2/CuO TERHADAP BAKTERI *Bacillus cereus*

ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF TiO_2/Cu AND TiO_2/CuO NANOCOMPOSITES AGAINST *Bacillus cereus*

Ine Nuhaeroh*, Devi Indah Anwar, Lela Lailatul Khumaisah

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi

Jl. R. Syamsudin, SH No.50, Cikole, Kota Sukabumi 43113, Jawa Barat, Indonesia

*email korespondensi: inemuhaeroh@gmail.com

Abstrak

Perkembangan nanoteknologi sebagai nanomaterial telah banyak dimanfaatkan salah satunya dalam bentuk nanokomposit. Nanokomposit banyak diaplikasikan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi logam berat dan dewasa ini banyak penelitian mengenai manfaat nanokomposit sebagai bahan antibakteri. Penelitian ini bertujuan menganalisis aktivitas antibakteri dari nanokomposit TiO_2/Cu dan TiO_2/CuO hasil sintesis terhadap *Bacillus cereus*. Metode yang digunakan dalam melakukan sintesis nanokomposit adalah metode impregnasi basah. CuSO_4 merupakan prekursor yang digunakan untuk mensintesis TiO_2/Cu sedangkan TiO_2/CuO menggunakan CuCl_2 . Suhu kalsinasi yang digunakan adalah 600°C . Material TiO_2/Cu yang dihasilkan berukuran 29.01 nm sedangkan TiO_2/CuO 27.64 nm. Uji karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) dilakukan untuk mengetahui pembentukan nanokomposit TiO_2/Cu dan TiO_2/CuO . Puncak difraksi pada sudut 2θ TiO_2 yaitu 25.33° , CuO 38.7° , Cu 43.6° dan menandakan nanokomposit berhasil terbentuk. Hasil pengujian aktivitas antibakteri terhadap *Bacillus cereus* dengan menggunakan metode difusi cakram menunjukkan TiO_2/Cu memiliki zona hambat bakteri 8.10 mm dan TiO_2/CuO 11.40 mm dan termasuk ke dalam antibakteri kuat sedangkan nanopartikel CuO merupakan antibakteri sedang dengan nilai sebesar 7.85 mm. Hasil ini menunjukkan nanokomposit memiliki daya hambat bakteri lebih tinggi dibandingkan nanopartikelnya.

Kata kunci: antibakteri, nanokomposit, TiO_2 , Cu, CuO

Abstract

The development of nanotechnology as a nanomaterial has been widely used, the ones called nanocomposites. Nanocomposites are widely applied as photocatalysts to degrade heavy metals and nowadays there are many studies of the advantages of nanocomposites as antibacterial materials. This study aimed to analyze the antibacterial activity of the synthesized TiO_2/Cu and TiO_2/CuO nanocomposites against *Bacillus cereus*. The method used in the synthesis of nanocomposites is the wet impregnation method. CuSO_4 is the precursor used to synthesize TiO_2/Cu and TiO_2/CuO uses CuCl_2 . Calcination temperature used is 600°C . The resulting TiO_2/Cu material is 29.01 nm and TiO_2/CuO is 27.64 nm. X-Ray Diffraction (XRD) characterization test was conducted to determine the formation of TiO_2/Cu and TiO_2/CuO nanocomposites. The diffraction peaks at 2θ TiO_2 is 25.33° , CuO 38.7° , Cu 43.6° and indicated that the nanocomposite was successfully formed. The results of the antibacterial activity test against *Bacillus cereus* using the disk diffusion method showed that TiO_2/Cu had a bacterial inhibition zone of 8.10 mm and TiO_2/CuO 11.40 mm and was classified as a strong antibacterial and CuO nanoparticles were moderate antibacterial with a value of 7.85 mm. These results indicate that the nanocomposite has a higher bacterial inhibitory power than the nanoparticles.

Keywords: antibacterial, nanocomposites, TiO_2 , Cu, CuO

Pendahuluan

Nanoteknologi merupakan studi bahan pada skala nano yang memiliki sifat berbeda daripada bahan pada skala yang lebih besarnya [1]. Nanoteknologi banyak dimanfaatkan pada industri otomotif, elektronik, teknologi pangan, dan nanomaterial [2]. Salah satu pemanfaatan nanoteknologi material adalah nanokomposit. Nanokomposit merupakan komposit yang dibuat dengan material berskala 1 – 100 nm [1]. Sedangkan komposit merupakan material yang terdiri dua/lebih material dengan sifat berbeda.

Secara umum komposit disusun dari dua komponen yaitu penguat (*reinforcement*) dan matriks, matriks merupakan fasa yang dominan pada komposit [2]. Nanokomposit sendiri telah diaplikasikan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi logam berat maupun zat pewarna dan sebagai material campuran pembuatan kemasan pangan [3,4,5,27]. Selain itu, nanokomposit dimanfaatkan sebagai agen antibakteri, diketahui nanokomposit Ag/TiO_2 mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* sebesar 75% [6].

Nanopartikel TiO_2 memiliki zona hambat sebesar 11 mm pada *Escherichia coli* [7] dan termasuk ke dalam antibakteri kuat, dengan rentang zona hambatnya sebesar 10-20 mm [8]. Selain itu, material nanopartikel yang digabung ke dalam bentuk nanokomposit menunjukkan daya hambat bakteri yang lebih tinggi [9]. Selain logam perak (Ag), para peneliti telah mengkonfirmasi bahwa logam tembaga (Cu) dapat menekan pertumbuhan patogen seperti methicillin resistant dari bakteri *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Escherichia coli*, dan *Legionella pneumophila* [10]. Ion tembaga dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dengan daya hambat 10 mm [11]. Tembaga oksida (CuO) memiliki daya hambat bakteri, terhadap *Escherichia coli* 11 mm yang termasuk ke dalam antibakteri kuat [26].

Pada penelitian lain, diketahui antibiotik yang ditambahkan material CuO mampu meningkatkan daya hambat pada bakteri *Bacillus cereus* dengan peningkatan maksimumnya sebesar 51.68% [28]. Tembaga oksida diketahui memiliki daya hambat bakteri, terhadap *Bacillus cereus* sebesar 25.3 mm yang termasuk ke dalam antibakteri sangat kuat [11]. Di sisi lain, tembaga menjadi komoditas logam unggulan Indonesia. Indonesia memiliki 3% cadangan tembaga dunia dengan total 871 juta ton dan menjadi 7 besar negara yang memiliki cadangan tembaga dunia [12].

Sumber daya yang melimpah, harga yang lebih ekonomis, dan potensinya sebagai agen antibakteri mendorong penelitian ini. Potensi pengembangan sebagai nanokomposit TiO_2 dengan logam tembaga dan oksida logamnya sebagai antibakteri *Bacillus cereus* diharapkan menghambat pertumbuhan *Bacillus cereus* sebagai bakteri yang menyebabkan infeksi sistem pencernaan, non-gastrointestinal, infeksi saluran pernafasan, infeksi nosokomial, infeksi sistem saraf pusat, infeksi saluran kemih, infeksi kulit, endokarditis, dan osteomielitis [13]. Untuk itu penelitian ini bertujuan mensintesis nanokomposit TiO_2/Cu dan TiO_2/CuO dan menguji aktivitas anti bakterinya pada *Bacillus cereus*.

Metode Penelitian

Bahan yang dibutuhkan adalah tembaga (II) klorida (CuCl_2), tembaga (II) sulfat (CuSO_4), titanium dioksida (TiO_2), natrium hidroksida (NaOH), natrium klorida (NaCl), etanol, akuades, nutrisi agar, pepton, ekstrak yeast, dan Amoxicillin. Alat yang dibutuhkan diantaranya *hot plate*, *magnetic stirrer*, aluminum foil, oven, tanur, pipet tetes, cawan petri, jangka sorong,

vortex, autoklaf, difraksi sinar-X, pH meter, neraca analitik, lidi kapas, jarum ose, dan peralatan gelas.

Sintesis Nanokomposit TiO_2/Cu

Nanokomposit TiO_2/Cu disintesis menggunakan metode impregnasi. Tembaga (II) sulfat (CuSO_4) dengan berat 10% dari berat TiO_2 dilarutkan dalam 50 mL akuades, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai larutan homogen. Proses pengadukan selama 30 menit pada suhu kamar. Setelah itu, 3 g TiO_2 ditambahkan ke dalam larutan. Selanjutnya, larutan dipanaskan pada 90°C selama 5 jam sambil diaduk. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C , kemudian digerus dan dikalsinasi pada suhu 600°C selama 3 jam [14].

Sintesis Nanokomposit TiO_2/CuO

Sebanyak 1.34 g tembaga (II) klorida CuCl_2 dilarutkan dalam 100 mL air deionisasi untuk membentuk konsentrasi 0.1 M. Larutan NaOH ditetaskan perlahan sambil diaduk sampai pH mencapai 14. Endapan hitam yang diperoleh, dicuci menggunakan akuades dan etanol. Endapan yang telah melalui proses pencucian dikeringkan pada suhu 80°C selama 16 jam, lalu dikalsinasi pada 500°C selama 4 jam [15]. Sebanyak 0.9 g CuO yang telah terbentuk dimasukkan ke dalam gelas kimia dan ditambahkan 100 mL akuades, diaduk dengan stirrer pada 600 rpm selama 30 menit (larutan 1). Pada wadah lain, 1.8 g TiO_2 ditambahkan dengan akuades 100 mL. Selanjutnya ke dalam larutan TiO_2 , dimasukkan larutan 1 dan diaduk kembali dengan kecepatan yang sama selama 30 menit. Larutan campuran dipanaskan pada 160°C selama 12 jam. Campuran kemudian disaring dan dicuci dengan etanol. Produk kemudian dikeringkan pada 80°C selama 5 jam. Hasil dari produk kering digerus, kemudian dikalsinasi pada suhu 600°C selama 3 jam [16].

Karakterisasi Difraksi Sinar-X Nanokomposit

Analisis XRD dilakukan dengan radiasi $\text{Cu-K}\alpha$ (1,5418) pada difraktometer D/max-3B dengan rentang pindai $20-80^\circ$ (2θ). Untuk ukuran kristalit nanokomposit TiO_2/CuO dan TiO_2/Cu dihitung berdasarkan pengukuran difraksi sinar-X. Ukuran kristalit dihitung dengan data lebar penuh pada setengah maksimum *atau full width at half maximum* (FWHM) di mana puncaknya dapat dihitung menggunakan rumus Scherrer [15].

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) diketahui bahwa D merupakan ukuran partikel (nm), λ merupakan panjang gelombang radiasi (nm), K merupakan faktor bentuk dari kristal dengan konstanta (0.9), β merupakan integrasi luas puncak refleksi / FWHM (rad), dan θ merupakan sudut difraksi (derajat).

Uji Aktivitas Antibakteri

Alat yang digunakan dilakukan sterilisasi terlebih dahulu. Isolat murni *B. cereus* diambil dari media subkultur sebanyak 1 ose dengan jarum ose, lalu digoreskan pada medium miring nutrisi agar dan diinkubasi 14-18 jam pada suhu 37°C. Biakan bakteri kemudian disuspensikan ke dalam air garam NaCl 0.9% yang telah steril dengan mengambil 1 ose koloni *B. cereus* dari subkultur, lalu dihomogenasi menggunakan vortex. Untuk membuat medium Luria Bertani Agar (LBA) dilakukan dengan menimbang NaCl 3 g, pepton 5 g, yeast ekstrak 3 g, nutrisi agar sebanyak 7.5 g yang dilarutkan ke dalam akuades sampai 500 ml dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*.

Setelah itu, dimasukkan ke dalam autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C. Medium LBA yang sudah steril dituang ke dalam cawan petri, lalu dibiarkan memadat dan dingin. Lidi kapas yang sudah disterilkan dicelupkan pada suspensi *B. cereus* dan dioleskan pada permukaan medium LBA. Untuk kontrol positif digunakan Amoxicillin [17]. Konsentrasi nanokomposit yang digunakan adalah 45 mg/ml [18]. Lalu cakram sampel nanokomposit dengan diameter 6 mm ditempatkan pada cawan petri. Selanjutnya inkubasi pada 37°C selama 24 jam dan diukur diameter daerah jernih sekitar kertas cakram (zona hambat) menggunakan jangka sorong [17].

Hasil dan Pembahasan

Sintesis TiO_2/Cu dilakukan dengan menggunakan metode impregnasi basah. Metode impregnasi yang digunakan menunjukkan TiO_2 yang dihasilkan berada pada fase anatase. Penyisipan logam Cu dengan menggunakan metode impregnasi tidak mengubah struktur anatase dari TiO_2 , hal ini dapat dikarenakan ion Cu^{2+} mampu menggantikan Ti pada TiO_2 karena jari-jari ion dari Cu^{2+} hampir sama dengan Ti^{4+} , di mana jari-jari ion dari Cu^{2+} sebesar 0.73 Å dan Ti^{4+} sebesar 0.74 Å [14].

Proses kalsinasi pada sintesis TiO_2/Cu dilakukan pada suhu 600°C, proses kalsinasi berpengaruh terhadap morfologi produk sintesis, di mana fase anatase pada TiO_2 cenderung dihasilkan pada suhu kalsinasi 500°C-600°C dan fase rutile dihasilkan pada suhu kalsinasi 700°C [19]. Suhu kalsinasi pada fase anatase menghambat pertumbuhan bakteri gram positif lebih tinggi [20]. Sedangkan untuk sintesis TiO_2/CuO dilakukan pembentukan CuO dengan metode presipitasi. Prekursornya adalah CuCl_2 yang kemudian dilarutkan dalam akuades. Selanjutnya, menambahkan perlahan NaOH sebagai anti-solvent untuk membentuk endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Ketika NaOH ditambahkan ke dalam larutan CuCl_2 terjadi perubahan warna, karena tembaga klorida (CuCl_2) bereaksi dengan NaOH yang kemudian menghasilkan endapan tembaga hidroksida ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) dan natrium klorida (NaCl), dengan persamaan reaksi berikut [22]

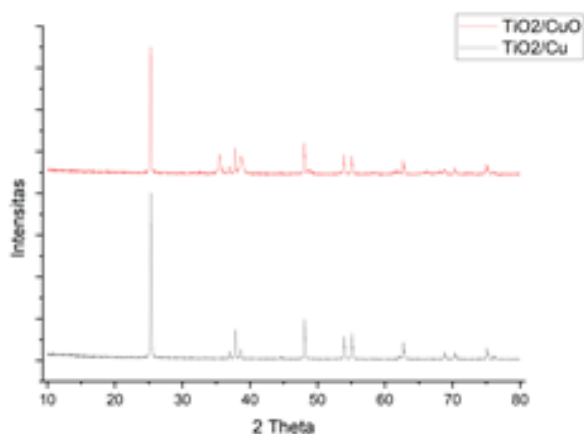


Tembaga klorida larut dalam air dan terdisosiasi menjadi ion Cu^{2+} dan Cl^- sedangkan NaOH terdisosiasi menjadi ion Na^+ dan OH^- . Selanjutnya, larutan berwarna coklat tua yang mengindikasikan telah terbentuknya senyawa tembaga oksida. Endapan coklat yang dihasilkan kemudian dikeringkan dan dikalsinasi pada suhu 500°C [16]. Produk hasil kalsinasi selanjutnya dilarutkan dalam akuades dan dicampurkan dengan larutan TiO_2 . Berikut ini adalah persamaan reaksi yang terjadi dalam melakukan sintesis TiO_2/CuO [23].



Campuran kemudian dikeringkan pada suhu 80°C selama 5 jam dan dikalsinasi pada suhu 600°C selama 3 jam, hal ini bertujuan agar nanokomposit terbentuk dalam bentuk nanorods [18]. Karakterisasi dilakukan pada nanokomposit TiO_2/Cu dan TiO_2/CuO . Hasilnya tersaji dalam difraktogram pada Gambar 1. Intensitas pada difraktogram terlihat untuk TiO_2 dari kedua nanokomposit terlihat pada intensitas 2 θ sebesar 25.33°, hal ini sesuai dengan pembandingan standar dari *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) druntuk intensitas 2 θ TiO_2 sebesar 25.33° [24]. Untuk CuO yang dikalsinasi pada suhu 500°C terkonfirmasi bahwa puncak intensitasnya berada pada 35.47°; 38.9° dan 48.74° [15]. Pada uji XRD terbukti bahwa CuO pada nanokomposit telah terbentuk dengan ditandai intensitas 2 θ terlihat pada 35.5°; 38.7° dan 48.7°.

Sedangkan untuk intensitas 2θ Cu dapat terlihat pada 43.6° [25], dan hasil difraktogram untuk intensitas 2θ Cu yang diujikan menunjukkan nilai sebesar 44.6° . Namun, intensitas yang dihasilkan untuk Cu pada penelitian ini cukup rendah kemungkinan karena konsentrasi dari Cu yang digunakan terlalu sedikit.



Gambar 1. Difraktogram nanokomposit TiO_2/Cu dan TiO_2/CuO

Pada perhitungan rumus debye-scherrer menunjukkan untuk ukuran kristal dari TiO_2/Cu sebesar 27.64 nm, sedangkan TiO_2/CuO sebesar 29.01 nm. Sehingga, diketahui keduanya berada pada skala nanometer yaitu 1-100 nm. Uji aktivitas antibakteri dengan bakteri *Bacillus cereus* terhadap nanokomposit TiO_2/Cu dan TiO_2/CuO dengan kontrol positif Amoxicillin tersaji pada Tabel 1. Dari hasil pengujian diperoleh data pada nanokomposit TiO_2/CuO memiliki daya hambat pada bakteri sebesar 11.40 mm dan termasuk ke dalam antibakteri kuat, sedangkan pada TiO_2/Cu memiliki daya hambat bakteri sebesar 8.1 dan termasuk ke dalam antibakteri sedang. Hasil ini menyimpulkan bahwa TiO_2/CuO memiliki daya hambat bakteri yang lebih baik dibandingkan dengan TiO_2/Cu .

Tabel 1. Zona hambat pertumbuhan bakteri *Bacillus cereus*

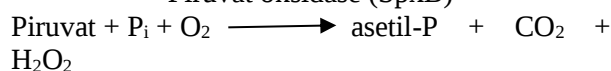
Sampel	Daya Penghambatan (mm)
TiO_2/Cu	8.10
TiO_2/CuO	11.40
CuO	7.85
Kontrol Positif	30.6

Toksisitas dari Cu terjadi melalui beberapa mekanisme di antaranya kerusakan dinding dan membran sel, radikal bebas dari spesi oksigen reaktif (ROS) dan perubahan struktur konformasi

asam nukleat. Reaksi redoks pada ion Cu^{2+} mampu mengkatalisis produksi dari radikal hidroksil yang reaktif menyebabkan terjadinya stres oksidatif [21]. Cu^{2+} mampu beraksi dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang diproduksi bakteri melalui proses oksidasi piruvat. Produksi hidrogen peroksida melibatkan piruvat oksidase (spxB).

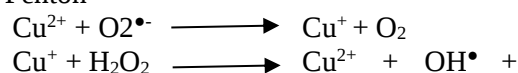
SpxB adalah dekarboksilase yang mengkatalisis konversi piruvat, fosfat anorganik (Pi) dan oksigen molekular (O_2) menjadi hidrogen peroksida, karbondioksida (CO_2) dan asetil fosfat [29]. Persamaan reaksinya sebagai berikut: [30].

Piruvat oksidase (SpXB)



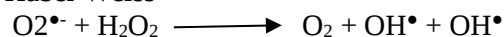
Hidrogen peroksida di dalam sel mengalami proses membentuk radikal bebas yang lebih reaktif yaitu *hydroxyl radical* melalui reaksi fenton dengan menggunakan kofaktor logam zat besi atau tembaga. Pada reaksi fenton, Cu^+ mampu membentuk $\text{OH}^\bullet$ dengan reaksi berikut ini: [31]

Reaksi Fenton



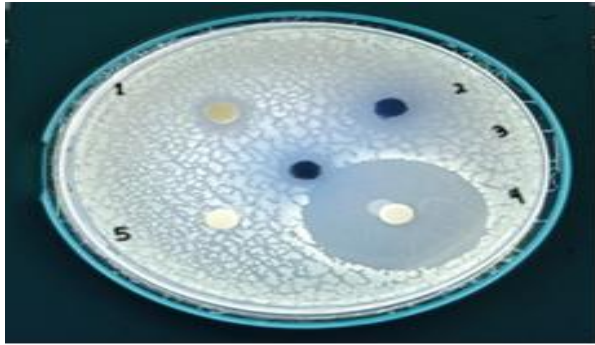
$\text{OH}^\bullet$

Reaksi Haber Weiss



Reaksi Fenton dan Haber Weiss memiliki keterkaitan, di mana reaksi fenton terjadi antara logam seperti tembaga dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) menghasilkan Cu^+ , radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$), dan ion hidroksil (OH^-). Ion hidroksil bereaksi dengan H_2O_2 untuk menghasilkan superoksida (O_2^-), ion hidrogen, dan air. Reaksi Haber Weiss terjadi antara superoksida dengan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang menghasilkan radikal hidroksil, ion hidroksil, dan oksigen (O_2) [32].

Siklus redoks antara Cu^{2+} dan Cu^+ ini dapat mengkatalisis produksi radikal hidroksil ($\text{OH}^\bullet$) yang sangat reaktif dan dapat merusak DNA bakteri, yang selanjutnya dapat merusak DNA bakteri. Radikal hidroksil ini atau $\text{OH}^\bullet$ diketahui dapat menghasilkan produk oksidasi melalui adisi pada basa nukleat [21]. Zona hambat pada nanopartikel CuO yang terlihat pada Gambar 2 diketahui sebesar 7.85 mm, lebih kecil jika dibandingkan nanokomposit TiO_2/Cu dan TiO_2/CuO .



Gambar 2. Hasil uji antibakteri (1) sampel TiO_2/Cu , (2) sampel TiO_2/CuO , (3) sampel CuO , (4) kontrol positif/Amoxillin (5) kontrol negatif aquades

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan perbedaan nilai zona hambat pertumbuhan bakteri yaitu ukuran partikel, morfologi, dan konsentrasi saat melakukan pengujian [6]. Di mana ukuran partikel yang lebih kecil menunjukkan nilai zona hambat bakteri yang lebih tinggi [18]. Hal ini dapat dibuktikan dengan ukuran partikel dari TiO_2/CuO yang memiliki ukuran paling kecil sehingga memiliki zona hambat paling tinggi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan nanokomposit TiO_2/Cu dan TiO_2/CuO dapat terbentuk, dan diketahui dari puncak intensitas 2θ untuk TiO_2 sebesar 25.33° , untuk Cu sebesar 44.6° dan untuk CuO diketahui sebesar 35.5° ; 38.7° , dan 48.7° . Untuk ukuran nanokomposit berhasil terbentuk dalam skala nano, untuk nanokomposit TiO_2/Cu sebesar 29.01 nm dan untuk nanokomposit TiO_2/CuO sebesar 27.64 nm. Pada pengujian antibakteri di dapatkan nanokomposit TiO_2/Cu memiliki daya hambat bakteri sebesar 8.1 mm, nanokomposit TiO_2/CuO sebesar 11.40 mm, dan nanopartikel CuO sebesar 7.85 mm dengan aktivitas antibakteri paling kuat yaitu pada nanokomposit TiO_2/CuO .

Daftar Pustaka

- [1] Prasetyo, K. W. (2020). Aplikasi nanoteknologi dalam industri hasil hutan. *Akar*, 2(1), 15-26.
- [2] Hutabarat, L. G. (2017). Pembuatan nanokomposit poly (vinyl) alcohol–multiwalled carbon nanotubes sebagai film transparan konduktif metode casting. [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara.
- [3] Rahmatullah, M., & Putro, S. S. (2016). Sintesa dan karakterisasi partikel nanokomposit ZnO-silika sebagai fotokatalis dengan metode sonikasi. *Jurnal Institut Teknologi Surabaya*, 1(1), 19-28.
- [4] Hardian, A., Putri, R. H., Budiman, S., & Syarif, D. G. (2021). Sintesis keramik komposit $\text{ZrO}_2\text{-ZnFe}_2\text{O}_4$ sebagai fotokatalis magnetik untuk degradasi metilen biru. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 17(1), 43-53.
- [5] Fajriati, I., Mudasir, M., & Wahyuni, E. T. (2016). Sintesis nanokomposit TiO_2 -kitosan sebagai fotokatalis untuk fotodegradasi zat warna dan fotoreduksi logam berat [Disertasi]. Universitas Gadjah Mada.
- [6] Metryka, O., Wasilkowski, D., & Mrozik, A. (2021). Insight into the antibacterial activity of selected metal nanoparticles and alterations within the antioxidant defence system in *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* and *Staphylococcus epidermidis*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 118-125.
- [7] Ahmad, R., & Sardar, M. (2013). TiO_2 nanoparticles as an antibacterial agent against *E. coli*. *International Journal of Innovative Research Science, Engineering and Technology*, 2(1), 3569-3574.
- [8] Rastina, R., Sudarwanto, M., & Wientarsih, I. (2015). Aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun kari (*Murraya koenigii*) terhadap *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, dan *Pseudomonas sp.* *Jurnal Kedokteran Hewan-Indonesian*, 9(2), 96-107.
- [9] Ali, T., Ahmed, A., Alam, U., Uddin, I., Tripathi, P., & Muneer, M. (2018). Enhanced photocatalytic and antibacterial activities of Ag-doped TiO_2 nanoparticles under visible light. *Materials Chemistry and Physics*, 212(1), 325-335.
- [10] Konieczny, J., & Rdzawski, Z. (2012). Antibacterial properties of copper and its alloys. *Archives of Materials Science and Engineering*, 56(2), 53-60.
- [11] Benli, B., & Yalın, C. (2017). The influence of silver and copper ions on the antibacterial activity and local electrical properties of single sepiolite fiber: A conductive atomic force microscopy (C-AFM) study. *Applied Clay Science*, 146(1), 449-456.
- [12] Kementerian ESDM RI. (2020). *Booklet Tambang Tembaga 2020*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

- [13] Bottone, E. J. (2010). *Bacillus cereus*, a volatile human pathogen. *Clinical Microbiology Reviews*, 23(2), 382-398.
- [14] Isa, L. (2020). Synthesis and characterization of structural nanocomposite titanium dioxide copper-doped using the impregnation method. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 5(1), 21-30.
- [15] Phiwdang, K., Suphankij, S., Mekprasart, W., & Pecharapa, W. (2013). Synthesis of CuO nanoparticles by precipitation method using different precursors. *Energy Procedia*, 34(1), 740-745.
- [16] Manjunath, K., Souza, V. S., Ramakrishnappa, T., Nagaraju, G., Scholten, J. D., & Dupont, J. (2016). Heterojunction CuO-TiO₂ nanocomposite synthesis for significant photocatalytic hydrogen production. *Materials Research Express*, 3(11), 1-9.
- [17] Korlis, B. D., & Manurung, H. (2015). Uji senyawa metabolit sekunder dan antibakteri ekstrak etanol buah Belangla (*Litsea cubeba* (Lour.) Pers.) terhadap bakteri *Bacillus cereus* dan *Escherichia coli*. In *Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA UNMUL* (Vol. 2015, pp. 8-11).
- [18] Naqvi, Q. U. A., Kanwal, A., Qaseem, S., Naeem, M., Ali, S. R., Shaffique, M., & Maqbool, M. (2019). Size-dependent inhibition of bacterial growth by chemically engineered spherical ZnO nanoparticles. *Journal of Biological Physics*, 45(2), 147-159.
- [19] Mathew, S., Ganguly, P., Rhatigan, S., Kumaravel, V., Byrne, C., Hinder, S. J., & Pillai, S. C. (2018). Cu-doped TiO₂: visible light assisted photocatalytic antimicrobial activity. *Applied Sciences*, 8(11), 2067-2075.
- [20] Desiati, R. D., Taspika, M., & Sugiarti, E. (2019). Effect of calcination temperature on the antibacterial activity of TiO₂/Ag nanocomposite. *Materials Research Express*, 6(9), 1-9.
- [21] Borkow, G., & Gabbay, J. (2005). Copper as a biocidal tool. *Current Medicinal Chemistry*, 12(18), 2163-2175.
- [22] Lestari, M. W., Saputro, S. H., & Wahyuni, S. (2013). Sintesis dan karakterisasi nanokatalis CuO/TiO₂ yang diaplikasikan pada proses degradasi limbah fenol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(2), 19-28.
- [23] Anandan, S., & Yang, S. (2007). Emergent methods to synthesize and characterize semiconductor CuO nanoparticles with various morphologies—an overview. *Journal of Experimental Nanoscience*, 2(1-2), 23-56.
- [24] Bungan, G. K., Aritonang, H. F., & Wuntu, A. D. (2021). Pembuatan nanokomposit kitosan/TiO₂/Ag dan analisis aktivitasnya sebagai antibakteri. *Chemistry Progress*, 14(1), 187-196.
- [25] Theivasanthi, T., & Alagar, M. (2010). X-ray diffraction studies of copper nanopowder. *Archive of Physics Research*, 1(1), 112-117.
- [26] Garcia, C. V., Shin, G. H., & Kim, J. T. (2018). Metal oxide-based nanocomposites in food packaging: Applications, migration, and regulations. *Trends in Food Science & Technology*, 82(1), 21-31.
- [27] Sharma, D., Thakur, N., Vashist, J., & Bisht, G. S. (2018). Antibacterial evaluation of cuprous oxide nanoparticles synthesized using leaf extract of *Callistemon viminalis*. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 52(1), 449-455.
- [28] Selvarani, M. (2018). Investigation of the synergistic antibacterial action of copper nanoparticles on certain antibiotics against human pathogens. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 10(1), 83-86.
- [29] Nisa, K. (2020). Analisis asam laktat, hidrogen peroksida, dan aktivitas antibakteri asam laktat transmisi air susu ibu [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- [30] Pericone, C. D., Park, S., Imlay, J. A., & Weiser, J. N. (2003). Factors contributing hydrogen peroxide resistance in *Streptococcus pneumoniae* include pyruvate oxidase (SpxB) and avoidance of toxic effects of Fenton reaction. *Journal of Bacteriology*, 185(23), 6815-6825.
- [31] Cuypers, A., Plusquin, M., Remans, T., Jozefczak, M., Keunen, E., Gielen, H., & Smeets, K. (2010). Cadmium stress: An oxidative challenge. *Biometals*, 23(5), 927-940.
- [32] Dwi, E. N. (2018). Hubungan antara pemberian aluminium dengan gambaran histopatologi hati tikus wistar jantan. [Skripsi]. Universitas Jember.

KEANEKARAGAMAN CAPUNG (ORDO: ODONATA) DI WANA WISATA CURUG CIPENDOK KABUPATEN BANYUMAS PROVINSI JAWA TENGAH

DRAGONFLY DIVERSITY (ORDER: ODONATA) IN WANA WISATA CURUG CIPENDOK BANYUMAS REGENCY CENTRAL JAVA PROVINCE

Waryati*, Triatmanto

Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta
Yogyakarta 55281, Indonesia

*waryati.2018@student.uny.ac.id

Abstrak

Wana Wisata Curug Cipendok merupakan wana wisata yang memiliki keanekaragaman hayati. Salah satu fauna yang ada di wana wisata ini yaitu capung (Ordo: Odonata). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui spesies dan indeks keanekaragaman Odonata di Wana Wisata Curug Cipendok. Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif observasional dengan teknik *purposive* untuk menentukan stasiun pengambilan sampel berdasarkan perbedaan habitat. Pengumpulan sampel menggunakan *accidental sampling*. Penelitian dilakukan pada bulan April-Juni 2022 di Wana Wisata Curug Cipendok, Banyumas, Jawa Tengah. Hasil penelitian adalah ada 13 spesies capung: *Vestalis luctuosa*, *Heliocypha fenestrata*, *Drepanosticta gazella*, *Drepanosticta spatulifera*, *Drepanosticta sundana*, *Coeliccia membranipes*, *Euphaea variegata*, *Orthetrum glaucum*, *Orthetrum pruinsum*, *Orthetrum sabina*, *Pantala flavescens*, *Neurothemis ramburii*, dan *Zygonix ida*. Nilai indeks keanekaragaman Shannon Wiener capung yaitu 1,881645. Spesies capung (Ordo Odonata) di Wana Wisata Curug Cipendok pada penelitian ini ada 13 spesies dari 2 subordo dan 6 famili. Nilai indeks keanekaragaman Shannon Wiener Capung di Wana Wisata Curug Cipendok tersebut masuk ke dalam kategori nilai indeks sedang.

Kata kunci: keanekaragaman, Odonata, Curug Cipendok

Abstract

Wana Wisata Curug Cipendok is a tourist forest with biodiversity. One of the faunas in this tourist forest is the dragonfly (Order: Odonata). This study aims to determine the Odonata species and diversity index of Odonata in Wana Wisata Curug Cipendok. This research is a descriptive observational study with *purposive* techniques to determine sampling stations based on habitat differences. Sample collection was done using *accidental sampling*. The study was conducted in April-June 2022 at Wana Wisata Curug Cipendok, Banyumas, Central Java. The research results show that there are 13 species of dragonflies: *Vestalis luctuosa*, *Heliocypha fenestrata*, *Drepanosticta gazella*, *Drepanosticta spatulifera*, *Drepanosticta sundana*, *Coeliccia membranipes*, *Euphaea variegata*, *Orthetrum glaucum*, *Orthetrum pruinsum*, *Orthetrum sabina*, *Pantala flavescens*, *Neurothemis ramburii*, and *Zygonix ida*. The diversity index of the Shannon Wiener dragonfly is 1.881645. Dragonfly species (Order Odonata) found in Wana Wisata Curug Cipendok in this study were 13 species from 2 subordo and 6 families. The value of Shannon Wiener Dragonfly's diversity belongs to the category of the intermediate diversity index values.

Keywords: diversity, Odonata, Curug Cipendok

Pendahuluan

Keanekaragaman hayati biasanya digolongkan ke dalam tiga tingkat utama antara lain keanekaragaman genetik, keanekaragaman spesies, dan keanekaragaman ekosistem [3]. Keanekaragaman hayati khususnya pada tingkat spesies memiliki ciri tertentu yang membedakan satu spesies dengan spesies lain. Perbedaan tersebut yaitu secara morfologi, fisiologi, atau biokimia. Ciri morfologi merupakan ciri yang paling banyak digunakan untuk mengklasifikasikan spesies [12]. Indonesia memiliki keanekaragaman hayati termasuk salah satunya yaitu keanekaragaman capung [18]. Pada capung fenomena keanekaragaman diantaranya ada beberapa capung

yang memiliki polimorfisme [27]. Contoh capung yang memiliki banyak variasi pada warna yaitu *Agriocnemis femina* [25].

Capung merupakan serangga dari Ordo Odonata. Ordo Odonata terdiri atas 2 Subordo yaitu Anisoptera dan Zygoptera. Capung Anisoptera memiliki sayap belakang lebih lebar dari pada sayap depan [11]. Capung Anisoptera memiliki kemampuan terbang cepat [9]. Capung Zygoptera memiliki sayap depan dan belakang sebangun [25]. Capung Zygoptera terbang cenderung lemah dan daya jelajahnya tidak luas [16]. Indonesia memiliki sekitar 15% dari 5680 spesies capung di dunia [15], dengan 172 spesies tercatat di Pulau Jawa [20].

Penelitian tentang keanekaragaman capung pernah dilakukan di Situ Gintung Ciputat Tangerang tahun 2006 dimana hasilnya terdapat 6 spesies Odonata meliputi *Orthetrum sabina*, *Brachythemis contaminata*, *Orthetrum pruinatum*, *Orthetrum testaceum*, *Orthetrum caledonicum*, dan *Agriocnemis femina* [20]. Penelitian keanekaragaman capung di beberapa sumber air di Magetan tahun 2015 hasilnya terdapat 19 spesies Odonata meliputi 10 spesies capung (Anisoptera) dan 9 spesies capung jarum (Zygoptera) [19]. Penelitian capung di Kawasan Karts Manoreh dan Gunungsewu, Jawa Tengah dan Yogyakarta tahun 2016 hasilnya terdapat 16 spesies capung, 3 spesies di antaranya merupakan spesies endemik yaitu *Nososticta insignis*, *Drepanosticta sundana*, dan *Heliocypa fenestrata* [16]. Penelitian keanekaragaman capung di kawasan Rawa Jombor Klaten Jawa Tengah tahun 2016 hasilnya terdapat 28 spesies capung dari 6 famili [28]. Penelitian Struktur Komunitas Capung di kawasan Wisata Curug Lawe Benowo Ungaran Barat tahun 2016 hasilnya terdapat 19 spesies capung berasal dari 7 famili [10]. Penelitian Struktur komunitas Odonata di Kawasan Wana Wisata Curug Semirang, Ungaran Barat, Semarang tahun 2017 hasilnya terdapat 17 spesies dari 10 famili capung [13]. Penelitian tentang Struktur komunitas dan habitat Odonata di kawasan obyek wisata air terjun Setawing tahun 2017 hasilnya yaitu keanekaragaman Odonata fase imago dengan 4 habitat berbeda terdiri dari 2 subordo terdiri dari 24 spesies [32]. Penelitian keanekaragaman Odonata di Cagar Alam Nusakambangan Timur dan sekitarnya tahun 2017 mencatat 14 spesies dari 2 subordo [34]. Penelitian keanekaragaman capung di Taman Mini Indonesia Indah dan Taman Margasatwa Ragunan hasilnya terdapat sebanyak 6 spesies dari 2 famili [29].

Habitat capung adalah di tempat-tempat yang dekat dengan perairan, hal ini dikarenakan pada saat fase naiad berada di dalam air [1]. Salah satu daerah habitat capung yaitu Curug Cipendok. Curug Cipendok merupakan salah satu wana wisata yang berada di Kabupaten Banyumas Provinsi Jawa Tengah, kawasan perhutani KPH Banyumas Timur [24]. Hal yang menarik dari kawasan ini bagi wisatawan adalah air terjun Curug Cipendok yang memiliki tinggi mencapai 93 m serta dikelilingi oleh hutan lindung dan hutan produksi. Di dalam kawasan ini juga terdapat suatu telaga [2]. Menurut penelitian Zaman *et al.*, (2019) di Curug Cipendok terdapat 3 spesies capung endemik Pulau Jawa yaitu *Drepanosticta sundana*, *Drepanosticta gazella*, dan *Drepanosticta spatulifera* [33]. Penelitian keanekaragaman Odonata sebelumnya masih

terbatas pada satu genus Odonata. Belum ada penelitian keanekaragaman capung secara keseluruhan di kawasan Wana Wisata Curug Cipendok. Wana Wisata Curug Cipendok memiliki habitat yang beragam sehingga memungkinkan adanya keanekaragaman capung. Persamaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya di tempat adalah terkait keanekaragaman. Keunikan penelitian ini adalah terdapat perbedaan karakter ekologi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui spesies Odonata yang teridentifikasi berdasarkan ciri morfologi di Wana Wisata Curug Cipendok dan nilai indeks keanekaragaman jenisnya. Data penelitian keanekaragaman capung di Indonesia masih memerlukan upaya untuk melengkapi, sehingga memerlukan banyak penelitian. Makna penting dari penelitian ini di antaranya adalah data yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan untuk melengkapi data diversitas capung yang ada di Indonesia dan dapat digunakan sebagai pertimbangan bagi dinas terkait untuk melakukan upaya konservasi capung dan habitatnya di kawasan tersebut secara baik dan benar.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif observasional. Penelitian dilaksanakan di Wana Wisata Curug Cipendok, Banyumas, Jawa Tengah. Pengambilan data di lapangan dilaksanakan pada bulan April-Juni 2022 dengan rentang waktu satu minggu. Pengambilan data dihentikan sampai tidak dijumpai individu dari spesies yang belum ditandai (terhitung). Teknik *purposive* digunakan untuk menentukan stasiun pengambilan sampel berdasarkan perbedaan habitat yang dihuni oleh capung. Teknik pengambilan sampel menggunakan teknik *accidental sampling*. Setiap perjumpaan capung pada stasiun pengamatan dicatat. Identifikasi capung menggunakan buku panduan identifikasi berjudul *Dragonfly of Yogyakarta* karya Setiyono *et al.* (2017), *Odonata Semarang Raya* karya Baskoro *et al.* (2018), dan *Naga Terbang Wendit* karya Rahadi *et al.* (2013) [1, 21, 25]. Setiap capung yang tertangkap ditandai kemudian dilepaskan. Agar tidak ada penghitungan ulang, capung ditandai dengan cat berbahan *nitroselulose* menggunakan adaptasi binomial sistem Sheppard (1968) untuk Diptera [26]. Pengamatan dilakukan pada pukul 07.00-15.00 WIB. Faktor abiotik diukur sebagai data pendukung. Faktor-faktor yang diukur antara lain intensitas cahaya, temperatur udara, kelembapan udara, kecepatan angin, dan pH air.

Capung yang dijumpai diidentifikasi, didokumentasikan, dan dicocokkan dengan buku panduan identifikasi sesuai dengan bentuk morfologinya. Tingkat keanekaragaman jenis capung diukur dengan menggunakan indeks Shannon Wiener [22]:

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

Keterangan:

H' = indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

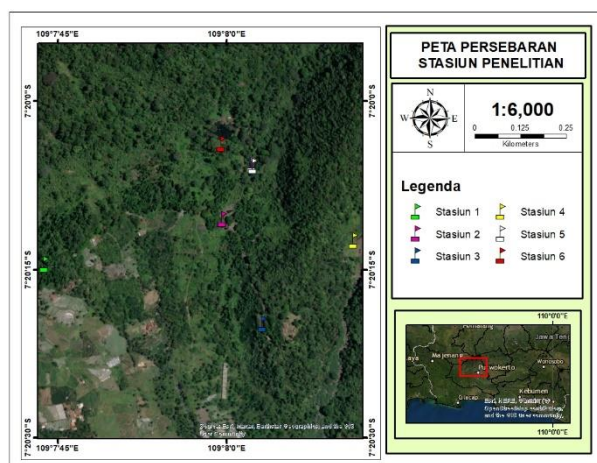
p_i = n_i/N

n_i = jumlah individu dari suatu jenis i

N = jumlah total individu seluruh jenis

Terdapat 3 kriteria keanekaragaman jenis serangga berdasarkan nilai indeks keanekaragaman Shannon Wiener, yakni $H' < 1$ keanekaragaman jenis termasuk rendah, $H' \leq 1 \leq 3$ keanekaragaman jenis termasuk rendah, keanekaragaman jenis termasuk tinggi $H' > 3$ keanekaragaman jenis termasuk tinggi.

Pengambilan data dari 6 stasiun (Gambar 1) berdasarkan perbedaan habitat yang dihuni oleh capung terutama terkait keberadaan air dan vegetasi yang menunjang kehidupan capung. Stasiun pertama merupakan hutan produksi. Stasiun kedua merupakan lokasi yang memiliki sungai besar dengan dua kolam berbentuk lingkaran berada di sisi kiri sungai. Stasiun ketiga merupakan tempat terbuka yang ditanami rumput. Stasiun keempat adalah lokasi yang terdapat air terjun. Stasiun kelima merupakan jalan menuju telaga. Stasiun keenam merupakan tempat yang terdapat telaga bernama Telaga Pucung.



Gambar 1. Peta stasiun pengambilan data

Hasil dan Diskusi

Terdapat 13 spesies capung yang dijumpai di Wana Wisata Curug Cipendok (Tabel 1) pada bulan April-Juni 2022 dengan pengambilan data sebanyak 7 kali. Hal ini berbeda dengan hasil penelitian Herlambang *et al* (2016) di Kawasan Wisata Curug Lawe Benowo Ungaran Barat yang menjumpai 19 spesies capung, namun 11 di antaranya merupakan spesies yang sama [10]. Spesies-spesies yang sama yaitu *Orthetrum glaucum*, *Orthetrum pruinosum*, *Orthetrum sabina*, *Pantala flavescens*, *Zygonyx ida*, *Vestalis luctuosa*, *Euphaea variegata*, *Coeliccia membranipes*, *Drepanosticta gazella*, *Drepanosticta spatulifera*, dan *Drepanosticta sundana*. Ada pula perbedaan dengan hasil penelitian Irawan *et al.* (2017), capung yang dijumpai di kawasan Wana Wisata Curug Semarang Kecamatan Ungaran Barat, Semarang sebanyak 17 spesies [14].

Tabel 1. Data Spesies Capung di Wana Wisata Curug Cipendok Selama Penelitian

No	Nama	Famili	Jumlah
1.	<i>Vestalis luctuosa</i>	Calopterygidae	83
2.	<i>Helioecypha fenestrata</i> *	Chlorocyphidae	1
3.	<i>Drepanosticta gazella</i> *	Platystictidae	27
4.	<i>Drepanosticta spatulifera</i> *	Platystictidae	2
5.	<i>Drepanosticta sundana</i> *	Platystictidae	17
6.	<i>Coeliccia membranipes</i>	Platycnemididae	36
7.	<i>Euphaea variegata</i>	Euphaeidae	13
8.	<i>Orthetrum glaucum</i>	Libellulidae	1
9.	<i>Orthetrum pruinosum</i>	Libellulidae	34
10.	<i>Orthetrum sabina</i>	Libellulidae	131
11.	<i>Pantala flavescens</i>	Libellulidae	13
12.	<i>Neurothemis ramburii</i>	Libellulidae	2
13.	<i>Zygonyx ida</i>	Libellulidae	6

Keterangan:

*endemik Pulau Jawa [1]

Spesies-spesies yang sama dengan spesies yang dijumpai di Wana Wisata Curug Cipendok antara lain *Vestalis luctuosa*, *Heliocypha fenestrata*, *Euphaea variegata*, *Coeliccia membranipes*, *Drepanosticta sundana*, *Orthetrum glaucum*, *Orthetrum pruinosum*, *Orthetrum sabina*, *Pantala flavescens* dan *Zygonix ida*. Kesamaan habitat dapat berhubungan dengan kesamaan spesies yang dijumpai. Kebaruan temuan yang belum diteliti sebelumnya di kawasan ini yaitu 10 spesies capung. Sedangkan 3 spesies capung genus *Drepanosticta* yang sudah pernah diteliti sebelumnya di kawasan ini masih dapat dijumpai.

Data abiotik digunakan untuk menggambarkan kondisi lingkungan pada saat capung dijumpai. Capung-capung yang dijumpai pada saat penelitian ini diperoleh pada kondisi lingkungan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Faktor Abiotik

No.	Faktor Abiotik	Rentang
1.	Suhu udara (°C)	21-27
2.	Intensitas cahaya (lux)	459-148300
3.	Kelembapan udara (%)	24-92
4.	Kecepatan angin (m/s)	0-3,3
5.	Derajat keasaman air	5-7

Terdapat 13 spesies capung yang dijumpai di Wana Wisata Curug Cipendok. Wana Wisata Curug Cipendok memiliki keanekaragaman habitat di dalamnya. Ada hutan produksi, kolam, taman, air terjun, serta telaga. Capung-capung yang dijumpai pun menjadi beragam. Pada area hutan produksi yang memiliki naungan, capung-capung yang dijumpai adalah capung jarum. Capung-capung yang dijumpai pada kolam-kolam, taman, air terjun, dan telaga kebanyakan merupakan capung besar atau capung dari Subordo Anisoptera. Lingkungan tepi sungai dengan vegetasi tumbuhan yang beragam dan lebat menyediakan tempat bagi populasi capung jarum. Saat vegetasi beragam hilang sehingga lokasi akan terpapar cahaya matahari secara langsung akan menyediakan tempat bagi populasi capung biasa [17].

Pada stasiun 1 kanopi pohon *Pinus merkusii* dan *Agathis dammara* dimanfaatkan beberapa jenis capung untuk melindungi diri dari intensitas cahaya matahari yang tinggi [17]. Terdapat aliran air pada lokasi ini. Hal terpenting dari habitat capung yaitu mempunyai perairan atau dekat dengan perairan. Kaitan erat perairan yaitu dengan siklus hidup

capung [1]. Tumbuhan bawah seperti iris kuning, calathea, dan rumput digunakan capung jarum untuk bertengger. Capung membutuhkan tumbuhan bawah untuk bertengger dan berkembangbiak [17]. Capung-capung yang dijumpai pada stasiun ini yaitu capung dari Subordo Zygoptera atau kelompok capung jarum. Capung yang dijumpai pada stasiun ini antara lain *Vestalis luctuosa*, *Heliocypha fenestrata*, *Drepanosticta gazella*, *Drepanosticta spatulifera*, *Drepanosticta sundana*, *Coeliccia membranipes*, dan *Euphaea variegata*. *Drepanosticta* merupakan genus capung yang masuk ke dalam Famili Platystictidae. Famili capung ini biasa disebut capung jarum hutan. Capung jarum hutan memiliki warna tubuh dominan gelap. Stasiun ini merupakan stasiun yang memiliki kelembapan udara yang paling tinggi diantara stasiun lain yaitu 73-92%. *Drepanosticta gazella* dan *Drepanosticta sundana* menyukai habitat hutan berintensitas cahaya rendah dan lembab [25]. Pada stasiun ini jarang ada aktivitas manusia. Namun sesekali ada petugas setempat yang bertugas memanen getah pinus.

Pada lokasi kolam buatan yang berdampingan dengan aliran sungai ditemui capung *Vestalis luctuosa*, *Coeliccia membranipes*, *Euphaea variegata*, *Orthetrum sabina*, *Orthetrum pruinosum*, dan *Orthetrum glaucum*. Lokasi ini termasuk lokasi yang terpapar cahaya matahari secara langsung dengan intensitas cahaya yang terukur selama penelitian yaitu 2234-148300 lux. Capung menaikkan suhu tubuh dengan cara berjemur [23]. Karena kolam ini merupakan kolam yang dibangun untuk tujuan wisata, banyak aktivitas manusia. Biasanya orang datang ke tempat ini adalah untuk berfoto dan menikmati pemandangan.

Pada lokasi terbuka yang ditanami rumput serta terpapar cahaya secara langsung ditemui capung *Orthetrum sabina* dan *Pantala flavescens*. Intensitas cahaya yang terukur selama penelitian yaitu 13170-144100 lux. Intensitas cahaya yang terukur tersebut tertinggi diantara semua stasiun. Hal tersebut bermanfaat bagi capung karena capung menaikkan suhu tubuh dengan cara berjemur [23]. Pada lokasi ini terdapat taman dan gazebo untuk beristirahat para pengunjung. Di taman ini terlihat banyak kupu-kupu. Capung merupakan serangga karnivora. Capung memakan serangga kecil seperti lalat, kuku daun, wereng bahkan kupu-kupu [21]. Capung yang lebih besar dapat memakan kupu-kupu, lebah atau capung lain [25]. Banyak aktivitas manusia yang duduk dan beristirahat di gazebo dan tempat duduk.

Pada lokasi air terjun (Curug Cipendok) dijumpai capung *Coeliccia membranipes*,

Orthetrum sabina, *Zygonyx ida*, dan *Neurothemis ramburii*. Di sekeliling air terjun terdapat dinding batu alami yang ditumbuhi banyak tumbuhan liar. Banyak aktivitas manusia di tempat ini karena memang lokasi ini yang menjadi tujuan wisata. Aktivitas manusia yang sering terlihat adalah bermain air, berfoto maupun hanya sekedar berjalan sambil melihat pemandangan sekitar air terjun. Kesensitifan setiap spesies capung dewasa sangat bermacam-macam. Ada capung yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, capung yang sensitif akan pergi jika lingkungan alami berubah. Sedangkan spesies capung yang tidak sensitif akan tetap tinggal di lingkungan tersebut [17].

Pada lokasi jalan menuju telaga yang terdapat beberapa pohon besar dijumpai capung *Vestalis luctuosa*, *Coeliccia membranipes*, *Drepanosticta gazella*, *Euphaea variegata*, *Orthetrum sabina*, dan *Orthetrum pruinosum*. Di tempat ini terdapat aliran air. Hal terpenting dari habitat capung yaitu mempunyai perairan atau dekat dengan perairan. Kaitan erat perairan yaitu dengan siklus hidup capung [1]. Terdapat banyak tumbuhan bawah yang batangnya berair misalnya *Impatiens platypetala*. Biasanya capung sembunyi di sekitar tumbuhan bawah. Tempat ini biasanya dilalui orang mencari rumput untuk pakan ternak.

Pada lokasi Telaga Pucung capung yang dijumpai yaitu *Vestalis luctuosa*, *Coeliccia membranipes*, *Euphaea variegata*, *Orthetrum sabina*, *Orthetrum pruinosum*, dan *Neurothemis ramburii*. Bagian pinggir telaga ini terdapat tumbuhan yang tumbuh alami maupun ditanam. Perairan yang ditumbuhi tanaman merupakan habitat yang nyaman bagi capung [25]. Batang tanaman air dapat digunakan untuk tempat memanjat ketika naiad capung akan molting [21]. Beberapa pohon besar tumbuh di sekitar telaga. Kanopi pohon dimanfaatkan beberapa jenis capung untuk melindungi diri dari intensitas cahaya matahari yang tinggi [17].

Empat dari tiga belas spesies capung yang dijumpai di Wana Wisata Curug Cipendok merupakan spesies endemik Pulau Jawa. Spesies tersebut yaitu *Heliocypha fenestrata* (Gambar 2.) (Jawa Bali), *Drepanosticta gazella* (Gambar 3.), *Drepanosticta spatulifera* (Gambar 4.), dan *Drepanosticta sundana* (Gambar 5.) [1]. Spesies-spesies endemik ini akan terancam jika habitat alamnya hilang. Dalam hal ini sangat perlu menjaga hutan yang menjadi habitat spesies ini. Distribusi *Drepanosticta* terbatas di hutan tropis Asia [31]. Spesies dari genus *Drepanosticta* biasanya endemik pulau dan memiliki kemampuan terbang yang

terbatas [15]. Berdasarkan IUCN Red List, tiga spesies capung dari genus *Drepanosticta* ini masuk ke dalam kategori Data Deficient atau kekurangan data [6,7,8] oleh karena itu, spesies-spesies tersebut perlu diperhatikan secara khusus.



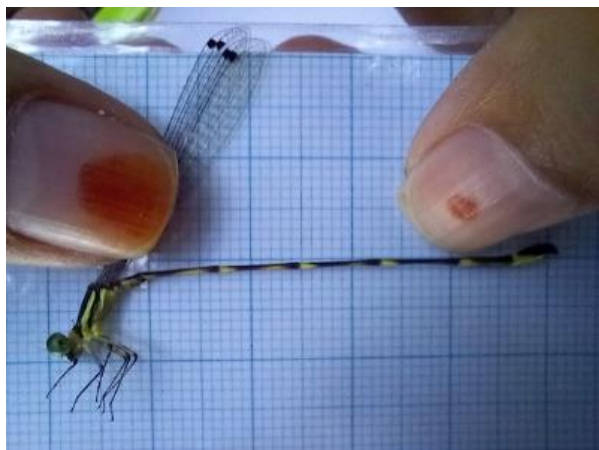
Gambar 2. *Heliocypha fenestrata*



Gambar 3. *Drepanosticta gazella*



Gambar 4. *Drepanosticta spatulifera*



Gambar 5. *Drepanosticta sundana*

Orthetrum sabina merupakan capung yang dijumpai hampir di semua stasiun. *Orthetrum sabina* umum dijumpai pada macam-macam habitat [18]. Habitat *Orthetrum sabina* yaitu di pemukiman, sawah, sungai, tambak, dan kolam. Capung ini biasanya memakan capung sejenis atau capung lain [25]. Pada saat observasi di lapangan ditemui *Orthetrum sabina* yang memakan capung lain pada stasiun 3.

Heliocypha fenestrata dijumpai hanya sekali pada stasiun pertama. Capung ini sering hinggap di daun dan ranting dekat dengan sumber air. Kadang hinggap di daun yang tinggi dan teduh. Capung ini dapat menggunakan habitat sawah, sungai, atau kolam [25], sungai bersih dan mengalir [18].

Orthetrum glaucum hanya dijumpai satu kali pada stasiun kedua. Spesies ini merupakan capung soliter. *Orthetrum glaucum* berhabitat di tempat terbuka di sekitar perairan sungai di tepi hutan atau perkebunan. *Orthetrum glaucum* jantan sering dijumpai berkompetisi dengan *Orthetrum pruinosum* [21]. Pada saat pengambilan data capung *Orthetrum glaucum* juga dijumpai pada stasiun yang sama dengan *Orthetrum pruinosum*.

Pantala flavescens hanya dijumpai pada stasiun ketiga. Habitat *Pantala flavescens* adalah di tambak, sawah, kebun, hutan, rawa, dan danau [1]. Capung ini memiliki kebiasaan terbang tinggi dari spesies Famili Libellulidae. Capung ini sering dijumpai terbang berkelompok. Capung ini jarang dijumpai saat hinggap [21]. Spesies ini merupakan spesies capung yang dapat bermigrasi [30].

Zygonyx ida dijumpai di sekitar air terjun (stasiun 4). *Zygonyx* senang terbang melewati semprotan air terjun dan bertelur pada akar tanaman sekitar air terjun [27]. Capung yang teramat memiliki perilaku yang unik yaitu terbang bolak-balik. Capung ini berhabitat di hutan sekunder [1], perairan berbatu di daerah pegunungan [18]. Hal ini

sangat sesuai karena Wana Wisata Curug Cipendok memang terletak di lereng gunung, yaitu Gunung Slamet.

Berdasarkan hasil perhitungan indeks Shannon Wiener capung yang dijumpai selama pengambilan data bulan April-Juni di Wana Wisata Curug Cipendok adalah senilai 1,881645. Nilai indeks tersebut termasuk ke dalam golongan nilai indeks sedang.

Wana Wisata Curug Cipendok menyediakan habitat untuk keberlangsungan hidup capung. Kawasan hutan produksi di wana wisata ini terdapat *Pinus merkusii* dan *Agathis dammara*. Tumbuhan mendukung keberlangsungan kehidupan capung sebagai tempat tinggal, penyedia pakan bagi mangsa, mating, hinggap, dan berlindung. Ketersediaan habitat misalnya sumber pakan. Saat hidup di air makanan capung adalah hewan air [25, 27] artinya air disana masih menyediakan makanan bagi capung. Makanan capung pada saat fase dewasa yaitu serangga lain, termasuk serangga herbivora. Tumbuhan yang ada di Wana Wisata curug Cipendok masih menyediakan pakan bagi capung. Misalnya kupu-kupu *Euploea tulliolus* di Wana Wisata Curug Cipendok memperoleh makanan dari tumbuhan. Semua kupu-kupu tersebut dapat dimakan oleh capung [25]. Kanopi *Pinus merkusii* dan *Agathis dammara* di Wana Wisata Curug Cipendok digunakan oleh beberapa jenis capung untuk melindungi diri dari paparan cahaya matahari yang tinggi [17]. Tumbuhan bawah yang ada di Wana Wisata Curug Cipendok seperti iris kuning (*Iris pseudacorus*), *Calathea* sp, dan *Impatiens platypetala* dimanfaatkan oleh beberapa jenis capung untuk bertengger dan berkembangbiak [17]. Beberapa jenis capung melakukan kawin di pohon-pohon terdekat dari perairan, sedangkan pada saat oviposisi dilakukan di vegetasi perairan [4].

Derajat keasaman air yang terukur di Wana Wisata Curug Cipendok yaitu pada rentang 5-7 (Tabel 2.) Angka tersebut masih menunjukkan pada toleransi rentang pH perairan dimana naiad capung dapat hidup. Derajat keasaman air ekstrim dimana capung masih tercatat ditemui pada perairan adalah 3-4 untuk pH terendah dan 8 untuk pH tertinggi [5].

Kecepatan angin di Wana Wisata Curug Cipendok yang terukur saat penelitian yaitu 0-3,3 m/s. Angin dimanfaatkan oleh capung saat terbang. Misalnya spesies *Pantala flavescens* yang memanfaatkan angin saat terbang dan bahkan untuk melakukan migrasi [30].

Semakin banyak jumlah jenis, makin besar keanekaragaman hayatinya. Jika suatu lingkungan memiliki keanekaragaman hayati yang rendah,

maka lingkungan tersebut sangat peka dan keseimbangannya mudah terganggu. Semakin tinggi keanekaragaman hayati, lingkungan tersebut semakin stabil. Keanekaragaman hayati sangat penting, tidak hanya untuk kelangsungan makhluk hidupnya, namun juga untuk kelestarian lingkungan itu sendiri. Pelestarian ekosistem dapat menjaga pelestarian jenis dengan seluruh plasma nutfahnya [14].

Simpulan

Spesies capung (Ordo Odonata) di Wana Wisata Curug Cipendok pada penelitian ini ada 13 spesies dari 2 Subordo dan 6 Famili. Nilai indeks keanekaragaman Shannon Wiener Capung di Wana Wisata Curug Cipendok tersebut masuk ke dalam kategori nilai indeks sedang.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Perum Perhutani Divre Jawa Tengah yang sudah memberikan izin penelitian di Wana Wisata Curug Cipendok.

Pustaka

- [1] Baskoro, K., F. Irawan., N. Kamaludin. (2018). *Odonata Semarang Raya Atlas Biodiversitas di Kawasan Semarang*. Semarang: Departemen Biologi Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro.
- [2] Budiman, M. A. K. (2014). Potensi Pengembangan Wisata Birdwatching di Wana Wisata Curug Cipendok Banyumas Jawa Tengah. *Skripsi*. Bogor: Departemen Konservasi Hutan dan Ekowisata. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- [3] Campbell, N. A. and J. B. Reece. *Biologi Edisi 8 Jilid 3*. (Alih Bahasa: D. T. Wulandari). Jakarta: Erlangga.
- [4] Corbet, P. S. (1962). *A Biology of Dragonfly*. London: H, F & G Witherby LTD.
- [5] Corbet, P. S. (1999). *Dragonflies: Behavior and Ecology of Odonata*. New York: Comstock Publishing Associates. Itacha.
- [6] Dow, R. A and Richards, S. (2021). *Drepanosticta gazelle. The IUCN Red List of Threatened Species* 2021: e.T145789285A179153095. <https://dx.doi.org/10/10.2305/IUCN.UK.2021-3.RLTS.T145789285A179153095.en> diakses pada 17 Juni 2022 pukul 00.07 WIB.
- [7] Dow, R. A. (2009). *Drepanosticta spatulifera. The IUCN Red List of Threatened Species* 2009: e.T163820A5656272. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T163820A5636820.en> diakses pada 17 Juni 2022 pukul 00.15 WIB.
- [8] Dow R. A. (2009). *Drepanosticta sundana. The IUCN Red List of Threatened Species* 2009: e.T163692A5636820. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T163692A5636820.en> diakses pada 17 Juni 2022 pukul 00.17 WIB.
- [9] Hanum, S. O. (2013). Jenis-jenis Capung (Odonata) di Kawasan Taman Satwa Kandi Kota Sawahlunto, Sumatera Barat. *J. Bio. U A*. 2(1): 71-76.
- [10] Herlambang, A. E. N., M. Hadi., U. Tarwotjo. (2016). Struktur Komunitas Capung di Kawasan Wana Wisata Curug Lawe Benowo Ungaran Barat. *Bioma* 18 (1) : 7077.
- [11] Herpina, R., F. Y. Ade., E. Afrianti (2014). Jenis-jenis Capung (Odonata: Anisoptera) di Komplek Perkantoran Pemerintahan Daerah (PEMDA) Kabupaten Rokan Hulu. Program Studi Pendidikan Biologi. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Pasir Pengaraian.
- [12] Indrawan, M., B. P. Richard dan J Supriatna. (2007). *Biologi Konservasi*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- [13] Irawan, F. M. Hadi., U. Tarwotjo. (2017). Struktur Komunitas Odonata di Wana Wisata Curug Semirang Kecamatan Ungaran Barat, Semarang. *Bioma*. 19 (1): 6975.
- [14] Irwan Z. D. (2004). *Tantangan Lingkungan dan Lansekap Kota*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- [15] Kalkman V. and A. Orr. (2013). Field Guide to the Dragonflies of New Guinea. *Brachytron*. 16: 3-120.
- [16] Lupiyaningdyah, P. (2016). Capung (Odonata) di Kawasan Karts Manoreh dan Gunungsewu, Jawa Tengah dan Yogyakarta. Bogor: Pusat Penelitian Biologi LIPI.
- [17] Nugrahani, M. P., L. Nazar., T. Makitan., J. Setiyono. (2014). *Peluit Tanda Bahaya Capung Indikator Lingkungan Panduan Penilaian Kualitas Lingkungan Melalui*

- Capung*. Yogyakarta: Indonesia Dragonfly Society.
- [18] Pamungkas, B. C., M. P. Nugrahani., T. T. Makitan. (2016). *Untring Dragonflies of Banyuwangi*. Yogyakarta: Indonesia Dragonfly Society.
- [19] Pamungkas, D. W., M. Ridwan. (2015). Keanekaragaman Jenis Capung dan Capung Jarum (Odonata) di Beberapa Sumber Air di Magetan, Jawa Timur. *Prosiding Seminar Masyarakat Biodiv Indonesia*. Vol 1 (6): 1295-1301.
- [20] Patty, N. (2006). Keanekaragaman Jenis Capung di Situ Gintung Ciputat, Tangerang. *Skripsi*. Jakarta : Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- [21] Rahadi, W. S., B. Feribisono., M. P. Nugrahani., B. Putri., T. T. Makitan. (2013). *Naga Terbang Wendit, Keanekaragaman Capung Perairan Wendit, Malang, Jawa Timur*. Malang: Indonesia Dragonfly Society.
- [22] Schowalter, Timothy D. (2006). *Insect Ecology: An Ecosystem Approach*. 2nd. Ed. Oxford: Elsevier Inc.
- [23] Schowalter, Timothy D. (2016). *Insect Ecology: An Ecosystem Approach*. 4nd. Ed Oxford: Academic Press.
- [24] Setiawan A., Djuwantoko, Bintari A. W., Kusuma Y. W. C., Pudyatmoko S., Imron M. A. (2007). Populasi dan Distribusi Rek-rekan (*Presbytis fredericae*) di Lereng Selatan Gunung Slamet. *Biodiversitas*. VIII (4): 305-308.
- [25] Setiyono, J., S. Diniarsih., E. N. R. Oscilata dan N. S. Budi (2017). *Dragonflies of Yogyakarta, Jenis Capung Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta: Indonesia Dragonfly Society.
- [26] Shouthwood, T. R. E and P. A. Henderson (2000). *Ecological Metods*. 3rd. Ed. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- [27] Silsby, J. (2001). *Dragonfly of the World*. UK: The Natural History Museum.
- [28] Subagyo, T. S. (2016). Keanekaragaman Capung (Odonata) di Kawasan Rawa Jombor, Klaten, Jawa Tengah. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [29] Syarifah, E. B., N. Fitriana., F. Wijayanti. Keanekaragaman Capung (Odonata) di Taman Mini Indonesia Indah dan Taman Margasatwa Ragunan, DKI Jakarta, Indonesia. *Bioprospek*. 13 (1): 50-58.
- [30] Troast, D., F. Suhling., H. Jinguji., G. Sahlen., J. Ware. (2016). A Global Genetic Study of *Pantala flavescens*. *PloS ONE*.11(3): e0148949.
- [31] Van Tol, J. (2009). Phylogeny and Biogeography of the Patystictidae (Odonata). *Thesis*. University of Leiden.
- [32] Wijayanto, A. G. (2017). Studi Komunitas dan Habitat Odonata di Kawasan Obyek Wisata Air Terjun Setawing Kulon Progo, DIY. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
- [33] Zaman, M. N., B. F. Fuadi., A. Sultoni. (2019). Diversity of Dragonfly Genus *Drepanosticta* in Tourism Forest Curug Cipendok, Banyumas Distric. *Proc. Internat. Conf. Sci. Engin*. Volume 2, Pages: 115-118.
- [34] Zaman, M. N., M. Yusuf., M. Romli., I. Syafii., T Hardhaka., B. F. Fuadi., A. Saikhu R., M. S.Ar Rouf., A. Adi., Z. Laily., P. Bimo P., H.Yudo P. (2017). Inventarisasi Keanekaan Anggota Ordo Odonata di Cagar Alam Nusakambangan Timur dan Sekitarnya Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek II*. ISSN : 2527-533.

PERBANDINGAN ANTARA METODE *DOUBLE* DAN *TRIPLE EXPONENTIAL SMOOTHING* UNTUK MERAMALKAN TINGKAT KEMISKINAN DI KABUPATEN YAHUKIMO PADA 2025-2030

COMPARISON BETWEEN *DOUBLE* AND *TRIPLE EXPONENTIAL SMOOTHING METHODS* FOR FORECASTING POVERTY RATE OF YAHUKIMO REGENCY IN 2025-2030

Agustinus Langowuyo, Felix Reba*, Yosefina Sarena

Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Cenderawasih

Jayapura Papua 99351 Indonesia

*e-mail : felix.reba85@gmail.com

Abstrak

Papua termasuk dalam lima daerah termiskin di Indonesia berdasarkan data yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Yahukimo merupakan kabupaten termiskin di Papua. Tujuan penelitian ini adalah meramalkan tingkat kemiskinan kabupaten Yahukimo dari tahun 2025–2030 menggunakan metode *Double Exponential Smoothing (DES)* dan *Triple Exponential Smoothing (TES)*. Data yang digunakan adalah data sekunder, yaitu data tingkat kemiskinan kabupaten Yahukimo dalam persen (%) dari tahun 2003–2019. Hasil perbandingan metode DES dan TES dengan parameter α dari 0,1–0,9 menunjukkan bahwa metode DES lebih baik dibandingkan metode TES. Hal ini terlihat dari nilai MAPE untuk DES adalah 0.01 yaitu pada saat $\alpha = 0,9$ sedangkan pada metode TES nilai MAPE terendah adalah 0.04 pada saat nilai α berturut-turut adalah 0.2, 0,3, 0,4 dan 0.5. Mengacu hasil MAPE, selanjutnya dilakukan peramalan tingkat kemiskinan kabupaten Yahukimo Provinsi Papua dari tahun 2025–2030 menggunakan metode DES dengan $\alpha = 0,9$. Hasil perhitungan metode DES menunjukkan bahwa tingkat kemiskinan pada tahun 2025-2030 berturut-turut adalah 36,48%, 36,09%, 35,7%, 35,31%, 34,92% dan 34,53%. Tingkat penurunan kemiskinan kabupaten Yahukimo menggunakan metode DES dari tahun 2025 -2030 adalah sekitar 2%.

Kata Kunci: Peramalan, tingkat kemiskinan, Yahukimo, *Double Exponential Smoothing*, dan *Triple Exponential Smoothing*.

Abstract

According to data released by Badan Pusat Statistik (BPS), one of the five poorest regions in Indonesia is Papua. Yahukimo is the poorest district in Papua. This study aims to predict the poverty rate of Yahukimo district in 2025-2030 using the *Double Exponential Smoothing (DES)* and *Triple Exponential Smoothing (TES)* methods. The data used is secondary data on the poverty rate of Yahukimo district in percent (%) for 2003-2019. Comparison of the DES and TES methods with α parameter from 0.1 - 0.9 shows that the DES method is better than the TES method. The smallest MAPE for DES is 0.01 when $\alpha = 0.9$, while in the TES method, the lowest MAPE value is 0.04 when the α values are 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5, respectively. Referring to the results of MAPE, then the forecasting of the poverty rate of Yahukimo district, Papua Province in 2025 - 2030 was done using the DES method with $\alpha = 0.9$. The predictions of the DES method show that the poverty rate in 2025 to 2030 are 36.48%, 36.09%, 35.7%, 35.31%, 34.92% and 34.53%, respectively. The poverty decrease rate for Yahukimo district using the DES method from 2025 to 2030 is around 2%.

Keywords: forecasting, poverty, Yahukimo, *Double Exponential Smoothing*, and *Triple Exponential Smoothing*.

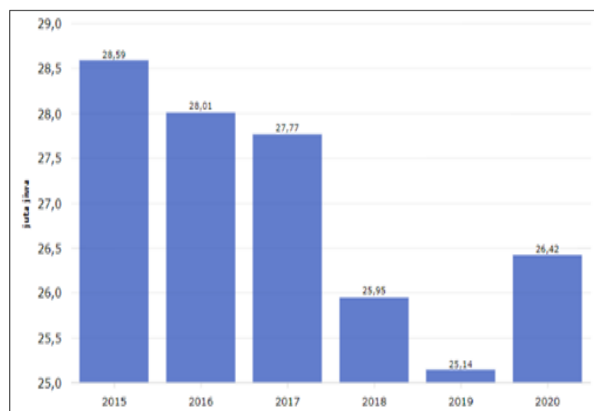
Pendahuluan

Ada begitu banyak masalah yang dihadapi oleh pemerintah saat ini, salah satunya adalah masalah kemiskinan. Kemiskinan bukanlah masalah yang baru, karena sudah merupakan masalah klasik yang dihadapi oleh banyak negara di dunia. Berdasarkan data tingkat kemiskinan, faktor penyebab kemiskinan di Indonesia di antaranya: Pertama, dari aspek produktivitas masyarakat yang dilihat dari rendahnya kualitas SDM, sehingga tidak berdaya saing. Kedua, dari

aspek faktor budaya, terlihat dari perilaku masyarakat yang tidak mau berusaha dan cenderung pasrah serta malas. Ketiga, dari aspek ketidakmerataan pembangunan, dimana pembangunan cenderung terkonsentrasi di wilayah Jawa sehingga berimbas pada ketertinggalan di wilayah luar Jawa. Keempat, jumlah penduduk. Kelima, tingkat pendidikan, Keenam, alokasi dana desa. Ketujuh, jumlah sembako dan dana desa. Kedelapan, indeks desa dibangun. Kesembilan, jarak desa ke ibukota. Kesepuluh, jumlah penduduk

yang menggunakan listrik nasional (PLN) tidak signifikan untuk mengurangi kemiskinan [1,2].

Data BPS mencatat bahwa total penduduk yang baik di pedesaan dan perkotaan di Indonesia dari tahun 2015—2019 mengalami penurunan. Namun mengalami kenaikan hampir mencapai 26,5% pada tahun 2020. Gambar 1 menunjukkan jumlah penduduk miskin di Indonesia.



Gambar 1. Histogram Total Penduduk Miskin di Indonesia Tahun 2015—2020.

Angka kemiskinan di Indonesia berdasarkan data yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa terdapat beberapa wilayah yang termasuk memiliki tingkat kemiskinan tertinggi di antaranya : Nusa Tenggara Timur, Maluku, Gorontalo dan Papua. Sedangkan Papua menjadi provinsi dengan tingkat kemiskinan paling tinggi dari ketiga wilayah tersebut [3,4]. Berdasarkan data kemiskinan yang dirilis oleh BPS Papua bulan Maret 2018 [5], wilayah pegunungan hampir menjadi wilayah dengan tingkat kemiskinan tertinggi di Provinsi Papua. Beberapa wilayah di pegunungan seperti: Intan Jaya, Lanny Jaya, Tolikara, Deiyai, Nduga, Yalimo, Yahukimo dan lainnya [6]. Data wilayah termiskin menurut kabupaten di Papua yang dirilis oleh BPS pada 2017 yakni ada tiga kabupaten. Tiga Kabupaten tersebut yaitu : Kabupaten Deiyai sebesar 43,63%, Kabupaten Intan Jaya sebesar 42,23%, dan Kabupaten Yahukimo sebesar 39,33% [7]. Ketidakpastian persediaan kebutuhan dasar mengakibatkan angka kemiskinan di Kabupaten Yahukimo setiap tahunnya tidak menentu. Terkadang dalam satu periode kemiskinan dapat meningkat, namun di periode lain kemiskinan dapat menurun.

Sebenarnya kasus kemiskinan bukanlah hal yang baru untuk Provinsi Papua, khususnya kabupaten Yahukimo, karena hal ini sudah terjadi pada tahun-tahun sebelumnya, sehingga pemerintah sudah seharusnya paham dengan

kondisi ini. Contohnya, jika kemiskinan masih terus terjadi di tahun ini, seharusnya arah kebijakan pemerintah perlu diperbaiki di tahun sebelumnya. Kenyataannya kasus kemiskinan tidak ditangani dengan serius, akibatnya situasi ini terus berulang di setiap tahunnya. Perlu dipahami bahwa, jika kasus ini terus terjadi, akan berdampak negatif kepada hal-hal lainnya seperti yang sedang terjadi saat ini.

Sebenarnya sudah ada penelitian sebelumnya terkait kemiskinan di Kabupaten Yahukimo [6]. Namun dalam penelitian ini yang dianalisis adalah implementasi kebijakan pemerintah dalam penanggulangan kemiskinan seperti pemenuhan kebutuhan dasar masyarakat. Berbeda dengan penelitian sebelumnya [6], tujuan penelitian ini adalah meramal tingkat kemiskinan kabupaten Yahukimo tahun 2025—2030. Dalam penelitian ini, digunakan data Kabupaten Yahukimo yaitu data BPS Papua tahun 2003—2019. Langkah pertama, dibandingkan dua metode peramalan, yaitu metode *Double* dan *Triple Exponential Smoothing*. Kedua, metode yang dianggap terbaik digunakan dalam meramal tingkat kemiskinan di Kabupaten Yahukimo tahun 2025—2030.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan. Langkah-langkah dalam penelitian ini yaitu mengumpulkan data tingkat kemiskinan kabupaten Yahukimo dari tahun 2003—2019, menguji stasioneritas data, melakukan peramalan dengan metode *Double Exponential Smoothing* (DES) dan *Triple Exponential Smoothing Brown* (TESB), membandingkan nilai *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) kedua metode, menentukan metode terbaik, dan yang terakhir melakukan peramalan dengan metode terbaik. Secara ringkas dijelaskan sebagai berikut:

Menguji Stasioneritas

Pengujian stasioneritas data pada penelitian ini digunakan definisi 1-4. Menurut [8]–[13] adalah sebagai berikut:

Definisi 1. Misalkan $\{X_t\}$ adalah suatu *time series* dengan $E(X_t^2) < \infty$. Fungsi nilai tengah (*mean function*) deret $\{X_t\}$ adalah [6]:

$$\mu_x(t) = E(X_t)$$

Definisi 2. Fungsi kovarians (*covariance function*) $\{X_t\}$ adalah [6]:

$$\begin{aligned} \gamma_x(r, s) &= \text{cov}(X_r, X_s) \\ &= E[(X_r - \mu_x(r))(X_s - \mu_x(s))] \end{aligned}$$

untuk semua bilangan bulat r dan s .

Definisi 3. Misalkan $\{X_t\}$ adalah suatu *time series* stasioner. Fungsi autokovariansi $\{X_t\}$ pada lag h adalah [6]:

$$\begin{aligned}\gamma_x(h) &= \text{cov}(X_{t+h}, X_t) \\ &= E[(X_{t+h} - \mu_x(t+h))(X_t - \mu_x(t))]\end{aligned}$$

Definisi 4. Misalkan $\{X_t\}$ adalah suatu *time series* stasioner. Fungsi autokorelasi $\{X_t\}$ pada lag h adalah:

$$\begin{aligned}\rho_x(h) &= \text{cor}(X_{t+h}, X_t) \\ &= \frac{\gamma_x(h)}{\gamma_x(0)}\end{aligned}$$

Data dikatakan Stasioner jika tidak terjadi penurunan atau kenaikan pada waktu tertentu. Artinya, pola data berada pada titik kesetimbangan di sekitar nilai rata-rata dan variansinya konstan dalam waktu tertentu.

Metode DES

Pada metode DES menurut [14]–[20], model yang dapat digunakan untuk data linear dan menunjukkan adanya *trend* adalah DES Satu Parameter dari Brown.

1. Persamaan DES

$$S'_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1} \quad (1)$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1} \quad (2)$$

$$a_t = S'_t + (S'_t - S''_t) \quad (3)$$

$$b_t = \frac{2S'_t - S''_{t-1}}{1 - \alpha} \quad (4)$$

dengan:

- S'_t : Eksponensial Tunggal
- S''_t : Eksponensial Ganda
- S'_{t-1} : Pemulusan Pertama Periode ke t
- S''_{t-1} : Pemulusan Kedua Periode ke t
- α : Parameter Eksponensial
- a_t, b_t : Konstanta Pemulusan
- m : Periode Waktu yang akan datang
- F_{t+m} : Nilai Ramalan Periode Ke depan

Untuk menggunakan persamaan di atas, maka perlu ditentukan terlebih dahulu nilai dari persamaan S'_{t-1} dan S''_{t-1} . Namun untuk $t = 1$, nilai persamaan tersebut tidak tersedia, sehingga nilai tersebut perlu ditentukan lebih awal.

2. Metode Dua Parameter dari Holt

Pada metode *Holt*, pemulusan ganda tidak dilakukan secara langsung, tetapi dilakukan dengan parameter berbeda menggunakan data asli [21]–[23]. Berikut adalah empat persamaan metode *Holt*.

a. Pemulusan Keseluruhan

$$S'_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-L}} + (1 - \alpha)(S'_{t-1} + b_{t-1})$$

b. Pemulusan Konstanta b

$$b_t = \gamma(S'_t - S'_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1}$$

c. Pemulusan Musiman

$$I_t = \beta \frac{X_t}{S'_t} + (1 - \beta)I_{t-L}$$

d. Nilai Prediksi

$$F_{t+m} = (S_t + b_t m)I_{t-L+m}$$

dengan :

- S'_t : Nilai Pemulusan Tunggal
- X_t : Data sebenarnya pada waktu ke- t
- b_t : Pemulusan Konstanta b
- I_t : Pemulusan Musiman
- m : Periode Masa Mendatang
- F_{t+m} : Nilai Ramalan
- α, β, γ : Konstanta

Metode TES

Berbeda dengan DES, pemulusan kurva dengan TES digunakan untuk pola data yang berbentuk kuadratik, kubik atau berorde tinggi [24]–[29]. Berikut adalah persamaan matematis untuk pemulusan *triple exponential smoothing*:

$$\begin{aligned}S'_t &= \alpha X_t + (1 - \alpha)S'_{t-1} \\ S''_t &= \alpha S'_t + (1 - \alpha)S''_{t-1} \\ S'''_t &= \alpha S''_t + (1 - \alpha)S'''_{t-1}\end{aligned} \quad (5)$$

$$a_t = 3S'_t - 3S''_t + S'''_t \quad (6)$$

$$\begin{aligned}b_t &= \frac{\alpha}{2(1 - \alpha)^2} \\ &= (6 - 5\alpha)(S'_t) - (10 - 8\alpha)(S''_t) \\ &\quad + (4 - 3\alpha)(S_t)\end{aligned} \quad (7)$$

$$c_t = \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)^2} S'_t - 2S''_t + S'''_t \quad (8)$$

$$F_{t+m} = a_t + b_t m + \frac{1}{2} c_t m \quad (9)$$

dengan :

- S'_t : Pemulusan Eksponensial Tunggal
- S''_t : Pemulusan Eksponensial Ganda
- S'''_t : Pemulusan Eksponensial *Tripel*
- X_t : Data Aktual pada Waktu ke- t

- a_t : Nilai Konstanta a
 b_t : Nilai Konstanta b
 c_t : Nilai Konstanta c
 F_{t+m} : Peramalan di Periode Berikutnya
 m : Jangka Waktu ke Depan
 α : Parameter Eksponensial

MAPE

MAPE biasa disebut sebagai ukuran kesalahan relatif. MAPE digunakan untuk menunjukkan persentase kesalahan dari hasil peramalan terhadap nilai aktual data selama periode tertentu. Nilai MAPE memberikan informasi terkait persentase kesalahan yaitu tinggi atau rendah [30, 31] :

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|e_t|}{X_t} \times 100\% \quad (11)$$

Tabel yang digunakan untuk mengevaluasi nilai MAPE ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. MAPE untuk Evaluasi	
MAPE	Akuransi
$MAPE \leq 10\%$	Tinggi
$10\% < MAPE \leq 20\%$	Baik
$20\% < MAPE \leq 50\%$	Layak
$MAPE > 50\%$	Rendah

Hasil Dan Pembahasan

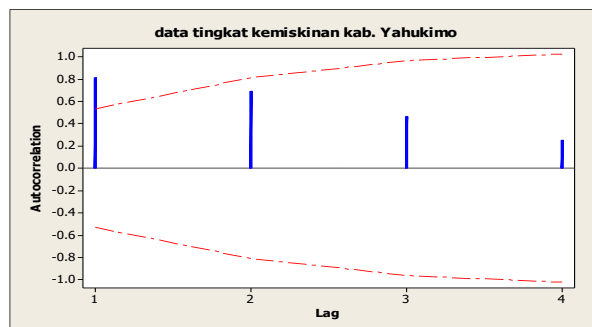
Data Penelitian

Data penelitian ini merupakan data tingkat kemiskinan dalam persen (%) untuk Kabupaten Yahukimo Provinsi Papua dari tahun 2003—2019.

Menguji Stasioneritas

Berdasarkan data di atas, maka dilakukan uji stasioneritas. Pengujian ini dilakukan menggunakan korelogram (*correlogram*) didasarkan pada fungsi ACF dengan memplotkan antara $\rho_x(h)$ dan h (*lag*). Untuk data yang stasioner, korelogram menurun dengan cepat menuju nol seiring dengan meningkatnya *lag*, sedangkan untuk data yang tidak stasioner, korelogram cenderung tidak menuju nol (turun lambat).

Gambar 2 menunjukkan grafik fungsi ACF menggunakan *software* Minitab 16.



Gambar 2. Grafik ACF Kabupaten Yahukimo

Dari grafik di atas terlihat jelas bahwa hanya ada satu *lag* yang melewati batas interval dan korelogram menurun dengan cepat menuju nol seiring dengan meningkatnya *lag*. Dengan demikian data tersebut bersifat stasioner dalam *mean*.

Metode DES

Peramalan data tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo pada tahun 2003 - 2019 menggunakan metode DES sebagai berikut: Menyiapkan data aktual, kemudian menghitung nilai peramalan *Single Exponential Smoothing* (SES) sebagai berikut :

Untuk $\alpha = 0,9$ pada peramalan tahun 2003 diasumsikan sebagai berikut:

$$S'_{2003} = S''_{2003} = X_1 = 46,93$$

Dapat dilihat bahwa nilai ramalan SES dan DES sama dengan data aktual tahun 2003.

Kemudian menghitung nilai konstanta (a_t) menggunakan Persamaan (2) diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 a_{2003} &= 2(46,93) - (46,93) \\
 &= 93,86 - 46,93 \\
 &= 46,93
 \end{aligned}$$

Menentukan nilai konstanta (b_t) dengan menggunakan Persamaan (3) hasilnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 b_{2003} &= \frac{0,9}{1 - 0,9} (46,93 - 46,93) \\
 &= \frac{0,9}{0,1} (0,00) \\
 &= 0,00
 \end{aligned}$$

Nilai peramalan (F_{t+1}) belum dapat ditentukan, karena nilai konstanta (a_t) dan (b_t) belum ditentukan pada tahun sebelumnya. Nilai peramalan (F_{t+1}) dapat dicari pada tahun ke-2 sebagai berikut, data peramalan pada tahun ke-2 (2004) diasumsikan sama dengan data aktual pada tahun ke-1 (2003) sehingga,

$$S'_{t-1} = S''_{t-1} = X_1 = 46,93$$

Menentukan nilai SES (S'_t) sebagai berikut,
Untuk $\alpha = 0,9$ peramalannya:

$$\begin{aligned} S'_{2004} &= (0,9)(45,74) \\ &\quad + (1 - 0,9)(46,93) \\ &= 41,166 + (0,1)(46,93) \\ &= 41,166 + 4,693 \\ &= 45,97 \end{aligned}$$

Menentukan nilai peramalan DES (S''_t) menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Untuk } \alpha = 0,9 \text{ peramalannya,} \\ S''_{2004} &= (0,9)(45,86) \\ &\quad + (1 - 0,9)(46,93) \\ &= 41,274 + (0,1)(46,93) \\ &= 41,27 + 4,693 \\ &= 45,97 \end{aligned}$$

Menghitung nilai konstanta (a_t) menggunakan Persamaan (2) diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} a_{2004} &= 2(45,86) - (45,96) \\ &= 91,72 - 45,96 \\ &= 45,75 \end{aligned}$$

Kemudian menentukan nilai konstanta (b_t) menggunakan Persamaan (3) hasilnya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} b_{2004} &= \frac{0,9}{1 - 0,9} (45,86 - 45,97) \\ &= \frac{0,9}{0,1} (-0,1) \\ &= -0,9 \end{aligned}$$

Mencari nilai peramalan tahun ke-2 dengan $m = 1$ menggunakan persamaan (4) hasilnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{2003+1} &= 46,93 + 0,00(1) \\ &= 46,93 \end{aligned}$$

Perhitungan menggunakan metode DES dengan $\alpha = 0,9$ pada data tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo seperti di atas dilakukan untuk tahun 2003, 2004, dan 2005. Kemudian perhitungan yang sama dilakukan untuk tahun 2006 - 2019. Hasil perhitungan manual selanjutnya disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Alpha 0,9 dengan DES

Tahun	a_t	b_t	F_{t+1}
2003	46,93	0,00	-
2004	45,75	-0,96	46,93
2005	48,25	1,86	44,79
2006	49,25	1,16	50,11
2007	48,36	-0,52	50,41
2008	50,60	1,74	47,85
2009	49,64	-0,47	52,34
2010	46,24	-2,87	49,16

Tahun	a_t	b_t	F_{t+1}
2011	46,19	-0,56	43,37
2012	42,02	-3,52	45,63
2013	43,22	0,35	38,50
2014	39,07	-3,34	43,57
2015	41,20	1,14	35,73
2016	40,64	-0,26	42,35
2017	39,34	-1,11	40,38
2018	39,24	-0,28	38,23
2019	38,82	-0,39	38,96

Metode TES

Untuk peramalan data tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo pada tahun 2003 - 2019 menggunakan metode TES sebagai berikut: Menyiapkan data aktual, kemudian menghitung nilai peramalan *Single Exponential Smoothing* (s'_t) sebagai berikut:

Perhitungan nilai Peramalan SES sebagai berikut, untuk $\alpha = 0,9$ pada peramalan tahun ke-1 (2003) diasumsikan :

$$S'_{t-1} = S'_{t-1} = S'''_{t-1} = X_1 = 46,93$$

Tahun 2003 nilai SES, DES dan TES sama dengan nilai data aktualnya. Selanjutnya menghitung nilai konstanta (a_t) menggunakan Persamaan (2) diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} a_{2003} &= 3(46,93) - 3(46,93) + 46,93 \\ &= 140,79 - 140,79 + 46,06 \\ &= 46,93 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung nilai konstanta pemulusan (b_t) menggunakan Persamaan (7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b_{2003} &= \frac{(0,9)}{2(1 - 0,9)^2} ((6 - 5(0,9)(46,93)) \\ &\quad - ((10 - 8(0,9)(46,93)) \\ &\quad + ((4 - 3(0,9)(46,93))) \\ &= \frac{0,9}{2(0,1)^2} (0,00) \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

Menghitung nilai konstanta pemulusan (c_t) menggunakan Persamaan (8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} c_{2003} &= \frac{(0,9)^2}{(1 - 0,9)^2} ((46,93 - 2(46,93) \\ &\quad + 46,93)) \end{aligned}$$

$$= \frac{0,81}{0,01} ((46,93 - 93,86 + 46,93))$$

$$= 0,00$$

Selanjutnya untuk mencari nilai peramalan (F_{t+1}) belum dapat dilakukan, karena nilai pemulusan konstanta (a_t) dan (b_t) belum ditentukan pada tahun sebelumnya. Nilai Peramalan (F_{t+1}) dapat dicari pada tahun ke-2 (2004) dengan cara sebagai berikut :

$$X_{2004} = 45,74$$

Perhitungan nilai Peramalan SES sebagai berikut : Untuk $\alpha = 0,9$ peramalannya,

$$S'_{2004} = (0,9)(45,74) + (1 - 0,9)(46,93)$$

$$= 41,166 + (0,1)(46,93)$$

$$= 41,166 + 4,693$$

$$= 45,86$$

Menghitung nilai peramalan DES (S''_t) menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut:

$$\text{Untuk } \alpha = 0,9 \text{ peramalannya,}$$

$$S''_{2004} = (0,9)(45,86) + (1 - 0,9)(46,93)$$

$$= 41,274 + (0,1)(4,93)$$

$$= 41,274 + 4,693$$

$$= 45,97$$

Menghitung nilai peramalan TES (S'''_t) menggunakan Persamaan (5) sebagai berikut:

$$\text{Untuk } \alpha = 0,9 \text{ peramalannya,}$$

$$S'''_{2004} = (0,9)(45,97) + (1 - 0,9)(46,93)$$

$$= 41,37 + (0,1)(46,93)$$

$$= 41,37 + 4,69$$

$$= 46,06$$

Menghitung nilai konstanta pemulusan (a_t) menggunakan persamaan (6) sebagai berikut:

$$a_{2004} = 3(45,86) - 3(45,97) + 46,06$$

$$= 137,58 - 137,91 + 46,06$$

$$= 45,74$$

Menghitung nilai konstanta pemulusan (b_t) menggunakan Persamaan (7):

$$b_{2004} = \frac{(0,9)}{2(1 - 0,9)^2} ((6 - 5(0,9)(45,86))$$

$$- ((10 - 8(0,9)(45,97))$$

$$+ ((4 - 3(0,9)(46,06)))$$

$$= \frac{0,9}{2(0,1)^2} ((6 - 206,37)$$

$$- (10 - 330,984) + (4 - (124,362)))$$

$$= -0,80$$

Menghitung nilai konstanta pemulusan (c_t) menggunakan Persamaan (8) :

$$c_{2004} = \frac{(0,9)^2}{(1 - 0,9)^2} ((45,86 - 2(45,97)$$

$$+ 46,06))$$

$$= \frac{0,81}{0,01} ((45,86 - 91,94 + 46,06))$$

$$= -0,87$$

Selanjutnya menentukan nilai peramalan tahun ke-2 (2004) dengan $m = 1$ menggunakan Persamaan (9) sebagai berikut:

$$F_{2003+1} = 46,93 + 0,00(1) + \frac{1}{2}(0,00)(1)$$

$$= 46,93 - 0 - 0$$

$$= 46,93$$

Perhitungan menggunakan metode TES dengan $\alpha = 0,9$ pada data tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo seperti di atas dilakukan untuk tahun 2004 dan 2005. Kemudian perhitungan yang sama dilakukan untuk tahun 2006 – 2019.

Hasil perhitungan manual selanjutnya disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Alpha 0,9 metode TES.

Tahun	a_t	b_t	c_t	F_{t+1}
2003	46,93	0,00	0,00	-
2004	45,74	-0,80	-0,87	46,93
2005	48,28	1,82	2,46	44,51
2006	49,24	0,44	-0,39	51,33
2007	48,34	-0,82	-1,55	49,49
2008	50,63	1,55	1,88	46,75
2009	49,62	-0,89	-1,80	53,11
2010	46,21	-2,28	-2,33	47,82
2011	46,21	0,38	1,84	42,77
2012	41,99	-2,65	-2,48	47,52
2013	43,26	1,34	3,23	38,09
2014	39,03	-2,75	-2,99	46,22
2015	41,25	1,92	3,73	34,78
2016	40,63	-0,45	-0,89	45,04
2017	39,33	-0,86	-0,85	39,73
2018	39,25	0,10	0,66	38,04
2019	38,82	-0,21	-0,03	39,67

MAPE

Untuk mengetahui metode peramalan yang paling tepat adalah dengan membandingkan kesalahan peramalan dari masing-masing metode peramalan. Hasil perbandingan menggunakan metode DES dan TES dengan parameter α dari 0,1 sampai 0,9 pada data tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. MAPE metode DES dan TES

NO	α	MAPE	
		DES	TES
1	0.1	0,10	0,05
2	0.2	0,08	0,04
3	0.3	0,07	0,04
4	0.4	0,05	0,04
5	0.5	0,04	0,04
6	0.6	0,03	0,05
7	0.7	0,02	0,05
8	0.8	0,02	0,06
9	0.9	0,01	0,07

Berdasarkan Tabel 4, diketahui tingkat keakuratan peramalan menggunakan kedua metode ini dikatakan sangat tinggi karena memiliki rata-rata nilai MAPE di bawah 10%. Hasil peramalan data tingkat kemiskinan di Kabupaten Yahukimo memiliki nilai MAPE terkecil menggunakan metode DES dengan $\alpha = 0,9$, sehingga selanjutnya dapat dilakukan peramalan tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo Provinsi Papua tahun 2025 - 2030 menggunakan metode DES dengan nilai parameter $\alpha = 0,9$.

Peramalan dengan DES

Setelah menentukan metode terbaik, selanjutnya dilakukan peramalan untuk tahun yang akan datang yaitu dari tahun 2025—2030 menggunakan metode DES dengan $\alpha = 0,9$. Peramalan di tahun yang akan datang menggunakan rumus:

$$F_{t+m} = a_t + b_t(m); m = 1, 2, 3, \dots, n$$

Nilai (a_t) dan (b_t) diambil dari Tabel 2 pada metode DES pada tahun 2019. Karena tahun yang akan diramalkan tahun 2020, sedangkan nilai m merupakan periode waktu peramalan maka jumlah peramalan yang akan datang ditentukan oleh jumlah tahun sebelumnya. Berikut ini adalah proses dari penyelesaian peramalan untuk tahun 2025 - 2030.

$$\begin{aligned} F_{t+m} &= a_t + b_t(m) \\ f_{2019} &= 38,82 + (-0,39)(1) \approx 38,43 \\ f_{2020} &= 38,82 + (-0,39)(1) \approx 38,43 \\ f_{2021} &= 38,82 + (-0,39)(2) \approx 37,04 \end{aligned}$$

Hasil hitungan peramalan selanjutnya disajikan dari tahun 2025-2030 pada Tabel 5.

Tabel 5. Peramalan dengan DES

Tahun	a_t	b_t	m	F_{t+m}
2025	38,82	-0,39	6	36,48
2026	38,82	-0,39	7	36,09
2027	38,82	-0,39	8	35,7
2028	38,82	-0,39	9	35,31
2029	38,82	-0,39	10	34,92
2030	38,82	-0,39	11	34,53

Berdasarkan hasil prediksi pada Tabel 5, tahun 2025 tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo mencapai 36,48%, mengalami penurunan. Tahun 2026 tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo mencapai 36,09% mengalami penurunan dari tahun sebelumnya. Tahun 2027 tingkat kemiskinan mencapai 35,7%. mengalami penurunan yang drastis. Tahun 2028 tingkat kemiskinan mencapai 35,31%. Tahun 2029 tingkat kemiskinan mencapai 34,92% dan tahun 2030 tingkat kemiskinan mencapai 34,53%, mengalami penurunan yang drastis dari tahun sebelumnya.

Penelitian lain [6] yang diterbitkan tahun 2020 menyebutkan bahwa pemerintah Yahukimo sudah berupaya mengimplementasikan berbagai program secara lintas sektoral dalam menurunkan angka kemiskinan, namun belum signifikan mengentaskan kemiskinan di Kabupaten Yahukimo. Seperti yang telah diutarakan pada latar belakang terkait peramalan tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo tahun 2025—2030, bahwa pemerintah harus terus serius dalam mengatasi masalah ini, karena hasil peramalan tingkat kemiskinan tahun 2025 sampai dengan tahun 2030 mengalami penurunan kemiskinan. Artinya, jika upaya ini terus dipertahankan pemerintah, maka status Yahukimo sebagai kabupaten termiskin akan berubah pada tahun 2030.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dibahas, maka beberapa hal dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Peramalan data tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo lebih akurat menggunakan metode DES dimana nilai parameter $\alpha = 0,9$ menghasilkan nilai $MAPE = 0,011\%$. Berbeda dengan metode TES, dengan nilai parameter $\alpha = 0,9$ menghasilkan nilai $MAPE = 0,078\%$.
2. Berdasarkan hasil peramalan, tingkat kemiskinan Kabupaten Yahukimo dari tahun 2025 sampai dengan tahun 2030 mengalami

penurunan. Tahun 2025 mencapai 36,48%, dan tahun 2030 mencapai 34,53%.

3. Berdasarkan hasil peramalan, tren membentuk *quadratic* turun, sehingga dapat juga digunakan metode pemulusan eksponensial tripel satu parameter tipe Brown untuk meramal tingkat kemiskinan di Kabupaten Yahukimo.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, melalui Hibah Penelitian yang diusulkan melalui sumber dana PNBP (Penerimaan Negara Bukan Pajak) tahun anggaran 2022, pada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Cenderawasih.

Daftar Pustaka

- [1] S. N. Hasibuan, B. Juanda, and S. Mulatsih, "Analisis Sebaran Dan Faktor Penyebab Kemiskinan di Kabupaten Bandung Barat," *J. Agribisnis Indones.*, 2019, doi: 10.29244/jai.2019.7.2.79-91.
- [2] E. Win, "Kemiskinan di Indonesia (Faktor-Faktor Penyebab Dan Solusinya)," *SOSFILKOM J. Sos. Filsafat dan Komun.*, 2018, doi: 10.32534/jsfk.v12i01.1447.
- [3] I. Indrawati, S. N. Sarfiah and R. Destiningsih, "Analisis Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Ketimpangan Distribusi Pendapatan, Dan Indeks Pembangunan Manusia Terhadap Tingkat Kemiskinan Provinsi Papua Tahun 2014-2019," *jom.untidar.ac.id*, 2019.
- [4] J. Suprijati, S. R. Damayanti, and D. Irawan, "Desentralisasi Fiskal dan Kemiskinan di Provinsi Papua," *Syntax Lit. ; J. Ilm. Indones.*, 2022, doi: 10.36418/syntax-literate.v7i1.6013.
- [5] BPS, "Provinsi Papua Dalam Angka 2018," *Badan Pus. Stat. Provinsi Papua*, 2018.
- [6] Y. Sunyap, H. Hamka, and S. Bahri, "Implementasi Kebijakan Penanggulangan Kemiskinan Di Kecamatan Bonmela Kabupaten Yahukimo," *J. Paradig. Adm. Negara*, 2021, doi: 10.35965/jpan.v2i2.396.
- [7] Hasta Budiratna and Riatu M. Qibthiyyah, "Evaluasi Atas Transfer Dana Otonomi Khusus Di Aceh, Papua, Dan Papua Barat," *J. Indones. Sos. Sains*, 2020, doi: 10.36418/jiss.v1i5.103.
- [8] P. J. Brockwell and R. A. Davis, *Introduction to Time Series and Forecasting in Statistics*. 2016.
- [9] F. Lazzeri, "Introduction to Neural Networks for Time Series Forecasting," in *Machine Learning for Time Series Forecasting with Python®*, 2020. doi: 10.1002/9781119682394.ch5.
- [10] M. M. Kilgo, "Introduction to Time Series and Forecasting," *J. Qual. Technol.*, 1998, doi: 10.1080/00224065.1998.11979860.
- [11] J. Brownlee, "Introduction to Time series forecasting," *Mach. Learn. mastery*, 2013.
- [12] "Introduction to time series analysis and forecasting," *Choice Rev. Online*, 2008, doi: 10.5860/choice.46-0946.
- [13] T. L. Utlaut, "Introduction to Time Series Analysis and Forecasting," *J. Qual. Technol.*, 2008, doi: 10.1080/00224065.2008.11917751.
- [14] P. D. P. Silitonga, H. Himawan, and R. Damanik, "Forecasting acceptance of new students using double exponential smoothing method," *Journal of Critical Reviews*. 2020. doi: 10.31838/jcr.07.01.57.
- [15] F. Liantoni and A. Agusti, "Forecasting bitcoin using double exponential smoothing method based on mean absolute percentage error," *Int. J. Informatics Vis.*, 2020, doi: 10.30630/joiv.4.2.335.
- [16] T. Salsabila and K. Kariyam, "Perbandingan Triple Exponential Smoothing Dan Decomposition + Double Exponential Smoothing Pada Peramalan Penyebaran Informasi Hoax," *Pros. SENDIKA*, 2020.
- [17] A. S. Ahmar, F. Fitmayanti, and R. Ruliana, "Modeling of inflation cases in South Sulawesi Province using single exponential smoothing and double exponential smoothing methods," *Qual.*

- Quant.*, 2022, doi: 10.1007/s11135-021-01132-8.
- [18] M. H. Elison, R. Asrianto, and Aryanto, "Prediksi Penjualan Papan Bunga Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing," *J. Ris. Sist. Inf. dan Teknol. Inf.*, 2020, doi: 10.52005/jursistekni.v2i3.60.
- [19] U. I. Anjani, C. Suhery, and U. Ristian, "Prediksi Permintaan Produk Kopi Bubuk Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing Berbasis Website," *J. Komput. dan Apl.*, 2020.
- [20] H. D. P. Habsari, I. Purnamasari, and D. Yuniarti, "Forecasting Uses Double Exponential Smoothing Method And Forecasting Verification Uses Tracking Signal Control Chart (Case Study: Ihk Data Of East Kalimantan Province)," *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, 2020, doi: 10.30598/barekengvol14iss1pp013-022.
- [21] Noeryanti, E. Oktafiani, and F. Andriyani, "Aplikasi Pemulusan Eksponensial Dari Brown Dan Dari Holt Untuk Data Yang Memuat Trend," 2012.
- [22] S. Sari and D. Jannati, "Analisis Perancangan Kebutuhan Kopi Best Seller Untuk Memenuhi Permintaan Di Cafe Kopi Titik Dengan Menggunakan Metode Peramalan," *Bina Tek.*, 2021, doi: 10.54378/bt.v17i1.2729.
- [23] U. Rahmat and P. D. Wahyuni, "Peramalan Respon Pendengar Di Radio Melalui Pesan Singkat (Sms) Dengan Menggunakan Metode Pemulusan Eksponensial Ganda (Studi Kasus : Radio Cakti Budhi Bhakti (CBB) 105,4 FM)," *STATMAT J. Stat. DAN Mat.*, 2019, doi: 10.32493/sm.v1i2.2968.
- [24] Y. Farida, D. A. Sulistiani, and N. Ulinuha, "Peramalan Indeks Pembangunan Manusia (Ipm) Kabupaten Bojonegoro Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing Brown," *Teorema Teor. dan Ris. Mat.*, 2021, doi: 10.25157/teorema.v6i2.5521.
- [25] A. Aden and Anggela Supriyanti, "Prediksi Jumlah Calon Peserta Didik Baru Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing Dari Brown," *LEBESGUE*, 2020, doi: 10.46306/lb.v1i1.14.
- [26] W. A. Cahyono and S. A. K. Dewi, "Sistem Informasi Analisa Kelulusan Mahasiswa Asia Menggunakan Exponential Smoothing Brown-Additive," *SMATIKA J.*, 2020, doi: 10.32664/smatika.v10i01.441.
- [27] M. Kurniawati, "Metode Triple Exponential Smoothing Tipe Brown Pada Peramalan Produksi Padi Provinsi Jawa Tengah," *J. Ilm. Mat. dan Pendidik. Mat.*, 2021, doi: 10.20884/1.jmp.2021.13.2.4318.
- [28] N. H. Ar and M. Kurniawan, "Analisis Fast Moving Consumer Goods untuk Memprakirakan Penjualan Barang Menggunakan Metode Triple Exponential Smoothing," ... *J. Inf. Technol.*, 2021.
- [29] D. Anggraeni, S. Maryani, and S. Ariadhy, "Peramalan Garis Kemiskinan Di Kabupaten Purbalingga Tahun 2021-2023 Dengan Metode Double Exponential Smoothing Linier Satu Parameter Dari Brown," *J. Ilm. Mat. dan Pendidik. Mat.*, 2021, doi: 10.20884/1.jmp.2021.13.2.4548.
- [30] F. Reba, A. Sroyer, S. Yokhu, and A. Langowuyo, "Perbandingan Metode Weighted Moving Average dan Single Exponential Smoothing Angka Partisipasi Sekolah Wilayah Adat, Papua," *Sainmatika J. Ilm. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam*, 2021, doi: 10.31851/sainmatika.v18i2.6617.
- [31] F. Reba and A. Sroyer, "Prediksi Angka Partisipasi Kasar (APK) SD/SMP/SMA dan Sederajat Tahun 2022–2030 Menggunakan Moving Average Kabupaten Jayapura Provinsi Papua," *J. Cendekia J. Pendidik. Mat.*, 2020, doi: 10.31004/cendekia.v4i2.273.

THE CALCINATION EFFECT ON THE CRYSTALLINITY, NITROGEN CONTENT, AND PORE STRUCTURE OF NITROGEN-DOPED TITANIUM DIOXIDE

Cahyorini Kusumawardani

Departement of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Negeri Yogyakarta

*email : cahyorini.k@uny.ac.id

Submitted : 11 May 2022, Accepted : 14 September 2022

Abstract

Mesoporous nitrogen-doped titanium dioxide nanomaterials have been synthesized through a one-step sol gel process with dodecylamine as the pore template as well as the nitrogen source. The calcination process plays an important role in the crystallization process, determination of doped nitrogen, and pore formation. The effect of calcination temperature on the material structure was studied by calcination treatment of the as-synthesized material at several temperature variations. The resulting materials were characterized using FTIR, XRD, XPS, and N_2 gassorption analysis. The results showed that the anatase TiO_2 crystal structure began to form with calcination at 400 °C. The higher calcination temperature tends to cause the transformation of anatase crystal phase into rutile. The higher calcination temperature also affects the doped nitrogen content, where the pore-templating molecules begin to disappear at a calcination temperature and leaving a number of dopants on TiO_2 . All dopants are released from TiO_2 at a calcination temperature of 600 °C. The optimum calcination temperature to form mesoporous structure was 450 °C, and the sintering occurs at a calcination temperature higher than optimum temperature indicated by the collapse of the pore structure.

Keywords: calcination, sintering effect, nitrogen-doped titanium dioxide, sintering

Introduction

Titanium dioxide (TiO_2) based materials have been intensively researched and developed for photocatalysts and photovoltaics applications since Fujishima and Honda (1972) reported the first TiO_2 photoanode in photoelectrochemical cell. TiO_2 has a fairly wide band gap energy, nontoxic, can be regenerated, easy to prepare, has high photoactivity, high surface area, high chemical and photochemical stability and does not cause secondary pollution [1]. However, the band gap energy of TiO_2 which ranges from 3 to 3.4 eV makes TiO_2 only active in the ultraviolet light region (200-400nm). This is a big problem in the utilization of TiO_2 -based solar energy because only 3-5% of sunlight is emitted in the UV region [2]. Therefore, it is necessary to increase the response of TiO_2 in the visible region to increase the efficiency of photocatalytic based on TiO_2 .

Efforts made to shift the absorption of TiO_2 to the visible region were initially carried out by doping transition metal ions [3,4] but it was reported that metal-doped TiO_2 is thermally unstable [5] and has a tendency to form charge carrier recombination centers [4]. In addition, the high cost of ion implantation facilities makes metal doping methods

difficult to develop. New intensive efforts to obtain an active TiO_2 in the visible region is the substitution of non-metallic elements such as N, C, S, P and B to the oxygen side of the TiO_2 lattice [6-9]. Among these non-metallic elements, nitrogen is reported to be the most effective dopant to improve the response of TiO_2 in the visible region [10-12] since it has similar size as oxygen and a small ionization energy of 1402.3 kJ/mol [8].

Nitrogen-doped TiO_2 provides an increased response in the visible region characterized by a shift in the absorption edge up to 600 nm [10] and a decrease in band gap energy up to 2.4 eV [12], indicated by the red shift of the absorption band edge and provide an increase in photoactivity of TiO_2 as a photocatalyst degradation reactions of colored organic compounds [11]. However, the photoactivity of TiO_2 is also highly influenced by physicochemical properties of materials such as particle size, crystallinity, and porosity [1]. TiO_2 mesoporous nanoparticles have several advantages such as high surface area and charge transfer due to easier photon induction [13]. High surface area helps exposure to effective radiation uptake and

facilitate the occurrence of photochemical reactions on the surface, while the ease of charge transfer helps the process of capture and donation of photon-induced electrons. These properties are also expected to provide benefits to the nitrogen-doped TiO_2 . The photoactivity of TiO_2 is also influenced by the crystal phase of TiO_2 , although the rutile phase is the most stable structure but the anatase phase is the most photoactive crystal phase [14]. The synthesis of nitrogen-doped TiO_2 has been carried out by several methods including sputtering and implantation techniques [9,15], calcination of TiO_2 with high temperatures in nitrogen-containing atmospheres [12, 16-18], and sol gel methods [19-23]. The sol gel synthesis method is one of possible method to control the level of nitrogen doping, crystallinity and porosity of nanoparticles [10].

In the synthesis of nitrogen-doped TiO_2 , calcination process is being one of important step need to be optimized, because it determines the crystal growth and also the nitrogen-doped content. A specific calcination temperature is needed to convert the amorphous as-synthesized nitrogen-doped TiO_2 to expected anatase crystal phase and removed the precursor materials. An over high calcination temperature will lead the transformation of anatase to rutile crystal phase and the loss of high nitrogen doped. The calcined materials may be affected by the sintering process during the calcination which will collapsed the pore. This article reported the effect of calcination temperature towards crystallinity, nitrogen content, and sintering effect, of nitrogen-doped TiO_2 .

Methods

Materials

Titanium tetra isopropoxide (TTIP) 97% was purchased from Aldrich, dodecylamine (DDA) 98%, was obtained from Fluka, while ethanol absolute and acetic acid glacial were purchased from Merck. All materials were used as received without further purification.

Synthesis of Nitrogen-doped TiO_2

The synthesis of nitrogen-doped TiO_2 was done following previous developed procedures [6] by refluxing the mixture of dodecylamine and TTIP ethanolic solution in the pH of 5. The solution was the hydrolized by the dropwise addition of 25 mL deionized water under vigorous stirring and continued stirring for 24 hours, continued by aging process of 72 hours. The resulting yellowish precipitates were filtered and washed using distilled

water and ethanol (1/1 V/V). The powder was calcined at varied temperature from 100-800 °C at a heating rate of 2 °C /min in an air atmosphere for 4 hours.

Characterization

The crystal structure of the resulted N-doped TiO_2 powder was characterized using an X-ray Powder Diffractometer (Shimadzu, X-6000) with $\text{Cu K}\alpha$ radiation ($\lambda = 0.15406$ nm). The specific surface area was examined by standard BET equipment (Quantochrome Autosorb-2) and Barret-Joyner-Halenda (BJH) was used to determine the pore size distribution. The elemental analysis was done using X-ray Photoelectron Spectroscopy analysis (Thermo-advantage 5200W).

Results and Discussions

The effect of calcination treatment on the character of nitrogen-doped TiO_2 was studied by calcining the as synthesized material for 4 hours at several temperature variations with a temperature increase rate of 2 °C /min. Changes in functional groups that occur during the calcination process were characterized by FTIR, as shown in Figure 1. Based on the FTIR spectra, it can be seen that the calcination treatment was effective enough to remove the dodecylamine molecule as the pore template and nitrogen source, which was characterized by the disappearance of residual organic groups of the dodecylamine molecule. Organic groups began to escape from N-doped TiO_2 after calcination at 300 °C indicated by the disappearance of C-H vibrational bands in the region around 1350 cm^{-1} and 2800-3000 cm^{-1} . O-H and N-H vibrational bands that coincide in the area around 3200-3500 cm^{-1} no longer appeared in the spectra of the material calcined at 450 °C, indicating that the dodecylamine molecules have completely disappeared from the synthesized material. However, there are still peaks in the ~2350 cm^{-1} and ~1650 cm^{-1} regions that indicate the presence of carbon and nitrogen species in TiO_2 [10].

The crystal growth from amorphous structure into a crystalline structure (crystallization process) leaded by the calcination process was also confirmed by FTIR spectra. The presence of anatase TiO_2 crystal structure is indicated by the wide and strong peak in the region of 300-700 cm^{-1} as also reported by Gonzales *et al* [24]. The sharp peak in the region of 360 cm^{-1} shows the characteristics of anatase Ti-O structure which is getting sharper with

increasing crystallinity as also reported by Sankapal, *et al.* [25].

The releasing process of dodecylamine molecules in the as-synthesized N-doped TiO_2 was then focused out by FTIR analysis of the material calcined at 450°C and dodecylamine as a reference (Figure 2). It indicates the presence of organic precursor functional groups adsorbed on the surface of as-synthesized material with the presence of C-H stretching vibrational bands between $1800\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$ and $2800\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$. The $-\text{NH}_2$ group of dodecylamine appeared in the area around $1600\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$ and $3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$. The region below 1000 cm^{-1} is characteristic of Ti-O-Ti framework vibrations. These organic groups of dodecylamine disappeared in the N-doped TiO_2 material after calcination at 450°C . There is still shows a band peak in the $\sim 1650\text{ cm}^{-1}$ region which indicates the N-H vibrational band, revealing the presence of nitrogen doping or adsorbed on TiO_2 as also reported by many researchers [10,12,26-29].

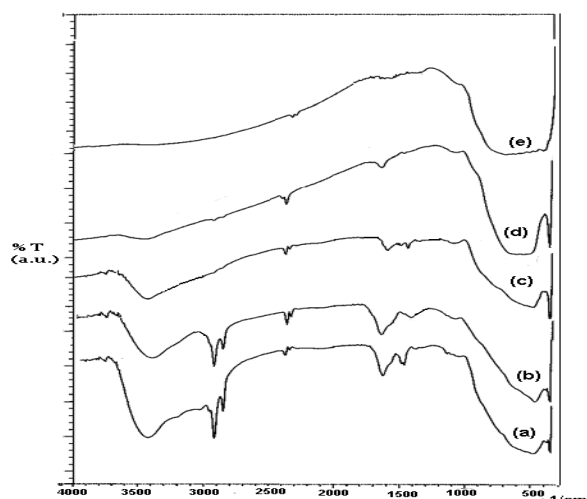


Figure 1. FTIR spectra of nitrogen-doped TiO_2 : (a) as-synthesized; (b) calcined at (b) 200; (c) 300; (d) 450 dan (e) 600°C

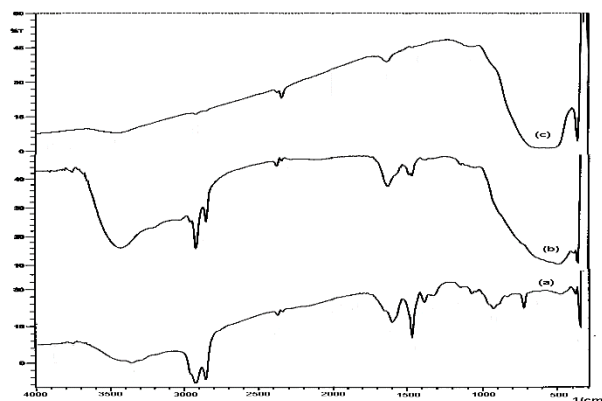


Figure 2. FTIR spectra of (a) dodecylamine; (b) synthesized N-doped TiO_2 powder and (c) N- TiO_2 after calcination at 450°C

XRD analysis of the calcined material at various temperatures presented in Figure 3, which shows that calcination treatment greatly affects the formation of N-doped TiO_2 crystals. XRD spectra confirm that N-doped TiO_2 is amorphous even after calcined at temperatures $<400^\circ\text{C}$. The anatase crystal phase began to form after calcination at 400°C as indicated by the diffractogram peaks at $2\theta = 25.30; 38.1; 48.2; 53.9$ and 55.1° according to the standard XRD pattern (JCPDS No. 21-1272). Anatase to rutile transformation began to occur when calcination was carried out at a temperature of 500°C as indicated by the appearance of diffractogram peaks at $2\theta = 27.28; 36.1; 41.3; 44.2;$ and 55.5° ; which represents the characteristics of the rutile phase TiO_2 tetragonal crystal (JCPDS No. 21-1276).

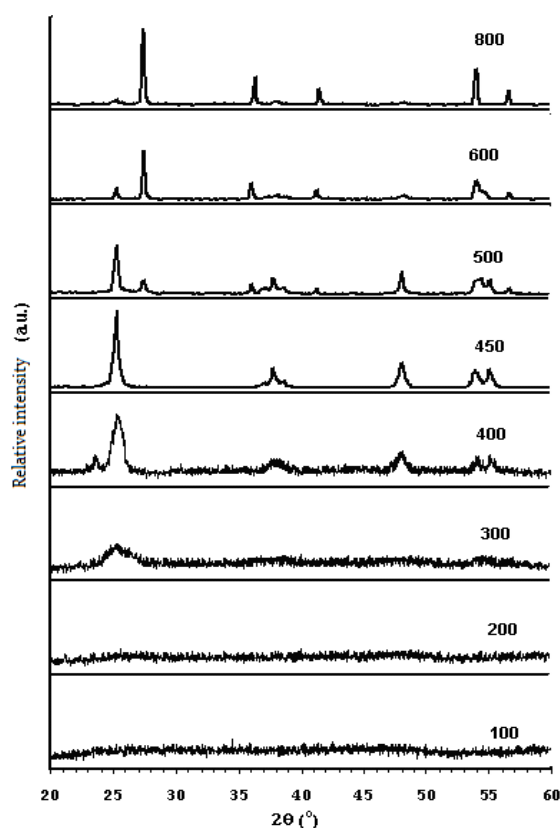


Figure 3. XRD diffractogram of N-doped TiO_2 after calcination treatment for 4 hours at various temperatures

The calcination process not only aims to remove template molecules, but is also intended as a crystal formation process. Calcination at $400\text{--}450^\circ\text{C}$ produces anatase crystal structure. This is in

accordance with the data reported by Vinodgopal *et al.* [30] and Burda *et al.* [31] which state that the anatase crystal phase is formed from synthesis at low temperatures followed by calcination at 400-500 °C; however, in this study the rutile crystal phase was formed at 500 °C. Calcination at a temperature higher than 500 °C causing the higher transformation of the anatase phase to the rutile phase, and also lead to the loss of nitrogen dopants from TiO₂ nanoparticles.

The change in the ratio of anatase phase to rutile phase due to calcination treatment at different temperatures is shown in Figure 4. Calcination treatment at temperatures >450 °C greatly affects the ratio of anatase to rutile, namely the higher the calcination temperature causes a decrease in the ratio of anatase to rutile. Calcination at 500 °C causes ~20% of the anatase structure to change into a rutile structure. The anatase to rutile ratio drops dramatically when calcined at 600 °C with ~85% of the anatase phase transforming into the rutile phase. The anatase phase is almost completely transformed into rutile when calcined at 800 °C. This means that calcination at temperatures up to 450 °C plays a role in the crystal growth process, while calcination at high temperatures (>450 °C) plays a role in the process of N-doped TiO₂ crystal phase transformation.

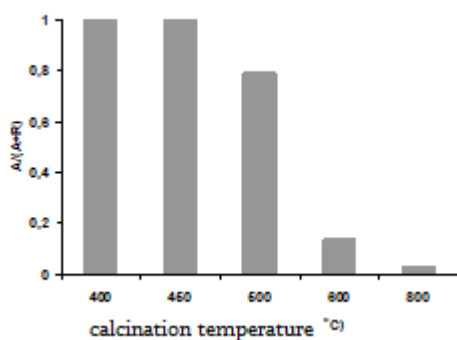


Figure 4. Anatase to rutile phase ratio ($A/(A+R)$) at various calcination temperatures

The crystal size of the N-doped TiO₂ sample calculated based on the peak field (101) (antase phase) and peak field (110) (rutile phase) on the XRD diffractogram according to the Scherrer equation solution as shown in Figure 5, shows that the crystal size (grain size) increases with increasing calcination temperature. The growth of crystal size can be viewed from the growth of crystal particles (particle growth) relative to the growth of

crystal nucleation (particle nucleation). Increasing temperature causes an increase in particle growth rate and nucleation growth rate. In this study, for all temperature variations, the rate of formation of crystal nuclei is in line with the rate of particle growth, namely an increase in crystal size that is linear to the increase in calcination temperature.

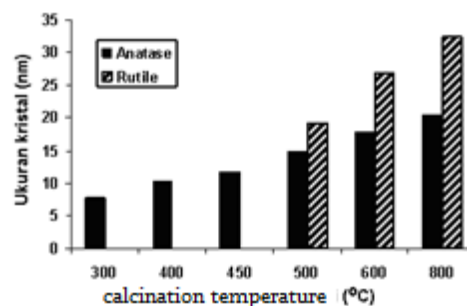


Figure 5. Crystal size of N-doped TiO₂ samples at various calcination temperatures

The influence of calcination to the nitrogen-doped content was also studied using XPS analysis and the results shown in Figure 6. XPS spectra of N-doped TiO₂ calcined at 200, 450 and 600 °C, showed that the increase in calcination temperature resulted in a decrease in the intensity of carbon and nitrogen peaks. This means that calcination treatment is effective for removing organic residues derived from dodecylamine molecules in the synthesized N-doped TiO₂ material. The high intensity of the C_{1s} and N_{1s} peaks in the spectrum of the calcined sample at 200 °C indicates the presence of organic groups in the sample. This is in accordance with the results of FTIR analysis, where the organic groups disappear after heating at temperatures >450 °C. The XPS spectrum of N-doped TiO₂ after calcination at 450 °C still shows the presence of nitrogen and carbon band peaks in the sample, but the peaks disappear in the spectrum of the sample calcined at 600 °C which means that all nitrogen and carbon are released when heating at high temperatures (>470 °C).

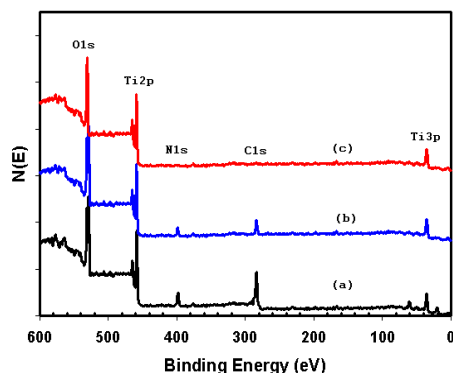


Figure 6. XPS spectra of N-doped TiO₂ calcined at (a) 200; (b) 450 and (c) 600 °C

The change in nitrogen content due to calcination treatment was analyzed through the N_{1s} binding energy spectra (Figure 7). The release of nitrogen due to the calcination process can be confirmed by the N_{1s} binding energy spectra. In the N_{1s} spectrum of the 200 °C calcined sample, there is one broad band peak centered at 399.4 eV. The existence of the band peak comes from dodecylamine nitrogen organic groups that have not been completely released at a calcination temperature of 200 °C based on FTIR. According to Asahi *et.al.* [14], the existence of a band peak in the ~400 eV region indicates the presence of nitrogen doping on TiO₂ which can take the form of adsorbed N₂, NH_x, or NO_x and also N⁻ (γ-N) species that are bound substitutionally to the TiO₂ lattice.

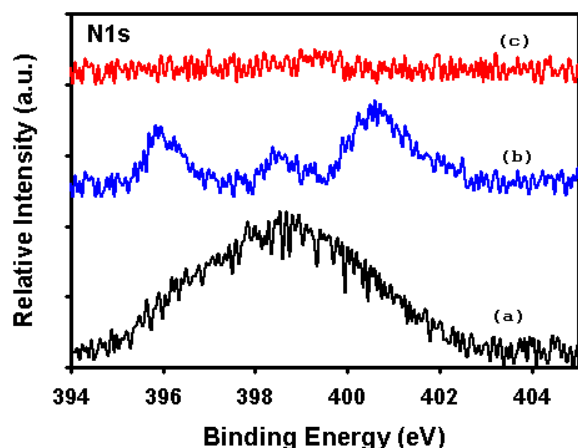


Figure 7. N_{1s} XPS spectra of N-doped TiO₂ calcined at (a) 200; (b) 450 and (c) 600 °C

The broad band peak is separated into three distinct band peaks in the spectra of the sample calcined at 450 °C. Most researchers interpret the two higher energy peaks as emissivated N₂, adsorbed NH_x or NO_x, while the band peak at 396 eV signifies N⁻ (γ-N) species substitutionally bound to the N-doped TiO₂ lattice [12,32]. Likewise with

Asahi *et al.* [14] which marks the band peak at 396 eV as a substitutional N replacing O on the TiO₂ lattice and band peaks at 400 and 402 eV as emissivated N₂ molecules. Gopinath *et al.* [33] also concluded that the band peaks in the region above 400 eV are associated with oxidized nitrogen such as N-O-Ti-O or O-N-Ti-O, while the band peaks in the 396-397 eV region as substitutional N doping. The negative charge contribution of substitutional nitrogen species bound to positively charged Ti lowers the binding energy of N- species.

A different N 1s spectrum analysis was reported by Chen and Burda [10], where a broad band peak between 397.4-403.7 eV centered at 401.3 eV was characterized as oxynitride formation by substitutional N doping. Chen and Burda did not report any other species that may exist on TiO₂ because the interpretation of the N 1s binding energy peak was considered as a single band peak. The separation of a single band peak from the material calcined at 200 °C into three band peaks at 450 °C indicates a decrease in nitrogen doping content because the decrease in peak intensity indicates the presence of each species. The three band peaks disappeared at a calcination temperature of 600 °C which indicates the release of nitrogen from TiO₂. The disappearance of the N_{1s} binding energy peak at 600 °C calcination indicates that the nitrogen content of TiO₂ becomes unobserved (<1%).

The Ti_{2p} binding energy spectra (Figure 8) also confirm the loss of nitrogen from the N-doped TiO₂ sample at a calcination temperature of 600 °C. All 2p^{3/2} band energy peaks of the three spectra are located in the region between pure TiO₂ (459.1 eV) and pure TiN (455.3 eV). The binding energy of Ti 2p^{3/2} N-TiO₂ calcined at 600 °C is centered at 459 eV, while the other two spectra are centered in the lower region of ~458 eV. This indicates that the Ti center ion is very sensitive to the electronic environment of the atoms around it, by adding negatively charged N into the TiO₂ matrix causes the binding energy of Ti to be lower. Reducing the nitrogen doping content, causes the binding energy of Ti to be higher. This also indicates that increasing the calcination temperature can cause the release of nitrogen doping which is characterized by a shift in the binding energy peak of Ti 2p^{3/2} towards the peak of pure TiO₂.

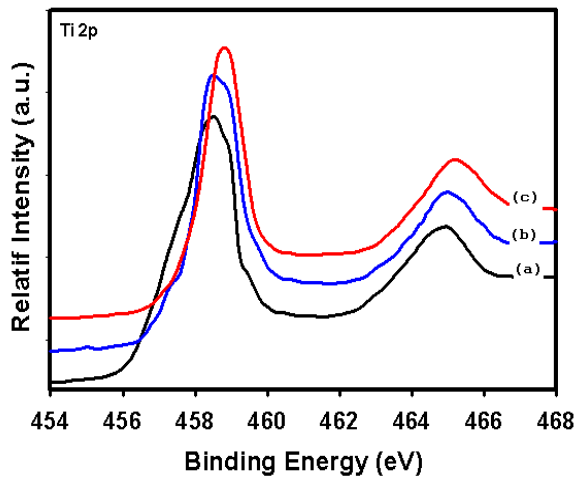


Figure 7. Ti_{2p} XPS spectra of N-doped TiO₂ calcined at (a) 200; (b) 450 and (c) 600 °C

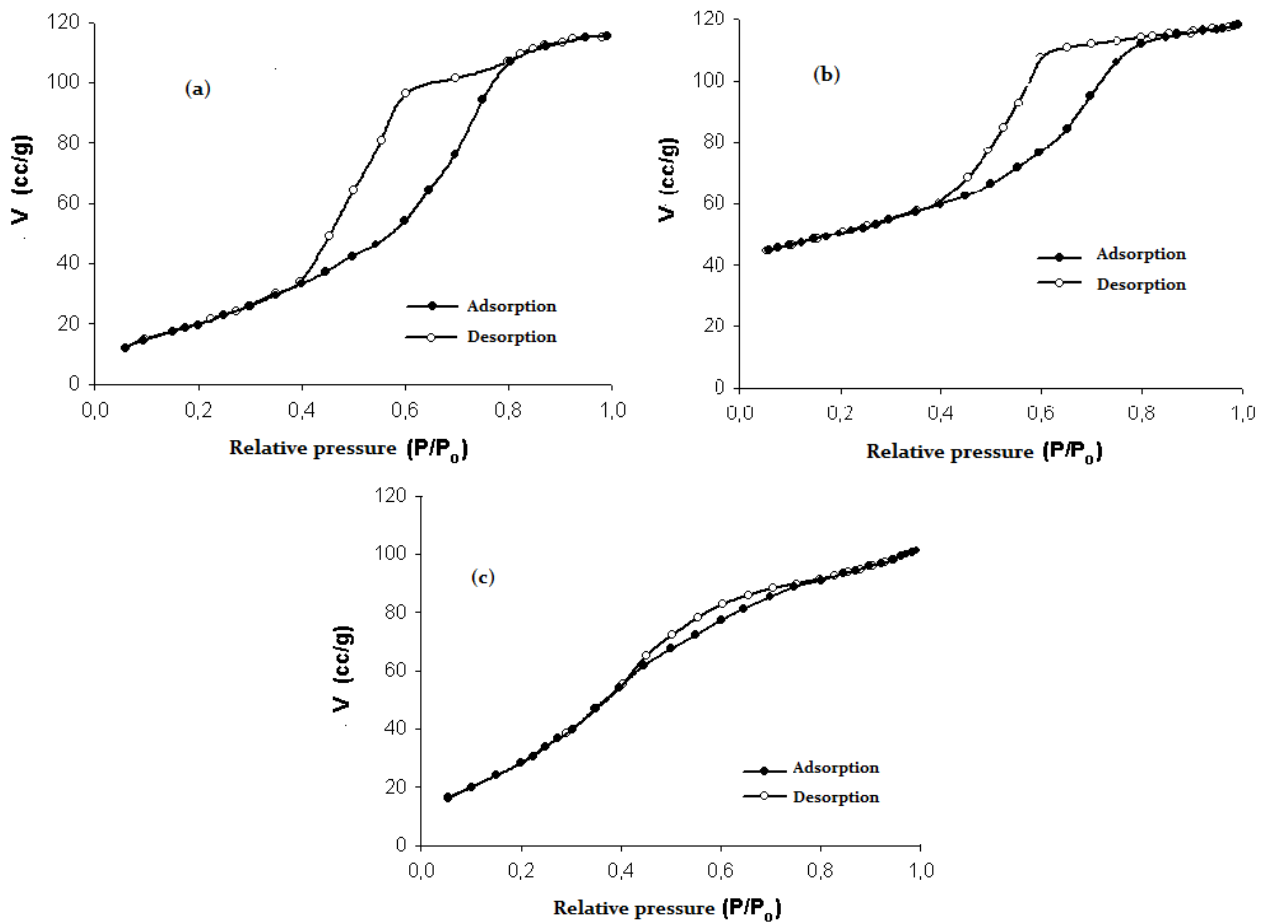


Figure 8. N₂ adsorption-desorption isotherm of N-doped TiO₂ calcined at (a) 200; (b) 450 and (c) 600 °C

The effect of calcination to the porosity was studied using N₂ adsorption desorption analysis and the results showed in Figure 8. It revealed that the calcination temperature is highly affect the porosity of materials. The calcination process facilitates the formation of pore by releasing the pore template. However the higher and the longer calcination process tend to the sintering effect which lead to the

pore collapse since the material moves to the contact points between particles and fills in the open space. According to the crystallinity, nitrogen-doped content, and porosity, calcination temperature of 450 °C is being an optimum temperature to result in nitrogen-doped TiO₂ mesopore nanoparticles.

Conclusion

Mesoporous nitrogen-doped titanium dioxide nanomaterials have been successfully synthesized through a one-step sol gel process. The calcination process plays an important role in the crystallization process, determination of doped nitrogen, and pore formation. The results showed that the anatase TiO₂ crystal structure began to form with calcination at 400 °C. The higher calcination temperature tends to cause the transformation of anatase crystal phase into rutile. The higher calcination temperature also affects the doped nitrogen content, where the pore-templating molecules begin to disappear at a calcination temperature of 400 °C leaving a number of dopants on TiO₂. All dopants are released from TiO₂ at a calcination temperature of 600 °C. the formation of mesopore structure begins at a calcination temperature of 200 °C and optimum at a temperature of 450 °C. sintering process occurs at a calcination temperature of 600 °C indicated by the collapse of the pore structure.

Acknowledgement

Financial support from Indonesian Government granted by Universitas Negeri Yogyakarta through Program Percepatan Guru Besar Tahun 2020 is gratefully acknowledged.

References

- [1] Kusumawardani C., Suwardi, Kartini I. and Narsito. (2012), Synthesis and Characterization of N-doped TiO₂ Photocatalyst, *Asian J. Chem.*, 24, 1, , 255–256
- [2] Foo C., Li Y., Lebedev K., Chen T., Day S., Tang C. & Tsang E. (2021), Characterisation of oxygen defects and nitrogen impurities in TiO₂ photocatalysts using variable-temperature X-ray powder diffraction. *Nat Commun.*, 12, 661. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-20977-z>
- [3] Ibrahim N.S., Leaw W.L., Mohamad D., Alias S.H., Nur H. (2020), A critical review of metal-doped TiO₂ and its structure–physical properties–photocatalytic activity relationship in hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 53, 28553-28565. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.233>
- [4] Basavarajappa P.S, Patil S.B., Ganganagappa N., Keddy K.R., Raghu A.V., Reddy C.V. (2020), Recent progress in metal-doped TiO₂, non-metal doped/codoped TiO₂ and TiO₂ nanostructured hybrids for enhanced photocatalysis, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 13, 7764-7778. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.241>
- [5] Choi W., Termin A. and Hoffmann M.R. (1994), Effects of metal-ion dopants on the photocatalytic activity of quantum-sized TiO₂ particles, *Angew. Chem.* 106, 1148–1149
- [6] Kusumawardani, C. (2021), The Pore Formation and Doping Process on the Synthesis of Nitrogen-doped Titania Through Sol-gel Method, *Rasayan. J. Chem.*, 15, 1, 549-556. <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2022.1516674>
- [7] Kim T.H., Go G-M., Cho H-B., Song Y., Li C-G., Choa Y-H. (2018), A Novel Synthetic Method for N Doped TiO₂ Nanoparticles Through Plasma-Assisted Electrolysis and Photocatalytic Activity in the Visible Region, *Front. Chem.*, 6, 458. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00458>
- [8] Shehata M.A., Shama S.A., Mahmoud S.A., Doheim M.M. (2016), Preparation and Characterization of Various Interstitial N-Doped TiO₂ Catalysts from Different Nitrogen Dopants for the Treatment of Polluted Water, *Chemistry and Materials Research*, 8, 6, 45-55.
- [9] Khan T.T., Bari R., Kang H-J., Lee T-G., Park J-W., Hwang H.J., Hossain S.M., Mun J.S., Suzuki N., Fujishima A., Kim J-H., Shon H.K. and Jun Y.S. (2021), Synthesis of N-Doped TiO₂ for Efficient Photocatalytic Degradation of Atmospheric NO_x, *Catalysts*, 11, 1, 109. <https://doi.org/10.3390/catal11010109>
- [10] Chen X. and Burda C. (2004), Photoelectron Spectroscopic Investigation of Nitrogen-Doped Titania Nanoparticles, *J. Phys. Chem. B*, 108 (40), 15446-15449
- [11] Irie H., Watanabe Y and Hashimoto K. (2003), Nitrogen-Concentration Dependence on Photocatalytic Activity of TiO_{2-x}N_x Powders, *J. Phys. Chem. B*, 107 (23), 5483-5486
- [12] Nosaka, Y. Matsushita, M. Nishino, J. Nosaka, A.Y., (2019), Nitrogen-doped titanium dioxide photocatalysts for visible response prepared by using organic compounds, *Sci. Tech. Adv. Mater.*, 6, 143-148
- [13] Natarajan T.S., Mozhiarasi V. and Tayade R.J. (2021), Nitrogen Doped Titanium Dioxide (N-TiO₂): Synopsis of Synthesis Methodologies, Doping Mechanisms, Property Evaluation and Visible Light Photocatalytic Applications, *Photochem*, 1, 3, 371-410. <https://doi.org/10.3390/photochem1030024>
- [14] Asahi R., Morikawa T., Ohwaki T., Aoki K. And Taga Y., 2001, Visible-Light Photocatalysis in Nitrogen-Doped Titania,

- Science*, 293, 269-271
- [15] Bakar S.A. and Ribeiro C. (2016), Nitrogen-doped titanium dioxide: An overview of material design and dimensionality effect over modern applications, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 27, 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2016.05.001>
- [16] Nakamura R., Tanaka T., Nakato Y. (2004), Mechanism for Visible Light Responses in Anodic Photocurrents at N-Doped TiO₂ Film Electrodes, *J. Phys. Chem. B*, 108 (30), 10617-10620
- [17] Diwald O., Thompson T.L., Goralski E. G., Walck S. D. & Yates J.T. Jr. (2004), The effect of nitrogen ion implantation of the photoactivity of TiO₂ rutile single crystals. *J. Phys. Chem. B*, 108, 52-57
- [18] Cheng X., Yu X., Xing Z., Yang L. (2016), Synthesis and characterization of N-doped TiO₂ and its enhanced visible-light photocatalytic activity, *Arabian J. Chem.*, 9, 2, S1706-S1711. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.04.052>
- [19] Qiu and Burda, (2007), Chemically Synthesized Nitrogen-doped Metal Oxide nanoparticles, *Chem. Phys.*, 339, 1 – 10
- [20] Sakthivel S., Janczarek M., Kisch H. (2004), Visible light activity and photoelectrochemical properties of nitrogen-doped TiO₂, *J. Phys. Chem. B*, 108, 19384-19387
- [21] Tachikawa T., Takai Y., Tojo S., Fujitsuka M., Irie H., Hashimoto K., Majima T. (2006) Visible Light-Induced Degradation of Ethylene Glycol on Nitrogen-Doped TiO₂ Powders, *J. Phys. Chem. B*, 110, 13158-13165
- [22] Valentin C.D., Finazzi E., Pacchioni G., Selloni A., Livraghi S., Paganini M.C. and Giamello E., (2005), N-doped TiO₂: Theory and Experiment, *Chem. Phys.*, 339, 44-56
- [23] Kusumawardani, C., Sugiyarto K.H., Prodjosantoso A.K. (2021), The influence of pH on the nitrogen-doped TiO₂ structure and its photocatalytic activity on methylene blue degradation, *Molekul*, 16, 3, 270-279. <http://dx.doi.org/10.20884/1.jm.2021.16.3.804>
- [24] Gonzales R.J. (1996), *Raman, Infra Red, X-Ray and EELS Studies of Nanophase Titania*, Dissertation, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg
- [25] Sankapal B.R., Lux-Steiner, M.C. and Ennaoui, A. (2005), Synthesis and Characterization of Anatase TiO₂ Thin Films, *Appl. Surf. Sci.*, 239, 165-170
- [26] Giles E. Eperon, Severin N. Habisreutinger, Tomas Leijtens, Bardo J. Bruijns, Jacobus J. van Franeker, Dane W. deQuilettes, Sandeep Pathak, Rebecca J. Sutton, Giulia Grancini, David S. Ginger, Rene A. J. Janssen, Annamaria Petrozza, and Henry J. Snaith, The Importance of Moisture in Hybrid Lead Halide Perovskite Thin Film Fabrication, *ACS Nano*, 9, 9, (2015), 9380-9393, <https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b03626>
- [27] Sarah Wozny, Mengjin Yang, Alexandre M. Nardes, Candy C. Mercado, Suzanne Ferrere, Matthew O. Reese, Weillie Zhou, and Kai Zhu, Controlled Humidity Study on the Formation of Higher Efficiency Formamidinium Lead Triiodide-Based Solar Cells, *Chemistry Materials*, 27, 13, (2015), 4814-4820, <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.5b01691>
- [28] Vitiello R., Macak J., Ghicov A., Tsuchiya H., Dick L. and Schmuki P., (2016), N-Doping of anodic TiO₂ nanotubes using heat treatment in ammonia. *Electrochem. Commun.*, 8, 544-548
- [29] Kusumawardani C. and Ikhsan J. (2022), The Synthesis of Methylammonium Lead Iodide on Mesopore TiO₂ Thin Film Applying Ostwald Ripening Process Under Ambient Condition, *Rasayan Journal of Chemistry*, 15, 3, 1678-1685, <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1536890>
- [30] Vinodgopal K., Hua X., Dahlgren R.B., Lappin A.G., Patterson L.K. and Kamat P.V. (2020), Photochemistry of Ru(bpy)₃(dcpv)²⁺ on Al₂O₃ and TiO₂ surface. An Insight into the Mechanism of photosensitization, *J. Phys. Chem.*, 99, 10883-10889
- [31] Burda C., Samia A.C.S., Hathcock D., Huang H. and Yang S. (2004), N-Doped TiO₂ Nanotube With Visible Light Activity, *J. Am. Chem. Soc.*, 124(42), 12400-12401
- [32] Lindgren T., Mwabora J.M., Avendano E., Jonsson J., Hoel A., Granqvist C., Lindqvist S. (2003), Photoelectrochemical and Optical Properties of Nitrogen Doped Titanium Dioxide Films Prepared by Reactive DC Magnetron Sputtering, *J. Phys. Chem. B*, 107 (24), 5709-5716
- [33] Gopinath C.S. (2006), Photoelectron Spectroscopic Investigation of Nitrogen-Doped Titania Nanoparticles, *J. Phys. Chem. B*, 110, 7079-7082