

Volume 24, Nomor 2, Oktober 2019

P-ISSN : 1412-3991
E-ISSN : 2528-7036

JURNAL PENELITIAN
Saintek

JURNAL PENELITIAN SAINTEK

Volume 24, Nomor 2, Oktober 2019

LPPM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Saintek

SAINTEK

Volume
24

Nomor
2

Halaman
65 - 152

YOGYAKARTA

P-ISSN : 1412-3991
E-ISSN : 2528-7036

JURNAL PENELITIAN **Saintek**

Penerbit:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Universitas Negeri Yogyakarta

Pemimpin Umum/Penanggung Jawab:

Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Universitas Negeri Yogyakarta

Redaksi:

Penanggung Jawab : Ketua LPPM
Ketua : Prof. Dr. Sri Atun
Sekretaris : Dr. Retno Arianingrum
Anggota Redaksi : Dr. Heru Kuswanto
Dr. Agus Budiman
Dr. Sri Handayani
M. Khairudin, Ph.D.
Prof. Dr. Suyanta
Dr. Sativa, M.T.
Dr. Pramudi Utomo
Dr. Sunar Rochmadi, M.S.
Sekretariat : Nita M. Jannah, S.Pd.
Setting dan Tata Letak : Rini Astuti, S.I.P.

Alamat Redaksi/Tata Usaha:
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM)
Universitas Negeri Yogyakarta
Gg. Guru, Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281
Telepon (0274) 550840, Fax. (0274) 550839
Website: <https://journal.uny.ac.id/index.php/saintek>
Email: saintek@uny.ac.id

Jurnal Penelitian Saintek merupakan lanjutan dari Jurnal Penelitian Iptek dan Humaniora
Frekuensi terbit: setiap bulan April dan Oktober

Semua tulisan yang ada dalam Jurnal Penelitian Saintek bukan merupakan cerminan sikap dan/atau pendapat Dewan Redaksi. Tanggung jawab terhadap isi dan/atau akibat dari tulisan tetap terletak pada penulis.

KETENTUAN NASKAH JURNAL PENELITIAN SAINTEK (JPS)

1. Naskah merupakan artikel asli yang berkaitan dengan pengembangan ilmu pengetahuan alam dan teknologi berdasar hasil penelitian yang belum pernah diterbitkan baik di dalam maupun di luar negeri. Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia dengan jarak 1,5 spasi; sepanjang 10-15 halaman A4. Naskah dikirim atau diserahkan ke sekretariat JURNAL PENELITIAN SAINTEK rangkap dua disertai *softcopy file*, dilengkapi biodata penulis dan alamat lengkap (kantor dan rumah). Naskah bias juga dikirim lewat email: saintek.lppmuny@gmail.com atau saintek@uny.ac.id.
2. Judul naskah menggambarkan isi pokok tulisan, ditulis secara ringkas, dan jelas
3. Nama Penulis disertai lembaga dan alamat lengkap
4. Abstrak dan kata kunci naskah diketik satu spasi dalam bahasa Indonesia dan Inggris. Abstrak ditulis dalam satu paragraph yang menggambarkan intisari dari permasalahan, metode, hasil, dan simpulan. Panjang abstrak maksimal 200 kata, sedangkan jumlah kata kunci 3-5 kata.
5. Pendahuluan meliputi uraian tentang latar belakang masalah, ruang lingkup penelitian, dan telaah pustaka yang terkait dengan permasalahan yang dikaji serta rumusan hipotesis (jika ada)
6. Metode Penelitian meliputi uraian rinci tentang bahan, alat yang digunakan, metode yang dipilih, teknik, dan cakupan penelitian.
7. Hasil dan Pembahasan merupakan uraian objektif tentang hasil-hasil penelitian dan pembahasannya.
8. Simpulan berisi temuan penelitian yang berupa jawaban atas pertanyaan penelitian.
9. Daftar Pustaka hanya memuat sumber-sumber yang dirujuk, dan semua sumber yang dirujuk harus tercantum dalam daftar pustaka. Perujukan dan pengutipan menggunakan teknik rujukan berkurung (nama pengarang, tahun). Sumber rujukan minimal 80% berupa pustaka terbitan 10 tahun terakhir. Rujukan yang digunakan adalah sumber-sumber primer berupa artikel-artikel penelitian dalam jurnal atau laporan penelitian (termasuk skripsi, tesis, disertasi). Daftar pustaka disusun berdasarkan abjad, dan disesuaikan dengan rincian berikut:
Artikel dalam jurnal atau majalah
Aswita, D., Sarong, M.A., & Sugianto. (2014). Evaluasi kesesuaian perairan Pantai Teupin Layeu Iboih sebagai ekowisata bahari. *Jurnal Penelitian Saintek*, 20(1), 1-9.
Suryaningsih, A. (2013, Desember 10). Tiga pilar pendidikan. *Sinar Harapan*, 4.
Artikel dalam jurnal online
Aswita, D., Sarong, M.A., & Sugianto. (2014). Evaluasi kesesuaian perairan Pantai Teupin Layeu Iboih sebagai ekowisata bahari. *Jurnal Penelitian Saintek*, 20(1), 1-9. Dari: <http://journal.uny.ac.id/index.php/saintek/article/view/5608>. (cantumkan DOI, jika ada).
Makalah
Wilujeng, I., Masruri, M. S., & Wangid, M. N. (2016, April). *Pengembangan subject specific pedagogy tematik untuk mengembangkan karakter siswa sekolah dasar*. Makalah dipresentasikan dalam Seminar Nasional Penelitian dan PPM untuk Mewujudkan Insan Unggul, Yogyakarta.
Buku
Brown, D. H. (2001). *Teaching by principles: an interactive approach to language pedagogy*. San Francisco: Addison Wesley Longman, Inc.
Winch, C. (2006). Graduate attributes and changing conceptions of learning. Dalam P. Hager & S. Holland, *Graduate attributes, learning and employability* (pp. 67-90). Dordrecht: Springer.
Skripsi/tesis/disertasi
Kumara, P. (2011). *Optimization of performance and assesment of material cost of the refrigerator condenser* (Master's Thesis). KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm.
10. Tabel diberi nomor urut dan judul yang ditulis di tepi kiri atas, tanpa garis-garis kolom vertikal dan horizontal
11. Ilustrasi dapat berupa gambar, grafik, diagram, peta, foto diberi nomor urut dan judul ditaruh di atas gambar, dari kiri, dan diberi jarak 1 spasi (*at least 12*) dari gambar.

HUBUNGAN PEDIKULOSIS KAPITIS, STATUS ANEMIA DAN PRESTASI BELAJAR PADA SISWA SEKOLAH DASAR

*(THE RELATIONSHIP AMONG PEDICULOSIS CAPITIS, ANEMIA AND LEARNING
ACHIEVEMENT IN ELEMENTARY STUDENTS)*

Nunung Sulistyani dan Nur Khikmah

Akademi Analisis Kesehatan Manggala

Jl. Bratajaya 25 Sokowaten Banguntapan Bantul 55198

email: nunungsulistyani@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan kejadian infestasi *Pediculus humanus capitis* (kutu kepala) dengan status anemia dan prestasi belajar pada anak usia sekolah dasar. Penelitian ini dilakukan di SD wilayah Bangunharjo Sewon Bantul Yogyakarta. Penelitian ini merupakan penelitian analitik observasional dengan desain *cross sectional*. Variabel diukur dalam satu kali pengukuran dengan tidak melakukan intervensi. Data penelitian diperoleh melalui pemeriksaan pedikulosis, pemeriksaan Hb, dan pengukuran hasil belajar. Data dianalisa secara deskriptif yang disajikan dalam bentuk tabel, kemudian dilakukan analisis statistik menggunakan Uji *chi-square*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa menderita pedikulosis sebesar 57,9% menderita anemia dan sebesar 51,0% dengan prestasi belajar kategori kurang baik. Salah satu faktor yang mempengaruhi prestasi belajar seseorang yaitu faktor daya ingat. Status anemia seseorang dapat mempengaruhi daya ingat seseorang. Prevalensi infestasi *Pediculus humanus capitis* sebesar 38,3%. Uji *chi-square* menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara kejadian infestasi *Pediculus humanus capitis* dengan status anemia dan prestasi belajar.

Kata kunci: *Pediculus kapitalis, status anemia, prestasi belajar*

Abstract

This study was aimed at determining the relationship between the *Pediculus humanus capitis* infestation condition, anemia status and learning achievement in primary school-age children. This study was conducted at SD Bangunharjo Sewon Bantul, Yogyakarta. This study is an observational analytic study with cross sectional design in which the variables are measured in one measurement without intervening. The data obtained through pediculosis examination, Hb examination, and measurement of learning outcomes. The data then were analyzed descriptively presented in tabular form, then performed statistical analysis using the chi-square test. The results show that the students suffering from pediculosis, 57.9% also suffering from anemia and 51.0% having poor category achievement. In line with other researchers, one of the factors that influence one's learning achievement is the memory factor. Someone's anemia status can affect one's memory. The prevalence of *Pediculus humanus capitis* infestation is 38.3%. Chi-square test showed a significant relationship between *Pediculus humanus capitis* infestation condition, anemia status, and learning achievement.

Keywords: *Capitalist pediculus, anemia status, learning achievement*

PENDAHULUAN

Pediculus humanus capitis, atau yang lebih dikenal sebagai kutu kepala (tuma) adalah parasit penyebab terjadinya *Pediculosis capitis* (Sanford, Jong, & Pottinger, 2016). Habitat *Pediculus humanus capitis* ini adalah kepala dengan daerah yang disukai yaitu rambut bagian belakang. Gigitannya akan menyebabkan iritasi pada kulit yang disebabkan oleh air liur yang dikeluarkan pada waktu menghisap darah penderita Pedikulosis kapitis (Soedarto, 2011). Rasa gatal merupakan gejala pertama dan paling penting Pedikulosis kapitis, dengan tanda bekas garukan merupakan tanda yang khas pada penderita, sehingga akan mengakibatkan orang untuk menggaruk kepala. Kebiasaan menggaruk yang intensif dapat menyebabkan iritasi, luka, serta infeksi sekunder pada penderita (Bugayong *et al.*, 2011). Rasa gatal yang hebat, dapat mengganggu ketenangan tidur dan mengganggu konsentrasi belajar sehingga prestasi anak menurun (Hadidjaja & Margono, 2011). Selain itu, infestasi *Pediculus humanus capitis* yang berat dapat menyebabkan kehilangan darah sehingga penderita dapat mengalami anemia (Moradi, Zahirnia, Alipour, & Eskandari, 2009).

Dampak anemia bagi siswa sekolah dasar adalah dapat menyebabkan gangguan tumbuh kembang fisik, rendahnya daya tahan terhadap penyakit, tingkat kecerdasan yang kurang dari seharusnya, prestasi belajar/kerja

dan prestasi olahraga yang rendah. Selain itu, anemia pada anak akan berdampak pada menurunnya kemampuan dan konsentrasi belajar, mengganggu pertumbuhan baik sel tubuh maupun sel otak sehingga menimbulkan gejala muka tampak pucat, letih, lesu dan cepat lelah sehingga dapat menurunkan kebugaran dan prestasi belajar (Nirmala, 2012).

Sebagian besar infestasi *Pediculus humanus capitis* terjadi pada anak-anak usia sekolah. Penelitian di Yogyakarta menunjukkan angka prevalensi infestasi *Pediculus humanus capitis* sebesar 19,6% pada siswa sekolah dasar di daerah pedesaan (Munusamy, Murhandarwati, & Umniyati, 2012) dan 12,3% pada siswa sekolah dasar di daerah perkotaan (Zhen *et al.*, 2014). Beberapa faktor yang dapat membantu penyebaran infestasi *Pediculus humanus capitis* antara lain yaitu faktor sosial- ekonomi, tingkat pengetahuan, *personal hygiene* buruk, kepadatan tempat tinggal, dan karakteristik individu.

Penelitian ini dilakukan di Sekolah Dasar Bangunharjo Sewon Bantul Yogyakarta. Lokasi sekolah tersebut terletak diantara rumah penduduk sehingga memiliki potensi untuk terjadinya penyebaran *Pediculus humanus capitis*. Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui hubungan kejadian infestasi *Pediculus humanus capitis* dengan prestasi belajar dan status anemia pada anak usia sekolah dasar di wilayah Bangunharjo Sewon Bantul Yogyakarta.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian analitik observasional dengan desain *cross sectional* di mana variabelnya diukur dalam satu kali pengukuran dengan tidak melakukan intervensi. Data penelitian diperoleh melalui pemeriksaan pedikulosis, pemeriksaan Hb, dan pengukuran hasil belajar.

Pemeriksaan *Pediculus humanus capitis* dengan menemukan bentuk nits, nimfa, dan atau dewasa. Pemeriksaan makroskopis secara visual adalah cara terbaik untuk memastikan infestasi *Pediculus humanus capitis*. Pencarian dilakukan selama 3-5 menit untuk mengetahui siswa yang terinfestasi tuma, lebih dari 5 menit tidak di temukan telur, nimfa atau tuma dewasa pada rambut kepala, dianggap siswa tersebut tidak terinfestasi tuma dan tidak akan dilakukan pemeriksaan lebih lanjut. Jika dalam waktu kurang atau sama dengan 5 menit sudah di temukan telur, nimfa, atau tuma dewasa pada rambut kepala di anggap siswa tersebut terinfestasi tuma dan akan dilakukan pemeriksaan lebih lanjut (Yousefi, Shamsipoor, & Abadi, 2012).

Pemeriksaan status anemia responden dengan cara pengukuran status hemoglobin (Hb) diukur dengan menggunakan alat pengukur Hb digital. Kriteria status Hb ditentukan berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh WHO, anemia adalah $Hb < 11,5$ g/dL untuk usia responden antara 10-11 tahun dan $Hb < 12,0$ untuk responden

berusia 12 tahun. Tidak anemia adalah $Hb \geq 11,5$ g/dL untuk usia responden antara 10-11 tahun dan $Hb \geq 12,0$ gr/dL untuk responden berusia 12 tahun (WHO, 2001).

Pengukuran Prestasi belajar responden dengan melihat hasil belajar semester gasal tahun ajaran 2017/2018. Pengukuran prestasi belajar responden dikategorikan menjadi baik, apabila nilai rapot ≥ 76 dan kurang baik apabila nilai rapot ≤ 75 .

Data dianalisa secara deskriptif yang disajikan dalam bentuk tabel, kemudian dilakukan analisis statistik untuk melihat hubungan antara kejadian Pedikulosis kapitis dengan status anemia dan prestasi belajar digunakan Uji chi-square dengan derajat kepercayaan 95% ($P < 0,05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan tuma kepala *Pediculus humanus capitis* didapatkan stadium telur (nits), nimfa, maupun dewasa pada responden (Gambar 1). Hasil pemeriksaan tuma kepala *Pediculus humanus capitis*, didapatkan sebanyak 115 siswa dari 300 siswa Sekolah Dasar (SD) di wilayah Bangunharjo, Sewon, Bantul (Tabel 1).

Hasil penelitian menunjukkan terdapat sebesar 38,3% siswa di SD wilayah Bangunharjo yang terinfestasi tuma kepala *Pediculus humanus capitis*. Angka ini lebih tinggi dibandingkan dengan angka kejadian infestasi tuma kepala *P. humanus capitis*

Gambar 1. *Pediculus humanus capitis*. Stadium Dewasa, Nimfa, dan Telur (Nits)



Tabel 1
 Angka kejadian Infestasi *Pediculus Humanus Capitis*
 Siswa-Siswi SD di Wilayah Bangunharjo, Sewon, Bantul

Status Infestasi	Jumlah Responden	Persentase
Positif	115	83,3
Negatif	185	61,7
Jumlah	300	100,0

siswa Sekolah Dasar (SD) di Kota Sabang (27,1%) (Zulinda, Yolazenia, & Zahtamal, 2010). Tingginya angka prevalensi *Pediculus humanus capitis* di SD di wilayah Bangunharjo, Sewon, Bantul, kemungkinan disebabkan adanya faktor-faktor resiko yang mempengaruhi infestasi.

Faktor-faktor resiko yang dapat mempengaruhi kejadian Pedikulosis yang diamati pada penelitian ini meliputi jenis kelamin, usia, kelas, dan jumlah anggota keluarga (Tabel 2).

Kejadian infestasi tuma tepala *P. humanus capitis* pada anak perempuan (53,3%) lebih besar dibandingkan dengan anak laki-laki (22,1%). Uji *chi-square* menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara jenis

kelamin dengan kejadian infestasi *P. humanus capitis*. Senada dengan penelitian lain bahwa infestasi kutu kepala lebih banyak terjadi pada anak perempuan di Yogyakarta (Zulinda *et al* 2010). Kejadian infestasi *Pediculus humanus capitis* pada anak perempuan lebih besar dibandingkan anak laki-laki dan anak perempuan memiliki resiko sebesar 11,8 kali lipat dibandingkan anak laki-laki. pedikulosis pada anak perempuan lebih banyak dibandingkan dengan anak laki-laki (Nindia, 2016).

Tingginya angka kejadian infestasi *P. humanus capitis* pada anak perempuan kemungkinan disebabkan anak perempuan memiliki rambut yang lebih panjang. Berdasarkan hasil pengamatan pada penelitian

Tabel 2
 Angka Kejadian Infestasi *Pediculus Humanus Capitis* Berdasarkan Karakteristik Siswa-siswi SD di wilayah Bangunharjo, Sewon, Bantul

Karakter	Jumlah Responden	Jumlah		P*
		Infestasi	%	
Jenis Kelamin				
Laki-Laki	145	32	22,1	0,00
Perempuan	155	83	53,5	
Usia				
5-7	117	45	38,5	0,971
8-9	183	70	38,3	
Kelas				
1	81	23	28,4	0,119
2	110	48	43,6	
3	109	44	40,4	
Jumlah Anggota keluarga				
1-3	72	30	41,7	0,86
4-6	209	77	36,8	
>7	19	8	42,1	

* Signifikan pada taraf 95%

ini bahwa sebagian besar siswa perempuan memiliki rambut yang lebih panjang. Hal tersebut memungkinkan penularan/ perpindahan tuma kepala *Pediculus humanus capitis* dari satu anak ke anak yang lainnya.

Senada dengan peneliti lainnya frekuensi Pedikulosis kapitis lebih banyak menyerang pada perempuan daripada laki-laki yang disebabkan umumnya perempuan berambut lebih panjang daripada laki-laki. Selain itu, anak perempuan memiliki kebiasaan bermain bersama teman-temannya dalam kelompok kecil dan lebih sering mengalami kontak lebih dekat bersama temannya (Rassami & Soonwera, 2012).

Berdasarkan kelompok usia, angka kejadian infestasi *P. humanus capitis* lebih banyak pada anak kelompok usia 8-9 tahun dibandingkan dengan anak kelompok usia 5-7 tahun. Uji *chi-square* menunjukkan tidak ada hubungan yang signifikan antara kelompok umur dengan kejadian infestasi *P. humanus capitis*. Hal ini kemungkinan pada anak kelompok usia 5-7 tahun masih dalam pengawasan orang tua dalam perawatan rambut kepala. Selain itu, aktivitas bermain anak usia 8-9 tahun lebih tinggi terjadi kontak antara anak yang satu dengan yang lainnya seperti bergantian asesoris dan tidur bersama. Tingkat infestasi *P. humanus capitis*

meningkat seiring bertambahnya usia dan kenaikan kelas (Azni, 2014).

Prevalensi infestasi dapat bervariasi dipengaruhi oleh kebijakan dalam penanganan kejadian infestasi, metode pemberantasan yang dilakukan, banyaknya kontak langsung (*head to head contact*), tingkat higiene perorangan, keadaan tempat tinggal dan kondisi ekonomi keluarga termasuk pendapatan keluarga serta pengetahuan dan perhatian dalam melakukan pemberantasan kutu kepala (Rassami & Soonwera, 2012).

Faktor resiko lainnya yang dapat mempengaruhi kejadian infestasi Tuma Kepala

Pediculus humanus capitis yaitu penggunaan sampo, berganti aksesoris kepala/sisir, tidur bersama, dan keberadaan penderita pedikulosis dalam satu rumah seperti terlihat pada Tabel 3.

Faktor resiko lainnya yang dapat menyebabkan terjadinya infestasi tuma *Pediculus humanus capitis* pada siswa-siswi SD di wilayah Bangunharjo, Sewon, Bantul yang diamati adalah penggunaan sampo, bergantian aksesoris kepala dan sisir, kebiasaan tidur bersama, dan keberadaan penderita pedikulosis dalam satu rumah.

Tabel 3
Angka Kejadian Infestasi Pediculus Humanus Capitis Berdasarkan Faktor Resiko Lain Siswa-siswi SD di Wilayah Bangunharjo, Sewon, Bantul

Karakter	Jml Responden	Jumlah		P*
		Infestasi	%	
Penggunaan sampo				
Ya	298	115	38,5	0,697
Tidak	2	0	0	
Berganti aksesoris kepala				
Ya	58	25	43,1	0,496
Tidak	242	90	37,2	
Berganti sisir				
Ya	81	33	40,7	0,835
Tidak	219	94	42,9	
Tidur bersama				
Ya	233	93	39,9	0,364
Tidak	67	22	32,8	
Keberadaan penderita pedikulosis dalam satu rumah				
Ya	203	97	47,8	0,01
Tidak	97	30	30,9	

* Signifikan pada taraf 95%

Sebanyak 47,8% anak yang terinfestasi tuma *Pediculus humanus capitis* tinggal bersama dengan penderita dalam satu rumah. Uji *chi-square* memperlihatkan bahwa keberadaan penderita pedikulosis dalam satu rumah memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian infestasi tuma *P. humanus capitis*. Hal ini kemungkinan terjadi pertukaran aksesoris kepala maupun tidur bersama antara siswa yang diperiksa dengan penderita pedikulosis dalam satu rumah. Senada dengan peneliti lainnya yang menyatakan bahwa anak yang memiliki saudara kandung yang positif terinfestasi tuma *P. humanus capitis* menunjukkan hubungan yang signifikan terhadap terjadinya infestasi tuma *P. humanus capitis* (Nindia, 2016).

Pedikulosis kapitis menimbulkan gejala klinis utama berupa rasa gatal pada kulit kepala. Rasa gatal ini disebabkan injeksi saliva kutu ke dalam kulit kepala dan menyebabkan reaksi alergi. Rasa gatal yang berlebihan menyebabkan gangguan tidur akibat aktivitas kutu yang meningkat di malam hari (Cohen, 2013). Gangguan tidur yang persisten akan menimbulkan dampak negatif berupa menurunnya daya konsentrasi, penurunan ketajaman memori, sensorik, motorik, dan kognitif (Tanjung & Sekartini, 2004). Rasa gatal yang intens menyebabkan gangguan tidur dan menyebabkan gangguan konsentrasi

sehingga performa pasien dalam kegiatan sehari-hari terganggu. Rasa gatal yang hebat, dapat mengganggu ketenangan tidur dan mengganggu konsentrasi belajar sehingga prestasi anak menurun (Hadidjaja & Margono, 2011).

Pedikulosis kapitis selain menimbulkan kelainan pada rambut dan kulit kepala juga dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang lain berupa anemia defisiensi besi. Infeksi berat pada kulit kepala yang disebabkan pedikulosis kapitis dapat menimbulkan reaksi peradangan lokal berupa pembesaran kelenjar getah bening (limfadenopati) regional terutama pada bagian oksiput dan retroaurikular (Guenther, 2015).

Infestasi pedikulosis kapitis yang berat menimbulkan komplikasi berupa anemia defisiensi besi. Anemia defisiensi besi yang merupakan komplikasi dari pedikulosis kapitis menyebabkan pasien merasa lesu, mengantuk di kelas dan mempengaruhi kinerja belajar dan fungsi kognitifnya yang berdampak pada prestasi belajarnya (Guss, Koenig, & Castillo, 2011).

Berdasarkan pengukuran kadar Hb dan prestasi belajar responden, didapatkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kejadian infestasi tuma *P. humanus capitis* dengan status anemia dan prestasi belajar (Tabel 4).

Dampak anemia bagi siswa sekolah dasar adalah dapat menyebabkan gangguan

Tabel 4.
Hasil Analisis Statistik Kejadian Infestasi Pediculus Humanus Capitis pada Siswa-siswi SD di Wilayah Bangunharjo Berdasarkan Prestasi Belajar dan Status Anemia

Karakter	Jml Responden	Jumlah		P*
		Infestasi	%	
Kadar Hb				
Anemia	38	22	57,9	0,01
Tidak Anemia	262	93	35,5	
Prestasi Belajar				
Baik	202	65	32,3	0,01
Kurang Baik	98	50	51	

* Signifikan pada taraf 95%

tumbuh kembang fisik, rendahnya daya tahan terhadap penyakit, tingkat kecerdasan yang kurang dari seharusnya, prestasi belajar/kerja dan prestasi olahraga yang rendah. Selain itu, anemia pada anak akan berdampak pada menurunnya kemampuan dan konsentrasi belajar, mengganggu pertumbuhan baik sel tubuh maupun sel otak sehingga menimbulkan gejala muka tampak pucat, letih, lesu, dan cepat lelah sehingga dapat menurunkan kebugaran dan prestasi belajar (Nirmala, 2012).

Berdasarkan hasil pemeriksaan pada siswa-siswi SD di wilayah Bangunharjo Sewon Bantul yang menderita pedikulosis (terinfestasi oleh *Pediculus humanus capitis*) sebesar 57,9% menderita anemia dan sebesar 51,0% dengan prestasi belajar kategori kurang baik. Sejalan dengan peneliti lain, salah satu faktor yang mempengaruhi prestasi belajar seseorang yaitu faktor daya ingat. Status anemia seseorang dapat

mempengaruhi daya ingat seseorang (Djamarah, 2012).

SIMPULAN

Prevalensi infestasi *Pediculus humanus capitis* di SD Wilayah Bangunharjo, Sewon Bantul sebesar 38,3%. Terdapat hubungan signifikan antara kejadian infestasi *Pediculus humanus capitis* dengan status anemia dan prestasi belajar.

DAFTAR PUSTAKA

- Azni, S. M.(2014). Prevalence of head lice at the primary school in Damghan Iran. *Zahedan J Res Med Sci.*, 16(11), 47-49.
- Bugayong, A. M. S., Araneta, K. T. S., Cabanilla, J. C., Gayatgay, C. E. U., Nufuar, E. J. T., Rufino, K. H. S., ... & Padilla, P. I. (2011). Effect of dry-on, suffocation-based treatment on the prevalence of pediculosis among schoolchildren in Calagtangan Village, Miag-ao, Iloilo. *Philippine Science Letters*, 4(1), 33-7.
- Cohen, B. A. (2013). Meeting the clinical and psychosocial challenges of head

- lice. *Monthly Prescribing Reference*, 12(7), 1-15.
- Djamarah, S. B. (2012). *Prestasi belajar dan kompetensi guru*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Guenther, L. C. C. (2015). *Pediculosis and Pthiriasis (Lice infestation)*. Diunduh dari <https://emedicine.medscape.com/article/225013-clinical>.
- Guss, D. A., Koenig, M., & Castillo, E. M. (2011). Severe iron deficiency anemia and lice infestation. *The Journal of emergency medicine*, 41(4), 362-365. Diunduh dari <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20656443>.
- Hadidjaja, P., & Margono, S. S. (2011). *Dasar parasitologi klinik*. Jakarta: Badan Penerbit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- Moradi, A. R., Zahirnia, A. H., Alipour, A. M., & Eskandari, Z. (2009) The prevalence of pediculosis capitis in primary school students in Bahar, Hamadan Province, Iran. *J Res Health Sci*. 9(1), 45-9.
- Munusamy, H., Murhandarwati, E. E. H., & Umniyati, S. R. (2014). The relationship between the prevalence of head lice infestation with hygiene and knowledge among the rural school children in Yogyakarta. *Tropical Medicine Journal*, 1(2), 102-109.
- Nindia, Y. (2016) *Prevalensi infestasi kutu kepala (Pediculus humanus capitis) dan faktor risiko penularannya pada anak sekolah dasar di Kota Sabang Provinsi Aceh* (Tesis tidak diterbitkan). Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Nirmala, D. (2012). *Gizi anak sekolah*. Jakarta: Kompas.
- Rassami, W., & Soonwera, M. (2012). Epidemiology of pediculosis capitis among schoolchildren in the eastern area of Bangkok, Thailand. *Asian Pacific journal of Tropical Biomedicine*, 2(11), 901-904.
- Sanford, C., Jong, E., & Pottinger, P. (2016). *The travel and tropical medical manual* (5th ed.). USA: Saunders Elseiver.
- Soedarto. (2011). *Buku ajar parasitologi kedokteran*. Jakarta: Sagung Seto.
- Tanjung, M. F. C., & Sekartini, R. (2004). Masalah tidur pada anak. *Sari Pediatri Anak*, 6(3), 138-142.
- WHO. (2001). *Iron deficiency anaemia: Assessment, prevention, and control, a guide for programme managers*. Geneva: WHO.
- Yousefi, S., Shamsipoor, F., & Abadi, Y. S. (2012). Epidemiological study of head louse (*Pediculus humanus capitis*) infestation among primary school students in rural areas of Sirjan County, South of Iran. *Thrita*, 1(2), 53-56.
- Zhen, A. J. L. Y., Murhandarwati, E. E. H., & Umniyati, S. R. (2009). Head lice infestation and its relationship with hygiene and knowledge among urban school children in Yogyakarta. *Tropical Medicine Journal*, 1(1), 35-41.
- Zulinda, A., Yolazenia, & Zahtamal. (2017). Faktor-faktor yang mempengaruhi kejadian pedikulosis kapitis pada murid kelas III, IV, V Dan VI SDN 019 Tebing Tinggi Okura Kecamatan Rumbai Pesisir Pekanbaru. *Jurnal Ilmu Kedokteran*, 4(1), 65-69.

PENGARUH TIPE BUKAAN TERHADAP KENYAMANAN TERMAL RUANG KELAS BANGUNAN LAMA DAN BARU

(THE EFFECT OF OPENING TYPE ON THERMAL CONVENIENCE OF THE OLD AND NEW BUILDING CLASSROOM)

Ali Anton Senoaji¹, Arif Kusumawanto², dan Sentagi Sesotya Utami²

¹Megister Teknik Sistem Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

²Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

^{1,2}Jl. Teknik Utara No. 3 Berek Kocoran Caturtunggal Depok Sleman 55281

email: aliantonsenoaji@smkn3jogja.sch.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian yaitu menganalisis pengaruh bukaan terhadap kenyamanan termal ruang kelas pada bangunan lama dan baru, di SMK Negeri 3 Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan metode komparatif kualitatif yaitu dan hasil simulasi IES VE 2018. Pengukuran udara luar dilakukan pada 10 titik pengukuran dan sebanyak 5 titik pengukuran disetiap kelasnya, dengan ketinggian 1,5 m. Pengukuran lapangan dilakukan pada bulan Maret tahun 2019, waktu 06.30-16.30 WIB. Parameter yang digunakan dalam penelitian yaitu temperatur udara, kelembaban dan kecepatan angin. Temperatur udara dan kelembaban diukur dengan menggunakan alat thermo hygrometer. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan alat anemometer. Metode pengumpulan data dilakukan dengan metode pengamatan dan pengukuran. Validasi data menggunakan *Root Mean Squared Error (RMSE)*. Hasil penelitian menunjukkan kenyamanan termal ruang kelas terbaik diperoleh pada saat simulasi menggunakan tipe bukaan ke atas atau *Awning Windows*, dengan area bukaan penuh. Hasil simulasi menunjukkan distribusi aliran udara yang nyaman di dalam ruang kelas pada kecepatan angin di atas 0,15-0,28 m/det, Temperatur 25,07 -27,10°C.

Kata kunci: *tipe bukaan, termal ruang, IES VE 2018, RMSE*

Abstract

This study was aimed at analyzing the effect of opening type on the thermal convenience of classrooms in old and new buildings at SMK Negeri 3 Yogyakarta. This study used a qualitative comparative method and the simulation of IES VE 2018. The field air measurement is carried out at 10 measurement points and 5 measurement points in each class, with a height of 1.5 m. Field measurements were carried out in March 2019, at 06.30-16.30 WIB. The parameters used in the study were air temperature, humidity and wind speed. Air temperature and humidity were measured using a Thermo hygrometer. Wind speed was measured using an anemometer. The data collection method is carried out by observation and measurement. Root Mean Squared Error (RMSE) was used to validate the data. The results show the best thermal convenience of the classroom was obtained during the simulation using the type of *Windows Awning*, with a full aperture area. Simulation results show a comfortable distribution of airflow in the classroom at wind speeds above 0.15-0.28 m/sec, Temperature 25.07-27.10°C.

Keywords: *opening type, thermal space, IES VE 2018, RMSE*

PENDAHULUAN

Faktor kenyamanan pada sarana pendidikan sangat penting karena berpengaruh pada kesehatan, produktivitas pengguna bangunan khususnya untuk para siswa dan siswi dalam proses pembelajaran di sekolah (Rojali, 2017). Proses pembelajaran di sekolah memerlukan kondisi ruang kelas yang nyaman. Idealnya ruang kelas yang nyaman memenuhi prinsip-prinsip *visibility* (keleluasaan pandangan), *accessibility* (kemudahan pencapaian), fleksibilitas (keluwesan), *comfort* (kenyamanan), dan estetika (keindahan). Ruang kelas perlu memiliki sistem penghawaan dan pencahayaan alami yang cukup, agar memberi kenyamanan pengguna dalam melakukan aktivitasnya. Penerapan pasif desain pada bangunan dengan penggunaan penghawaan dan pencahayaan alami yang cukup, dapat memberikan keuntungan yang lain yaitu meminimalkan energi listrik yang diperlukan (Rahmi, 2015).

Adanya visi misi sekolah mengakibatkan manajemen sekolah perlu memiliki metode atau cara untuk meningkatkan mutu dan kualitas para siswa. Pengelola sekolah selain menyiapkan kurikulum pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan dunia industri, juga menyediakan fasilitas ruang kelas dan ruang praktik yang aman, dan nyaman secara visual, audio, dan termal. Kenyamanan termal pada saat proses pembelajaran di dalam kelas merupakan salah satu faktor penting yang

dapat mempengaruhi kenyamanan (*comfort*) aktifitas belajar mengajar di sekolah (Hamzah, Mulyadi, & Amin, 2016).

Pemanfaatan penghawaan alami di sekolah diharapkan masih dapat memenuhi kebutuhan kenyamanan termal di dalam kelas. Memasukkan aliran udara pada sistem penghawaan alami pada sebuah ruangan, akan dapat meningkatkan kenyamanan termal di dalam ruang (Gratia, Bruyere, & De Herde, 2004). Pada sistem penghawaan alami, upaya untuk menambah laju kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam ruangan akan dapat meningkatkan jangkauan zona kenyamanan termal (Liping & Hien, 2007).

Sekolah Menengah Kejuruan Negeri (SMKN) 3 Yogyakarta merupakan salah satu sekolah menengah tertua di Indonesia (cagar budaya) yang didirikan pada masa kolonial sejak tahun 1919. Bangunan sekolah dirancang dengan banyak bukaan/ventilasi untuk memanfaatkan penghawaan alami secara optimal.

Hasil pengamatan dan pengukuran di ruang kelas pada saat studi awal yakni tanggal 21 Maret 2018 memberikan data suhu udara (temperatur) ruang kelas dari pukul 07.00 WIB sampai pukul 17.00 WIB. Data subyektif menunjukkan adanya kenaikan dari suhu normal kurang lebih 1-3°C di siang hari pukul 12.30 WIB. Rata-rata temperatur ruang kelas berkisar 26-30°C; kelembaban 55-76%; dan kecepatan udara 0,2-0,5 m/s.

Data lingkungan termal tersebut merupakan unsur yang membentuk iklim mikro di suatu kawasan termasuk di SMK N 3 Yogyakarta.

Meningkatnya suhu udara di Yogyakarta (Kharisma, 2019) dan aktivitas pengembangan bangunan SMK N 3 Yogyakarta mengakibatkan perubahan iklim mikro di kawasan tersebut. Perubahan-perubahan suhu, kelembaban, dan kecepatan angin dapat mempengaruhi kondisi kenyamanan termal di dalam kelas.

Mengingat pentingnya kondisi kenyamanan termal di ruang kelas, sementara pengembangan dan pembangunan fisik di SMK N 3 Yogyakarta tidak bisa dihindari, perlu ada upaya dari manajemen sekolah untuk mempertahankan serta menciptakan ruang-ruang kelas yang nyaman secara termal. Dan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mempertahankan serta menciptakan kenyamanan termal di dalam kelas yaitu

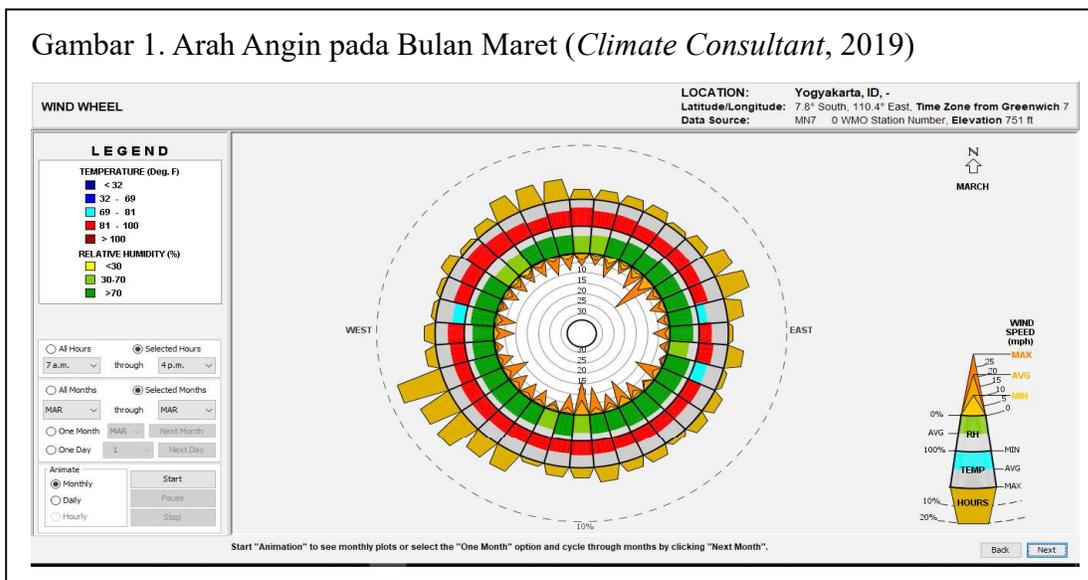
dengan cara mengoptimalkan pengaruh bukaan bangunan di sekolah atau ruang kelas.

METODE PENELITIAN

Kota Yogyakarta berada pada daerah iklim tropis lembab. Menurut hasil dari simulasi *Climate Consultant* 6.0 (2018), prakiraan bulan Maret, suhu rata-rata di Kota Yogyakarta 20-27°C, kelembaban udara 30-70% dengan rata-rata kecepatan angin 2-20m/det (Gambar 1).

Penelitian ini, menggunakan metode komparatif kualitatif yaitu dengan membandingkan dua analisis yang dihasilkan dari pengukuran lapangan dan hasil simulasi IES VE 2018. Pengukuran udara luar sebanyak 10 titik pengukuran dan sebanyak 5 titik pengukuran disetiap kelasnya, dengan ketinggian 1,5 m. Pengukuran lapangan dilakukan pada bulan Maret tahun 2019 waktu 06.30-16.30 WIB dengan pertimbangan

Gambar 1. Arah Angin pada Bulan Maret (*Climate Consultant*, 2019)



Gambar 2. Situasi Eksisting Bangunan



Sumber: *Google Earth* (diakses Maret 2019)

pada bulan tersebut posisi matahari berada tegak lurus pada lokasi bangunan. Dengan posisi tersebut dapat diasumsikan bahwa kondisi radiasi matahari terbesar sehingga menyebabkan kondisi temperatur terpanas.

Parameter yang digunakan dalam penelitian yaitu temperatur udara, kelembaban, dan kecepatan angin. Temperatur udara dan kelembaban diukur dengan menggunakan alat *thermo hygrometer*. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan alat anemo-meter.

Metode pengumpulan data dilakukan dengan metode pengamatan dan pengukuran, yaitu guna mendapatkan model dan ukuran

ruang kelas, bentuk dan ukuran detail bukaan jendela dan pintu, serta perletakan pintu dan jendela tersebut. Validasi data menggunakan *Root Mean Squared Error (RMSE)* yaitu metode untuk mengevaluasi data yang digunakan untuk mengukur tingkat akurasi hasil prakiraan suatu model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi obyek penelitian adalah ruang kelas di SMK Negeri 3 Yogyakarta, yaitu ruang kelas 38 (bangunan lama) dan ruang kelas 78 (bangunan baru). Survei pengambilan data dilakukan pada tanggal 21 Maret

Gambar 3. Peta SMK Negeri 3 Yogyakarta



Sumber: Manajemen SMK N 3 Yogyakarta

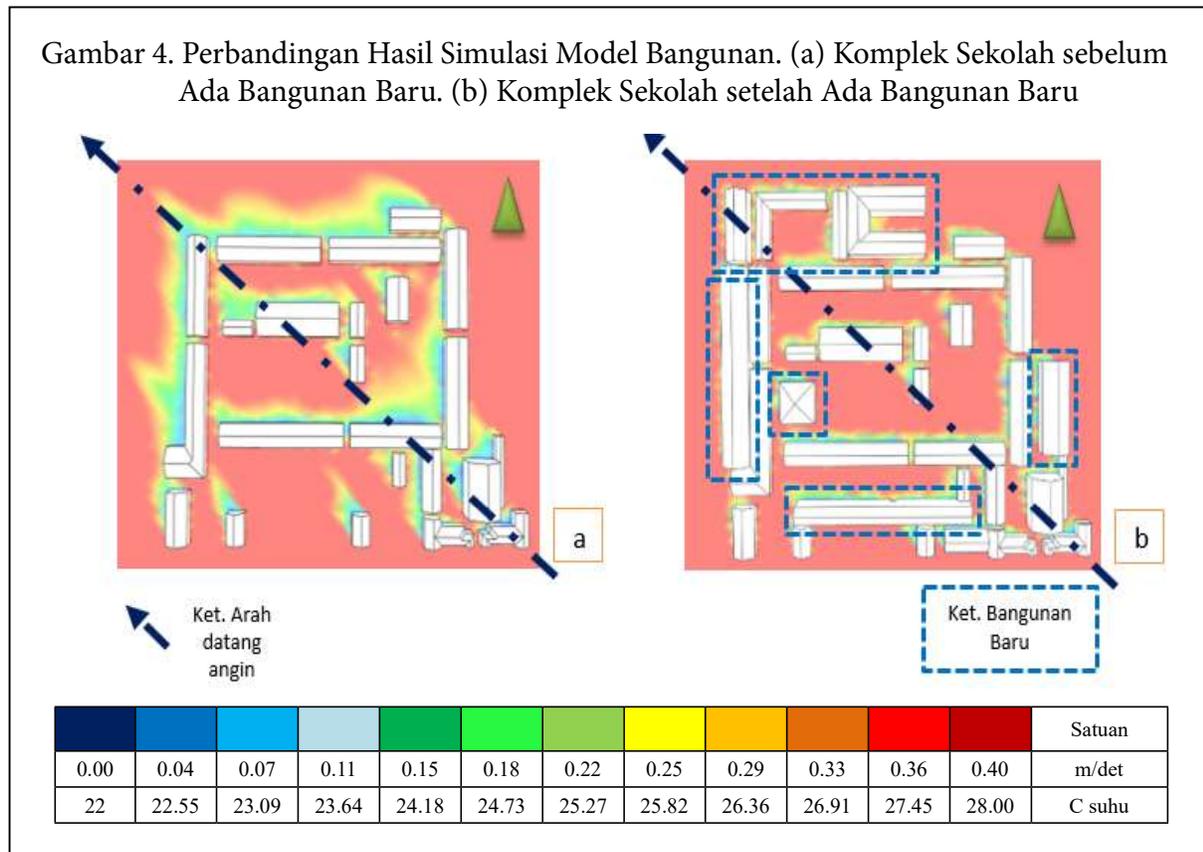
2019. Kondisi cuaca pada hari itu cerah dan panas. Alat ukur yang digunakan antara lain *Thermo hygrometer* dan Anemometer.

Hasil pengukuran yang dilakukan pada tanggal 21 Maret 2019 pukul 06.30-16.30 WIB diperoleh data suhu udara luar minimum 27,5°C maksimum 29,5°C; kelembaban relatif 55,3-57,9%; kecepatan angin 0,07-0,51 m/det. Hasil pengukuran suhu ruang kelas berkisar 26-33°C, kelembaban 55-76% dan kecepatan angin 0,00-0,4 m/det. Hal ini

menunjukkan pengukuran pada hari itu cuaca panas melebihi batas kenyamanan termal.

Hasil simulasi Gambar 4a menunjukkan cakupan aliran udara masih banyak dan aliran udara tidak banyak yang terhambat. Simulasi Gambar 4b menunjukkan aliran udara berkurang, karena adanya bangunan baru yang menghambat aliran udara di lingkungan sekolah.

Angin yang berhembus dari arah tenggara memberikan aliran sirkulasi udara,

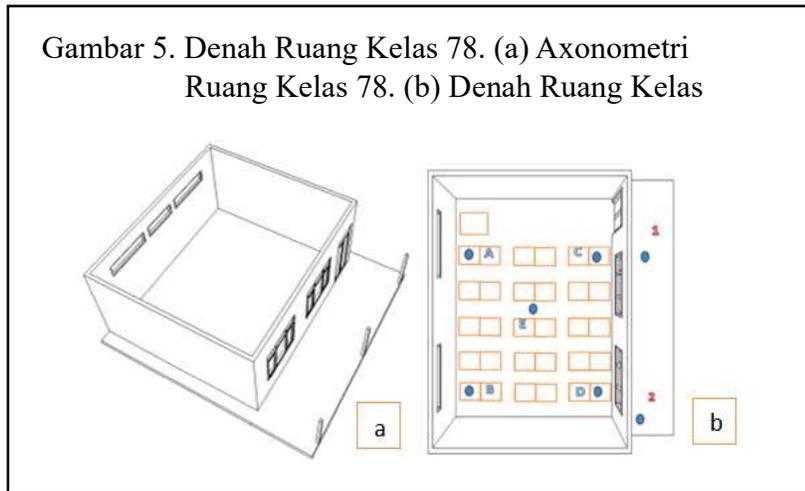


pada bangunan lama dan baru, angin langsung menerobos jendela di sisi selatan dan langsung keluar dari sisi utara. Dari sisi jendela selatan didominasi warna hijau $\pm 0,15-0,22$ m/det. Artinya, ada gerakan/hembusan udara yang nyaman, yang menerpa bangunan, dan masuk ke dalam ruang kemudian ke luar dengan hembusan angin yang lebih rendah dengan warna mengarah ke biru $\pm 0,04-0,11$ m/det. Suhu minimum $\pm 22^{\circ}\text{C}$ dan suhu maksimum mencapai $\pm 28^{\circ}\text{C}$.

Pengambilan data pengukuran ruang kelas 78, diambil 5 titik (A, B, C, D, E) dan 2 titik pengukuran ruang luar (1, 2) dengan ketinggian pengukuran 1,5 m (Gambar 5).

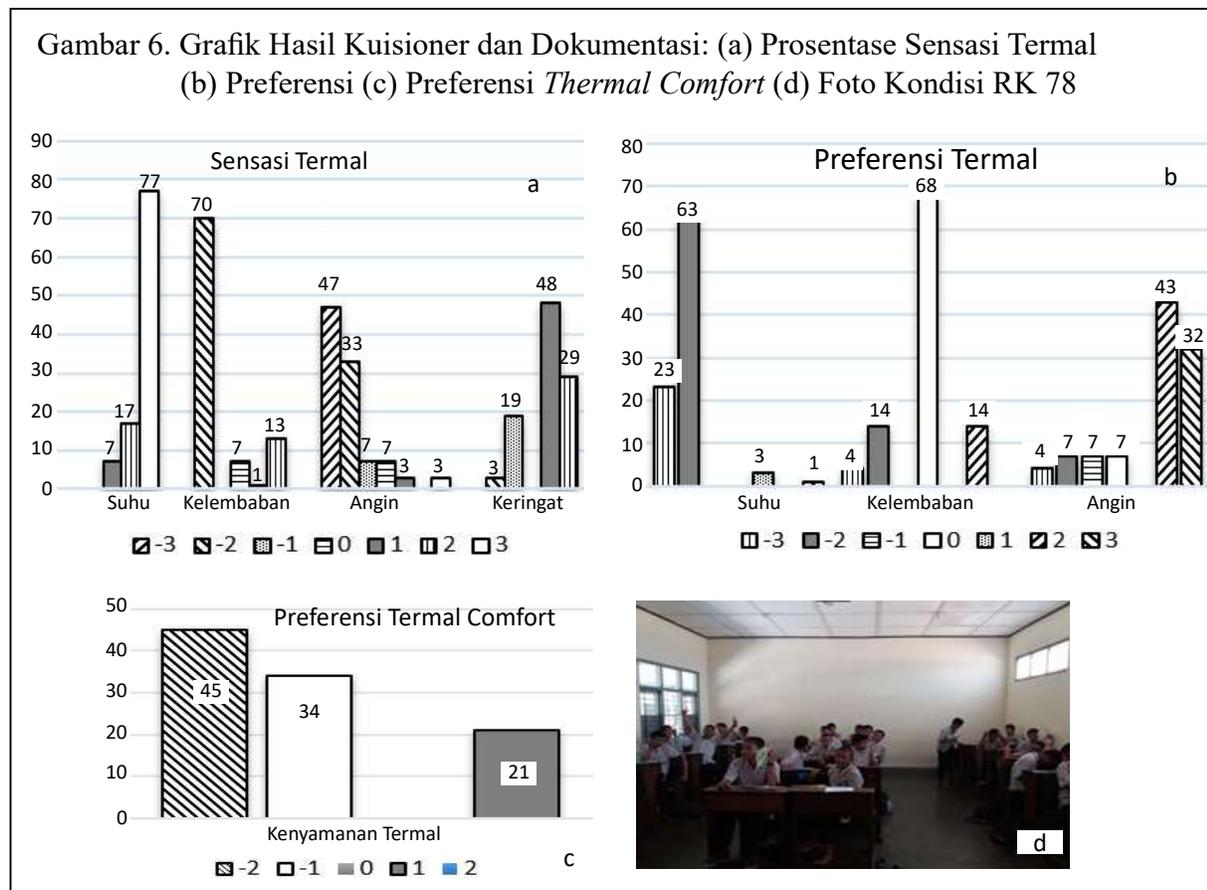
Hasil pengukuran ruang kelas 78; diperoleh rentang suhu pada kondisi jendela tertutup $28,1-32^{\circ}\text{C}$; kelembaban 69-70; kecepatan angin 0 m/det; pengukuran kondisi jendela terbuka $27,8-29,8^{\circ}\text{C}$; kelembaban 69-70, kecepatan angin 0 m/det. Kondisi ruangan menunjukkan semakin siang suhu semakin naik dan kondisi ruangan pukul 12.30 WIB merupakan suhu tertinggi hingga 32°C . Kondisi suhu akan menurun pada saat jendela dibuka dengan menunjukkan suhu $29,8^{\circ}\text{C}$.

Tabel hasil pengukuran di ruang kelas 78 menunjukkan bahwa pada saat jendela ruang kelas ditutup dan siswa berada di ruang kelas selama 30-60 menit, ada kecenderungan



ruang kelas terasa panas. Apabila jendela dibuka, suhu ruangan menjadi turun, ruang kelas menjadi hangat.

Gambar 6a menunjukkan sensasi termal yang dirasakan oleh siswa. Sebanyak 77% siswa merasakan mengatakan kondisi suhu di



ruang kelas 78 terasa panas, 70% kering, 47% tidak berangin, dan 48% kadang berkeringat. Gambar 6b menunjukkan siswa di ruang kelas 78, 63% ruang kelas dingin, 68% kondisi ruang kelas memiliki kelembaban normal, dan 43% ruang kelas mendapatkan aliran udara/angin. Gambar 6c menunjukkan 45% siswa mengatakan kondisi termal ruang kelas tidak nyaman.

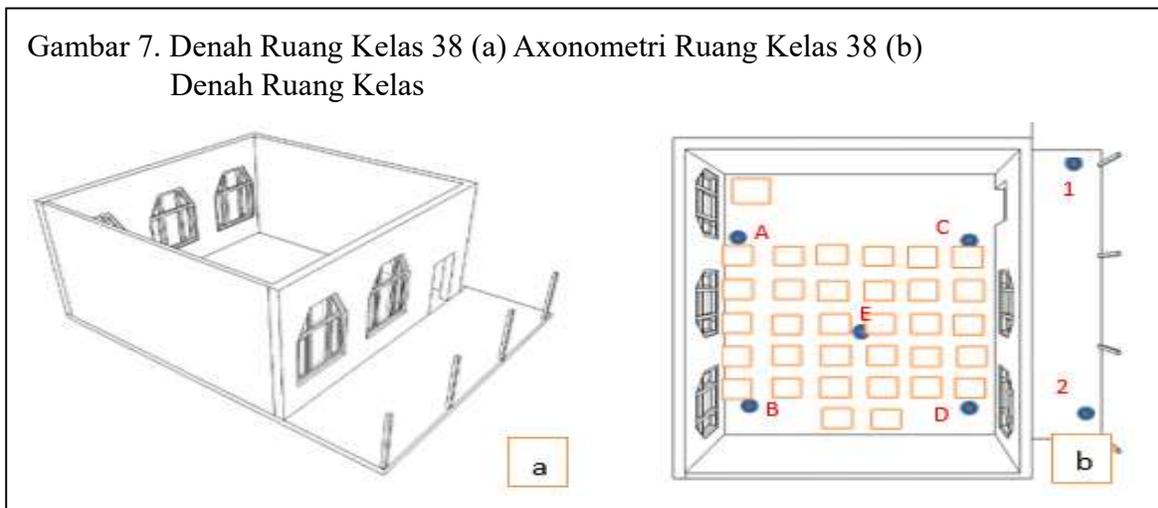
Gambar 6d menunjukkan suasana ruang kelas 78 dengan kondisi panas. Hal tersebut mungkin disebabkan suhu lingkungan luar yang tinggi hingga 33°C dan kecepatan angin 0,5 m/det.

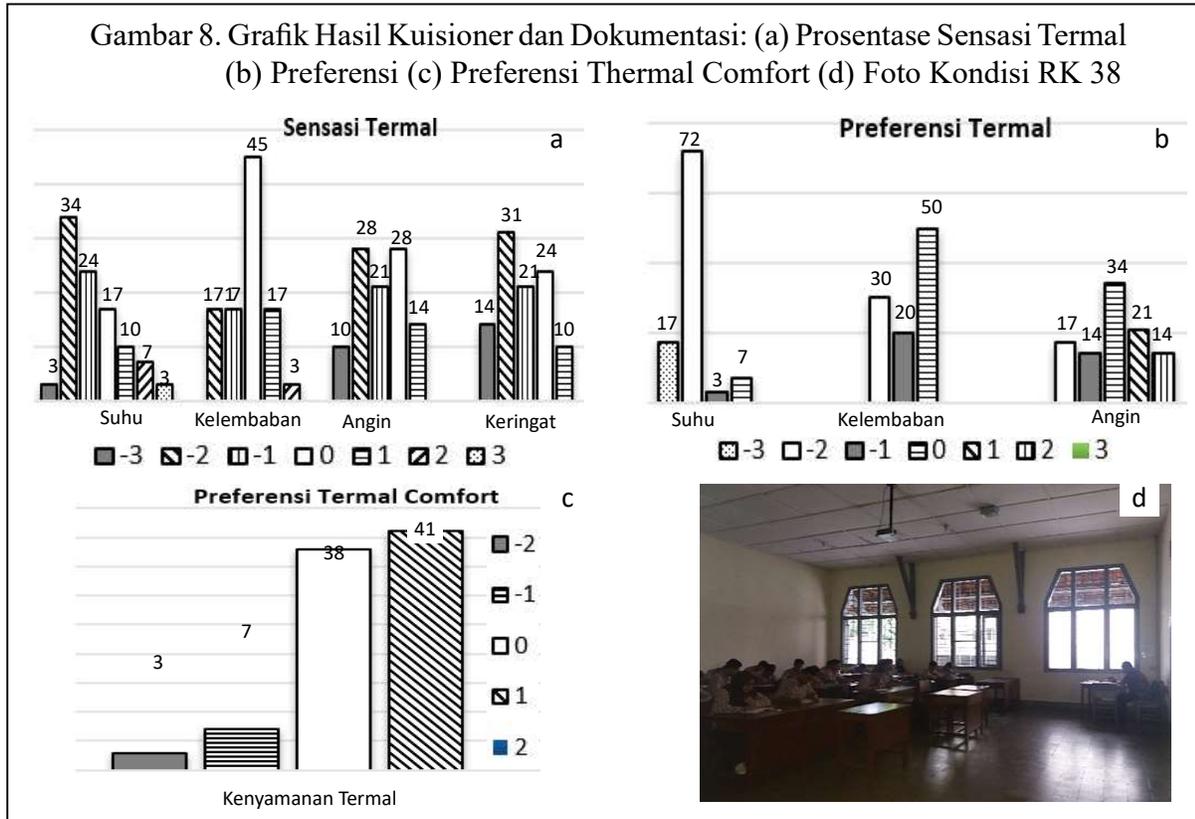
Pengambilan data pengukuran ruang kelas 38 diambil 5 titik (A, B, C, D, E) dan 2 titik pengukuran ruang luar (1, 2) dengan ketinggian pengukuran 1,5 m (Gambar 7). Hasil pengukuran ruang kelas 38 diperoleh rentang suhu pada kondisi jendela tertutup 28-30,7°C; kelembaban 65-71; kecepatan angin 0 m/det. Pengukuran kondisi jendela

terbuka 27,8-28,4°C; kelembaban 66- 68; kecepatan angin 0 m/det. Kondisi ruangan menunjukkan semakin siang suhu semakin naik dan kondisi ruangan pukul 12.30 merupakan suhu tertinggi hingga 30,7°C. Kondisi suhu menurun pada saat jendela dibuka dengan menunjukkan suhu 28,4°C.

Tabel hasil pengukuran di ruang kelas 38 menunjukkan bahwa pada saat jendela ruang kelas ditutup dan siswa berada di ruang kelas selama 30-60 menit, ada kecenderungan ruang kelas terasa hangat. Apabila jendela dibuka suhu ruangan menjadi turun ruang kelas menjadi agak hangat.

Gambar 8a menunjukkan sensasi termal yang dirasakan oleh siswa. Ada 34% siswa merasakan mengatakan kondisi suhu di ruang kelas 38 terasa sejuk, 45 % netral, 28% terkadang ada angin, dan 31% kadang berkeringat. Gambar 8b menunjukkan siswa di ruang kelas 38, 72% ruang kelas dingin, 50% kondisi ruang kelas memiliki





kelembaban normal, dan 34% ruang kelas mendapatkan aliran udara/angin. Gambar 8c menunjukkan 41% siswa mengatakan kondisi termal ruang kelas agak nyaman.

Gambar 8d menunjukkan suasana ruang kelas 38 dengan kondisi agak nyaman. Hal tersebut disebabkan suhu lingkungan luar yang tinggi hingga 33°C dan kecepatan angin 0,5 m/det, tetapi ruang kelas memiliki bukaan yang lebar sehingga angin yang mengalir ke dalam ruang kelas masih cukup untuk memberikan kenyamanan pada siswa.

Berikut disajikan simulasi IES VE 2018 untuk mendapatkan tingkat kenyamanan termal ruang kelas yang terbaik. *Pertama*, simulasi I tipe jendela *case-ment windows/*

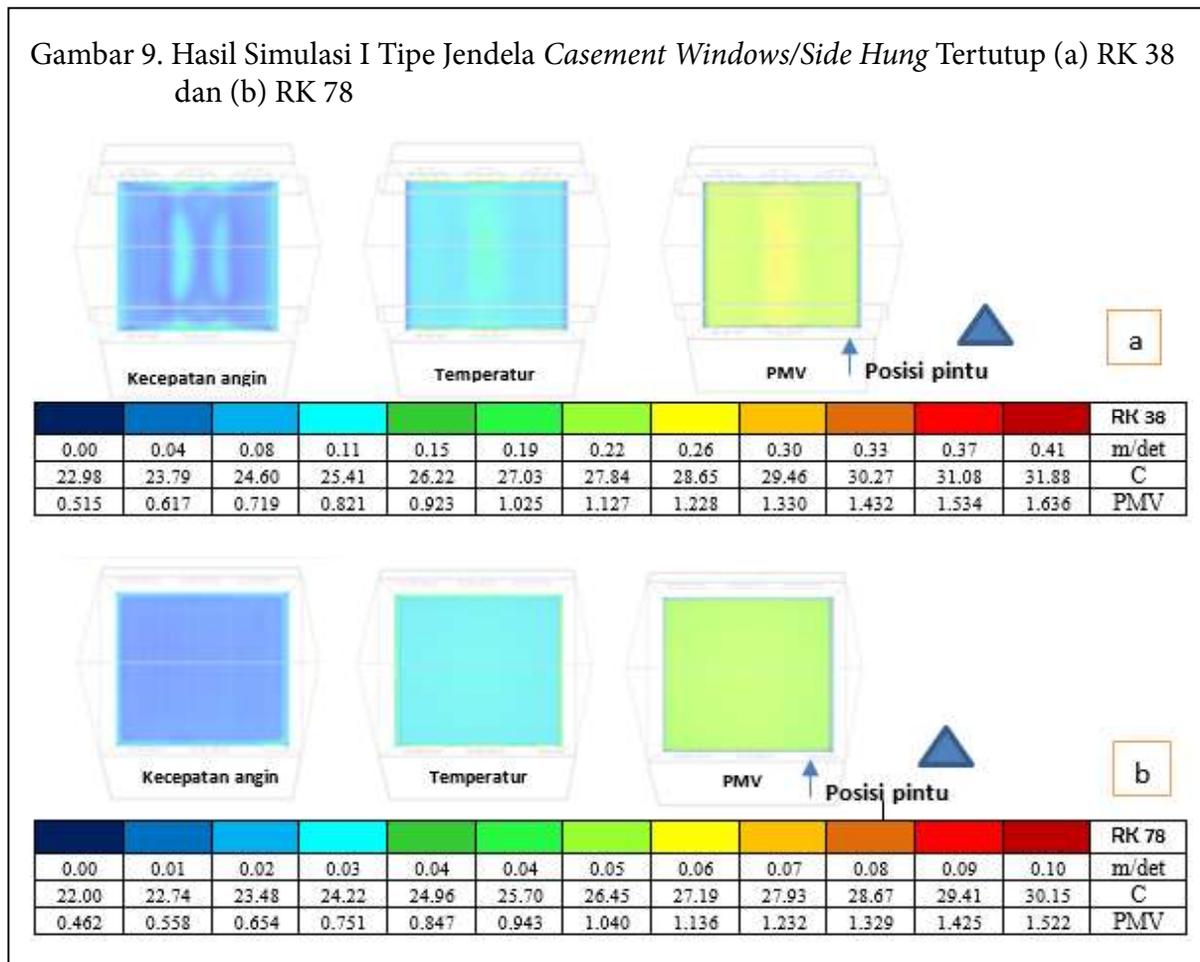
side hung tertutup. Gambar 9a menunjukkan simulasi RK 78 dengan pintu jendela tertutup. Distribusi kecepatan udara dan temperatur ruangan berupa potongan kontur kecepatan udara secara vertikal ($Z = 1,5m$), ($Z=3m$), dan tam-pak horisontal ($X= 1m$), ($X= 3,5m$), ($X=7m$). Terlihat bahwa kecepatan angin berada pada *range* 0-0,10 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22-30,15°C. Bagian tengah bangunan area yang dipakai untuk kegiatan belajar mengajar terlihat tidak banyak angin, kecepatan rendah 0-0,02 m/det. Ada aliran udara melalui bukaan di atas jendela dengan kecepatan 0,04-0,05 m/det yang terlihat mengalir ke atas dekat plafon mengarah ke *bovenlich*.

Berdasarkan Gambar 9b simulasi RK 38 dengan pintu jendela tertutup. Distribusi kecepatan udara dan temperatur ruangan berupa potongan kontur kecepatan udara secara vertikal ($Z=1,5m$), ($Z=3,5m$), dan tampak horisontal ($X=1m$), ($X=4,5m$), ($X=8m$). Terlihat bahwa kecepatan angin Gambar 9b lebih tinggi dibandingkan Gambar 9a walaupun dalam kondisi pintu jendela tertutup. Kecepatan angin berada di *range* 0-0,41 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,98-31,88°C. Bagian tengah ruang kelas juga sedikit ada angin dengan kecepatan 0,08-

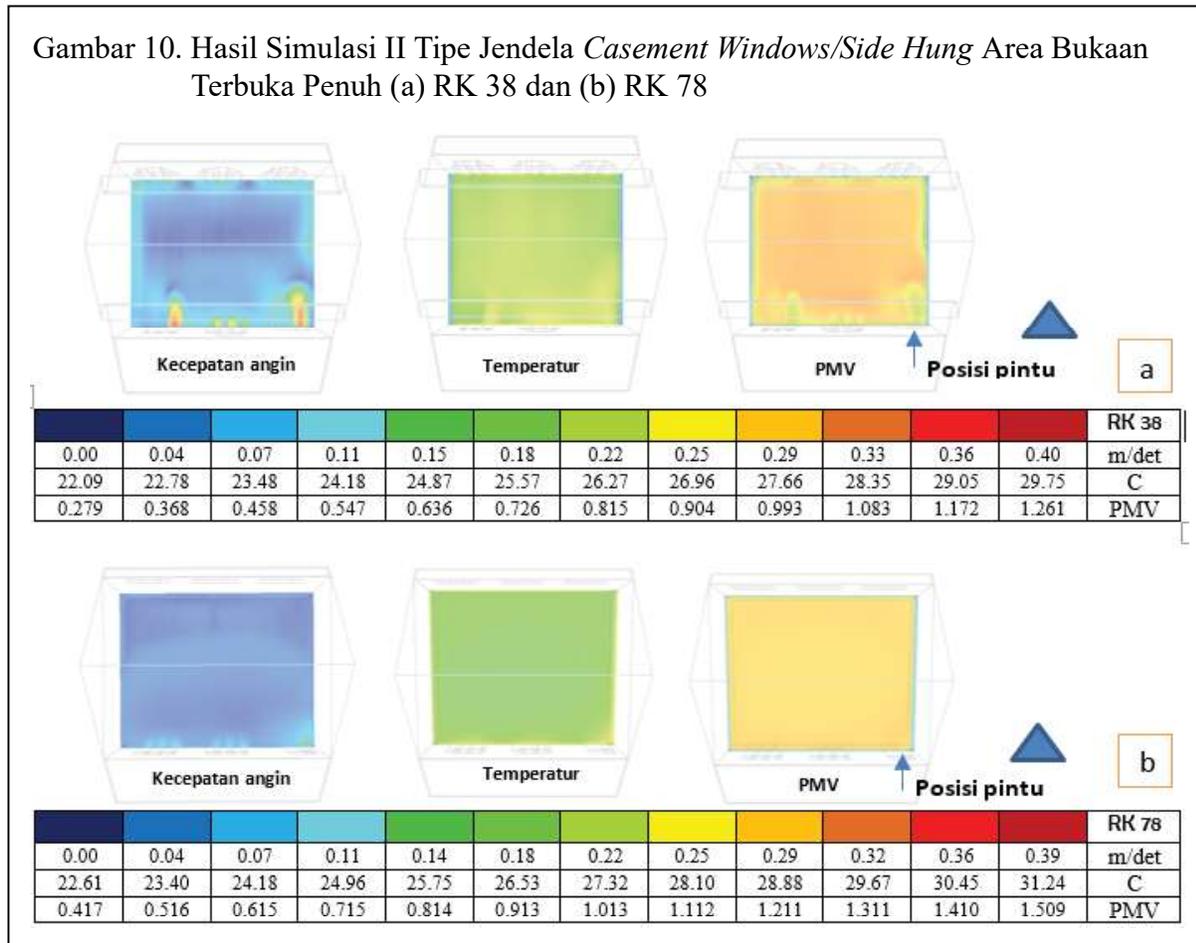
0,11 m/det. Hal itu dikarenakan lubang bukaan di atas jendela ukurannya lebih besar daripada lubang bukaan Gambar 9a.

Kedua, simulasi II tipe jendela *casement windows/side hung* area bukaan terbuka penuh (Gambar 10). Gambar 10a menunjukkan simulasi RK 78 dengan tipe jendela terbuka ke samping, pintu jendela area bukaan terbuka penuh. Terlihat bahwa kecepatan angin berada pada *range* 0-0,39 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,61-31,24°C. Kecepatan tinggi berada di dekat *outlet* sebelah utara. Hal ini disebabkan

Gambar 9. Hasil Simulasi I Tipe Jendela *Casement Windows/Side Hung* Tertutup (a) RK 38 dan (b) RK 78



Gambar 10. Hasil Simulasi II Tipe Jendela *Casement Windows/Side Hung Area* Bukaannya Terbuka Penuh (a) RK 38 dan (b) RK 78



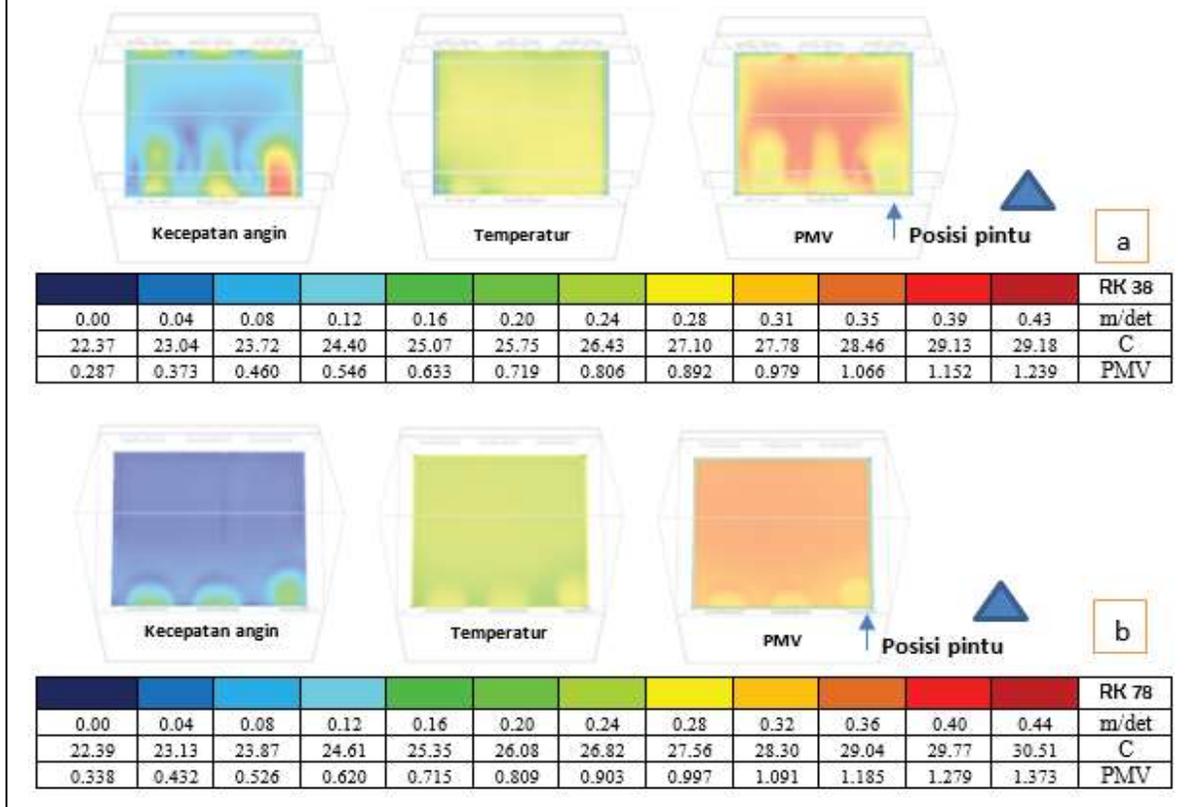
oleh angin yang akan keluar bersamaan melalui *bovenlich*. Kecepatan angin bagian tengah ruang terlihat rendah 0,04 m/det; tidak banyak angin dikarenakan aliran udara masuk melalui bukaan jendela di sebelah selatan dengan kecepatan 0,14-0,18 m/det; bergerak ke atas; berkumpul di atas dengan kecepatan 0,11 m/det menuju ke arah *bovenlich*.

Gambar 10b menunjukkan simulasi ruang kelas 38 dengan tipe jendela terbuka ke samping, pintu jendela area bukaan terbuka penuh. Terlihat bahwa kecepatan berada di

range 0-0,40 m/det. Suhu ruangan berada di range 22,09-29,75°C. Kecepatan tinggi berada di dekat *outlet* sebelah utara antara 0,22-0,25 m/det. Hal ini disebabkan oleh angin yang akan keluar bersamaan melalui jendela. Aliran angin lebih banyak daripada Gambar 10a.

Ketiga, Simulasi III Tipe jendela *awning windows/top hung* area bukaan terbuka penuh (Gambar 11). Berdasarkan Gambar 11a simulasi RK 78 dengan tipe jendela terbuka ke atas, pintu jendela area bukaan terbuka penuh. Kondisi ruang terlihat ada aliran udara masuk melalui

Gambar 11. Hasil Simulasi III Tipe Jendela *Awning Windows/ Top Hung* Area Bukaannya Terbuka Penuh (a) RK 38 (b) RK 78



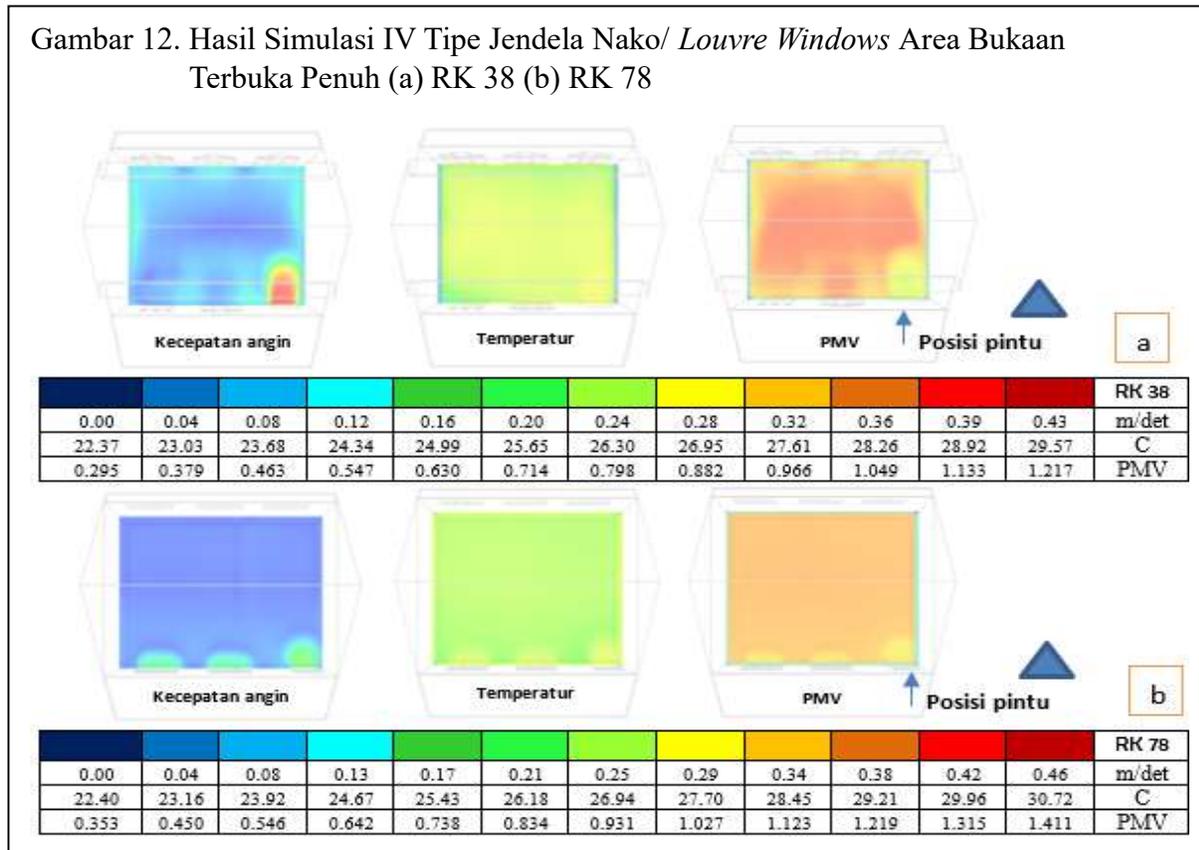
lubang bukaan di sebelah selatan dengan kecepatan 0,12 m/det. Kecepatan angin RK 78 berada pada *range* 0-0,44 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,39-30,51°C. Kecepatan angin bagian tengah ruang masih rendah dengan kecepatan 0,04-0,08 m/det. Masih tidak banyak angin dikarenakan aliran udara masuk melalui bukaan jendela di sebelah selatan dengan kecepatan 0,12m/det; bergerak ke atas terjebak di atas terjadi penumpukan udara yang akan keluar di *outlet* dengan kecepatan 0,11-0,32 m/det.

Berdasarkan Gambar 11b simulasi RK 38 dengan tipe jendela terbuka ke atas, pintu

jendela area bukaan terbuka penuh. Kondisi ruang terlihat ada aliran udara masuk melalui lubang bukaan di sebelah selatan dengan kecepatan 0,31 m/det. Kecepatan angin RK 38 berada pada *range* 0-0,43 m/det. Suhu ruangan berada di *range* 22,37°C-29,18°C. Udara di ruang lebih merata, dengan cakupan udara ruang lebih besar. Kecepatan angin di bagian 0,04-0,12 m/det.

Keempat, simulasi IV Tipe jendela nako/*Louvre Windows* area bukaan terbuka penuh (Gambar 12). Berdasarkan Gambar 12a simulasi RK 78 dengan tipe jendela nako pintu jendela area bukaan terbuka penuh,

Gambar 12. Hasil Simulasi IV Tipe Jendela Nako/ *Louvre Windows* Area Bukaannya Terbuka Penuh (a) RK 38 (b) RK 78



kondisi ruang menunjukkan ada aliran udara masuk melalui bukaan dari sebelah selatan dengan kecepatan 0,08-0,13 m/det, bergerak keatas, menuju ke arah bukaan sebelah utara. Kecepatan angin RK 78 berada pada range 0-0,46 m/det. Suhu ruangan berada di range 22,40-30,72°C. Bagian tengah RK 78 terlihat aliran angin lebih banyak, walaupun aliran angin rendah dengan kecepatan angin 0,04-0,08 m/det. Hal ini disebabkan oleh tipe bukaan yang dapat mengarahkan aliran angin kebagian bawah atau atas ruangan.

Gambar 12b menunjukkan simulasi RK 38 dengan tipe jendela nako, pintu jendela area bukaan terbuka penuh. Ada aliran udara

masuk dari jendela sebelah selatan dengan kecepatan angin 0,24-0,32 m/det. Meratakan udara di ruangan walaupun masih dengan kecepatan angin yang rendah 0,04-0,12 m/det. Kecepatan angin RK 38 berada pada range 0-0,43 m/det. Suhu ruangan berada di range 22,37-29,57°C. Posisi tinggi inlet sama dengan outlet.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah diuraikan di atas, maka peneliti mengambil beberapa simpulan sebagai berikut. *Pertama*, adanya kegiatan pengembangan atau penambahan bangunan di SMK N 3 Yogyakarta meng-

hambat pergerakan angin/udara sehingga mengurangi kecepatan angin yang masuk ke dalam kelas dan mempengaruhi tingkat kenyamanan ruang kelas. *Kedua*, hasil survei kenyamanan pengguna ruang kelas menunjukkan bahwa 38% responden di RK 78 mengatakan nyaman, 68% responden di RK 38 mengatakan nyaman dan menginginkan adanya peningkatan kecepatan angin di dalam ruang kelas. Adanya perbedaan kenyamanan ruang kelas ini, barangkali diakibatkan karena rasio bukaan RK 38 yang lebih besar dibandingkan dengan RK 78, perbedaan tinggi plafon, dan tebal dinding bangunan. *Ketiga*, tipe bukaan yang terbuka ke atas/*awning windows* merupakan tipe bukaan yang mampu meningkatkan kenyamanan termal ruang kelas 78 dan 38. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil validasi data yang memiliki selisih *error* yang kecil dan hasil simulasi juga menunjukkan aliran angin yang merata di ruang kelas dan suhu yang rendah. Hasil analisis simulasi IES VE 2019 menunjukkan adanya pengaruh bukaan pada kondisi kenyamanan termal ruang kelas. Ruang kelas 38 yang merupakan bangunan lama cenderung lebih nyaman daripada ruang kelas 78 yang merupakan bangunan baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Consultan Climate 6.0. (2018). Diunduh dari <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>.
- Gratia, E., Bruyere, I., & De Herde, A. (2004). How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. *Building and Environment*, 39(10), 1157-1170.
- Hamzah, B., Mulyadi, R., & Amin, S. (2016). Analisis kenyamanan termal ruang kelas sekolah dasar di Kota Makassar. Dalam G. A. Susilo, P. H. Pramitasari, G. A. Putra, B. T. Ujianto, & Hamka (Eds.), *Prosiding temu ilmiah IPLBI 2016* (pp. H001-006). Malang: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional.
- Kharisma, W. (2019, 29 April). Suhu Yogyakarta makin panas. *Pikiran Rakyat*. Diunduh dari <https://www.pikiran-rakyat.com/nasional/2019/04/29/suhu-yogyakarta-makin-panas>.
- Liping, W., & Hien, W. N. (2007). Applying natural ventilation for thermal comfort in residential buildings in Singapore. *Architectural Science Review*, 50(3), 224-233.
- Rahmi, D. H. (2015). Pengaturan penghawaan dan pencahayaan pada bangunan. *Arsit. dan Lingkung.* Diunduh dari <http://arsitekturdanlingkungan.wg.ugm.ac.id/2015/11/20/>.
- Rojali, M. D. (2017). Sistem penghawaan alami sebagai kenyamanan bangunan. *Repository Tugas Akhir Arsitektur Itenas*, 3.

**PENGARUH INOKULAN DAN KOMPOS RAMI TERHADAP EFISIENSI
DEGRADASI HIDROKARBON, POPULASI TOTAL FUNGI DAN TINGGI RAMI**

***(EFFECT OF INOCULANT AND RAMIE COMPOST ON EFFICIENCY
DEGRADATION HIDROKARBON, POPULATION TOTAL FUNGI AND RAMIE)***

Yuhanidz, Pudjawati Suryatmana, dan Betty Natalie Fitriatin

Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang KM. 21, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat

email: nyuhanidz@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rami, kompos rami, dan jenis inokulan terhadap efisiensi degradasi hidrokarbon, populasi total fungi dan tinggi tanaman rami. Penelitian dilakukan dengan menggunakan RAK faktorial dengan 2 Faktor. Perhitungan populasi total *Aspergillus niger* dilakukan dengan menggunakan metode *total plate count (TPC)*, sedangkan pengukuran kadar *total petroleum hydrocarbons (TPH)* menggunakan metode gravimetri. Percobaan dilaksanakan di Rumah Kaca Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat dengan ketinggian 822 mdpl. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman dan Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Percobaan dilaksanakan dari bulan November 2017 sampai dengan bulan Februari 2018. Hasil penelitian tidak menunjukkan adanya interaksi antara inokulan dan kompos rami terhadap efisiensi degradasi, populasi total fungi dan tinggi tanaman rami pada proses fitoremediasi limbah minyak bumi, serta tidak diperoleh jenis inokulan dan dosis kompos rami terbaik terhadap efisiensi degradasi, populasi total fungi, dan tinggi tanaman rami pada fitoremediasi limbah minyak bumi.

Kata kunci: *inokulan, rami, hidrokarbon, fitoremediasi*

Abstract

This study was aimed at determining the effect of ramie, ramie compost and types of inoculants on the efficiency of hydrocarbon degradation, total fungi population, and ramie height. The study was conducted using factorial RAK with 2 factors. The calculation of the total population of *Aspergillus niger* was done using the total plate count (TPC) method, while the measurement of total *petroleum hydrocarbons (TPH)* levels used the gravimetric method. The experiment was conducted at the Greenhouse of the Faculty of Agriculture, Padjadjaran University, Jatinangor, West Java with an altitude of 822 meters above sea level. Soil analysis was carried out at the Soil Fertility and Plant Nutrition Laboratory and the Soil Biology Laboratory, Faculty of Agriculture, Padjadjaran University. The experiment was conducted from November 2017 to February 2018. The results of the study do not show an interaction between inoculants and ramie compost on the efficiency of degradation, total fungi population and ramie height in the phytoremediation process of petroleum waste. The results also showed that there was no best type of inoculant and ramie compost dose for degradation efficiency, total fungi population and ramie height in phytoremediation of petroleum waste.

Keywords: *inoculant, ramie, hydrocarbons, phytoremediation*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki keunggulan dalam sumber daya alam khususnya dalam sektor perminyakan dan pertambangan. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia menempati peringkat ke-23 di dunia dalam tingkat produksi minyak bumi yaitu sebesar 789.000 Barrel per harinya. Kegiatan pengilangan minyak bumi tidak terlepas dari tumpahnya minyak mentah atau limbah minyak bumi di daerah sekitar pengilangan minyak yang menyebabkan pencemaran lingkungan (Sulistiyono, Suntoro, & Masykuri, 2012).

Daerah pengilangan minyak bumi di Indonesia salah satunya adalah Kilang Minyak Pusdiklat Migas Cepu Blora Jawa Tengah yang dikelola oleh PT Pertamina EP Region Jawa Field Cepu. Minyak tercecce di sekitar pengilangan yang mencapai 5.169,73 Liter per bulannya (Sulistiyono dkk., 2012) Tumpahan minyak bumi mentah termasuk ke dalam kategori B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah B3.

Bioremediasi dapat menjadi alternatif untuk pemulihan tanah tercemar minyak bumi. Bioremediasi merupakan metode pemulihan lahan yang lebih ramah lingkungan, murah dan tidak menyebabkan efek samping terhadap tanah dan lingkung-

an (Lumbanraja, 2014). Salah satu cabang metode bioremediasi adalah fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan kegiatan menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi dengan memanfaatkan tumbuhan sebagai agen remediatornya (Juhaeti, Syarif, & Hidayati, 2005). Metode fitoremediasi memiliki kelemahan yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mendegradasi hidrokarbon cukup lama, agen remediator (tanaman) harus beradaptasi terlebih dahulu dengan tanah toksisitas tinggi dan ketersediaan nutrisi untuk tanaman dan mikroba rendah. Sehingga pada percobaan ini perlu dilakukan penambahan inokulan dan *bulking agent* yang diharapkan mampu berinteraksi untuk mendukung proses fitoremediasi. Penambahan inokulan seperti *Azotobacter vinelandii*, *Azospirillum* sp., *Pseudomonas cepacia*, dan *Aspergillus niger* diharapkan mampu memudahkan serta mempercepat terjadinya degradasi hidrokarbon dalam tanah.

Penambahan *bulking agent* bertujuan untuk menggemburkan tanah dan meningkatkan porositas tanah sehingga memudahkan akar dalam mengambil hara dan mendegradasi hidrokarbon pada tanah tercemar minyak bumi (Juliani, 2011). Salah satu jenis *bulking agent* adalah kompos. Kompos mampu meningkatkan porositas tanah yang berpengaruh pada aerasi sehingga mikroba dapat melakukan

pertukaran oksigen untuk kelangsungan hidupnya (Aliyanta, Sumarlin, & Mujab, 2011). Kompos yang digunakan berasal dari tanaman rami itu sendiri, karena percobaan ini menganut *zero waste*.

METODE PENELITIAN

Percobaan dilaksanakan di Rumah Kaca Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat dengan ketinggian 822 mdpl. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman dan Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Percobaan dilaksanakan dari bulan November 2017 sampai dengan bulan Februari 2018.

Alat yang digunakan pada percobaan ini adalah peralatan untuk analisis kimia; peralatan untuk analisis *Total Plate Count (TPC)*; peralatan untuk analisis *Total Petroleum Hidrocarbon (TPH)*; peralatan untuk analisis parameter penunjang: pH meter, meteran, thermometer, soil moisture tester, dan fluks meter; peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian di antaranya: cangkul, timbangan, pisau, penggaris, emrat, sekop, sendok tembok, dan alat tulis.

Bahan-bahan yang digunakan pada percobaan adalah tanah *inceptisol* yang diambil dari lahan percobaan Ciparanje Jatinangor; limbah minyak bumi dari

Pertamina Balongan Indramayu; inokulan bakteri *Azotobacter vinelandii*, *Azospirillum* sp., *pseudomonas cepacia*; inokulan fungi *Aspergillus niger*; klon tanaman rami var. Lembang yang berasal dari Wonosobo Jawa Tengah diperbanyak menggunakan rimpang tanaman rami; bahan kimia untuk perhitungan TPH yaitu n-heksan; media biakan isolasi mikroba indigenus yaitu media ashby, media PDA, media pikovskaya, media okon, pupuk kompos dari tanaman rami, dan pupuk anorganik.

Metode percobaan yang digunakan adalah metode Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan menggunakan dua faktor untuk mengetahui interaksi antara dua faktor. Faktor pertama pada penelitian ini adalah pemberian inokulan yang terdiri dari 6 taraf. Faktor kedua adalah pemberian kompos tanaman rami yang terdiri dari 4 taraf. Jumlah kombinasi perlakuan pada penelitian ini sebanyak $6 \times 4 = 24$ dengan kombinasi ulangan perlakuan sebanyak 3 ulangan sehingga didapat seluruh total satuan percobaan sebanyak 72 satuan percobaan. Perhitungan populasi total *Aspergillus niger* dengan metode TPC dan pengukuran kadar TPH dengan metode gravimetri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perlakuan kontrol menunjukkan angka yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan yang ditambahkan inokulan (Tabel 1). Hal

Tabel 1

Pengaruh Penambahan Inokulan dan Kompos Rami terhadap Efisiensi Degradasi Hidrokarbon pada Proses Fitoremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi selama 11 Minggu

Perlakuan	Efisiensi Degradasi Hidrokarbon (%)
Penambahan Inokulan (A)	
a ₀ = Tanpa Inokulan	85,50 a
a ₁ = <i>Azotobacter vinelandii</i> 2%	83,42 a
a ₂ = <i>Azospirillum sp</i> 2%	85,87 a
a ₃ = <i>Aspergillus niger</i> 2%	82,91 a
a ₄ = <i>Pseudomonas cepacia</i> 2%	84,39 a
a ₅ = Konsorsium 2%	81,89 a
Penambahan Kompos Rami (B)	
b ₀ = Tanpa Kompos Rami	83,59 a
b ₁ = Kompos Rami 125 g	82,93 a
b ₂ = Kompos Rami 250 g	84,92 a
b ₃ = Kompos Rami 375 g	84,54 a

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata.

ini diduga terjadi karena pada media tanah terdapat mikroba indigenus yang bersifat petrofilik, yaitu mikroba yang mampu mendegradasi hidrokarbon minyak bumi menjadi senyawa yang lebih sederhana (Munawar & Elfita, 2015).

Nilai efisiensi degradasi hidrokarbon oleh *Azospirillum* tidak berbeda nyata dengan perlakuan lain bahkan dengan perlakuan kontrol. Hal ini mungkin terjadi karena adanya penurunan pH pada t₁₁ yang mencapai 5,8. Penurunan pH terjadi karena aktifitas metabolisme yang menghasilkan asam-asam organik. Asam organik yang dihasilkan dapat menyebabkan kondisi tanah menjadi asam dan pH menjadi turun.

Proses biodegradasi pH optimum adalah 7-8 sehingga penurunan pH tanah menghambat terjadinya biodegradasi oleh mikroba pada t₁₁ hal ini sejalan dengan penelitian (Handrianto, Rahayu, & Yuliani, 2012). Kurniawan (2008) menyatakan bahwa selain pH, faktor yang menjadi penghambat biodegradasi hidrokarbon minyak bumi adalah jenis dan konsentrasi polutan di dalam tanah (Estuningsih, Juswardi, Yudono, & Yulianti, 2013). Pada t₁₁ hidrokarbon yang tersisa pada tanah bersifat lebih kompleks sehingga sukar terdegradasi.

Faktor lingkungan lain yang berpengaruh pada efisiensi degradasi hidrokarbon adalah kelembaban udara di lapangan

yaitu 81 kurang cocok dengan kelembaban udara optimal pertumbuhan tanaman rami yaitu 83-89. Kelembaban yang tidak sesuai menyebabkan proses fotosintesis tanaman rami menjadi lambat. Fotosintesis pada tanaman rami mempengaruhi jumlah fotosintat pada tanaman berupa gula atau glukosa yang terkandung pada eksudat akar (Nuraini & Wulandari, 2017) sehingga eksudat akar kurang mendukung aktivitas mikroba untuk mendegradasi hidrokarbon pada tanah tercemar limbah minyak bumi.

Faktor mandiri konsentrasi kompos tidak berpengaruh nyata terhadap nilai efisiensi degradasi hidrokarbon. Tujuan diberikan kompos adalah sebagai *bulking*

agent untuk meningkatkan porositas tanah sehingga terjadi aerasi tanah yang baik. Aerasi tanah yang baik mendukung aktivitas mikroba dalam melakukan degradasi hidrokarbon. Dalam penelitian ini faktor mandiri konsentrasi kompos dalam meningkatkan efisiensi degradasi hidrokarbon tidak berpengaruh nyata, diduga karena dosis yang diberikan belum cukup sehingga tujuan pemberian konsentrasi pupuk tidak tercapai. Dosis yang digunakan pada penelitian ini adalah setengah dari dosis normalnya, pemberian setengah dosis dimaksudkan untuk melihat kinerja dari tanaman dan inokulan sehingga data yang dihasilkan tidak bias. Tetapi pada

Tabel 2
Pengaruh Penambahan Inokulan dan Kompos Rami terhadap Populasi Total Fungi pada Proses Fitoremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi selama 11 Minggu

Perlakuan	Populasi Total Fungi (x 10 ⁴ cfu g ⁻¹)
Penambahan Inokulan (A)	
a ₀ = Tanpa Inokulan	2,05 a
a ₁ = <i>Azotobacter vinelandii</i> 2%	2,70 bc
a ₂ = <i>Azospirillum sp</i> 2%	2,45 ab
a ₃ = <i>Aspergillus niger</i> 2%	3,01 c
a ₄ = <i>Pseudomonas cepacia</i> 2%	2,46 bc
a ₅ = Konsorsium 2%	2,86 b
Penambahan Kompos Rami (B)	
b ₀ = Tanpa Kompos Rami	2,62 a
b ₁ = Kompos Rami 125 gr	2,56 a
b ₂ = Kompos Rami 250 gr	2,64 a
b ₃ = Kompos Rami 375 gr	2,53 a

Keterangan: Angka yang tidak diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan adanya perbedaan yang nyata.

kenyataannya setengah dosis yang diberikan tidak mampu memberikan hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan kontrol. Dosis yang terlalu rendah menyebabkan kinerja kompos tidak maksimal dalam meningkatkan nutrisi bagi mikroba untuk melakukan proses metabolisme dalam mendegradasi hidrokarbon pada tanah tercemar limbah minyak bumi (Aliyanta dkk., 2011)

Pengaruh Penambahan Inokulan dan Kompos Rami terhadap Populasi Total Fungi pada Perlakuan penambahan inokulan memberikan nilai yang berbeda nyata dengan kontrol. Perlakuan penambahan *Azotobacter vinelandii* memiliki nilai tidak berbeda nyata dengan perlakuan penambahan *Aspergillus niger* dan keduanya memiliki nilai yang berbeda nyata dengan perlakuan penambahan *Azospirillum* sp dan perlakuan konsorsium. Nilai tertinggi cenderung pada perlakuan penambahan *Aspergillus niger*. Hal ini mungkin terjadi karena fungi yang ditambahkan mampu bertahan hidup dan beradaptasi pada tanah tercemar minyak bumi (Primadipta & Titah, 2017). Perlakuan penambahan *Pseudomonas cepacia* membuktikan bahwa terjadi sinergisme antara *Pseudomonas* dan fungi. Hal ini sesuai dengan penelitian Fitriatin, Yuniarti, Mulyani, Fauziah, dan Tiara (2009) yang menemukan bahwa akteri *Pseudomonas* dan fungi bekerja secara sinergis mengeluarkan enzim fosfatase dalam proses mineralisasi

dan imobilisasi untuk mengubah P organik menjadi P anorganik. Begitu juga dengan perlakuan *Azotobacter vinelandii*, terjadi interaksi yang sinergis antara bakteri pemfiksasi N dan Mikroba Pelarut fosfat (Fitriatin dkk., 2009). Kompos rami diharapkan mampu memberikan pengaruh yang nyata terhadap populasi total fungi, tetapi pada penelitian ini kompos rami tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata.

Kondisi lingkungan tumbuh tanaman rami yang toksik, menyebabkan pertumbuhan tinggi tanaman rami menjadi terhambat. Faktor penambahan inokulan dan kompos rami tidak menunjukkan adanya interaksi antarkedua faktor. Tetapi terdapat pengaruh mandiri terhadap tinggi tanaman rami pada tanah tercemar minyak bumi. Tinggi tanaman rami pada selM 11 minggu berkisar antara 26-29 cm (Tabel 3).

Tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan penambahan inokulan berupa *Azotobacter vinelandii*, *Azospirillum* sp, *Aspergillus niger*, *Pseudomonas cepacia*, dan Konsorsium tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol. Hal ini disebabkan oleh polutan hidrokarbon yang tersisa di dalam tanah pada minggu ke-11 merupakan hidrokarbon yang lebih resisten sehingga sulit didegradasi dan menjadikan penurunan kinerja dari mikroba. Menurunnya kinerja dari mikroba menyebabkan terhambatnya suplai N, fosfat terlarut, biosurfaktan untuk

Tabel 3
 Pengaruh Penambahan Inokulan dan Kompos Rami terhadap Tinggi Tanaman Rami pada Proses Fitoremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi selama 11 Minggu

Perlakuan	Tinggi Tanaman Rami (cm)
Penambahan Inokulan (A)	
a ₀ = Tanpa Inokulan	27,83 a
a ₁ = <i>Azotobacter vinelandii</i> 2%	27,58 a
a ₂ = <i>Azospirillum sp</i> 2%	27,66 a
a ₃ = <i>Aspergillus niger</i> 2%	29,16 a
a ₄ = <i>Pseudomonas cepacia</i> 2%	26,50 a
a ₅ = Konsorsium 2%	26,16 a
Penambahan Kompos Rami (B)	
b ₀ = Tanpa Kompos Rami	27,89 a
b ₁ = Kompos Rami 125 gr	29,67 a
b ₂ = Kompos Rami 250 gr	29,50 a
b ₃ = Kompos Rami 375 gr	28,00 a

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata.

melarutkan hidrokarbon serta fitohormon bagi pertumbuhan tinggi tanaman rami (Feitriani, 2012). Nilai tertinggi cenderung pada perlakuan penambahan inokulan *Aspergillus niger* yaitu 29,16 cm. Hal ini disebabkan oleh fungi mampu hidup pada pH yang rendah sehingga keberadaannya lebih dominan dan lebih berpengaruh dibandingkan mikroba lainnya. Pada t₁₁ tanah mengalami penurunan pH yaitu berkisar antara 5,5-6,8. Bbakteri dominan beraktivitas optimal pada pH 6-8. Selain itu, fungi mampu menghasilkan hormon IAA yang membantu pertumbuhan tanaman dan meningkatkan toleransi tanaman terhadap

kondisi toksik (Subowo, 2014). Salah satu peran IAA yang dihasilkan oleh jamur adalah untuk memediasi interaksi antara jamur dan tanaman (Abri, Kuswinanti, Sengin, & Sjahrir, 2015).

Perlakuan penambahan kompos terhadap tinggi tanaman rami pada media tanah tercemar minyak bumi tidak menunjukkan perbedaan nyata dengan perlakuan kontrol. Hal ini diduga terjadi karena penambahan dosis kompos yang sedikit dan konsentrasi toksik yang tinggi pada tanah sehingga tidak memberikan hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan kontrol. Purwantari (2007) menyatakan bahwa pemberian bahan

organik pada tanah tercemar yaitu 4-5 kali dari dosis normal. Hal ini untuk menunjang pertumbuhan tanaman pada media tanah tercemar limbah minyak bumi. Hal ini tidak sejalan dengan percobaan yang dilakukan yang hanya memberikan perlakuan kompos sebanyak setengah dari dosis yang dianjurkan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa faktor perlakuan jenis inokulan dan dosis kompos rami pada fitoremediasi tanah tercemar hidrokarbon minyak bumi tidak menunjukkan adanya interaksi antara inokulan dan kompos rami terhadap efisiensi degradasi, populasi total fungi dan tinggi tanaman rami pada proses fitoremediasi limbah minyak bumi dan tidak diperoleh jenis inokulan dan dosis kompos rami terbaik terhadap efisiensi degradasi, populasi total fungi dan tinggi tanaman rami pada fitoremediasi limbah minyak bumi.

DAFTAR PUSTAKA

Abri, Kuswinanti, T., Sengin, E. L., & Sjahrir, R. (2015). Isolasi cendawan rhizozfer penghasil hormone indol acetic acid (IAA) pada padi aromatik Tanatoraja. Dalam Hafsan, F. Nur, C. Muthiadin, B. F. Wahidah, & I.R. Aziz (Eds.), *Prosiding seminar nasional mikrobiologi kesehatan dan lingkungan* (pp. 72-78). Makassar: Jurusan Biologi Fakultas Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin.

Aliyanta, B., Sumarlin, L. O., & Mujab, A. S.(2011). Penggunaan biokompos

dalam bioremediasi lahan tercemar limbah lumpur minyak bumi. *Valensi*, 2(3), 430-442.

Estuningsih, S. P., Juswardi, J., Yudono, B., & Yulianti, R. (2013). Potensi tanaman rumput sebagai agen fitoremediasi tanah terkontaminasi limbah minyak bumi. *Prosiding SEMIRATA*, 1(1), 365-370.

Feitriani, W. (2012). *Pengaruh Acinetobacter sp dan Azotobacter spp terhadap proses fitoremediasi limbah minyak bumi pada tanaman sorgum (Sorghum bicolor)* (Skripsi tidak diterbitkan). Universitas Padjadjaran, Bandung.

Fitriatin, B. N., Yuniarti, A., Mulyani, O., Fauziah, F. S., & Tiara, M. D. (2009). Pengaruh mikroba pelarut fosfat dan pupuk P terhadap P tersedia, aktivitas fosfatase, P tanaman dan hasil padi gogo (*Oryza sativa*. L.) pada ultisol. *Agrikultura*, 20(3), 210-215.

Handrianto, P., Rahayu, Y. S., & Yuliani. (2012). Teknologi bioremediasi dalam mengatasi tanah tercemar hidrokarbon. Dalam Sukarmin dkk. (Eds.), *Prosiding seminar nasional kimia Unesa* (pp. 978-979). Surabaya: UNESA University Press.

Juhaeti, T., Syarif, F., & Hidayati, N. (2005). Inventarisasi tumbuhan potensial untuk fitoremediasi lahan dan air terdegradasi penambangan emas. *Biodiversitas*,6(1), 31-33.

Juliani, A. (2011). Bioremediasi lumpur minyak(oil sludge)dengan penambahan kompos sebagai bulking agent dan sumber nutrisi tambahan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 3(1), 1-18.

Lumbanraja, P. (2014). *Mikroorganisma dalam bioremediasi* (Disertasi tidak diterbitkan). Universitas Sumatera Utara, Medan.

Munawar, & Elfita. (2015). Biodiversity of indigenous bacteria and its contribution

- in the management of contaminated environment: A case study several regions in Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia, 1(6)*, 1359-1363.
- Nuraini, A., & Wulandari, R. (2017). Respons tiga klon tanaman rami *Boehmeria nivea* (L. Gaud) terhadap konsentrasi asam giberelat yang berbeda. *Jurnal Kultivasi, 16(3)*, 494-501.
- Primadipta, I. W., & Titah, H. S. (2017). Bioremediasi lumpur alum menggunakan *aspergillus niger* dengan penambahan serbuk gergaji sebagai bulking agent. *Jurnal Teknik ITS, 6(1)*, 89-93.
- Purwantari, N.D.(2007). Reklamasi area tailing di pertambangan dengan tanaman pakan ternak. *Wartazoa, 17(3)*, 101-108.
- Subowo, Y. (2015). The addition of fungal biofertilizers as supporting the growth of rice plants (*Oryza sativa*) in saline soil. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia, 1(1)*, 150-154.
- Sulistyo, Sunoro, & Masykuri, M. (2012). Kajian dampak tumpahan minyak dari kegiatan operasi kilang minyak terhadap kualitas air dan tanah (Studi kasus kilang minyak Pusdiklat Migas Cepu). *Jurnal Ekosains, 4(2)*, 23-34.

**PENGARUH KOMBINASI BAHAN ADITIF DAN *Azotobacter* sp.
TERHADAP PERTUMBUHAN *Glycine max.* L.**

**(THE EFFECT OF ADDITIVE COMBINATION AND *Azotobacter* sp.
TOWARDS *Glycine max.* L. GROWTH)**

Yunia Vella Alfani¹, Pudjawati Suryatmana², dan Ade Setiawan²

¹Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

²Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Jatinangor Km. 21 Jatinangor, Sumedang-Jawa Barat 45363

email: pujawati_s@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai dengan memberikan *Azotobacter* sp. dan aditif air kelapa, molase, serta dedak. Penelitian ini dilaksanakan pada Januari 2018-April 2018 di Kebun Percobaan Ciparanje Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, Jawa Barat pada ± 774 meter di atas permukaan laut (dpl). Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok dengan 10 perlakuan pemberian *Azotobacter* sp. dan aditif air kelapa, molase, serta dedak dengan tiga ulangan. Pengamatan terhadap parameter yang diamati pada fase vegetatif akhir yaitu tinggi tanaman, kandungan klorofil, dan populasi *Azotobacter* sp. dengan metode *Total Plate Count (TPC)*. Hasil penelitian menunjukkan aplikasi kombinasi bahan aditif dan penambahan pupuk hayati *Azotobacter* sp. berpengaruh terhadap populasi *Azotobacter* sp., kadar klorofil, tinggi tanaman dan jumlah polong tanaman kedelai (*Glycine max* L.). Aplikasi air kelapa secara mandiri, air kelapa yang ditambahkan dengan *Azotobacter* sp., dan kombinasi bahan aditif dengan *Azotobacter* sp. dapat memberikan pengaruh terbaik terhadap kandungan klorofil, tinggi tanaman, dan komponen hasil tanaman kedelai (*Glycine max.* L.).

Kata kunci: *air kelapa, Azotobacter* sp., *bahan aditif, dedak, kedelai, molase*

Abstract

This study was aimed at determining the increasing of growth and production of soybean crops by giving *Azotobacter* sp. and additive materials such as coconut water, molasses, and bran. This research was conducted on Januari 2018 to April 2018 at Ciparanje Experimental Field Faculty of Agriculture. Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Sumedang, West Java Province, on ± 774 meters above sea level (asl) using single factor randomized block design with 10 treatments; *Azotobacter* sp. and additive materials combination such as coconut water, molasses, and bran in three repetitions. The observations on the parameters observed in the final vegetative phase were on plant height, *chlorophyll* content, and population of *Azotobacter* sp. using Total Plate Count (TPC) method. The results show that the application of combination additives materials and *Azotobacter* sp. effect on populations *Azotobacter* sp., *chlorophyll* content, plant height and number of soybean pods (*Glycine max* L.). Application of coconut water independently, water added with *Azotobacter* sp., and combination of additive with *Azotobacter* sp. can give the best effect to the content of chlorophyll, plant height, and soybean crops components (*Glycine max.* L.).

Keywords: *coconut water, Azotobacter* sp., *additives, bran, soybeans, molasse*

PENDAHULUAN

Budidaya tanaman kedelai saat ini sedang ditingkatkan oleh pemerintah. Tanaman kedelai agar mampu berproduksi secara optimal diperlukan tambahan unsur hara seperti N, P, K, unsur hara mikro, dan hormon yang diperlukan tanaman. Pemberian pupuk anorganik untuk menunjang pertumbuhan kedelai menjadi semakin intensif. Pupuk anorganik pada umumnya hanya menyediakan unsur hara bagi tanaman namun tidak memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah (Astari *et al.*, 2016). Pengelolaan kesuburan tanah juga harus diperhatikan agar tanah dapat memfasilitasi untuk pertumbuhan dan produksi tanaman dengan hasil yang optimum dan dalam jangka waktu yang lama. Novizan (2001) menyatakan bahwa tanaman yang dibudidayakan saat ini umumnya membutuhkan unsur hara dalam jumlah relatif banyak sehingga hampir dapat dipastikan bahwa tanaman tanpa dipupuk tidak mampu berproduksi seperti yang diinginkan. Kombinasi pupuk NPK dengan pupuk organik dan hayati yang diaplikasikan ke tanaman merupakan langkah yang bijak untuk memenuhi nutrisi yang dibutuhkan tanaman. Kombinasi tersebut lengkap dengan unsur hara makro dan mikro yang berguna untuk tanaman serta tanah tidak mengalami kejenuhan yang cepat.

Tanah *inceptisol* memiliki penyebaran yang luas dan memiliki potensi yang

dapat dimanfaatkan. Namun, tanah tersebut memiliki masalah kandungan unsur hara yang relatif rendah. Peningkatan hasil tanaman kedelai di tanah *inceptisol* harus dilakukan pemupukan dan tetap menjaga sifat fisika, biologi, dan kimia tanah. Oleh karena itu, penggunaan pupuk hayati di nilai dapat menjadi salah satu solusinya. Bahan organik dan pH yang terkandung dalam tanah *inceptisol* adalah rendah (Kasno, 2009).

Salah satu mikroorganisme pe-nambat nitrogen nonsimbiotik adalah *Azotobacter* sp. Asosiasi antara pemfiksasi N nonsimbiosis dengan tanaman merupakan sumbangan N terhadap tanaman. Penambatan nitrogen terjadi karena adanya enzim nitrogenase. Zinniel *et al.* (2002) menginformasikan bahwa bakteri penambat nitrogen juga dapat meningkatkan penyerapan mineral, fiksasi nitrogen, mengurangi kerusakan akibat perubahan cuaca dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, serta menghasilkan fitohormon asam asetat indole-3 (IAA) dan polisakarida ekstraseluler serta sitokinin yang dapat memacu pertumbuhan akar dan tajuk (Setiawati, Arief, Suryatmana, & Hudaya, 2009).

Mikroba yang diberikan ke dalam tanah harus memiliki lingkungan tumbuh yang sesuai agar dapat hidup dengan baik. Pemberian bahan organik dapat memberikan sumber nutrisi untuk keberlangsungan hidup mikroba di dalam tanah. Pupuk organik tidak

meninggalkan sisa asam anorganik di dalam tanah dan mempunyai kadar persenyawaan C-organik yang tinggi dan dapat digunakan sebagai nutrisi mikroba di dalam tanah. Pupuk organik yang banyak tersedia di alam adalah kompos, pupuk kandang, pupuk hijau dan guano (Sumekto, 2006). Pupuk organik seperti kompos dapat digunakan sebagai media pembawa mikroorganisme. Penggunaan kompos sebagai media pembawa, dapat ditambahkan bahan lain untuk membantu memberikan nutrisi tambahan pada mikroorganisme yang diberikan. Pada pertanian organik, N merupakan faktor pembatas karena rendahnya kandungan N kompos dibandingkan dengan urea (Widiastuti, Siswanto, & Suharyanto, 2010). Penambahan bahan lain tersebut disebut dengan penambahan bahan aditif. Beberapa bahan aditif yang dapat ditambahkan adalah air kelapa, molase, dan dedak.

Pada umumnya air kelapa dibuang begitu saja bersama limbah rumah tangga lainnya dan pemanfaatannya belum banyak diketahui oleh masyarakat. Padahal air kelapa mudah didapat dan mengandung zat-zat bergizi. Air kelapa mengandung nutrisi yang dibutuhkan oleh sel untuk mempercepat pertumbuhannya. Hormon sitokinin yang terkandung di dalam air kelapa ini terbukti dapat merangsang pembelahan sel, jaringan akar, mempercepat pertumbuhan tunas, dan dapat mematahkan dormansi biji (Saraswati, 2014).

Molase merupakan limbah cair yang berasal dari sisa-sisa pengolahan tebu menjadi gula. Molase ternyata memiliki kandungan zat yang berguna. Zat-zat tersebut antara lain kalsium, magnesium, potasium, dan besi. Molase memiliki kandungan kalori yang cukup tinggi, karena terdiri dari glukosa dan fruktosa. Berbagai vitamin pun banyak terkandung di dalamnya (Juwita, 2012). Dedak berasal dari limbah tanaman padi yaitu sekam yang dihaluskan. Dedak ini mengandung protein dan karbohidrat yang tinggi. Dedak padi mengandung energi metabolis sebesar 2980 kkal/kg; protein kasar 12,9%; lemak 13%; serat kasar 11,4%; Ca 0,07%; P tersedia 0,22%; Mg 0,95%; dan kadar air 9% (Dewan Standarisasi Nasional, 2001).

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan tersebut, penggunaan pupuk hayati dan bahan aditif ini diharapkan mampu untuk bersinergis dalam menyediakan unsur hara N yang dibutuhkan tanaman sehingga dapat menunjang kandungan N-Total tanah, memicu serapan N tanaman, dan dapat meningkatkan jumlah polong tanaman kedelai pada tanah *inceptisol* Jatinangor. Selain itu, penyediaan unsur hara N yang dibantu oleh mikroba yang terdapat pada pupuk hayati diharapkan dapat mengurangi dosis pemberian pupuk anorganik khususnya N ke tanah.

METODE PENELITIAN

Percobaan dilaksanakan di kebun percobaan Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran di Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat yang termasuk tanah ordo *inceptisol*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih kedelai Anjasmoro, inokulan *Azotobacter* sp. yang merupakan koleksi Laboratorium Biologi dan Bioteknologi Tanah Fakultas Pertanian UNPAD yang sudah terseleksi berdasarkan kemampuan memfiksasi N serta produksi zat pengatur tumbuh, media *ashbys* cair, bahan pembawa (kompos), air kelapa, dedak, dan molase.

Rancangan percobaan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Kelompok dengan tiga kali ulangan. Rincian perlakuan adalah sebagai berikut:

A = Kontrol (tanpa inokulan *Azotobacter* sp. dan tanpa bahan aditif)

B = Tanpa inokulan *Azotobacter* sp. + molase

C = Tanpa inokulan *Azotobacter* sp. + air kelapa

D = Tanpa inokulan *Azotobacter* sp. + dedak

E = Tanpa inokulan *Azotobacter* sp. + campuran bahan aditif

F = Inokulan *Azotobacter* sp. + tanpa bahan aditif

G = Inokulan *Azotobacter* sp. + molase

H = Inokulan *Azotobacter* sp. + air kelapa

I = Inokulan *Azotobacter* sp. + dedak

J = Inokulan *Azotobacter* sp. + campuran bahan aditif

Pengamatan terhadap parameter yang diamati pada fase vegetatif akhir yaitu tinggi tanaman, kandungan klorofil, dan populasi *Azotobacter* sp. dengan metode *Total Plate Count (TPC)*. Selain itu, dilakukan pengamatan terhadap hasil tanaman kedelai (diamati pada fase generatif akhir).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai rata-rata populasi *Azotobacter* sp. yang disajikan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa perlakuan pemberian pupuk hayati *Azotobacter* sp. (F, G, H, I, J) dengan yang tidak diberi perlakuan pupuk hayati (A, B, C, D, E) memiliki perbedaan populasi yang nyata. Pemberian pupuk hayati *Azotobacter* sp. dapat meningkatkan populasi *Azotobacter* sp. di tanah. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa bahan aditif yang diberikan untuk memberikan nutrisi tambahan bagi *Azotobacter* sp. belum menunjukkan hasil yang signifikan untuk meningkatkan populasi *Azotobacter* sp. Namun, penambahan bahan aditif untuk bakteri tidak memberikan dampak negatif karena dapat dilihat dari populasi *Azotobacter* sp. yang cenderung meningkat dalam perlakuan pemberian bahan aditif (F, G, H, I, J) dibandingkan dengan perlakuan (A, B, C, D, E) yang tidak ditambahkan *Azotobacter* sp.

Azotobacter sp. membantu menyediakan unsur N untuk tanaman, yang akan

Tabel 1
Pengaruh Kombinasi Bahan Aditif dan Azotobacter sp. terhadap Populasi Azotobacter

Perlakuan	Populasi <i>Azotobacter</i> (10 ⁵ CFU g ⁻¹ Tanah)
A = Kontrol (Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. dan Tanpa Bahan Aditif)	11,1 a
B = Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Molase	11,5 a
C = Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Air Kelapa	12,0 a
D = Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Dedak	13,4 a
E = Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Campuran Bahan Aditif	13,1 a
F = <i>Azotobacter</i> sp. + Tanpa Bahan Aditif	22,1 b
G = <i>Azotobacter</i> sp. + Molase	22,4 b
H = <i>Azotobacter</i> sp. + Air Kelapa	24,5 b
I = <i>Azotobacter</i> sp. + Dedak	22,7 b
J = <i>Azotobacter</i> sp. + Campuran Bahan Aditif	23,2 b

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada taraf 5%.

digunakan tanaman untuk keberlangsungan hidupnya sehingga tanaman akan tumbuh dengan baik dan menghasilkan eksudat akar untuk bakteri di dalam tanah. Bakteri *Azotobacter* sp. membutuhkan makanannya seperti Carbon untuk sumber energinya. Air kelapa yang diberikan sebagai bahan aditif mengandung asam amino, asam organik, vitamin dan gula yang dapat digunakan sebagai sumber makanan untuk bakteri untuk menyusun protoplasma (Dwidjoseputro, 2005); melakukan proses metabolisme sehingga energi yang dibutuhkan bakteri dalam keberlangsungan hidupnya tersedia (Murray, Granner, & Rodwell, 2003, p. 14). Bahan aditif lain yang ditambahkan adalah molase. Energi yang dibutuhkan oleh bakteri untuk proses metabolisme dapat disediakan juga oleh molase karena didalamnya

terkandung glukosa, fruktosa, dan beberapa vitamin (Juwita, 2012). Kebutuhan karbon sebagai sumber energi bagi bakteri juga disediakan oleh molase karena didalamnya terkandung karbohidrat 50%-60% (Isnaini, 2005). Dedak yang diberikan sebagai bahan aditif dalam penelitian ini mengandung protein dan karbohidrat yang tinggi (Dewan Standarisasi Nasional, 2001). Bahan aditif yang ditambahkan dalam penelitian ini mengandung karbohidrat sehingga dapat memberikan energi untuk bakteri dalam keberlangsungan hidupnya.

Nilai rata-rata kandungan klorofil disajikan pada Tabel 2. Tabel 2 memperlihatkan bahwa tanaman yang diberi perlakuan B, D, F, H, dan J menunjukkan kandungan klorofil yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan A dan G,

Tabel 2
Pengaruh Kombinasi Bahan Aditif dan Azotobacter sp. terhadap Kandungan Klorofil Daun Kedelai

Perlakuan	Kandungan Klorofil
A = Kontrol (Tanpa <i>Azotobacter sp.</i> dan Tanpa Bahan Aditif)	25,3 a
B = Tanpa <i>Azotobacter sp.</i> + Molase	30,0 cd
C = Tanpa <i>Azotobacter sp.</i> + Air Kelapa	28,1 ab
D = Tanpa <i>Azotobacter sp.</i> + Dedak	32,1 cd
E = Tanpa <i>Azotobacter sp.</i> + Campuran Bahan Aditif	29,6 bc
F = <i>Azotobacter sp.</i> + Tanpa Bahan Aditif	30,6 cd
G = <i>Azotobacter sp.</i> + Molase	25,2 a
H = <i>Azotobacter sp.</i> + Air Kelapa	33,8 cd
I = <i>Azotobacter sp.</i> + Dedak	28,3 ab
J = <i>Azotobacter sp.</i> + Campuran Bahan Aditif	34,6 d

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada taraf 5%.

namun perlakuan E tidak berbeda nyata dengan perlakuan B, D, F, dan H, serta perlakuan C dan I tidak berbeda nyata dengan perlakuan E.

Perlakuan yang mendapatkan hasil yang paling rendah dan berbeda nyata dari perlakuan lainnya adalah A dan G. Perlakuan A mendapatkan hasil yang paling rendah karena tanaman kedelai tidak diberikan tambahan nutrisi apapun. Pada perlakuan G adalah pemberian *Azotobacter sp.* dan bahan aditif molase dengan dosis 6%. Pemberian dosis 6% molase mengandung nutrisi yang cukup tinggi untuk kebutuhan bakteri (Isnaini, 2005). Penambahan bahan aditif yang cukup tinggi akan membuat tekanan yang lebih tinggi terhadap sel bakteri yang dapat menyebabkan sel bakteri pecah (Kalista, 2015). *Azotobacter sp.* yang

diberikan secara tidak langsung berkurang karena terjadi pecah pada sel bakteri sehingga proses fiksasi nitrogen serta ketersediaan nitrogen menurun membuat kandungan klorofil pada tanaman rendah.

Perlakuan yang menyebabkan kandungan klorofil tertinggi adalah tanaman kedelai ditambahkan *Azotobacter sp.* dan campuran aditif yang terdiri dari air kelapa, molase dan dedak (J) tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan B, D, F, H. Pada perlakuan J, *Azotobacter sp.* yang diberikan mampu menambat unsur N, serta didukung oleh pemberian tambahan nutrisi dari bahan aditif untuk meningkatkan kinerja dari bakteri tersebut sehingga kebutuhan N dari tanaman kedelai terpenuhi. Kadar N di dalam daun memberikan pengaruh positif dengan kandungan klorofil, sehingga dapat dijadikan

indikator laju fotosintesis (Sampson, Zarco, Mohammed, Miller, & Noland, 2003). Tania, Astina, dan Budi (2012) mengatakan bahwa bila unsur N cukup tersedia bagi tanaman maka kandungan klorofil pada daun akan meningkat dan proses fotosintesis juga meningkat sehingga asimilat yang dihasilkan lebih banyak, akibatnya pertumbuhan tanaman lebih baik. *Azotobacter* sp. membantu dalam pertumbuhan vegetatif tanaman sehingga daun tanaman kedelai tumbuh dengan baik yang membuat aktivitas fotosintesis tanaman berlangsung dengan baik, didukung oleh pernyataan Rauf (2008) bahwa aktivitas fotosintesis berkaitan dengan kandungan klorofil pada daun. Bahan aditif air kelapa, molase, dan dedak yang ditambahkan menunjukkan pengaruh yang baik terhadap pertumbuhan *Azotobacter* sp. yang mampu

membantu memberikan nutrisi tambahan karena mengandung karbon yang digunakan sebagai sumber energi untuk metabolisme sehingga kinerja bakteri meningkat.

Nilai rata-rata tinggi tanaman disajikan pada Tabel 3. Tinggi tanaman merupakan suatu indikator tanaman yang tidak dapat kembali seperti semula. Pertumbuhan tinggi tanaman ini erat kaitannya dengan ketersediaan unsurhara, terutama N. Nitrogen membuat bagian tanaman menjadi hijau karena mengandung klorofil yang berperan dalam fotosintesis. Unsur tersebut juga bermanfaat untuk mempercepat pertumbuhan tinggi bagi tanaman, memperbanyak jumlah anakan, mempengaruhi lebar dan panjang daun serta membuat lebih besar, menambah kadar protein dan lemak bagi tanaman (Prमितasari, Wardiyati, & Nawawi, 2016).

Tabel 3

Pengaruh Kombinasi Bahan Aditif dan Azotobacter sp. terhadap Tinggi Tanaman

Kode	Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)
A	Kontrol (Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. dan Tanpa Bahan Aditif)	27,3 ab
B	Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Molase	24,6 a
C	Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Air Kelapa	28,3 ab
D	Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Dedak	31,9 bc
E	Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Campuran Bahan Aditif	27,4 ab
F	<i>Azotobacter</i> sp. + Tanpa Bahan Aditif	29,6 abc
G	<i>Azotobacter</i> sp. + Molase	24,0 a
H	<i>Azotobacter</i> sp. + Air Kelapa	36,4 c
I	<i>Azotobacter</i> sp. + Dedak	31,4 bc
J	<i>Azotobacter</i> sp. + Campuran Bahan Aditif	30,1 abc

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada taraf 5%

Perlakuan yang mendapatkan nilai paling rendah adalah B dan G, yaitu diberikan bahan aditif molase 6%. Pemberian dosis 6% molase mengandung nutrisi yang cukup tinggi untuk kebutuhan bakteri (Isnaini, 2005). Penambahan sukrosa terlalu banyak akan mengakibatkan terjadinya plasmolisis (dehidrasi) di dalam sel-sel bakteri sehingga menurunkan pembentukan selulosa (Iskandar dkk., 2010). Pada perlakuan B dan G yang ditambahkan molase dengan dosis 6% diduga mengalami penurunan tersedianya bakteri *Azotobacter* sp. sehingga ketersediaan nitrogen yang difiksasi oleh bakteri *Azotobacter* sp. menurun. Nitrogen yang kurang tersedia untuk tanaman membuat proses fotosintesis kurang maksimal yang berpengaruh pada pertumbuhan vegetatif tanaman.

Perlakuan *Azotobacter* sp. dan air kelapa (H) merupakan perlakuan yang memiliki hasil lebih tinggi dengan tinggi 36,4 cm pada enam minggu setelah tanam. Pemberian *Azotobacter* sp. dan *Bradyrhizobium* membantu menyediakan unsur hara bagi tanaman lebih baik, karena kedua mikroba tersebut dapat mengkolonisasi akar tanaman yang baru tumbuh. Pemberian tambahan bahan aditif air kelapa juga mampu membantu menyuplai hormon sitokinin yang memacu pembelahan sel. Hal ini sejalan dengan penelitian Koziel, Gebala, dan Martyniuk (2013) yang menemukan penggunaan

inokulasi ganda *Azotobacter* dan *Rhizobium* pada tanaman kedelai mampu meningkatkan tinggi tanaman. *Bradyrhizobium* mampu menambat nitrogen yang ada dalam tanah kemudian melekat pada sistem perakaran. Perekatan tersebut dihasilkan oleh bakteri *Azotobacter* sp. yaitu eksopolisakarida yang mampu mengimobilisasi nitrogen dalam perakaran sehingga ketersediaan unsur hara nitrogen untuk tanaman kedelai tersedia.

Nilai rata-rata populasi jumlah polong disajikan pada Tabel 4. Komponen hasil yang diamati adalah jumlah polong isi per tanaman. Berdasarkan keputusan Peraturan Menteri Pertanian (2005), jumlah polong varietas Anjasmoro dapat mencapai 45 buah per tanaman. Tabel 4 memperlihatkan bahwa tanaman yang diberi perlakuan C, H, I, dan J menunjukkan hasil lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan A dan B. Namun, perlakuan E, F, dan G tidak berbeda nyata dengan perlakuan I. Perlakuan D yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan E, F, dan G.

Perlakuan yang mendapatkan nilai paling rendah adalah A dan B. Perlakuan A memiliki nilai yang rendah karena perlakuan kontrol yang tidak diberikan tambahan *Azotobacter* sp. dan bahan aditif. Pada perlakuan B yang tidak ditambahkan *Azotobacter* sp. namun diberikan bahan aditif molase memiliki nilai yang rendah diduga karena bahan aditif molase yang

Tabel 4

Pengaruh Kombinasi Bahan Aditif dan Azotobacter sp. terhadap Jumlah Polong

Kode	Perlakuan	Jumlah Polong per Tanaman
A	Kontrol (Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. dan Tanpa Bahan Aditif)	24,67 a
B	Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Molase	25,67 a
C	Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Air Kelapa	43,67 d
D	Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Dedak	32,67 b
E	Tanpa <i>Azotobacter</i> sp. + Campuran Bahan Aditif	34,67 bc
F	<i>Azotobacter</i> sp. + Tanpa Bahan Aditif	33,67 bc
G	<i>Azotobacter</i> sp. + Molase	39,33 bc
H	<i>Azotobacter</i> sp. + Air Kelapa	44,67 d
I	<i>Azotobacter</i> sp. + Dedak	40,33 cd
J	<i>Azotobacter</i> sp. + Campuran Bahan Aditif	43,00 d

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada taraf 5%

belum bisa memberikan tambahan energi bagi bakteri indigenous sehingga tanaman kedelai hanya menghasilkan jumlah polong dengan rata-rata 25,67.

Perlakuan yang memiliki nilai jumlah polong rata-rata tertinggi adalah C, G, dan H. Perlakuan aplikasi *Azotobacter* sp. dan air kelapa berpengaruh nyata terhadap jumlah polong tanaman kedelai. Tabel 4 menunjukkan pemberian air kelapa memiliki jumlah polong terbanyak dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Berdasarkan peraturan menteri pertanian, jumlah polong perlakuan tertinggi masih belum memasuki standar jumlah polong, dapat direkomendasikan untuk menaikkan dosis bahan aditif yang dapat membantu kinerja dari bakteri yang diberikan.

Perlakuan pemberian bahan aditif air kelapa juga merupakan perlakuan yang memiliki pertumbuhan tinggi tanaman, kandungan klorofil, jumlah daun, jumlah nodula akar, dan populasi *Azotobacter* sp. tertinggi dibanding perlakuan lainnya. Komponen-komponen tersebut dapat menjadi indikator ketersediaan hara yang baik bagi tanaman yang selanjutnya menjadi penunjang komponen hasil tanaman kedelai. Namun secara umum, jumlah polong yang dihasilkan tanaman kedelai dengan perlakuan pemberian *Azotobacter* sp. dan bahan aditif mampu meningkatkan dibandingkan dengan perlakuan yang tidak diberikan *Azotobacter* sp. Bahan aditif yang diberikan mengandung carbon yang diperlukan sebagai energi oleh bakteri dalam proses metabolisme.

Penelitian Mayani dan Hapsoh (2011) menunjukkan banyaknya jumlah polong pada tanaman kedelai dipengaruhi oleh pemberian pupuk N dan dapat memberikan pengaruh yang nyata. Hal ini menunjukkan bahwa unsur N mampu mempengaruhi pembentukan polong. Pernyataan ini diperkuat oleh Lakitan (1993) bahwa N adalah penyusun protein dan klorofil. Klorofil berfungsi untuk pembentukan makanan pada proses fotosintesis sehingga akan mempengaruhi hasil dari pembentukan polong tanaman. Penelitian Permanasari, Irfan, dan Abizar (2014) menunjukkan bahwa bakteri *Rhizobium* juga dapat meningkatkan hasil jumlah polong sebesar 13,22%. Pemfiksasian Nitrogen yang di-bantu oleh *Rhizobium* dan *Azotobacter* sp. membantu tanaman dalam pembentukan daun sehingga secara tidak langsung akan membantu pembentukan polong tanaman kedelai.

SIMPULAN

Aplikasi kombinasi bahan aditif dan penambahan pupuk hayati *Azotobacter* sp. berpengaruh nyata terhadap populasi *Azotobacter* sp., kandungan klorofil, tinggi tanaman dan jumlah polong tanaman kedelai (*Glycine max.* L.). Aplikasi air kelapa secara mandiri, air kelapa yang ditambahkan dengan *Azotobacter* sp., dan kombinasi bahan aditif dengan *Azotobacter* sp. dapat memberikan pengaruh terbaik terhadap kandun-

gan klorofil, tinggi tanaman, dan komponen hasil tanaman kedelai (*Glycine max.* L.).

DAFTAR PUSTAKA

- Astari, K., Yuniarti, A., & Sofyan, E. T. (2016). Pengaruh kombinasi pupuk N, P, K dan vermikompos terhadap kandungan C-organik, N total, C/N dan hasil kedelai (*Glycine Max* (L.) Merrill) kultivar edamame pada inceptisols Jatinangor. *Jurnal Agroekoteknologi*, 8(2), 95-103.
- Dewan Standarisasi Nasional (DSN). (2001). *Dedak padi/Bahan baku pakan*. Jakarta: DSN.
- Dwidjoseputro, D. (2005). *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Surabaya: Djambatan.
- Iskandar, I., Zaki, M., Mulyati, S., Fathanah, U., Sari, I., & Juchairawati, J. (2010). Pembuatan film selulosa dari nata de pina. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 7(3), 106-111.
- Isnaini, N. (2005). *Produksi serta penetapan kadar β -glukan dari tiga galur *Saccharomyces cerevisiae* dalam media mengandung molase* (Skripsi tidak diterbitkan). Fakultas Farmasi Universitas Pancasila, Jakarta.
- Juwita, R. (2012). *Produksi alkohol dari tetes tebu (*Saccharum officinarum* L) selama proses fermentasi* (Skripsi tidak diterbitkan). Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Kalista, B. (2015). *Metode pemecahan sel pada proses hilir industri bioproses*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Kasno, A. (2009). Respons tanaman jagung terhadap pemupukan fosfor pada typic Dystrudepts. *J. Tanah Tropika*, 14(2), 111-118.
- Koziel, M., Gebala, B., & Martyniuk, S. (2013). Response of soybean to seed inoculation with bradyrhizobium japonicum and with mixed inoculants

- of *B. japonicum* and *Azotobacter chroococcum*. *Journal of Microbiology*, 62(4), 457-460.
- Lakitan, B. (1993). *Dasar-dasar fisiologi tumbuhan*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Mayani, N., & Hapsoh. (2011). Potensi rhizobium dan pupuk urea untuk meningkatkan produksi kedelai (*Glycine max* L.) pada lahan bekas sawah. *Jurnal Ilmu Pertanian Kultivar*, 5(2), 67-75.
- Murray, R. K., Granner, D. K., & Rodwell, V. W. (2003). *Harper's illustrated biochemistry* (27th ed.). United States: McGraw-Hill.
- Novizan. (2001). *Petunjuk pemupukan yang efektif*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Permanasari, I., Irfan, M., & Abizar. (2014). Pertumbuhan dan hasil kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) dengan pemberian rhizobium dan pupuk urea pada media gambut. *Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 29-34.
- Pramitasari, H. E., Wardiyati, T., & Nawawi, M. (2016). Pengaruh dosis pupuk nitrogen dan tingkat kepadatan tanaman terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kailan (*Brassica oleraceae* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 4(1), 49-56.
- Rauf, A. W. (2008). Aktivitas nitrogenase bintil akar dan kadar klorofil daun kacang hijau (*Phaseolus radiatus* L.) pada berbagai jenis dan kadar asam fenolat. *Berita Biologi*, 9(3), 305-311.
- Sampson, P.H., Zarco, T. P., Mohammed, G. H., Miller, J. R., & Noland, T. (2003). hyperspectral remote sensing of forest condition: Estimating *chlorophyll* content in tolerant hardwoods. *Forest Science*, 49(3), 381-391.
- Saraswati, D. (2014). Pengaruh konsentrasi air kelapa muda terhadap pertumbuhan *saccharomyces cereviceae*. *Entropi*, 10(2), 949-956.
- Setiawati, M. R., Arief, D. H., Suryatmana, P., & Hudaya, R. (2009). Formulasi pupuk hayati bakteri endofitik penambat N₂ dan aplikasinya untuk meningkatkan hasil tanaman padi. *Jurnal Fakultas Pertanian Unpad*, 7(1), 1-7.
- Sumekto, R. (2006). *Pupuk organik*. Klaten: PT Intan Sejati.
- Tania, N., Astina, & Budi, S. (2012). Pengaruh pemberian pupuk hayati terhadap pertumbuhan dan hasil jagung semi pada tanah podsolik merah kuning. *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian*, 1(1), 10-15.
- Widiastuti, H., Siswanto, & Suharyanto. (2010). Karakterisasi dan seleksi beberapa isolat *Azotobacter* sp. untuk meningkatkan perkecambahan benih dan pertumbuhan tanaman. *Buletin Plasma Nutfah*, 16(2), 160-167.
- Zinniel, D. K., Lambrecht, P., Harris, N. B., Feng, Z., Kuczmarski, D., Higley, P., ..., & Vidaverl., A. K. (2002). Isolation and characterization of endophytic colonizing bacteria from agronomic crops and prairie plants. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(5), 2198-2208.

PENGARUH JUMLAH SUDU DAN KECEPATAN AIR TERHADAP KINERJA TURBIN AIR SUMBU VERTIKAL TIPE HELIKS GORLOV

(THE EFFECT OF BLADE NUMBER AND WATER VELOCITY TOWARD THE PERFORMANCE OF HELIKS GORLOV TURBINE)

Jeri Pranio dan Karnowo

Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
Sekaran Gunung Pati Semarang Jawa Tengah 50229
email: jerry.pranio94@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk pengaruh jumlah sudu dan kecepatan air terhadap kinerja turbin air sumbu vertikal tipe Heliks Gorlov. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif. Data yang diperoleh berupa variasi jumlah sudu dan variasi kecepatan air. Variasi jumlah sudu yang digunakan adalah 2 sudu, 3 sudu, dan 4 sudu. Variasi kecepatan air yang digunakan yaitu 0,81 m/s, 0,94 m/s, 1,08 m/s, dan 1,18 m/s. Parameter dalam penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kinerja adalah mengukur besarnya arus dan tegangan yang dihasilkan multimeter dan banyaknya rotasi per menit (rpm) dari turbin yang dihasilkan tachometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah sudu dan kecepatan air mempengaruhi kinerja turbin air heliks gorlov. Kedua, kecepatan air mempengaruhi kinerja turbin air heliks gorlov. Turbin heliks Gorlov paling optimal berdasarkan hasil penelitian dengan nilai koefisien daya (C_p) tertinggi yaitu turbin dengan 2 sudu pada kecepatan air 0,94 m/s yang menghasilkan nilai C_p sebesar 0,00376 dan nilai TSR 1,35.

Kata kunci: *jumlah sudu, kinerja turbin air, heliks gorlov*

Abstract

This study was aimed at determining the influence of the number of blades and water velocity on the performance of vertical axis water turbine type Helical Gorlov. The method used was an experimental method. The descriptive analysis method was also used to analyze the data. The data obtained were in the form of variations of blades number and water velocity. The variations in the number of blades used were 2 blades, 3 blades, and 4 blades. While water velocity variations used were 0.81 m / s, 0.94 m / s, 1.08 m / s, and 1.18 m / s. The parameters were used to measure the amount of current and voltage produced by the multimeter and the number of rotations per minute (rpm) of the turbine produced by the tachometer. The results show that the number of blades and water velocity affected the performance of the Gorlov helical water turbine. The most optimal Gorlov helical turbine based on the results of research with the highest power coefficient (C_p) value is a turbine with 2 blades at a water velocity of 0.94 m/s which produces a C_p value of 0.00376 and a TSR value of 1.35.

Keywords: *number of blades, water turbine performance, heliks gorlov*

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin maju, kebutuhan akan energi semakin meningkat sehingga energi merupakan suatu unsur yang sangat penting dalam pengembangan suatu negara termasuk Indonesia, masih mengandalkan pembangkit listrik berbahan bakar fosil yaitu minyak bumi, dan batu bara. Kita mengetahui bahwa bahan bakar fosil tidak ramah lingkungan karena hasil pembakaran bahan bakar fosil adalah CO₂ yang merupakan gas rumah kaca. Sumber energi tersebut suatu saat akan habis seiring penggunaannya yang tiada henti. Oleh karena itu, pemanfaatan energi pada masa sekarang ini sudah banyak dikembangkan energi terbarukan seperti energi air, energi angin, energi matahari, energi panas bumi, dan energi nuklir (Supratmanto, 2016).

Indonesia memiliki sungai-sungai yang banyak sekali dan pemanfaatan potensinya sebagai sumber energi pembangkit tenaga listrik. Potensi ini sebagian besar tersebar di daerah pedesaan, sementara diperkirakan masih banyak penduduk desa yang belum menikmati listrik sehingga sangat tepat untuk mengembangkan pembangkit tenaga listrik (Anam, Rahardjo, & Asroni, 2018).

Arus sungai mempunyai kecepatan rendah berkisar 0,01 s/d 2,8 m/s (Anam, Soenoko, & Widhiyanuriyawan, 2013). Meskipun mempunyai kecepatan rendah, energi yang tersimpan di dalamnya bisa

dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Penggunaan dan pemanfaatan energi arus sungai salah satunya adalah dengan menggunakan turbin kinetik. Turbin kinetik ini memanfaatkan potensi energi kinetik berupa kecepatan aliran air dari sungai sehingga terjadi perubahan energi kinetik air menjadi energi mekanis pada turbin yang digunakan untuk menggerakkan generator kemudian menjadi energi listrik. Turbin kinetik ada dua jenis yaitu turbin kinetik poros horizontal dan turbin kinetik poros vertikal (Anam, Soenoko, & Widhiyanuriyawan, 2013). Pada penelitian ini menggunakan turbin kinetik poros vertikal tipe heliks gorlov.

Aplikasi turbin heliks gorlov dipilih untuk diteliti berdasarkan beberapa pertimbangan. Tidak semua aliran air memiliki *head* yang tinggi, sungai-sungai pada daerah hilir walaupun dengan *head* rendah tetapi memiliki debit besar yang sangat berpeluang untuk dimanfaatkan, turbin heliks merupakan turbin yang bekerja tanpa memerlukan ketinggian jatuh air (*head*) tetapi turbin heliks memanfaatkan energi seperti aliran air sungai dan gelombang air laut (Sitepu, Sinaga, & Sugiri, 2014).

Pengembangan turbin dalam penelitian-penelitian dengan upaya untuk meningkatkan kinerja turbin terus dilakukan. Kinerja turbin dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya kecepatan aliran, sudut sudu, sudu pengarah, dimensi sudu, dan

jumlah sudu. Jumlah sudu dan kecepatan aliran air merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi putaran dan gaya tangensial yang menentukan daya dan efisiensi sebuah turbin. Dengan menambah jumlah sudu dan kecepatan aliran air diasumsikan akan meningkatkan putaran dan gaya tangensial dengan sendirinya akan meningkatkan daya dan efisiensi turbin. Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi jumlah sudu dan kecepatan air terhadap kinerja turbin air sumbu vertikal tipe heliks gorlov.

Maidangkay, Soenoko, dan Wahyudi (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh sudut pengarah aliran dan jumlah sudu radius berengsel luar roda tunggal terhadap kinerja turbin kinetik. Penelitian tersebut menemukan bahwa sudut pengarah aliran dan jumlah sudu radius berengsel luar roda tunggal berpengaruh terhadap kinerja turbin kinetik. Dari beberapa variasi sudut pengarah aliran dan jumlah sudu radius berengsel luar roda tunggal yang diteliti, kinerja turbin dengan sudut pengarah aliran 35° lebih tinggi daripada yang menggunakan sudut pengarah aliran 25° dan 15°. Kinerja turbin jumlah sudu 12 lebih tinggi daripada yang menggunakan jumlah sudu 10 dan 8. Semakin besar sudut pengarah aliran, maka jumlah sudu semakin besar sehingga semakin besar daya, efisiensi, dan torsi. Kinerja turbin kinetik maksimum terjadi pada sudut

pengarah aliran 35°; jumlah sudu 12; putaran 90 rpm; kapasitas air 50 m³/jam; daya yang dihasilkan sebesar 21,365 Watt; efisiensi sebesar 33,241%; dan torsi sebesar 3,864 N.m. Turbin kinetik ini masih tergolong sebagai pembangkit listrik tenaga Picohidro, karena daya *output* yang dihasilkan di bawah 1 kW.

Penelitian Pietersz, Soenoko, dan Wahyudi (2013) menunjukkan bahwa jumlah sudu mempengaruhi kinerja dari turbin kinetik. Debit air 0,013 m³/s putaran 100 rpm jumlah sudu 5 memiliki daya sebesar 5,50 Watt; sudu 11 memiliki kinerja lebih tinggi dari jumlah sudu 5; 7; dan 9 terutama pada putaran 100 rpm serta daya yang dihasilkan sebesar 20,41 Watt. Pada debit air 0,016 m³/s jumlah sudu 11 kinerja (daya dan efisiensi) tertinggi berada pada putaran 100 rpm yakni sebesar 20,41 Watt; efisiensinya 71,42%; pengaruh debit air terhadap torsi maksimum terjadi pada sudu 11 dengan debit air 0,016 m³/s putaran 20 rpm sebesar 3,73 Nm. Torsi minimum terjadi pada sudu 5 dengan debit air 0,013 m³/s pada putaran 100 rpm yakni sebesar 0,53 Nm (Pietersz *et al.*, 2013).

Ismail (2016) melakukan penelitian mengenai studi eksperimental pengaruh jumlah *foil* terhadap efisiensi turbin heliks *cascade foil*. Data yang diperoleh dalam penelitian Ismail (2016) adalah kecepatan sudut dan torsi dari 3 variasi jumlah *foil*

(Turbin Heliks 3 *foil*, 6 *foil*, dan 9 *foil*) pada 3 variasi kecepatan arus (1,142 m/s; 1,228 m/s; dan 1,341 m/s). Variasi kecepatan arus didapatkan dari saluran keluaran mata air Umbulan, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Penambahan *foil* secara *cascade* dapat meningkatkan daya mekanik turbin dalam luas sapuan yang sama. Pada kecepatan arus 1,341 m/s; Turbin Heliks 3; 6; dan 9 *foil* menghasilkan daya mekanik secara berturut-turut sebesar 104 watt; 116,8 watt; dan 133,6 watt. Turbin Heliks 9 *foil* memiliki daya mekanik dan torsi tertinggi karena memiliki momen inersia lebih tinggi daripada Turbin Heliks 6 dan 3 *foil*. Selain itu, penambahan jumlah *foil* menyebabkan bertambahnya gaya *lift* yang bekerja pada turbin. Turbin Heliks 9 *foil* memiliki lebih banyak *foil* sehingga memberikan gaya *lift* lebih besar dibandingkan dengan Turbin Heliks 6 dan 3 *foil*. Penambahan *foil* secara *cascade* juga dapat meningkatkan efisiensi Turbin Heliks. Pada kecepatan arus 1,142 m/s; Turbin Heliks 3; 6; dan 9 *foil* menghasilkan efisiensi secara berturut-turut sebesar 15,2 %; 17,6 %; dan 19,9 %. Penambahan *foil* secara *cascade* dapat meningkatkan ekstraksi energi arus air tanpa memperbesar dimensi turbin.

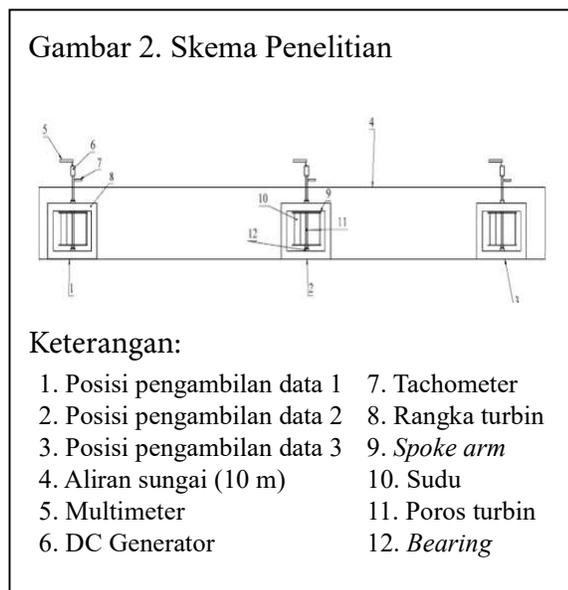
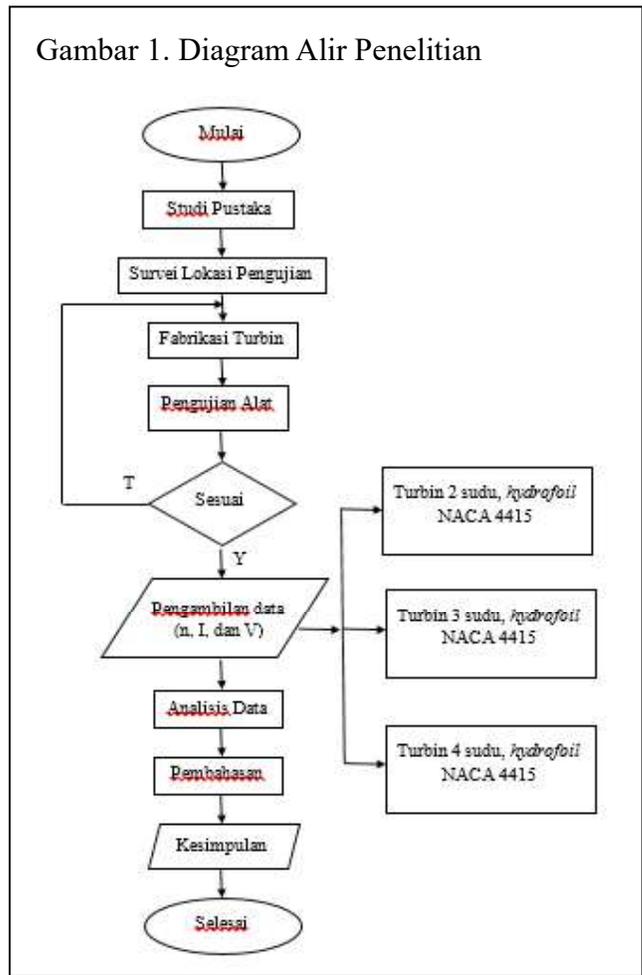
METODE PENELITIAN

Diagram alir dalam penelitian ini digambarkan pada Gambar 1.

Pada penelitian ini terdapat langkah-langkah yang harus dilakukan untuk melakukan pengambilan data. Sebelum mengambil data kinerja turbin dilakukan terlebih dahulu pengukuran kecepatan aliran air pada sungai dengan menggunakan metode pelampung berupa balon. Balon tersebut diisi air agar massa jenisnya sama. Setelah kecepatan air diketahui langkah selanjutnya merangkai susunan turbin heliks gorlov sesuai variasi jumlah sudu masing-masing dengan generator dipasangkan pada bagian atas poros turbin. Multimeter dihubungkan dengan generator untuk mengukur tegangan dan kuat arus yang dihasilkan turbin.

Data penelitian diambil pada variasi jumlah sudu dan variasi kecepatan air. Parameter dalam penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kinerja adalah mengukur besarnya arus dan tegangan yang dihasilkan multimeter dan banyaknya rotasi per menit (rpm) dari turbin yang dihasilkan tachometer.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: *digital tachometer* DT-2234C⁺, alat untuk mengukur kecepatan putaran turbin; DC motor generator 12-24V 1660-3350 rpm, untuk mengkonversi putaran turbin menjadi listrik; dan multimeter digital, alat untuk mengukur tegangan dan kuat arus.



Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fiberglass*, sebagai bahan untuk pembuatan sudu turbin; aluminium, sebagai bahan untuk poros dan *spoke*; dan besi sebagai bahan untuk membuat rangka turbin.

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi jumlah sudu yaitu 2 sudu, 3 sudu, dan 4 sudu dan variasi kecepatan air yaitu 0,81m/s; 0,94 m/s; 1,08 m/s; dan 1,18 m/s. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah menghitung

Tabel 1
Spesifikasi Rancangan Turbin Air Heliks Gorlov

Parameter	2 Sudu	3 Sudu	4 Sudu
Airfoil	NACA 4415	NACA 4415	NACA 4415
Panjang Chord	7 cm	7 cm	7 cm
Diameter Blade	24 cm	24 cm	24 cm
Tinggi Blade	20 cm	20 cm	20 cm

TSR, daya, dan C_p yang dihasilkan turbin air. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah kecepatan air.

Analisis data dilakukan dengan cara mengolah data yang telah terkumpul setelah melakukan penelitian dan memperoleh data. Penelitian ini menggunakan metode analisa deskriptif adalah metode yang digunakan untuk menganalisa data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi (Sugiyono, 2015).

Rumus yang digunakan untuk perhitungan data adalah rumus daya (1), rumus TSR (2), dan rumus koefisien daya (C_p) (3).

$$P_{generator} = V.I \quad (1)$$

Keterangan:

BHP = Brake Horse Power (W)

$P_{generator}$ = daya motor listrik (W)

V = tegangan motor listrik (volt)

I = arus listrik (ampere)

$$\lambda = \frac{U}{v} = \frac{\omega.R}{v} \quad (2)$$

Keterangan:

λ = tip speed ratio

ω = kecepatan sudut rotor (rad/s)

R = jari-jari turbin (m)

v = kecepatan air (m/s)

$$C_p = \frac{P}{P_w} = \frac{V.I}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \quad (3)$$

Keterangan:

P_w = daya air

A = luas penampang (m²)

ρ = massa jenis air (kg/m³)

Tabel 2
Putaran Turbin terhadap Variasi Jumlah Sudu

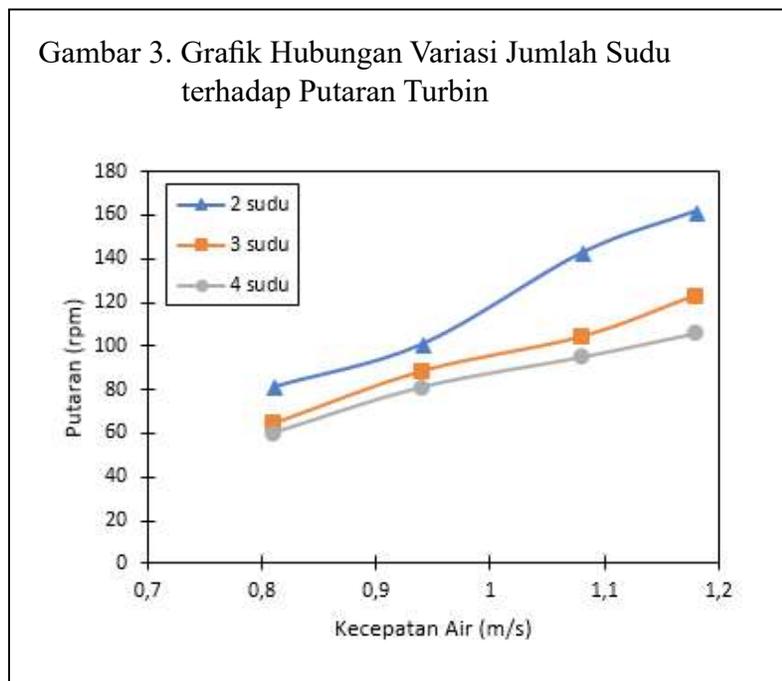
Kecepatan Air (m/s)	Putaran [n(rpm)]		
	2 Sudu	3 Sudu	4 Sudu
0,81	81,7	64,89	60,12
0,94	101,18	88,8	81,33
1,08	142,89	104,55	95,13
1,18	161,98	123,35	106,11

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara putaran dan kecepatan air ialah sebanding. Semakin tinggi kecepatan air, putaran turbin juga akan semakin tinggi. Peningkatan kecepatan air berpengaruh positif terhadap putaran turbin sedangkan penambahan jumlah sudu berpengaruh negatif terhadap putaran turbin.

Penambahan jumlah sudu dalam satu lengan turbin mengakibatkan massa/beban

yang diterima oleh turbin saat berputar akan meningkat atau disebut dengan momen inersia. Momen inersia terdiri dari variabel massa (kg) dan jari-jari (m). Turbin Heliks 2, 3, dan 4 sudu memiliki jari-jari yang sama. Sehingga variabel yang membedakan di antara ketiganya ialah massa. Massa turbin akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah sudu. Turbin Heliks 4 sudu memiliki momen inersia (beban saat berputar) yang lebih tinggi daripada Turbin



Tabel 3
Daya Turbin terhadap Variasi Jumlah Sudu

Kecepatan Air (m/s)	Daya [P(W)]		
	2 Sudu	3 Sudu	4 Sudu
0,81	0,041	0,027	0,014
0,94	0,075	0,057	0,037
1,08	0,083	0,065	0,046
1,18	0,09	0,072	0,056

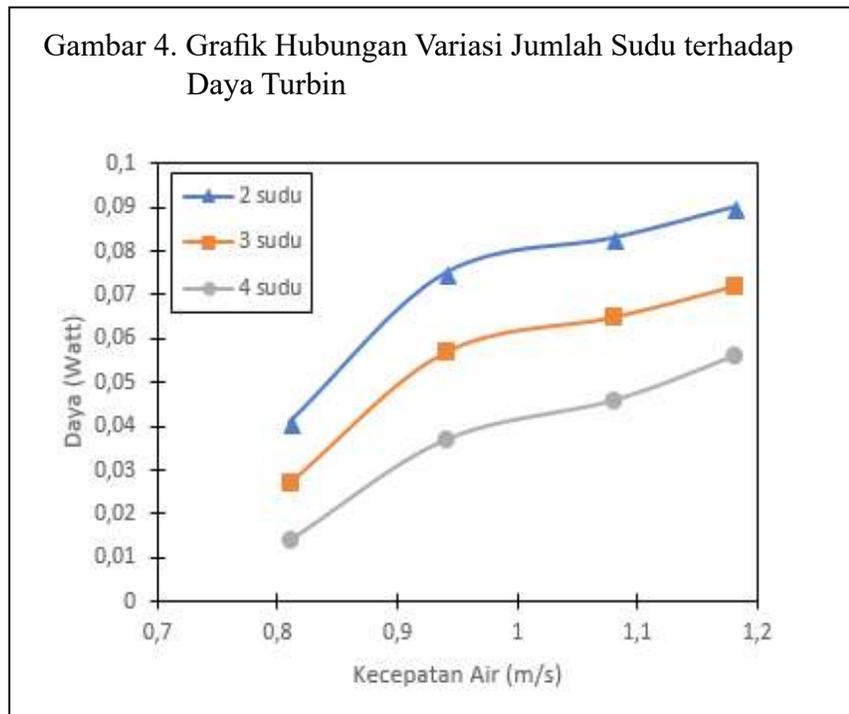
Heliks 3 sudu dan 2 sudu. Oleh karena itu, Turbin Heliks 4 sudu memiliki putaran yang paling rendah di antara ketiga variasi turbin yang lainnya (Ismail, 2016).

Turbin Heliks 2 sudu memiliki rpm tertinggi pada keempat variasi kecepatan air, disusul oleh Turbin Heliks 3 sudu, kemudian 4 sudu. Putaran tertinggi sebesar 161,98 rpm didapatkan pada kecepatan air 1,18 m/s oleh Turbin Heliks 2 sudu. Putaran terendah sebesar 60,12 rpm didapatkan pada kecepatan air 0,81 m/s oleh Turbin Heliks 4 sudu. Peningkatan kecepatan air berpengaruh positif terhadap putaran turbin. Penambahan jumlah sudu berpengaruh negatif terhadap putaran turbin.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara daya dan kecepatan air ialah sebanding.

Kecepatan air berpengaruh positif terhadap daya Turbin Heliks 2, 3, dan 4 sudu. Hal ini disebabkan semakin tinggi kecepatan air, maka daya input dari arus air juga semakin tinggi. Semakin tinggi daya input turbin, maka secara umum daya *output*/daya mekanik turbin juga semakin besar (Ismail, 2016).

Daya turbin dengan putaran turbin berbanding lurus. Artinya, semakin banyak putaran turbin maka daya turbin juga akan meningkat. Penambahan jumlah sudu berpengaruh negatif terhadap daya turbin heliks 2, 3, dan 4 sudu. Hal ini disebabkan semakin banyak jumlah sudu maka beban saat berputar juga semakin tinggi. Beban saat berputar semakin tinggi maka putaran turbin akan semakin rendah.



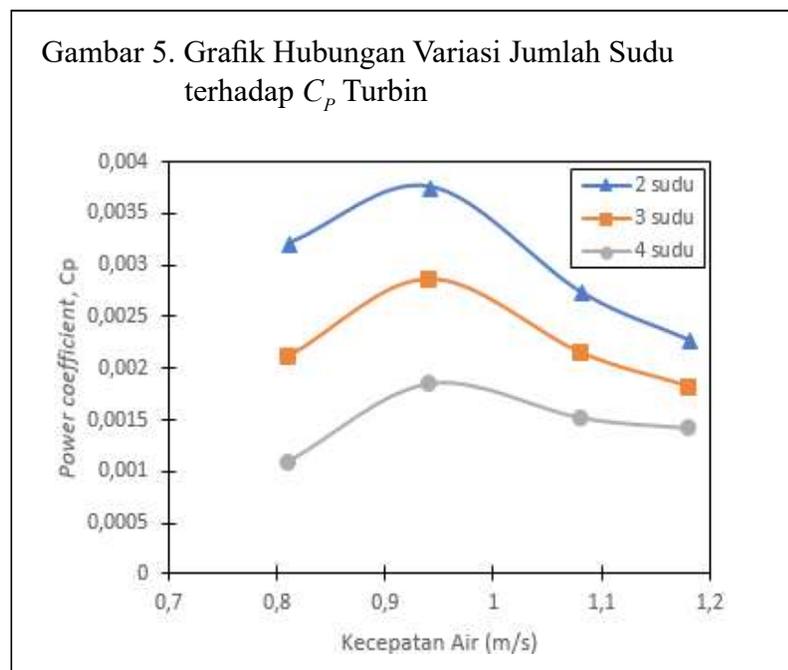
Tabel 4
Power Coefficient Turbin terhadap Variasi Jumlah Sudu

Kecepatan Air (m/s)	<i>Power Coefficient (C_p)</i>		
	2 Sudu	3 Sudu	4 Sudu
0,81	0,00321	0,00212	0,0011
0,94	0,00376	0,00286	0,00186
1,08	0,00275	0,00215	0,00152
1,18	0,00228	0,00183	0,00142

Turbin Heliks 2 sudu memiliki daya tertinggi pada keempat variasi kecepatan air, disusul oleh Turbin Heliks 3 sudu, kemudian 4 sudu. Daya tertinggi sebesar 0,09 Watt didapatkan pada kecepatan air 1,18 m/s oleh Turbin Heliks 2 sudu. Daya terendah sebesar 0,014 Watt didapatkan pada kecepatan air 0,81 m/s oleh Turbin Heliks 4 sudu.

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara kecepatan air terhadap koefisien daya

(C_p) adalah berbanding terbalik. Semakin tinggi kecepatan air, maka koefisien daya (C_p) turbin 2, 3, dan 4 sudu semakin rendah. Hal ini disebabkan karena peningkatan daya input atau daya air tidak sebanding dengan daya *output*/daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin. Peningkatan kecepatan air berdampak pada peningkatan daya input atau daya air yang lebih besar daripada peningkatan daya mekanik/daya turbin. Secara teori bertambah

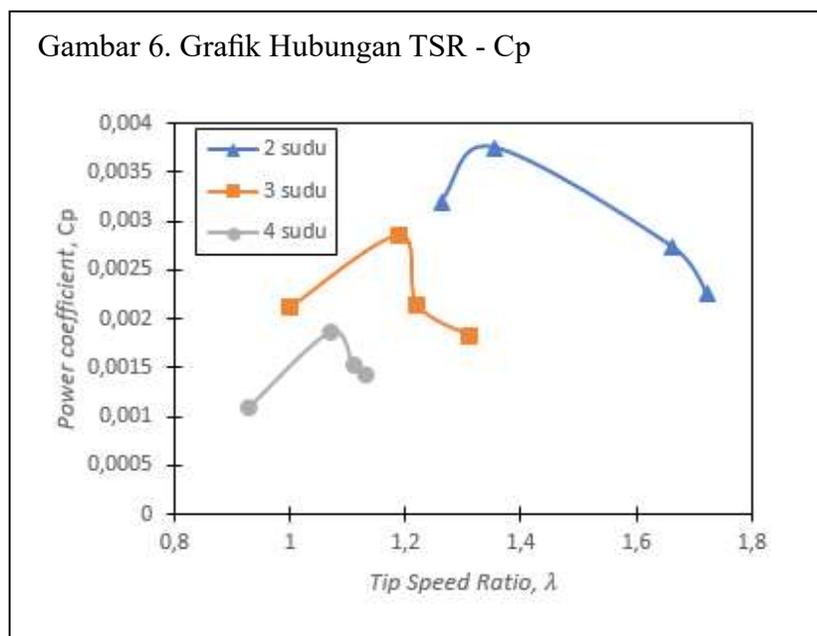


besarnya kecepatan air berbanding terbalik pangkat tiga terhadap koefisien daya (C_p), sehingga koefisien daya (C_p) menurun lebih cepat secara eksponensial jika dibandingkan dengan peningkatan daya mekanik turbin (berupa torsi dan putaran turbin) (Ismail, 2016).

Koefisien daya (C_p) merupakan perbandingan antara daya turbin/daya *output* dengan daya arus air/*input*. Daya turbin sangat dipengaruhi oleh putaran turbin. Semakin banyak putaran maka semakin tinggi daya turbin. Penambahan jumlah sudu berpengaruh negatif terhadap koefisien daya. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah sudu semakin tinggi momen inersianya sehingga mengakibatkan nilai C_p turbin heliks 4 sudu semakin rendah dibandingkan dengan 2 sudu dan 3 sudu.

Turbin Heliks 2 sudu memiliki daya tertinggi pada keempat variasi kecepatan air, disusul oleh Turbin Heliks 3 sudu, kemudian 4 sudu. Koefisien tertinggi sebesar 0,00376 didapatkan pada kecepatan air 0,94 m/s oleh Turbin Heliks 2 sudu. Koefisien terendah sebesar 0,0011 didapatkan pada kecepatan air 0,81 m/s oleh Turbin Heliks 4 sudu.

Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan *tip speed ratio* dengan koefisien daya. Semakin tinggi *tip speed ratio*, koefisien daya meningkat secara parabolik. Hal ini disebabkan prinsip aero dinamis rotor turbin yang memanfaatkan gaya dorong (*drag*) saat mengekstrak energi air dari alir-an air yang melalui sudu turbin, sehingga semakin cepat kecepatan aliran air, C_p turbin heliks cenderung menurun, begitu juga dengan TSR (Purnama, Hantoro, & Nugroho, 2013).



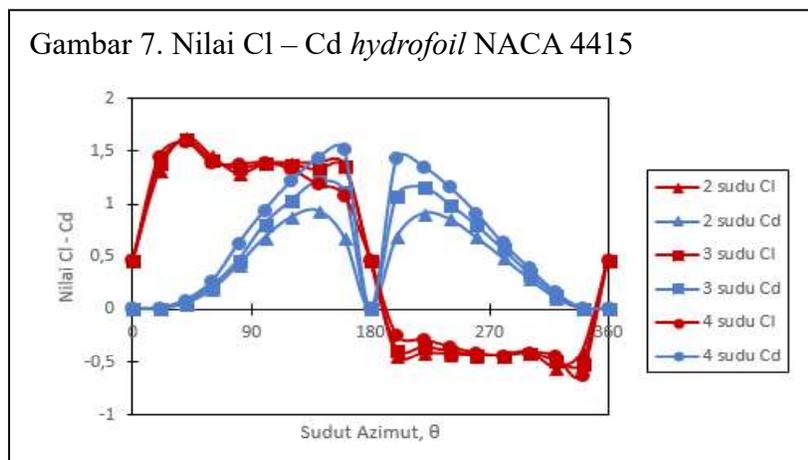
Penambahan jumlah sudu dalam satu lengan turbin mengakibatkan massa/beban yang diterima oleh turbin saat berputar akan meningkat atau biasa disebut dengan momen inersia. Momen inersia terdiri dari variabel massa (kg) dan jari-jari (m). Turbin Heliks 2, 3, dan 4 sudu memiliki jari-jari yang sama sehingga variabel yang membedakan di antara ketiganya ialah massa. Massa turbin akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah sudu sehingga Turbin Heliks 4 sudu memiliki momen inersia (beban saat berputar) yang lebih tinggi daripada Turbin Heliks 3 sudu dan 2 sudu. Oleh karena itu, semakin banyak jumlah sudu maka nilai TSR akan besar, begitu juga dengan putaran turbin (Ismail, 2016).

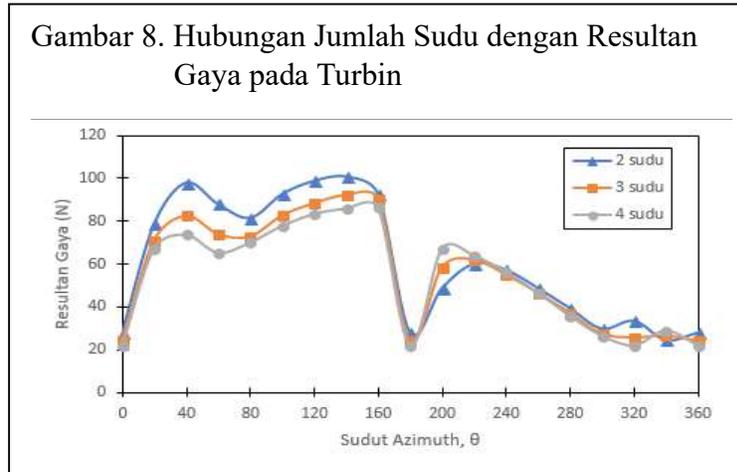
Gambar 7 menunjukkan bahwa turbin yang paling optimal adalah turbin heliks air dengan jumlah 2 sudu yang memiliki nilai CP sebesar 0,00376 dan nilai TSR sebesar 1,35. Gaya *lift* dan gaya *drag* yang terjadi pada turbin air tergantung pada besar koefisien *lift*

(C_l) dan koefisien *drag* (C_d). Berikut grafik nilai C_l dan C_d untuk *hydrofoil* NACA 4415 dari *software* QBlade v0.963.

Berdasarkan nilai C_l dan C_d diatas menunjukkan bahwa turbin air sumbu vertikal heliks gorlov dalam penelitian ini gaya *drag* lebih dominan dibandingkan dengan gaya *lift*. Hal ini dapat dilihat dari nilai C_d bernilai positif sedangkan nilai C_l terdapat nilai negatif. Selain itu, dapat dilihat juga dari hasil perhitungan resultan gaya antara gaya *lift* dan gaya *drag* pada grafik berikut yang menggambarkan hubungan antara resultan gaya dengan sudut *azimuth*.

Gambar 8 menunjukkan hubungan jumlah sudu dengan resultan gaya pada turbin. Peningkatan nilai total gaya resultan tidak terjadi secara signifikan. Secara keseluruhan turbin dengan 2 sudu memiliki nilai total gaya resultan tertinggi sedangkan turbin dengan 4 sudu memiliki nilai total gaya resultan terendah. Nilai gaya resultan dengan daya pada turbin ialah berbanding





lurus. Semakin tinggi nilai gaya resultan maka daya pada turbin juga semakin tinggi. Oleh karena itu, penambahan jumlah sudu belum tentu turbin akan berputar lebih cepat karena semakin banyak jumlah sudu momen inersianya semakin tinggi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis perhitungan yang telah dilakukan, dan hasil pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut. *Pertama*, jumlah sudu mempengaruhi kinerja turbin air heliks gorlov. Hal ini dikarenakan penambahan jumlah sudu dalam satu lengan turbin mengakibatkan massa atau beban yang diterima oleh turbin saat berputar akan meningkat. Turbin Heliks 2, 3, dan 4 sudu memiliki jari-jari yang sama. Variabel yang membedakan di antara ketiganya ialah massa. Massa turbin akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah sudu. Turbin Heliks 4 sudu memiliki momen inersia (beban saat berputar) yang lebih tinggi daripada

Turbin Heliks 3 sudu dan 2 sudu. Oleh karena itu, Turbin Heliks 4 sudu memiliki putaran, daya, koefisien daya, dan TSR yang paling rendah di antara ketiga variasi turbin yang lainnya. *Kedua*, kecepatan air mempengaruhi kinerja turbin air heliks gorlov. Hal ini dikarenakan kecepatan air berbanding lurus dengan putaran, daya, dan TSR. Semakin tinggi kecepatan air, semakin tinggi juga putaran, daya, dan TSR. Sedangkan nilai C_p berbanding terbalik dengan kecepatan air. Hal ini disebabkan peningkatan daya air tidak sebanding dengan daya mekanik yang dihasilkan turbin. *Ketiga*, turbin heliks Gorlov paling optimal berdasarkan hasil penelitian dengan nilai koefisien daya (C_p) tertinggi yaitu turbin dengan 2 sudu pada kecepatan air 0,94 m/s yang menghasilkan nilai C_p sebesar 0,00376 dan nilai TSR 1,35.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pengaruh variasi jumlah sudu

dan kecepatan air terhadap kinerja turbin air sumbu vertikal tipe heliks Gorlov. Berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya. *Pertama*, perawatan rutin pada bantalan atau *bearing* sebaiknya juga diadakan pengecekan dan pelumasan karena ada kemungkinan setelah beroperasi dalam jangka waktu yang lama akan mengalami keausan dan berkarat sehingga putarannya tidak presisi lagi yang akan mengakibatkan kerja mesin terganggu. *Kedua*, hendaknya menggunakan generator putaran rendah pada penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan turbin air agar hasilnya lebih optimal. *Ketiga*, hendaknya untuk pengukuran kecepatan aliran air menggunakan alat ukur *current meter* dibandingkan dengan cara metode pelampung.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, A., Rahardjo, T., & Asroni, M. (2018). Pengaruh variasi kecepatan aliran sungai terhadap kinerja turbin kinetik bersudu mangkok dengan sudut input 10°. *Prosiding SENIATI*, 4(1), 324-329.
- Anam, A., Soenoko, R., & Widhiyanuriyawan, D. (2013). Pengaruh variasi sudut input sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 4(3), 199-203.
- Ismail, A. (2016). *Studi eksperimental pengaruh jumlah foil terhadap efisiensi turbin heliks cascade foil* (Tugas akhir). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Maidangkay, A., Soenoko, R., & Wahyudi, S. (2014). Pengaruh sudut pengarah aliran dan jumlah sudu radius berengsel luar roda tunggal terhadap kinerja turbin kinetik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(2), 149-156.
- Pietersz, R., Soenoko, R., & Wahyudi, S. (2013). Pengaruh jumlah sudu terhadap optimalisasi kinerja turbin kinetik roda tunggal. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 4(3), 220-226.
- Purnama, A. C., Hantoro, R., & Nugroho, G. (2013). Rancang bangun turbin air sungai poros vertikal tipe savonius dengan menggunakan pemandu arah aliran. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2), 278-282.
- Sitepu, A. W., Sinaga, J. B., & Sugiri, A. (2014). Kajian eksperimental pengaruh bentuk sudu terhadap unjuk kerja turbin helik untuk sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). *Jurnal FEMA*, 2(2), 72-78.
- Sugiyono. (2015). *Metode penelitian dan pengembangan (R&D)*. Bandung: Alfabeta, CV.
- Supratmanto, D. (2016). *Kajian eksperimental pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin helik untuk model sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH)* (Skripsi tidak diterbitkan). Universitas Lampung, Lampung.

PENGARUH PARTIKEL MIKRO TERAK BAJA TERHADAP RETENSI P DAN PH PADA ANDISOL

(THE EFFECT OF MICRO PARTICLE STEEL SLAG ON P-RETENTION AND PH ON ANDISOL)

Ai Ening Rostini¹, Rina Devnita², Oviyanti Mulyani², dan Benny Joy²

¹Program Sarjana Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

²Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Jatinangor Km. 21 Jatinangor, Sumedang-Jawa Barat 45363

email: ain.rostini@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian partikel mikro terak baja terhadap retensi P, kemasaman tanah pada Andisol asal Ciater, Jawa Barat. Penelitian telah dilaksanakan pada bulan November 2017 sampai dengan Januari 2018. Andisol berasal dari Perkebunan Teh PTPN XIII-Ciater, Kabupaten Subang, sedangkan terak baja diperoleh dari PT. Krakatau Steel Indonesia. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap yang terdiri dari 11 perlakuan dan 3 ulangan, sehingga total seluruh perlakuan adalah 33 polibeg percobaan. Perlakuan yang diberikan yaitu kontrol, terak baja ukuran 500 mesh dan terak baja ukuran 1,7 μm . Media inkubasi disimpan di Laboratorium Fisika Tanah Fakultas Pertanian UNPAD dan diinkubasikan selama 2 bulan. Parameter yang diamati adalah Retensi P dianalisis dengan metode Blakemore, dan pH tanah dianalisis dengan metode elektrometri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian partikel mikro terak baja berpengaruh nyata terhadap penurunan retensi P dan peningkatan pH pada Andisol asal Ciater, Jawa Barat. Sedangkan dosis terbaik dalam meningkatkan pH yakni 7% terak baja dengan ukuran 1,7 μm mampu meningkatkan pH dari 4,53 menjadi 7,99 setelah dua bulan inkubasi.

Kata kunci: *Andisol, terak baja, partikel mikro, retensi P, pH*

Abstract

This study was aimed at determining the effect of microparticles steel slag towards P retention, soil acidity in Andisol from Ciater, West Java. The research was conducted in November 2017 until January 2018. The andisol was taken from the PTPN XIII-Ciater Tea Plantation, Subang, while steel slag was obtained from PT. Krakatau Steel Indonesia. The study used a Completely Randomized Design consisting of 11 treatments and 3 replications so that the total of all treatments was 33 experimental polybags. The treatments given were 500 mesh steel slag and 1.7 μm steel slag. The incubation media were stored in the Soil Physics Laboratory of the Faculty of Agriculture at UNPAD for 2 months. The observed parameters were P retention analyzed by the Blakemore method and soil pH which was analyzed by the electrometry method. The results show that the steel slag microparticles significantly affected the reduction in P retention and increased pH in Andisols. The best dose for increasing the pH is 7%. Steel slag with a size of 1.7 μm is able to increase the pH from 4.53 to 7.99 after a two-month incubation.

Keywords: *Andisols, steel slag, micro particles, P retention, pH*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak gunung api, sehingga sebagian tanah di Indonesia berkembang dari hasil erupsi gunung api. Berdasarkan *Soil Taxonomy* tanah ini dikelompokkan dalam ordo Andisol (*Soil Survey Staff*, 2014). Luas Andisol di Indonesia diperkirakan mencapai 5,39 juta ha atau sekitar 2,9% dari total luas daratan Indonesia (Subagyo, Suharta, & Siswanto, 2000) dan umumnya terdapat di daerah dataran tinggi.

Andisol dicirikan dengan sifat tanah andik yaitu mengandung kurang dari 25% C-organik; nilai $Al + \frac{1}{2} Fe$ 2% atau lebih; bobot isi 0,9 g cm⁻³ atau lebih kecil; dan memiliki retensi fosfat 85% atau lebih (*Soil Survey Staff*, 2014). Tingginya retensi P pada tanah ini merupakan permasalahan utama pada Andisol. Pemberian pupuk P yang tinggi pada Andisol tidak menjamin ketersediaan P yang tinggi pula bagi tanaman, karena efisiensinya yang rendah yaitu 10-20% (Hawkes, DeAngelis, & Firestone, 2007). Sebagian besar P pada Andisol akan diretensi oleh Fe dan Al amorf yang berasal dari hidroksida aluminium dan alfofan. Gugus aluminol (Al-OH) dan (Al-OH₂) yang terdapat dalam mineral amorf sangat berperan penting dalam meretensi ion fosfat. Semakin banyak jumlah gugus aluminol dalam bahan amorf, semakin banyak pula

fosfat yang diretensi dalam tanah (Bohn, McNeal, & O'Connor, 1985).

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan pada Andisol yaitu dengan penambahan amelioran bermuatan negatif seperti silikat. Silikat dapat berasal dari terak baja (*steel slag*) yang merupakan hasil sampingan yang terbentuk dari proses produksi pembuatan baja. Penelitian Devnita, Hudaya, dan Rosana (2014) menunjukkan bahwa terak baja mengandung 12,5% SiO₂; 42,00% CaO; 6,00% MgO; 0,50% P₂O₅; dan 0,81 % FeO. Kristen dan Erstad (1996) menjelaskan bahwa P₂O₅ yang dibebaskan dari terak baja dapat meningkatkan kandungan P tersedia dalam tanah dan turut berpengaruh terhadap peningkatan P tersedia. Ottinger (2013) menyatakan bahwa silikat dapat berfungsi sebagai anion dalam melepaskan retensi P. Selain silikat, senyawa CaO dan MgO yang dibebaskan terak baja dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan pH tanah. Senyawa CaO terhidrolisis dalam tanah menghasilkan ion-ion Ca²⁺ dan OH⁻. Ion OH⁻ tersebut akan menetralkan ion H⁺ dalam larutan tanah sehingga terjadilah kenaikan pH tanah (Gultom, 2012).

Pada umumnya terak baja memiliki kapasitas tukar kation (KTK) 80-100% dan sangat lambat bereaksi dengan kemasaman tanah kecuali apabila terak baja dihaluskan hingga berukuran mikro (1 μm = 10⁻⁶ m) (*National Slag Association*, 2010). Widowati,

Husnain, dan Hartatik (2012) menyatakan bahwa pemanfaatan pupuk yang berukuran super kecil lebih efektif dan langsung mencapai sasaran karena memiliki ukuran yang sangat halus dan luas permukaan yang besar. Walaupun teknologi mikro partikel ini memiliki kekurangan dikarenakan biayanya yang mahal, namun sifatnya yang reaktif terhadap larutan tanah diharapkan mampu mengurangi dosis terak baja yang digunakan dibanding terak baja yang ukurannya tidak diperkecil.

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan lapangan yang terdiri atas cangkul, sekop, plastik, karung, label, meteran, pisau, dan tali rafia. Peralatan laboratorium yang terdiri atas *polybag* tidak

berlubang ukuran 2 kg, ember, label, terpal, timbangan digital, pH meter, botol kocok, botol film, sekop, oven, cawan aluminium, gelas ukur, kamera dan alat tulis. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah Andisol asal Ciater dan bahan-bahan laboratorium yang diperlukan selama analisis.

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 11 perlakuan dan 3 ulangan. Adapun ke-11 perlakuan disajikan pada Tabel 1.

Pengambilan sampel tanah dilakukan di lima titik pada kedalaman 0 sampai dengan 60 cm. Lokasi pengambilan sampel tanah yakni di Perkebunan Teh PTPN XIII-Ciater (1250 mdpl) yang terletak pada lereng bagian timur Gunung Tangkuban Perahu, Kabupaten Subang-Jawa Barat. Terak baja

Tabel 1
Perlakuan Pemberian Terak Baja terhadap Andisol asal Ciater

No	Perlakuan	Keterangan
1	A	Kontrol (tanpa terak baja)
2	B	Terak baja 5% dari berat tanah, dengan ukuran 0,074 mm (200 mesh)
3	C	Terak baja 1% dari berat tanah, dengan ukuran 1,7 μ m
4	D	Terak baja 2% dari berat tanah, dengan ukuran 1,7 μ m
5	E	Terak baja 3% dari berat tanah, dengan ukuran 1,7 μ m
6	F	Terak baja 4% dari berat tanah, dengan ukuran 1,7 μ m
7	G	Terak baja 5% dari berat tanah, dengan ukuran 1,7 μ m
8	H	Terak baja 6% dari berat tanah, dengan ukuran 1,7 μ m
9	I	Terak baja 7% dari berat tanah, dengan ukuran 1,7 μ m
10	J	Terak baja 8% dari berat tanah, dengan ukuran 1,7 μ m
11	K	Terak baja 9% dari berat tanah, dengan ukuran 1,7 μ m

yang diperoleh dari PT. Krakatau Steel Indonesia yang dihaluskan terlebih dahulu sampai berukuran $1,7 \mu\text{m}$ di Laboratorium Riset Nanoteknologi dan Graphene (PrintG) Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran.

Persiapan media inkubasi dilakukan dengan mencampurkan tanah Andisol secara komposit. Tanah sebanyak 500 gram dicampurkan dengan terak baja dengan dosis sesuai perlakuan hingga merata, kemudian dimasukkan ke dalam *polybag* berukuran 2 kg. Selanjutnya disiram sampai dengan keadaan kapasitas lapang. Masing-masing *polybag* diikat dan diberi label sesuai perlakuan. Media inkubasi disimpan di Laboratorium Fisika Tanah Fakultas Pertanian UNPAD dan diinkubasikan selama 2 bulan.

Selama inkubasi dilakukan pengambilan sampel tanah setiap bulan sebanyak 100 gram dari setiap *polybag*. Sampel tanah yang sudah diambil kemudian ditutup dengan rapat dalam plastik yang sudah diberi label, sedangkan yang lainnya tetap diinkubasikan kembali. Sampel yang sudah diberi label dibawa ke laboratorium Kesuburan dan Nutrisi Tanaman Fakultas Pertanian UNPAD untuk dianalisis. Parameter yang diamati adalah retensi P dianalisis dengan metode *Blakemore* dan pH tanah dianalisis dengan metode elektrometri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa pemberian terak baja dalam bentuk partikel

mikro berpengaruh nyata terhadap penurunan retensi P pada Andisol asal Ciater. Pengaruh pemberian partikel mikro terak baja terhadap retensi P setelah dua bulan inkubasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan data masing-masing perlakuan yang terdapat pada Tabel 2, secara umum nilai retensi P mengalami fluktuasi antar perlakuan. Devnita (2010) menyatakan bahwa fluktuasi nilai retensi P dapat terjadi dan tidak berhubungan linier dengan dosis terak baja.

Setelah dua bulan inkubasi dapat dilihat bahwa pemberian terak baja dengan ukuran partikel mikro memberikan pengaruh nyata terhadap retensi P. Perlakuan terbaik terdapat pada perlakuan terak baja 5% ukuran $1,7 \mu\text{m}$ yang mampu menurunkan retensi P dari 95% pada saat analisis tanah awal menjadi 73,85%. retensi P tertinggi terdapat pada perlakuan terak baja 5% ukuran 200 mesh yakni 95,01%. Meskipun dosis kedua perlakuan tersebut sama, namun ukuran partikel terak baja yang digunakan berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran partikel mempengaruhi reaksi kimia antara terak baja dengan Andisol. Dengan dosis yang sama, terak baja berukuran partikel mikro mampu menurunkan nilai retensi P lebih besar dibanding terak baja yang ukurannya tidak dimikrokkan. Pengubahan ukuran partikel menjadi berukuran mikro mampu mempercepat kelarutan unsur yang sukar

Tabel 2
Pengaruh Pemberian Mikro Partikel Terak Baja terhadap Retensi P setelah Dua Bulan Inkubasi

Kode	Perlakuan	Retensi (%)
A	Tanpa terak baja)	83,09 b
B	Terak baja 5%, dengan ukuran 0,074 mm	95,01 c
C	Terak baja 1%, dengan ukuran 1,7 μm	93,97 c
D	Terak baja 2%, dengan ukuran 1,7 μm	94,62 c
E	Terak baja 3%, dengan ukuran 1,7 μm	88,72 bc
F	Terak baja 4%, dengan ukuran 1,7 μm	94,93 c
G	Terak baja 5%, dengan ukuran 1,7 μm	73,85 a
H	Terak baja 6%, dengan ukuran 1,7 μm	94,95 c
I	Terak baja 7%, dengan ukuran 1,7 μm	82,03 ab
J	Terak baja 8%, dengan ukuran 1,7 μm	93,70 c
K	Terak baja 9%, dengan ukuran 1,7 μm	93,54 c

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada taraf 5%

larut (Park & Yeo, 2002) sehingga bersifat lebih reaktif dan langsung mencapai sasaran karena luas permukaannya yang besar (Widowati dkk., 2011).

Penurunan retensi P terjadi karena afinitas anion P pada permukaan alofan menurun akibat pemberian terak baja. Ion SiO_4^{4-} pada terak baja mampu mensubstitusi ion negatif fosfat yaitu HPO_4^{2-} dan H_2PO_4^- yang terjerap oleh mineral liat non kristalin (Fiantis, Hakim, & Van, 2005). Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian Sukmawati (2011) yang menyatakan bahwa silikat merupakan salah satu anion yang dapat melepaskan P dari kompleks jerapan dengan cara mengisi tapak jerapan alofan sehingga mampu menurunkan retensi P.

Kemasaman tanah merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Sebagian unsur hara mudah larut di dalam larutan tanah pada saat nilai pH netral (Hardjowigeno, 2007). Hasil analisis tanah awal menunjukkan bahwa Andisol asal Ciater memiliki pH yang masam yakni 4,53. Pemberian terak baja diharapkan mampu meningkatkan pH Andisol asal Ciater hingga mendekati netral. Peningkatan pH tanah juga diharapkan dapat berkorelasi positif dengan penurunan retensi P. Sukmawati (2011) menyatakan bahwa persentase P yang diretensi oleh alofan dipengaruhi oleh pH, sehingga umumnya retensi P akan menurun apabila pH tanah meningkat.

Hasil analisis uji statistik menunjukkan bahwa pemberian terak baja dalam bentuk partikel mikro berpengaruh nyata terhadap peningkatan pH pada Andisol asal Ciater. Pengaruh pemberian partikel mikro terak baja terhadap pH Andisol setelah dua bulan inkubasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi dosis terak baja yang diberikan maka semakin tinggi pula nilai pH tanah. Sejalan dengan hasil penelitian Yoseph (2014) yang menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis terak baja yang diberikan, maka pH tanah cenderung semakin meningkat. Setelah dua bulan inkubasi, terak baja dosis 7% ukuran

1,7 μm mampu meningkatkan pH tanah menjadi 7,99 dari 4,53 pada saat analisis tanah awal. Nilai tersebut menunjukkan berbeda nyata dengan perlakuan kontrol maupun perlakuan terak baja dosis 5% ukuran 200 mesh yang nilainya berturut-turut 4,93 dan 7,30. Peningkatan pH tanah terjadi karena adanya kandungan CaO dan MgO dalam terak baja. Senyawa CaO akan bereaksi dengan H_2O dalam tanah menghasilkan ion-ion Ca^{2+} dan OH^- . Selanjutnya ion OH^- tersebut akan menetralkan ion H^+ dalam larutan tanah, sehingga terjadilah kenaikan pH tanah (Gultom, 2012).

Tabel 3
Pengaruh Pemberian Partikel Mikro Terak Baja terhadap Kemasaman Tanah setelah Dua Bulan Inkubasi

Kode	Perlakuan	Nilai pH
A	A (Tanpa terak baja)	4,93 a
B	B (Terak baja 5%, dengan ukuran 0,074 mm)	7,30 cd
C	C (Terak baja 1%, dengan ukuran 1,7 μm)	6,30 b
D	D (Terak baja 2%, dengan ukuran 1,7 μm)	6,92 c
E	E (Terak baja 3%, dengan ukuran 1,7 μm)	7,09 cd
F	F (Terak baja 4%, dengan ukuran 1,7 μm)	7,65 de
G	G (Terak baja 5%, dengan ukuran 1,7 μm)	7,63 de
H	H (Terak baja 6%, dengan ukuran 1,7 μm)	7,54 cde
I	I (Terak baja 7%, dengan ukuran 1,7 μm)	7,99 e
J	J (Terak baja 8%, dengan ukuran 1,7 μm)	8,12 e
K	K (Terak baja 9%, dengan ukuran 1,7 μm)	8,02 e

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan pada taraf 5%

SIMPULAN

Pemberian terak baja dengan ukuran partikel mikro berpengaruh nyata terhadap penurunan retensi P dan peningkatan nilai pH pada Andisol asal Ciater, Jawa Barat. Terak baja dosis 5% ukuran 1,7 μm mampu menurunkan retensi P dari 95% menjadi 73,8% setelah dua bulan inkubasi. Sedangkan dosis terbaik dalam meningkatkan pH yakni 7% terak baja dengan ukuran 1,7 μm mampu meningkatkan pH dari 4,53 menjadi 7,99 setelah dua bulan inkubasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bohn, H. L., McNeal, B. L., & O'Connor, G. A. (1985). *Soil chemistry*. New York, Chichester: John Wiley and Sons.
- Devnita, R. (2010). *Pengaruh berbagai bahan amelioran terhadap pH_p , retensi P dan KTK pada beberapa andisol di Jawa Barat* (Laporan Penelitian). Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Devnita, R., Hudaya, R., & Rosana, F. (2014). Effects of steel slag and bokahi of rice husk on physical properties of andisols. *Agrologia*, 3(1), 1-9.
- Fiantis, D., Hakim, N., & Van, R. E. (2005). Properties and utilisation of andisols in Indonesia. *Journal of Integrated Field Science*, 2, 29-37.
- Gultom, P. R. (2012). *Pengaruh terak baja terhadap sifat-sifat kimia tanah sulfat masam dan produksi padi (Oryza sativa L.)* (Skripsi). Program Studi Manajemen Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hardjowigeno, S. (2007). *Ilmu tanah*. Jakarta: Pusaka Utama.
- Hawkes, C. V., DeAngelis, K. M., & Firestone, M. K. (2007). Root interactions with soil microbial communities and processes. Dalam Z. G. Cordon, & J. L. Whitbeck (Eds.), *The rhizosphere: An ecological perspective* (pp. 1-30). New York: Academic Press.
- Kristen, M., & Erstad, K. (1996). Converter slag as liming material on organic soil. *Norwegian J. Agri. Sci.*, 10, 83-93.
- National Slag Association. (2010). *Blast-furnace slag as an agricultural liming material and source of minor plant nutrient*. Diunduh dari http://nationalslag.org/archive/legacy/nsa_1855_bf_slag_as_agricultural_liming_material.pdf.
- Ottinger, J. L. (2013). *Chemical characterization and anion exchange properties of a West Tennessee loess soil* (Thesis master tidak diterbitkan). University of Tennessee.
- Park, K., & Yeo, Y. (2002). Micro-encapsulation technology encyclopedia of pharmaceutical technology. *GEPT*, 6(2), 67-85.
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy* (12th ed.). Natural Resources Conservation Service.
- Subagyo, H., Suharta, N., & Siswanto, A. B. (2000). Tanah-tanah pertanian di Indonesia. Dalam Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, *Sumber daya lahan Indonesia dan pengelolaannya* (pp. 21-66). Bogor: Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Sukmawati, S. (2011). Jerapan P pada andisol yang berkembang dari tuff vulkan beberapa gunung api di Jawa Tengah dengan pemberian asam humat dan asam silikat. *Media Litbang Sulteng*, IV(1), 30-36.
- Widowati, L. R., Husnain, & Hartatik, W. (2012, Juni). *Peluang formulasi pupuk berteknologi nano*. Makalah

dipresentasikan pada Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan Terdegradasi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.
Ginting, Y. A. (2014). *Efek sisa pemberian terak baja dan bokashi sekam padi*

*terhadap pH, retensi P, P-tersedia dan hasil cabai (*Capsicum annum L.*) pada andisol Lembang, Jawa Barat* (Skripsi tidak diterbitkan). Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung.

STUDI EKSPERIMEN PADA FENOMENA *SUCCESSIVE DROPLETS* MENUMBUK PERMUKAAN TEMBAGA PANAS

(*EXPERIMENTAL STUDY ON THE PHENOMENA ON THE SUCCESSIVE DROPLETS IMPACTING HOT COPPER SURFACE*)

Arif Widyatama¹, Akmal Irfan Majid¹, Teguh Wibowo^{1,3}, Deendarlianto^{1,2},
dan Samsul Kamal¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada

²Pusat Studi Energi, Universitas Gadjah Mada

³Departemen Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto

¹Jl. Grafika No.2 Yogyakarta, Indonesia

email: arifwidyatama@ugm.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari fenomena dan interaksi antara tetesan air (*droplet*) dan permukaan logam panas dengan metode eksperimental. Pada penelitian ini, *droplet* dijatuhkan dari posisi 50 mm dari atas permukaan logam dengan frekuensi 8,5 *droplet* per detik. Diameter *droplet* yang diamati sebesar 3,12 mm. Logam yang digunakan adalah tembaga dengan temperatur permukaan di antara 110-240° C. *High speed video camera* dengan kecepatan 2000 fps digunakan untuk merekam data visual. *Teknik image processing* diaplikasikan untuk menghitung perubahan diameter *droplet*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *pertama*, pada temperatur rendah, *droplet* cenderung mempertahankan posisi awal kontak dengan perubahan bentuk yang fluktuatif. *Kedua*, temperatur tinggi, terjadi fenomena bouncing yang mengakibatkan tumbukan antar *droplet* menjadi tidak sempurna. Hasil visualisasi dapat mengungkap perubahan geometri *droplet* berupa spreading ratio dan apex height secara lengkap. Dari penelitian ini juga diketahui bahwa temperatur 140°C menjadi daerah transisi awal terjadinya fenomena yang mengakibatkan *droplet* tidak bersinggungan dengan permukaan panas sehingga proses perpindahan kalor antar permukaan terhambat.

Kata kunci: *successive droplets, tembaga, spreading ratio, apex height*

Abstract

This study was aimed at investigating the phenomena and interactions between water *droplets* and hot metal surfaces using an experimental method. In this study, the *droplet* was dropped from 50 mm from the top of the metal surface with a frequency of 8.5 *droplets* per second. The observed *droplet* diameter was 3.12 mm. The metal used was copper with a surface temperature between 110-240 ° C. High speed video camera with a speed of 2000 fps was used to record visual data. Then the image processing technique was applied to calculate the change in *droplet* diameter. The results show that at low temperatures, *droplets* tend to maintain their initial position of contact with fluctuating deformations. While at high temperatures, a bounce phenomenon occurs which results in collisions between *droplets* being imperfect. Visualization results can reveal the complete change in the *droplet* geometry in the form of spreading ratio and complete apex height. The temperature of 140° C is the initial transition area for phenomena that result in *droplets* has no contact with hot surfaces so that the process of heat transfer between surfaces is inhibited.

Keywords: *successive droplets, copper, spreading ratio, apex height*

PENDAHULUAN

Fenomena *droplet* menumbuk permukaan zat padat dapat ditemukan dalam berbagai bidang seperti industri printer, komponen elektronik, dan manufaktur logam. Setiap implementasi mempunyai spesifikasi dan kebutuhan yang harus dipenuhi secara presisi agar didapatkan keluaran proses sesuai dengan yang dibutuhkan. Pada industri manufaktur logam, *droplet* yang menumbuk permukaan panas dapat ditemukan pada proses *spray cooling*. Teknik ini mampu menghasilkan *heat flux* yang lebih tinggi dibandingkan dengan konveksi paksa sehingga secara keseluruhan dapat menekan biaya produksi dengan optimalisasi proses perpindahan kalor pada logam (Deendarlianto *et al.*, 2014).

Urgensi implemmentasi *droplet* pada berbagai bidang tersebut mengakibatkan fenomena ini menjadi salah satu fokus penelitian dalam tiga dekade terakhir. Berbagai penelitian telah dilakukan mencakup berbagai macam karakteristik *droplet* (Deendarlianto *et al.*, 2016; Liang *et al.*, 2016), Perkembangan riset pada bidang ini telah dirangkum dengan komprehensif oleh Liang dan Mudawar (2017) yang menyatakan bahwa meskipun secara umum berbagai macam mekanisme *boiling* dan karakterisasi *droplet* sudah berhasil dipaparkan, masih diperlukan banyak studi lanjut terkait fenomena detail seperti pengaruh munculnya

lapisan uap pada pergerakan *droplet* ataupun mekanisme tercapainya *critical heat flux*. Penelitian yang difokuskan pada analisa perpindahan kalor dilakukan oleh Gradeck, Seiler, Ruyer, dan Maillet (2013) pada variasi bilangan Weber dan temperatur. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kemampuan *droplet* dalam mengangkat kalor, atau bisa disebut *energy removal*, sangat tergantung dari dinamika *droplet* ketika menumbuk permukaan panas. Oleh sebab itu, diperlukan kajian secara menyeluruh pada perilaku *droplet* dengan berbagai kondisi kerja

Saat sebuah *droplet* menumbuk permukaan panas, terjadi variasi fenomena hidrodinamis dan perpindahan kalor. Dari studi literatur terhadap penelitian sebelumnya didapatkan bahwa selain kecepatan dan diameter *droplet*, temperatur permukaan logam merupakan faktor dominan yang mempengaruhi perubahan perilaku tersebut.

Salah satu usaha komprehensif untuk memetakan pengaruh temperatur permukaan logam dilakukan oleh Bernardin, Stebbins, dan Mudawar (1997) yang melakukan penelitian pada aluminium dengan temperatur 100-280°C yang mewakili empat *boiling regime*. Penelitian ini berhasil mendefinisikan peta pola perilaku *droplet* pada tiga jenis bilangan Weber. Bertola (2015) memanfaatkan perkembangan teknologi *high speed video camera* untuk mendapatkan fenomena *droplet* secara

lebih detail. Hasilnya adalah lima daerah berhasil didefinisikan yang terdiri dari tiga *independent regime* dan dua *regime* kombinasi. Ditemukannya perbedaan antara hasil penelitian Bertola (2015) dengan Tran *et al.* (2013) menunjukkan bahwa fenomena *droplet* ini masih perlu dikaji secara mendalam.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mempelajari fenomena dan interaksi antara *droplet* dan permukaan tembaga panas. *Droplet* pertama diluncurkan dari *jet nozzle* sehingga menumbuk permukaan logam. Pada periode tertentu, *droplet* kedua kembali diluncurkan sehingga fenomena kedua *droplet* tersebut dapat diamati. Penggunaan *high speed video camera* yang dikombinasikan dengan *image processing technique* memungkinkan fenomena tersebut dapat dianalisis dengan komprehensif. Informasi yang didapatkan pada penelitian ini sangat bermanfaat untuk pengembangan analisis lebih lanjut pada *internal flow* dan transfer kalor yang terjadi dalam *droplet*. Selain itu, data yang diperoleh juga dapat digunakan sebagai dasar dalam pengembangan model dan verifikasi studi simulasi.

METODE PENELITIAN

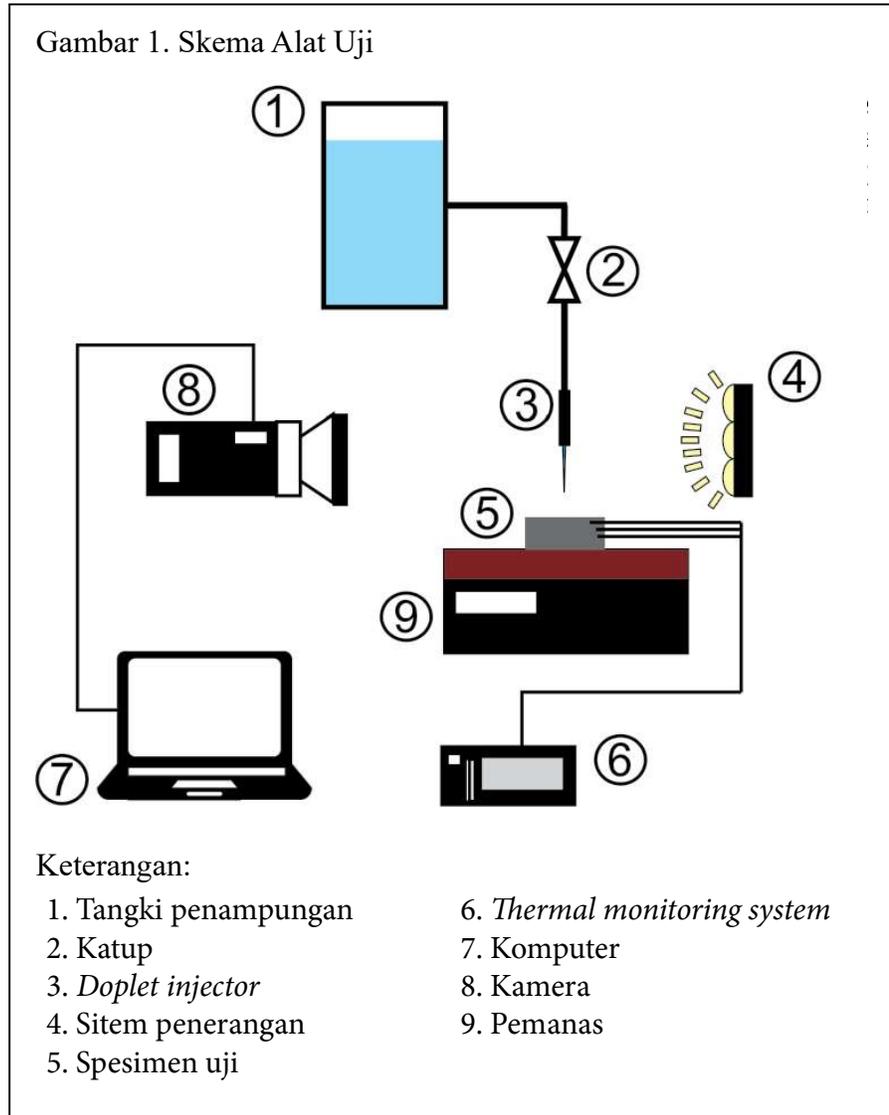
Penelitian ini menggunakan eksperimen yang sama dengan beberapa penelitian sebelumnya (Wibowo, Widyatama, Kamal, Indarto, & Deendarlianto, 2018; Riswanda,

Pranoto, Deendarlianto, Indarto, & Wibowo, 2018). Skema dari peralatan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 1 yang secara umum terbagi menjadi beberapa komponen utama yaitu *droplet generator*, pemanas induksi serta benda uji, dan sistem penerangan.

Sebagai penghasil panas, sebuah pemanas induksi digunakan pada penelitian ini dengan daya yang dihasilkan mencapai 1600 Watt. Tepat di atas pemanas, benda uji dapat dengan mudah diletakkan dan dilepas menyesuaikan kebutuhan penelitian. Pada penelitian ini, spesimen yang akan digunakan adalah tembaga. Spesimen tersebut dilengkapi dengan tiga buah lubang untuk meletakkan termokopel tipe K yang telah terkalibrasi untuk memantau temperatur permukaan spesimen dengan akurat.

Droplet generator yang digunakan pada penelitian ini disusun oleh *droplet injector* dan tangki penyimpanan fluida. Berbagai parameter yang dapat diatur pada alat ini adalah ketinggian posisi *injector*, frekuensi *droplet*, serta ukuran *droplet*. Namun pada penelitian ini, variabel tersebut dibuat konstan dengan fokus penelitian ada pada variasi temperatur. *Injector* diletakkan 50 mm di atas permukaan panas tersebut. Diameter *droplet* adalah 3,12 mm dengan frekuensi 8,5 *droplet* per detik.

Untuk merekam fenomena *droplet* saat menumbuk permukaan aluminium



panas, digunakan *high speed video camera* Phantom MIRO M310. Kamera ini merekam 3200 fps (*frame per second*) pada resolusi tertinggi dan dapat diatur hingga mencapai 10.000 fps pada resolusi yang lebih kecil. Pada penelitian ini, kamera dioperasikan pada 2000fps dan resolusi 1024 x 768 sehingga didapat gambar yang tajam dan dapat menangkap fenomena *droplet* secara komprehensif. Sebagai sumber penerangan,

satu set lampu LED diletakkan 10 cm di belakang pemanas induksi. Sebuah layar berbahan kertas kalkir juga ditambahkan agar dihasilkan pencahayaan yang merata. Hal ini akan mempermudah proses pengolahan citra pada tahapan selanjutnya

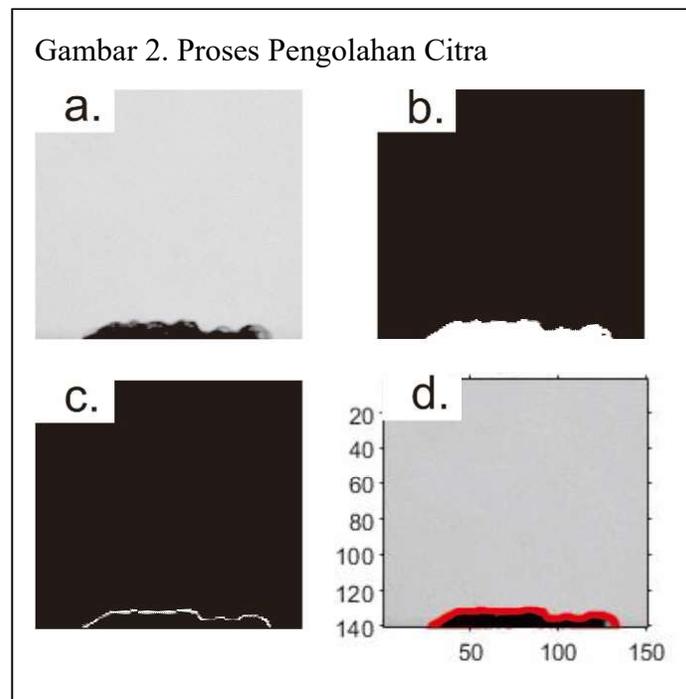
Penelitian ini menggunakan aquades sebagai fluida pendingin. Aquades diletakkan pada tangki *droplet* generator sebelum dijatuhkan dalam bentuk *droplet*. Setelah

permukaan logam sudah mencapai temperatur yang diinginkan, *droplet* dijatuhkan dan fenomena *droplet* ketika menumbuk permukaan panas mulai direkam dalam jangka waktu tertentu. Pada penelitian ini, temperatur benda uji divariasikan antara 110-240°C yang mencakup daerah *nucleate boiling* hingga *film boiling*.

Setelah video dari fenomena *droplet* direkam menggunakan *high speed video camera*, *file* video dipecah menjadi kumpulan citra digital. Proses ini menggunakan *software Phantom Control Camera*. Selanjutnya, citra digital tersebut akan dimanfaatkan sebagai *file* awal dalam pengolahan data dengan metode *image processing* untuk menghasilkan data kuantitatif yang dapat mendukung proses analisis fenomena.

Pada tahapan ini, *software* Matlab terutama *image processing toolbox* digunakan untuk mengolah citra (Gambar 2).

Metode pengolahan citra untuk mendapatkan data kuantitatif pada fenomena *droplet* menumbuk permukaan panas sudah dikembangkan oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti Mitrakusuma *et al.* (2018) dan Wibowo *et al.* (2018). Prinsip utama dari metode ini adalah penentuan batas yang jelas antara benda yang ingin diukur, didefinisikan sebagai *foreground*, dan objek-objek lain yang tidak representatif terhadap fenomena disebut *background*. Tahapan dari proses ini dapat dilihat pada Gambar 2. Secara umum, citra awal yang memiliki format *grayscale* diubah menjadi gambar biner yang berisi gambar hitam-putih. Warna

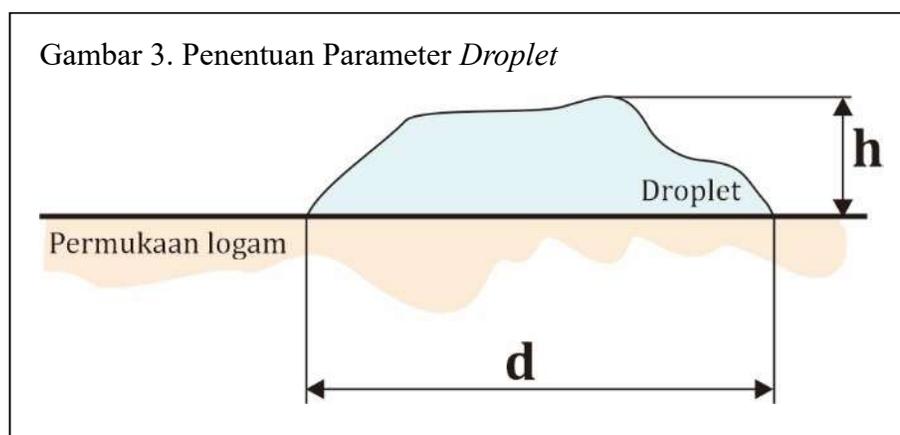


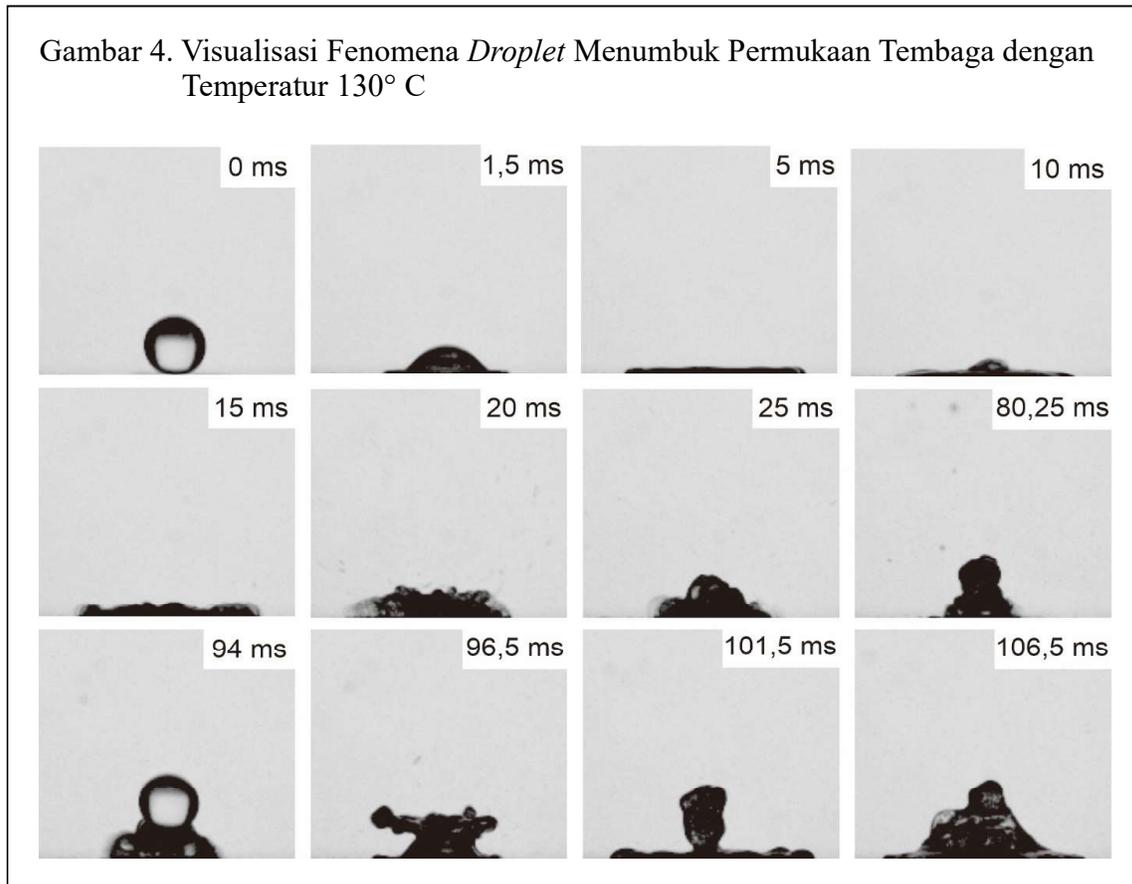
putih mewakili objek *droplet*. Selanjutnya, dari object tersebut dapat dicari garis perimeter yang merupakan garis pada bagian terluar (tepi) *droplet* seperti yang dilihat pada Gambar 2 (c). Pada penelitian ini, *spreading diameter* (d) dan tinggi *droplet* (h) menjadi data utama yang akan dianalisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Data tersebut akan dibandingkan dengan diameter awal *droplet* sehingga menghasilkan *spreading ratio* dan *apex height*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan fenomena *droplet* menumbuk permukaan tembaga pada temperatur 130°C yang diidentifikasi sebagai transisi antara daerah *natural convection boiling* dan *nucleate boiling*. Sesaat setelah *droplet* menumbuk permukaan panas, terjadi proses *spreading* yang diakibatkan perubahan gaya dari posisi aksial menjadi radial. Fenomena ini akan menghasilkan permukaan *droplet* dengan bentuk yang tipis hingga mencapai kondisi

spreading ratio maksimal yang terjadi pada 5 ms. Selanjutnya, terjadi proses *recoil* tidak sempurna secara berulang yang disebabkan oleh proses pendidihan fluida tersebut. Dapat dilihat bahwa selama proses tersebut, terjadi perpindahan panas secara konveksi pada fluida yang mengakibatkan fluktuasi permukaan *droplet* menjadi lebih bergelembung. Selain itu, volume *droplet* secara perlahan juga berkurang karena mulai terinisiasi fenomena *secondary droplet* seperti yang tampak pada waktu 20 ms. Pada 94 ms, terjadi kontak antara *droplet* pertama dan *droplet* kedua yang menghasilkan fenomena *liquid swelling* seperti yang diamati oleh Fujimoto *et al.* (2017). Keberadaan tambahan fluida tersebut memberikan dorongan secara radial sehingga meningkatkan *spreading droplet*. Pengamatan pada hasil visual juga menunjukkan bahwa atomisasi *secondary droplet* dapat terhambat karena datangnya *droplet* yang memiliki temperatur lebih rendah dari *droplet* pertama. Secara umum, keberadaan *droplet* kedua secara





sempurna menumbuk *droplet* pertama dan mampu meningkatkan *wetting area* serta menggantikan sebagian besar volume *droplet* yang sudah hilang selama proses.

Selanjutnya, fenomena yang berbeda dapat ditemukan pada temperatur yang relatif lebih tinggi di mana pada penelitian ini, perilaku *droplet* pada saat menumbuk permukaan dengan temperatur 230°C dijadikan sebagai contoh seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 4. Setelah *droplet* menumbuk permukaan panas, dapat terlihat bahwa proses nukleasi terjadi lebih cepat dibandingkan pada fenomena temperatur rendah. Saat *droplet*

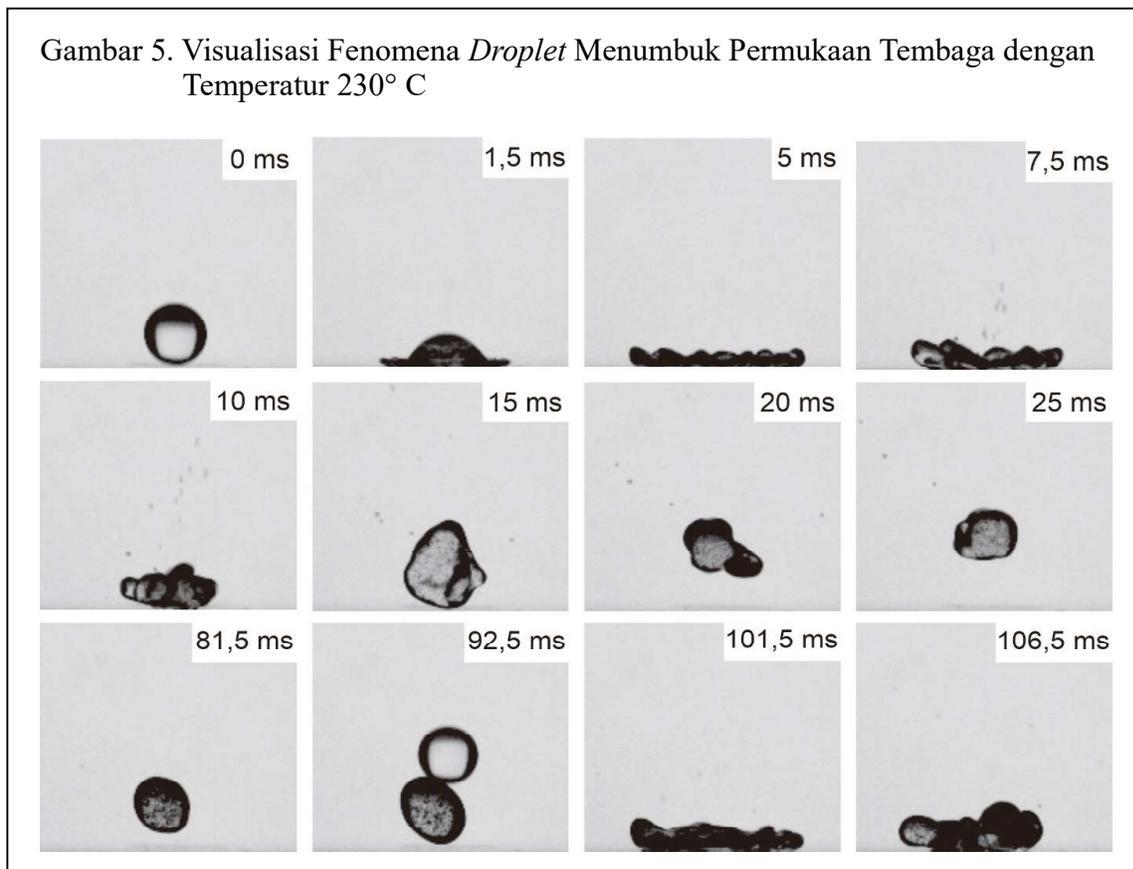
berekspansi mencapai titik *spreading* maksimal, dapat ditemui aliran *internal* dalam *droplet* sehingga mengakibatkan permukaan *droplet* bergelombang. Pada 7,5 ms; terbentuknya *secondary droplet* mulai dominan. Fenomena *bouncing* yang mengakibatkan proses perpindahan panas antara permukaan logam dan fluida terhenti juga diamati. Fenomena *droplet bouncing* ini, seperti yang diamati oleh Bianco, Chevy, Clanet, Lagubeau, dan Quéré (2006) terjadi beberapa kali hingga *second droplet* datang dan menumbuk *first droplet* saat di udara. Bianco *et al.* (2006) menyatakan bahwa proses *rebound* tersebut sangat dipengaruhi

oleh bilangan Weber di mana ketika bilangan Weber cenderung rendah, *elasticity droplet* juga rendah yang menyebabkan kecilnya *energy losses* pada *droplet* sehingga tinggi pantulan *droplet* cenderung sama. Datangnya *droplet* kedua membuat *droplet* akan kembali mempertahankan posisinya di atas permukaan panas dalam periode waktu tertentu sehingga proses *cooling* kembali berjalan.

Paparan sebelumnya mampu menjelaskan fenomena *droplet* secara komprehensif dari proses tumbukan pertama, fenomena *spreading* dan *recoiling*, serta terbentuknya *secondary droplet*. Informasi tersebut perlu didukung dengan data

kuantitatif secara detail. Pada penelitian ini, teknik *image processing* yang digunakan dapat menghitung beberapa parameter penting seperti *spreading diameter* dan *apex height*.

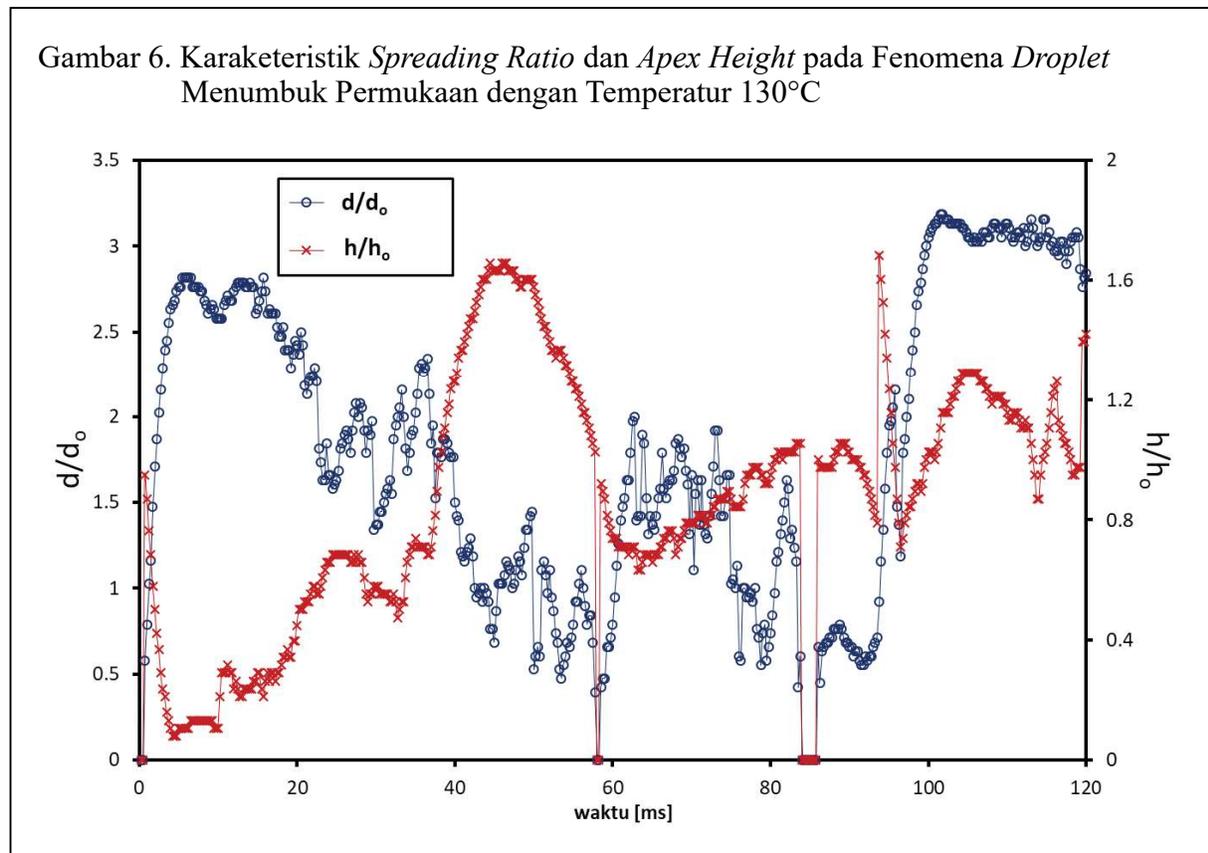
Gambar 5 menunjukkan grafik perubahan *spreading ratio* dan *apex height* pada *droplet* ketika menumbuk permukaan tembaga dengan temperatur permukaan 130° C. Untuk fenomena *spreading ratio*; dapat diamati bahwa setelah *droplet* menumbuk permukaan panas; nilai *spreading ratio* meningkat hingga mencapai titik 2,8 pada 7 ms. Selanjutnya; terjadi fluktuasi nilai dengan rentang 0,5 dan 2 hingga akhirnya



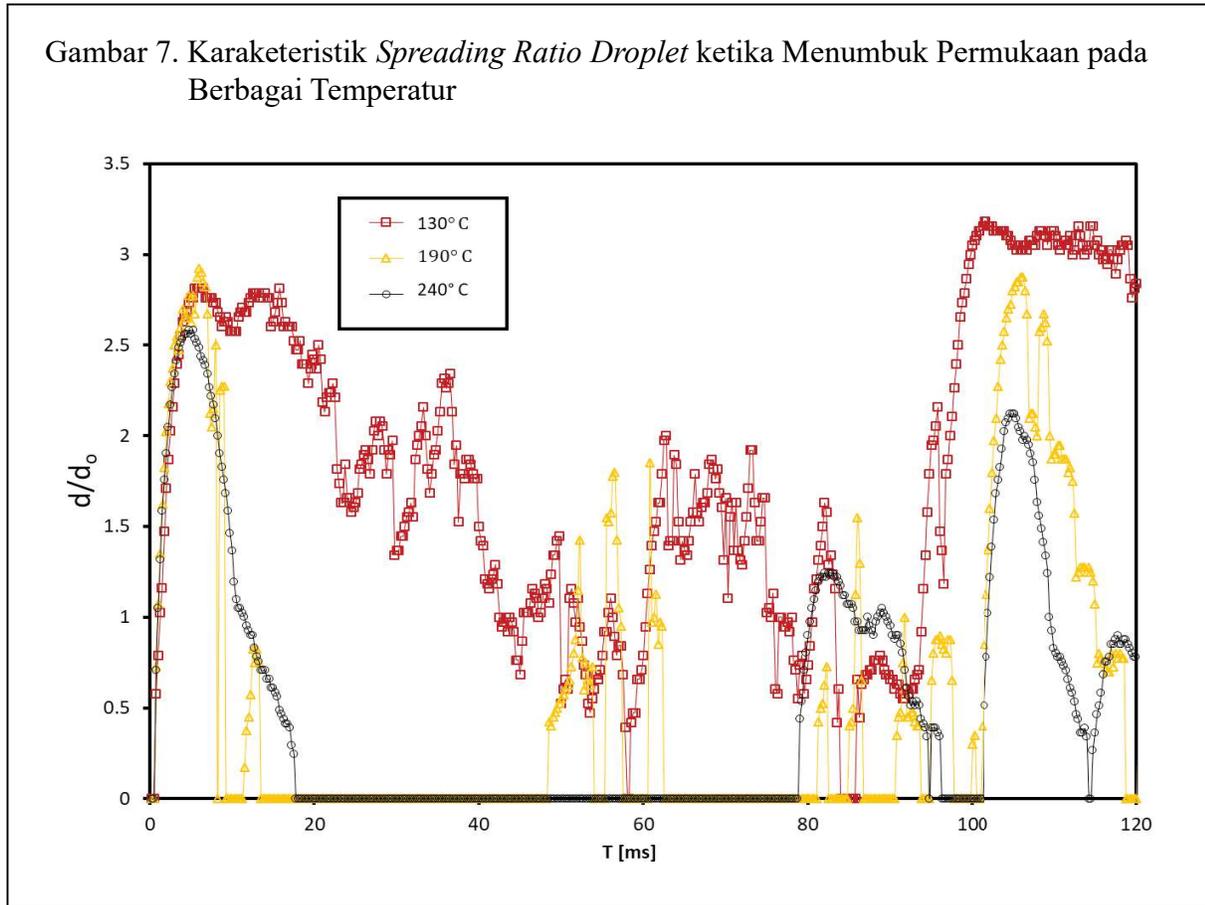
kedatangan *droplet* kedua mengakibatkan peningkatan *spreading ratio* mencapai 3.2. Sedangkan tren fluktuasi nilai *apex height* secara umum merupakan kebalikan dari fenomena *spreading ratio*. Sebagai contoh, ketika *droplet* mencapai nilai *spreading* maksimal pada 7 ms; dapat dicermati bahwa nilai *apex height* mencapai nilai terendah pada titik 0,23. Pada Gambar 6 juga dapat diamati bahwa pada periode tertentu terjadi peristiwa melayang yakni ketika *droplet* tidak menyentuh permukaan panas. Fenomena ini berbeda penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wibowo *et al.* (2018), pada temperatur 110° C, *droplet*

masih menempel sempurna pada permukaan. Daerah transisi ini perlu menjadi perhatian khusus mengingat pada saat tersebut tidak terjadi perpindahan panas.

Pada penelitian ini, juga dapat diamati bahwa perubahan *spreading ratio* juga dipengaruhi oleh temperatur permukaan. Gambar 7 menunjukkan fluktuasi *spreading ratio* pada temperatur 130°C, 190°C, dan 240°C. Pada temperatur 130°C, internal *flow* yang dipicu oleh proses konveksi dalam *droplet* mengakibatkan terjadinya turbulensi aliran. Hal tersebut mendesak *interface droplet* sehingga terjadi perubahan *spreading ratio* secara fluktuatif. Pada



Gambar 7. Karakteristik *Spreading Ratio Droplet* ketika Menumbuk Permukaan pada Berbagai Temperatur

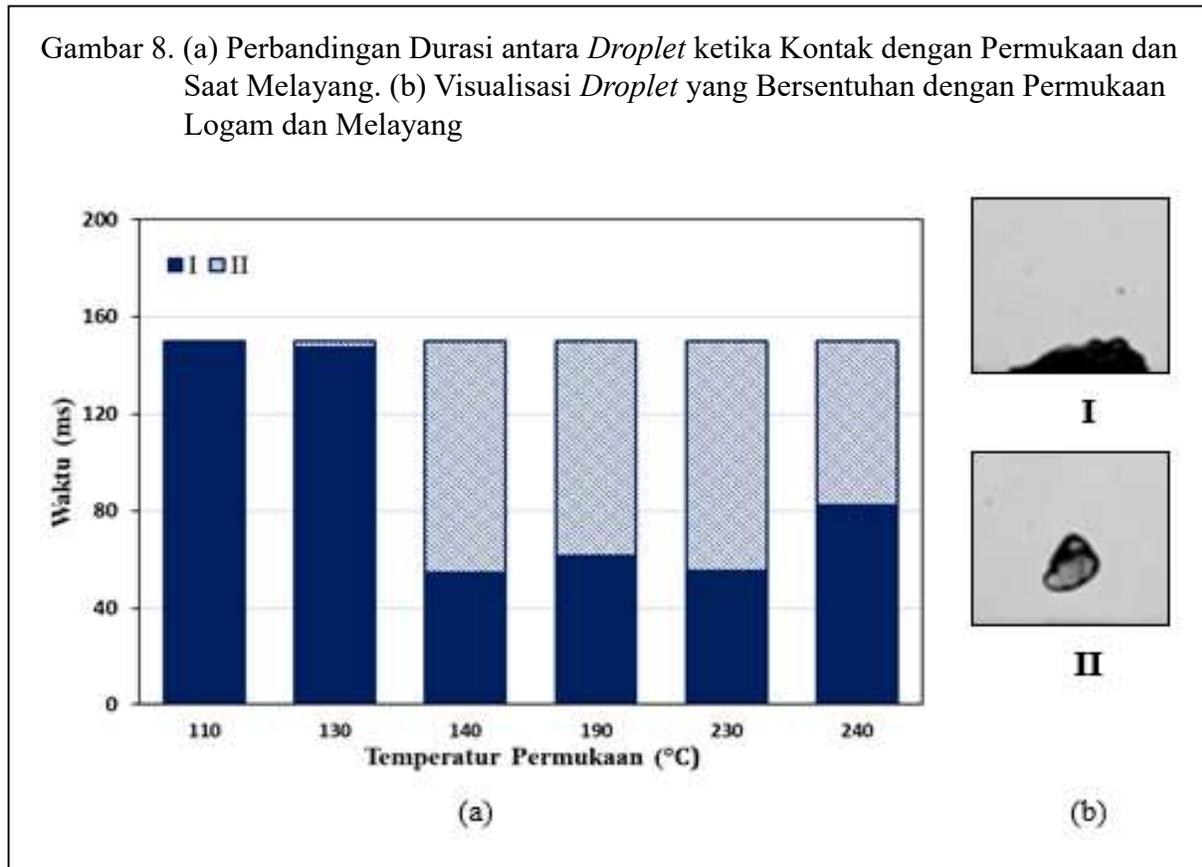


fenomena temperatur tinggi, proses perubahan fasa terjadi sangat cepat pada bagian bawah *droplet* di mana lapisan film tipis terbentuk sehingga perpindahan panas ke badan *droplet* secara keseluruhan terhambat. Fenomena ini terkonfirmasi dari data kuantitatif serta visualisasi yang menunjukkan *interface droplet* cenderung lebih tenang. Selanjutnya proses penguapan yang terjadi pada temperatur tinggi menyebabkan pengurangan volume *droplet* secara signifikan.

Dalam implementasi *spray cooling* pada dunia industri, proses perpindahan panas

yang mengakibatkan penurunan temperatur pada logam terjadi seiring dengan adanya kontak antara fluida dan permukaan logam. Oleh karena itu, *contact time* menjadi hal yang krusial dalam proses ini. Visualisasi terhadap fenomena *droplet* pada Gambar 4 dan 5 didukung dengan data kuantitatif pada Gambar 7 menunjukkan bahwa ditemukan beberapa momen ketika *droplet* melayang dan tidak bersentuhan oleh permukaan logam. Analisis lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 8a yang menunjukkan proporsi waktu *droplet* saat kontak dengan permukaan panas dan ketika melayang.

Gambar 8. (a) Perbandingan Durasi antara *Droplet* ketika Kontak dengan Permukaan dan Saat Melayang. (b) Visualisasi *Droplet* yang Bersentuhan dengan Permukaan Logam dan Melayang

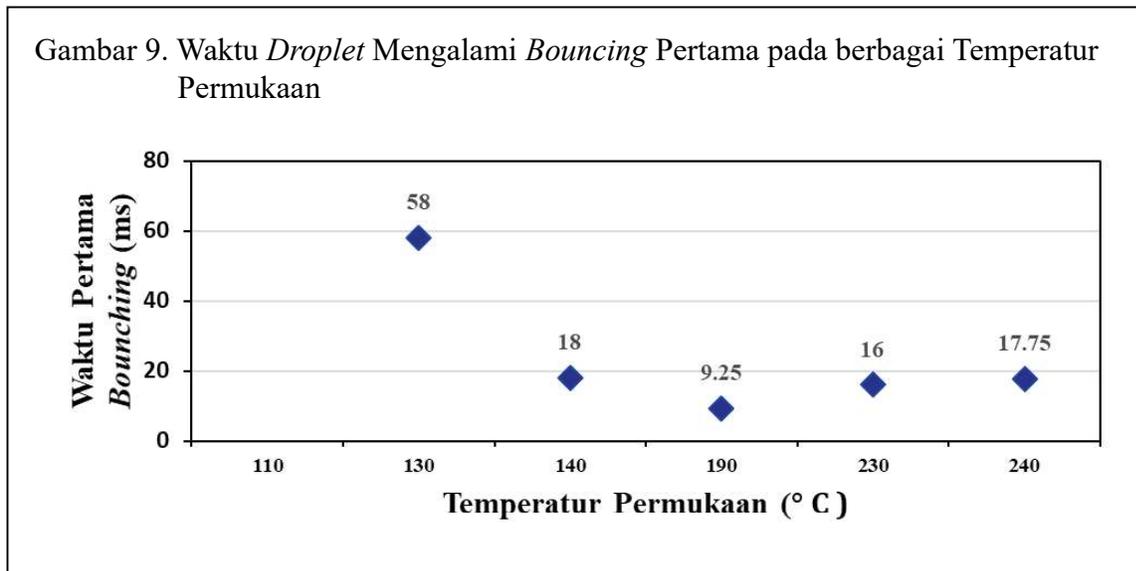


Pada temperatur 110°C, *droplet* masih sepenuhnya menempel pada permukaan logam. Peningkatan temperatur di titik 130°C menginisiasi terjadi fenomena *bouncing* meskipun pada titik ini, presentase *droplet* melayang masih sangat sedikit. Peningkatan signifikan mulai terjadi pada kondisi 140°C pada saat durasi *droplet* dan permukaan logam saling kontak hanya sekitar 55 ms. Fenomena minimnya kontak antara *droplet* dan permukaan logam masih dapat diamati hingga temperatur mencapai 240°C.

Droplet bouncing merupakan peristiwa yang harus dihindari karena mempengaruhi performa pendinginan. Salah satu upaya

mencegahnya adalah dengan menambahkan *droplet* lain sehingga sistem bekerja dalam bentuk *single successive droplet*. Keberadaan *second droplet* akan lebih efektif jika *first droplet* belum mengalami *bouncing* karena peristiwa tersebut dapat memicu pergeseran posisi *droplet*. Hal tersebut menunjukkan pentingnya informasi mengenai waktu ketika *droplet* pertama kali *bouncing* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Pada temperatur tinggi, mulai 140°C, *first droplet* mengalami *bouncing* pada rentang 9-18 ms. Sedangkan pada daerah transisi 130°C, *droplet* mampu tetap kontak dengan permukaan logam selama 58 ms sebelum akhirnya *bouncing*.

Gambar 9. Waktu *Droplet* Mengalami *Bouncing* Pertama pada berbagai Temperatur Permukaan

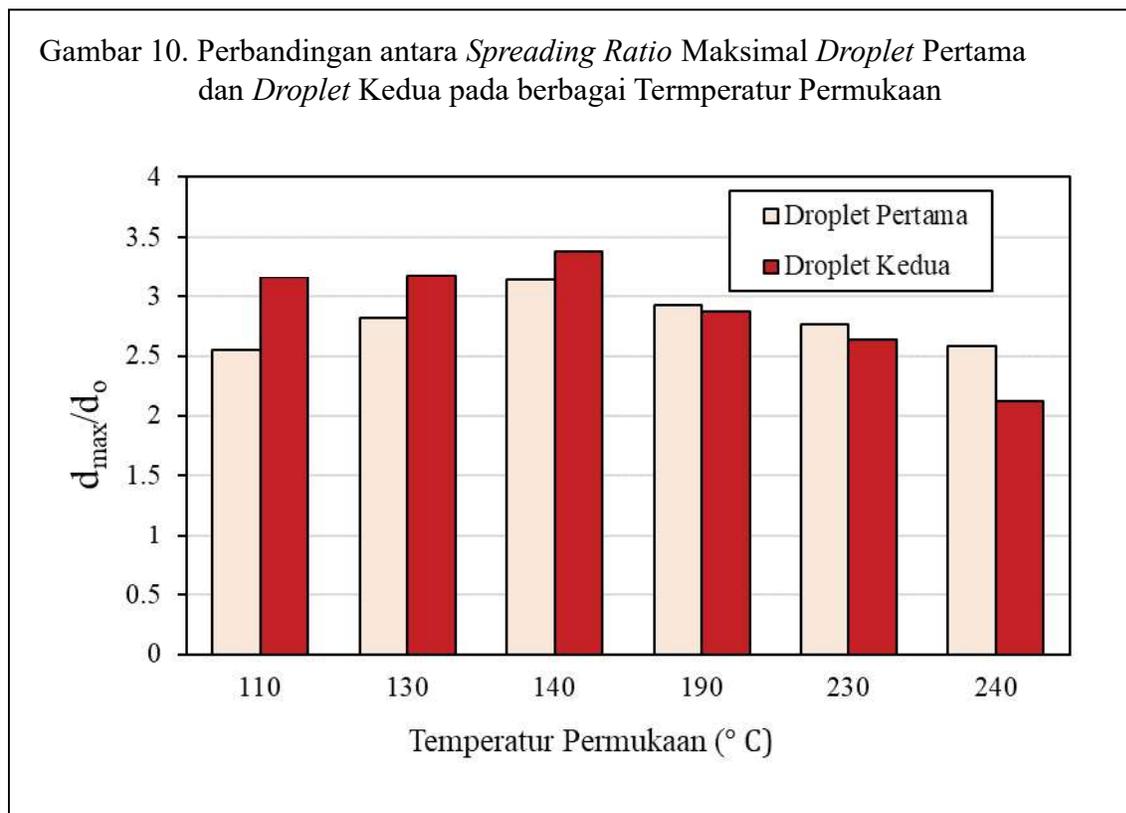


Perubahan karakteristik *droplet* juga diamati oleh Park *et al.* (2014) yang menyimpulkan bahwa pada temperatur di atas 130° C, kalor laten yang memicu evaporasi secara berulang

mendominasi mekanisme perpindahan panas antara *droplet* dan permukaan.

Gambar 10 menunjukkan perbandingan antara *spreading* maksimal pada kasus

Gambar 10. Perbandingan antara *Spreading Ratio* Maksimal *Droplet* Pertama dan *Droplet* Kedua pada berbagai Temperatur Permukaan



droplet pertama dan *droplet* kedua. Pada temperatur 110 - 140° C, kehadiran *droplet* kedua mampu meningkatkan *spreading ratio* maksimal untuk setiap kasus. Pada temperatur lebih dari 190° C, dapat dilihat bahwa justru diamati penurunan *spreading ratio* maksimal. Hal ini disebabkan pada temperatur ini penguapan terjadi dengan sangat cepat sehingga volume *droplet* pertama berkurang secara signifikan. Pada kasus ini, kehadiran *droplet* kedua mampu menggantikan fluida yang hilang sehingga proses perpindahan kalor.

SIMPULAN

Pada penelitian ini, karakteristik *droplet* menumbuk permukaan tembaga panas berhasil diamati secara komprehensif melalui kombinasi visualisasi *high speed video camera* dan *image processing technique*. Pada temperatur rendah, *droplet* cenderung mempertahankan posisi awal kontak dengan perubahan bentuk yang fluktuatif. Pada temperatur tinggi, terjadi fenomena *bouncing* yang mengakibatkan tumbukan antar *droplet* tidak sempurna. *Image processing* yang digunakan mampu menghasilkan data perubahan geometri *droplet* dengan detail. Data yang diperoleh pada penelitian ini dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut terkait fenomena *heat transfer* pada *droplet* dan validasi pengembangan model.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernardin, J. D., Stebbins, C. J., & Mudawar, I. (1997). Mapping of impact and heat transfer regimes of water drops impinging on a polished surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40(2), 247-267. Diunduh dari [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(96\)00119-6](https://doi.org/10.1016/0017-9310(96)00119-6).
- Bertola, V. (2015). An impact regime map for water drops impacting on heated surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 85, 430-437. Diunduh dari <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.084>.
- Biance, A. L., Chevy, F., Clanet, C., Lagubeau, G., & Quéré, D. (2006). On the elasticity of an inertial liquid shock. *Journal of Fluid Mechanics*, 554, 47-66. Diunduh dari <https://doi.org/10.1017/S0022112006009189>.
- Deendarlianto, Takata, Y., Hidaka, S., Indarto, Widyaparaga, A., Kamal, S., ... Kohno, M. (2014). Effect of static contact angle on the *droplet* dynamics during the evaporation of a water droplet on the hot walls. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 71, 691-705. Diunduh dari <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.12.066>.
- Deendarlianto, Takata, Y., Widyatama, A., Majid, A. I., Wiranata, A., Widyaparaga, A., ..., & Indarto (2018). The interfacial dynamics of the micrometric droplet diameters during the impacting onto inclined hot surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126, 39-51. Diunduh dari <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.023>.
- Fujimoto, H., Yoshimoto, S., Takahashi, K., Hama, T., & Takuda, H. (2017). Deformation behavior of two droplets successively impinging obliquely on hot solid surface. *Experimental Thermal*

- and Fluid Science*, 81, 136-146. Diunduh dari <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.10.009>.
- Gradeck, M., Seiler, N., Ruyer, P., & Maillet, D. (2013). Heat transfer for Leidenfrost drops bouncing onto a hot surface. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 47, 14-25. Diunduh dari <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.10.023>.
- Liang, G., Mu, X., Guo, Y., Shen, S., Quan, S., & Zhang, J. (2016). Contact vaporization of an impacting drop on heated surfaces. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 74, 73-80. Diunduh dari <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.11.027>.
- Liang, G., & Mudawar, I. (2017). Review of drop impact on heated walls. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 106, 103-126. Diunduh dari <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.10.031>.
- Mitrakusuma, W. H., Kamal, S., Indarto, Dyan Susila, M., Hermawan, & Deendarlianto. (2017). The dynamics of the water droplet impacting onto hot solid surfaces at medium Weber numbers. *Heat and Mass Transfer/Waerme-Und Stoffuebertragung*, 53(10), 3085-3097. Diunduh dari <https://doi.org/10.1007/s00231-017-2053-0>.
- Park, J. Y., Gardner, A., King, W. P., & Cahill, D. G. (2014). *Droplet* impingement and vapor layer formation on hot hydrophobic surfaces. *Journal of Heat Transfer*, 136(9), 1-8. Diunduh dari <https://doi.org/10.1115/1.4027856>.
- Riswanda, A., Pranoto, I., Deendarlianto, Indarto, & Wibowo, T. 2018. Study on the effect of Weber Number to heat transfer of multiple droplets on hot stainless steel surface. Dalam S. Ma'mun, H. Tamura, & M.R.A. Purnomo (Eds.), *MATEC Web of Conferences*, 154, 01114. Les Ulis Perancis: EDP Sciences. Diunduh dari <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401114>.
- Tran, T., Staat, H. J. J., Susarrey-Arce, A., Foertsch, T. C., Van Houselt, A., Gardeniers, H. J. G. E., ... Sun, C. (2013). *Droplet* impact on superheated micro-structured surfaces. *Soft Matter*, 9(12), 3272-3282. Diunduh dari <https://doi.org/10.1039/c3sm27643k>.
- Wibowo, T., Widyatama, A., Kamal, S., Indarto, & Deendarlianto. (2018). The effect of pressure and frequency on the dynamic behavior and evaporation time of successive water droplets impacting onto hot surface. *MATEC Web of Conferences*, 154, 01107. Diunduh dari <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401107>.

RESPONS EKSPLAN TUNAS KUNYIT SETELAH SITOKININ SECARA IN VITRO

(RESPONSE OF TURMERIC SHOOT EXPLANT AFTER CYTOKININ WITH IN VITRO)

Marhan Nurullia¹, Erni Suminar², dan Anne Nurani²

¹Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

²Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Jatinangor Km. 21 Jatinangor, Sumedang-Jawa Barat 45363

email: ahanmarhan@gmail.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melihat respons eksplan tunas kunyit terhadap pemberian berbagai jenis dan konsentrasi sitokinin secara in vitro. Percobaan ini dilakukan di Laboratorium Kultur Jaringan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran dari bulan Januari sampai April 2018. Hasil percobaan dianalisis dengan *Sample T-Test*. Metode percobaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penanaman eksplan dilakukan di dalam *Laminar Air Flow*. Percobaan terdiri dari 7 perlakuan sebanyak 4 ulangan dan setiap ulangan terdiri dari 4 unit. Pengamatan percobaan ini dilakukan selama 12 MST. Pengamatan utama dilakukan terhadap data-data yang diuji secara statistik yakni persentase eksplan tumbuh tunas, persentase eksplan tumbuh akar, tinggi tunas, jumlah tunas, jumlah akar dan panjang akar. Perlakuan terdiri dari Kontrol; 2,5 mg L⁻¹ BAP; 5 mg L⁻¹ BAP; 0,5 mg L⁻¹ TDZ; 1 mg L⁻¹ TDZ; 0,01 mg L⁻¹ Zeatin; dan 0,1 mg L⁻¹ Zeatin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan 1 mg L⁻¹ TDZ menunjukkan respons yang lebih baik terhadap pertumbuhan eksplan kunyit dengan meningkatkan jumlah tunas eksplan tanaman kunyit daripada yang lainnya.

Kata kunci: *kunyit, sitokinin, in vitro*

Abstract

This study was aimed at determining the response of turmeric shoot explants after the provision of various types and concentrations of cytokinins in vitro. This experiment was conducted at the Tissue Culture Laboratory, Faculty of Agriculture, Padjadjaran University from January to April 2018. The data were analyzed using T-Test. The experimental method used in this research was Completely Randomized Design (CRD). Explant planting was carried out in Laminar Air Flow. The experiment consisted of 7 treatments consisting of 4 replications and each test consisted of 4 units. Observation of this experiment was carried out for 12 MST. The main observations were made on the data that were tested statistically namely the percentage of explant growing shoots, percentage of explant growing roots, shoot height, number of tuns, number of roots and root length. The treatments consisted of Control, 2.5 mg L⁻¹ BAP, 5 mg L⁻¹ BAP, 0.5 mg L⁻¹ TDZ, 1 mg L⁻¹ TDZ, 0.01 mg L⁻¹ Zeatin and 0.1 mg L Zeatin -1. The results show that the treatment of 1 mg L⁻¹ TDZ shows the best response to the growth of turmeric explants by increasing the number of turmeric shoot explants than the others.

Keywords: *turmeric, cytokinins, in vitro*

PENDAHULUAN

Kunyit (*Curcuma domestica Val.*) adalah tanaman rempah dari family *Zingiberaceae* yang merupakan salah satu tanaman obat potensial penghasil kurkumin (Winarsih, Wientarsih, Handharyani, & Almira, 2010). Kandungan kurkumin ini sangat bermanfaat sebagai antikoagulan, menurunkan tekanan darah, obat cacing, obat asma, penambah darah, mengobati sakit perut, penyakit hati, karminatif, stimulan, gatal-gatal, gigitan serangga, diare, dan rematik (Singh, Chandra, Bose, & Luthra, 2002).

Lima tahun terakhir, produksi dan produktivitas rimpang kunyit di Indonesia mengalami fluktuasi (Badan Pusat Statistik, 2017). Siregar, Siregar, dan Putri (2013) menjelaskan bahwa masalah yang sering dihadapi dalam pengembangan tanaman penghasil obat seperti kunyit pada umumnya adalah merupakan tanaman musiman atau tahunan sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan hasilnya. Perbanyak tanaman kunyit yang dilakukan oleh petani saat ini yaitu dengan cara vegetatif menggunakan rimpang dan anakan. Perbanyak tanaman dengan cara ini dapat mengakibatkan rimpang yang dihasilkan pada musim-musim selanjutnya terdapat akumulasi virus ataupun bakteri. Upaya penyediaan bahan tanaman secara masal dalam waktu singkat dengan menggunakan lahan yang sempit dan bebas hama serta

penyakit dapat dilakukan melalui teknik kultur jaringan (Kristina & Syahid, 2012).

Modifikasi media kultur jaringan dengan menambah zat pengatur tumbuh perlu dilakukan untuk menaikkan presentase keberhasilannya. Keberadaan sitokinin dalam media diketahui memberikan pengaruh pada pembentukan dan perkembangan tunas (proliferasi eksplan) pada tumbuhan suku *Zingiberaceae* (Hoesen, 2004). Semakin tinggi konsentrasi sitokinin yang diberikan, jumlah tunas yang terbentuk akan semakin bertambah, namun pembentukan masing-masing tunas dapat terhambat sehingga penentuan konsentrasi yang tepat sangat perlu diperhatikan untuk menghasilkan multiplikasi tunas yang maksimal (Rainiyati & Kristiana, 2009). Berdasarkan uraian di atas, perlu diaplikasikan zat pengatur tumbuh jenis sitokinin seperti BAP, thidiazuron dan zeatin yang memiliki kemampuan untuk memberikan respon terbaik bagi pertumbuhan eskplan tunas kunyit.

METODE PENELITIAN

Percobaan dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan April 2018 di Laboratorium Kultur Jaringan Teknologi Benih, Fakultas Pertanian Universitas Padjajaran, Jatinangor Kabupaten Sumedang. Metode percobaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL). Percobaan terdiri atas 7

perlakuan sebanyak 4 ulangan dan setiap ulangan terdiri dari empat unit. Berikut ini perlakuan jenis dan konsentrasi sitokinin A: Kontrol; B: 2,5 mg L⁻¹ BAP; C: 5 mg L⁻¹ BAP; D: 0,5 mg L⁻¹ TDZ; E: 1 mg L⁻¹ TDZ; F: 0,01 mg L⁻¹ Zeatin; G: 0,1 mg L⁻¹ Zeatin.

Eksplan kunyit yang digunakan merupakan tanaman kunyit koleksi Bogor. Sterilisasi tunas kunyit dimulai dengan membersihkan tunas sambil dicuci di air mengalir, kemudian direndam dengan detergent 10 menit lalu dicuci kembali dengan air mengalir. Langkah selanjutnya yaitu merendam tunas kunyit menggunakan fungisida dan bakterisida yang dimasukkan ke dalam botol dan ditambahkan 100 ml aquadest dan direndam selama 1 jam, dibilas di air mengalir, dibilas kembali dengan aquadest steril sebanyak 3 kali. Langkah selanjutnya direndam dengan alkohol 70% selama 5 menit lalu direndam dengan Clorox 20% ditambah dengan 3 tetes *tween* selama 15 menit kemudian dibilas dengan aquadest steril. Eksplan direndam kembali dengan Clorox 10% selama 10 menit dan dibilas dengan aquadest steril sebanyak 3- 4 kali sampai baunya hilang, setelah itu direndam dengan larutan HgCl 0,1% selama 5 menit dan dibilas dengan aquadest steril 2 kali.

Penanaman eksplan dilakukan di dalam Laminar Air Flow. Eksplan tunas kunyit yang telah disterilisasi ditanam pada media perlakuan dengan menggunakan pinset.

Pada saat memasukkan eksplan, mulut botol terlebih dahulu disterilisasi dengan memanaskan mulut botol di atas api bunsen, kemudian eksplan siap ditanam pada media. Eksplan yang telah ditanam pada media perlakuan, diinkubasikan di dalam ruang kultur sesuai dengan tata letak percobaan.

Pengamatan percobaan ini dilakukan selama 12 MST, pengamatan terdiri atas pengamatan utama dan pengamatan penunjang. Pengamatan utama dilakukan terhadap data-data yang diuji secara statistik seperti persentase eksplan tumbuh tunas, persentase eksplan tumbuh akar, tinggi tunas, jumlah tuns, jumlah akar dan panjang akar. Pengamat penunjang dilakukan untuk memberikan informasi mengenai keadaan umum lingkungan pertumbuhan dan perkembangan eksplan seperti eksplan terkontaminasi dan eksplan mati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontaminasi mikroba pada kultur jaringan tanaman merupakan masalah yang umum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kontaminasi terdapat disetiap perlakuan. Persentase kontaminasi tertinggi yaitu pada perlakuan A dan perlakuan C yakni sebesar 18,75% sedangkan kontaminasi terendah terdapat pada perlakuan B, F, dan G (6,25%). Kontaminasi pada eksplan biasanya disebabkan manusia, lingkungan laboratorium atau dari tanaman kunyit itu

sendiri (Mei, 2012). Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kontaminasi pada saat eksplan kunyit dikulturkan, yaitu rimpang kunyit berada di dalam tanah dan bersentuhan langsung dengan mikroorganisme tanah, termasuk bakteri, dan jamur (de Souza Ferrari *et al.*, 2016). Oratmangun, Pandiangan, & Kandou (2017) menyatakan bahwa mikroorganisme akan menyerang eksplan melalui luka-luka akibat pemotongan dan penanganan waktu sterilisasi. Jaringan eksplan yang terkontaminasi oleh jamur ditunjukkan dengan adanya hifa seperti benang berwarna putih samapi kelabu hitam (Susilowati & Listyawati, 2001). Kontaminasi yang disebabkan oleh bakteri, menunjukkan ciri-ciri terbentuknya lapisan lendir berwarna putih dan lendir berwarna putih kecoklatan di bagian permukaan media yang terkontaminasi (Shofiyani & Damajanti, 2017).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kematian eksplan terjadi pada setiap perlakuan, persentase eksplan mati tertinggi terdapat pada perlakuan A (kontrol) dan F (0,01 mg L⁻¹ Zeatin) yaitu sebesar 25%, sedangkan eksplan mati terendah ada pada perlakuan C (5 mg L⁻¹ BAP) sebesar 6%. Kematian eksplan tidak hanya dipengaruhi oleh mikroorganisme saja, dapat juga dipengaruhi oleh adanya senyawa fenol yang dikeluarkan oleh eksplan dan menyebabkan eksplan menjadi coklat (*browning*). Liza-

wati (2012) mengatakan bahwa peristiwa pencoklatan pada eksplan terjadi akibat adanya metabolisme senyawa fenol yang bersifat toksik dan dapat menghambat pertumbuhan atau bahkan menyebabkan kematian jaringan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hampir keseluruhan perlakuan pada penelitian ini menghasilkan tunas, terkecuali perlakuan A (kontrol) sama sekali tidak menghasilkan tunas baru. Sementara itu, perlakuan D (0,5 mg L⁻¹ TDZ) menghasilkan eksplan tumbuh tunas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan penambahan sitokinin pada media mampu merangsang pembentukan tunas eksplan kunyit. Hamirah, Sani, Boyce, & Sim (2010) yang menyatakan bahwa di antara jenis sitokinin lain seperti BAP dan 2-iP, TDZ mampu mendorong pembentukan tunas jahe merah lebih tinggi bahkan pada konsentrasi yang jauh lebih rendah sekalipun. TDZ dikenal lebih aktif daripada zeatin untuk menstimulasi pertumbuhan eksplan ketika ditambahkan pada media pada konsentrasi yang rendah (Sajid & Aftab, 2009).

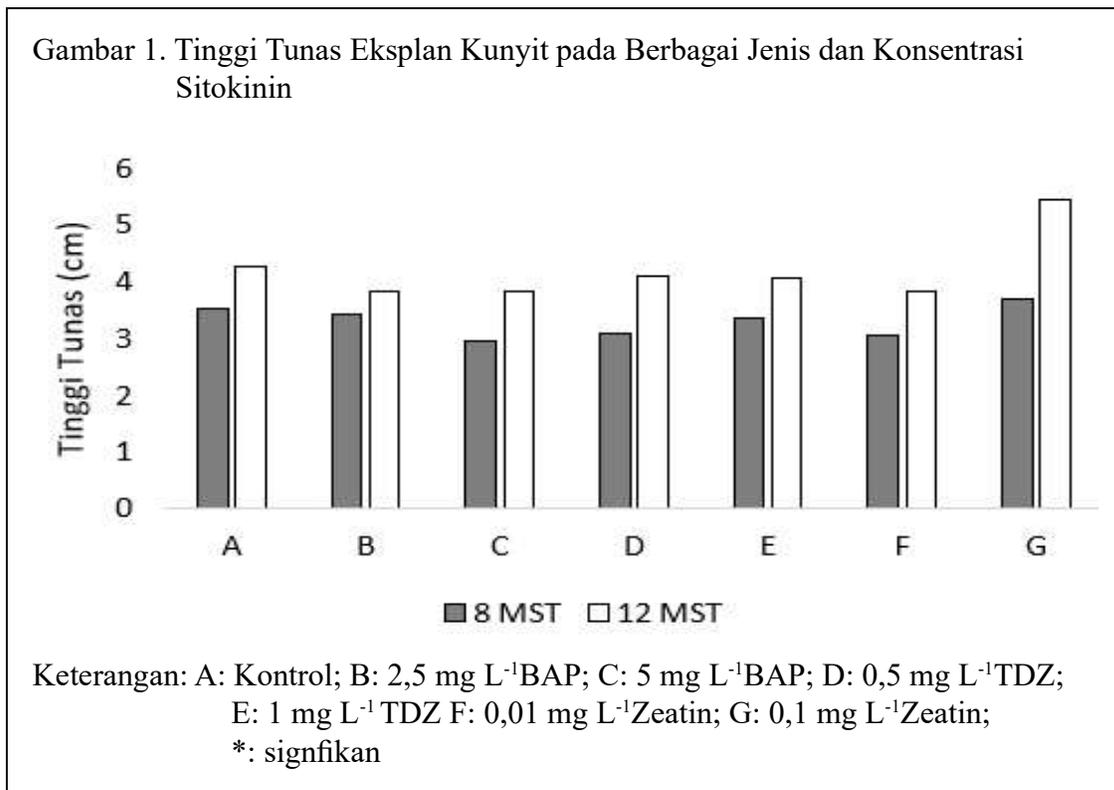
Perlakuan kontrol memberikan persentase eksplan tumbuh akar tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya yaitu sebesar 55,6% dan persentase eksplan terendah ada pada perlakuan E (TDZ 1 mg L⁻¹) sebesar 9,09%. Efektivitas zat

pengatur tumbuh auksin maupun sitoknin eksogen bergantung pada konsentrasi hormon endogen dalam jaringan tanaman. Kebanyakan hormon endogen di tanaman berada pada jaringan meristem yaitu jaringan yang aktif tumbuh seperti ujung-ujung tunas dan akar (Indah & Ermavitalini, 2013), diduga hormon endogen eskplan yang digunakan pada penelitian ini tidak mencukupi untuk pembentukan akar.

Pengamatan tinggi tunas eksplan kunyit dilakukan dengan mengukur tinggi eksplan dari pangkal batang sampai tunas tertinggi. Gambar 1 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada tiap perlakuan terhadap tinggi tunas eksplan kunyit. Perlakuan G ($0,01 \text{ mg L}^{-1}$

zeatin) pada 12 MST menunjukkan tinggi tunas yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Konsentrasi sitokinin yang tinggi pada media dapat menekan pemanjangan tunas pada eksplan kunyit (Das, Kesari, & Rangan, 2010). Rahimi, Naderi, Ghaemaghani, Kalatejari, dan Farham (2013) menjelaskan bahwa penurunan konsentrasi zeatin dari $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ke $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ secara signifikan menurunkan jumlah proliferasi tunas, meskipun demikian kehadiran zeatin dalam media mampu meningkatkan pemanjangan tunas Sutsuki Azalea.

Media yang tidak diberikan zat pengatur tumbuh sitokinin diketahui menghasilkan panjang tunas yang maksimum pada kultur *in vitro peach* (Arab, Yadollahi, Shojaeiyan,

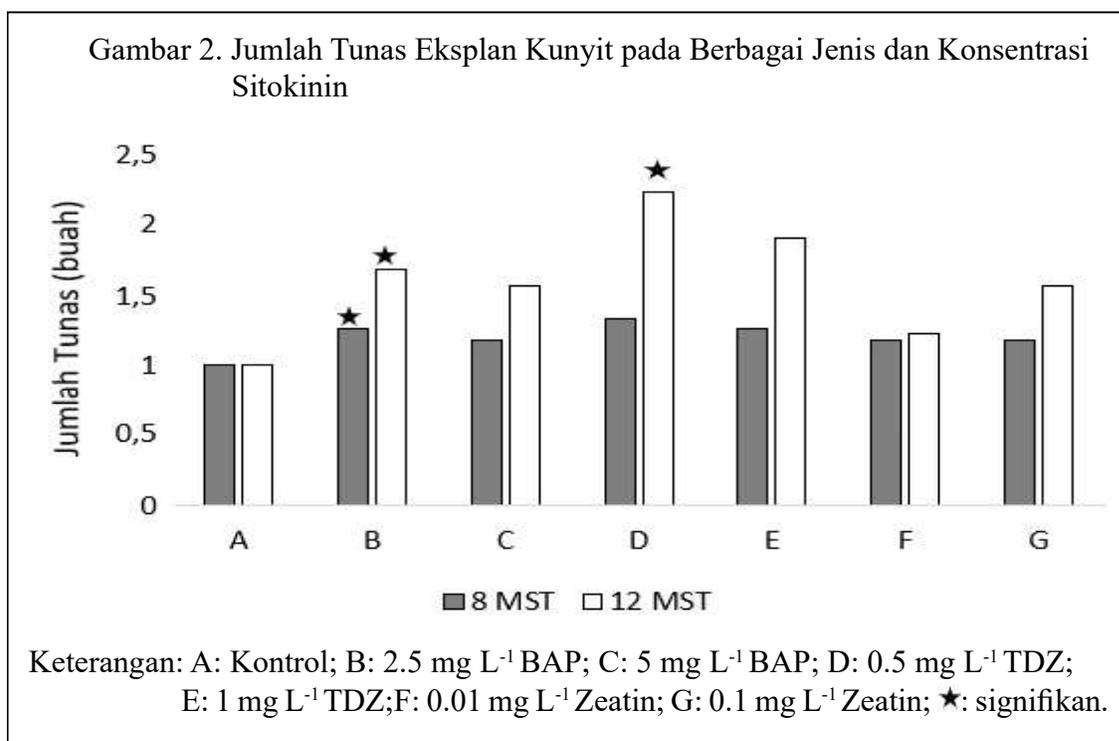


Shokri, & Ghojah, 2014). Hal ini dapat dijelaskan dengan fakta bahwa media yang mengandung sitokinin menghasilkan lebih banyak tunas, nutrisi yang ada dalam media lebih banyak digunakan sebagai *sink* dan sumber nutrisi untuk pemanjangan tunas menjadi berkurang. Media yang mengandung TDZ menghambat pemanjangan tunas pada eksplan. TDZ biasanya digunakan untuk menstimulasi proliferasi tunas dan menghambat pemanjangan tunas. Selain itu, pemanjangan tunas yang terhambat oleh TDZ karena tingginya aktivitas sitokinin (Rahimi *et al.*, 2013).

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2, jumlah tunas yang dihasilkan tiap perlakuan memberikan respon yang berbeda-beda. Perlakuan B (2,5

mg L⁻¹ BAP) pada minggu ke-4, 8, dan D (0,5 mg L⁻¹ TDZ) pada minggu ke-12 setelah tanam mampu menaikkan jumlah tunas eksplan kunyit dibandingkan kontrol. Rata-rata jumlah tunas pada akhir pengamatan perlakuan B (2,5 mgL⁻¹ BAP) yaitu 1,6 cm dan perlakuan D (0,5 mg L⁻¹ TDZ) yaitu 2,22 cm. Dapat dilihat juga bahwa jumlah tunas eksplan kunyit pada perlakuan A (Kontrol) tidak mengalami peningkatan dibandingkan perlakuan lainnya pada 4, 8, dan 12 MST.

Beberapa peneliti menjelaskan bahwa thidiazuron merupakan sitokinin yang baik untuk menginduksi regenerasi tunas, bahkan diketahui aktivitas biologinya lebih tinggi daripada sitokinin jenis lain (Rahayu & Adil, 2012). Casanova, Valdés, Fernández, Moysset, dan Trillas (2004) menjelaskan

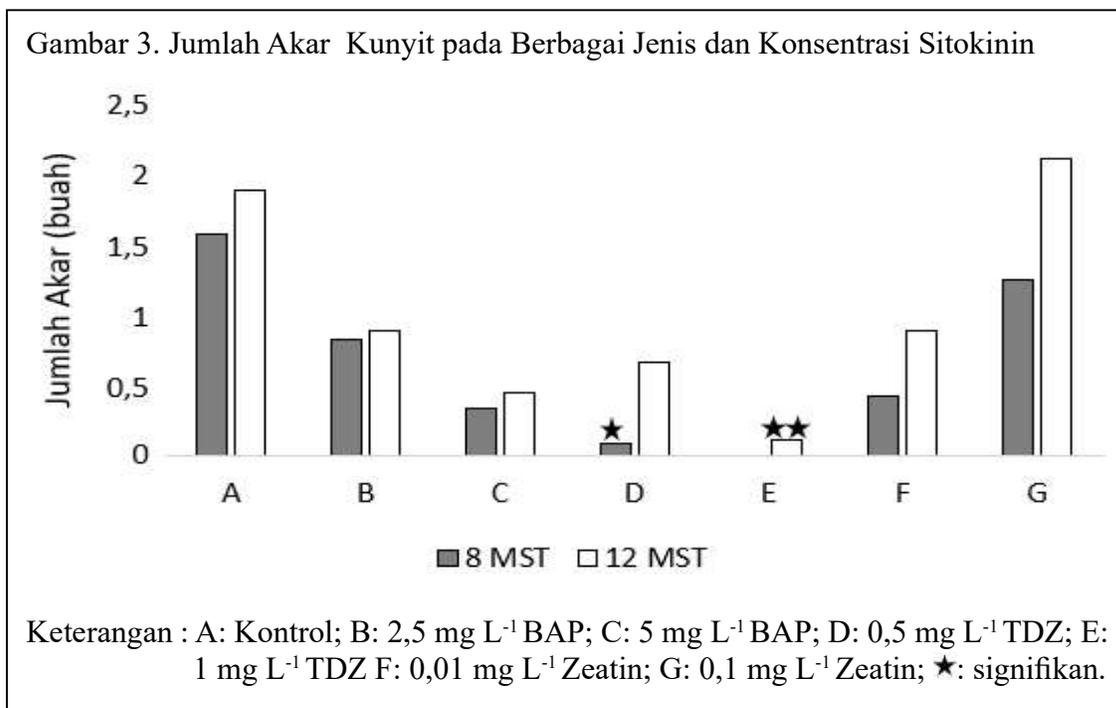


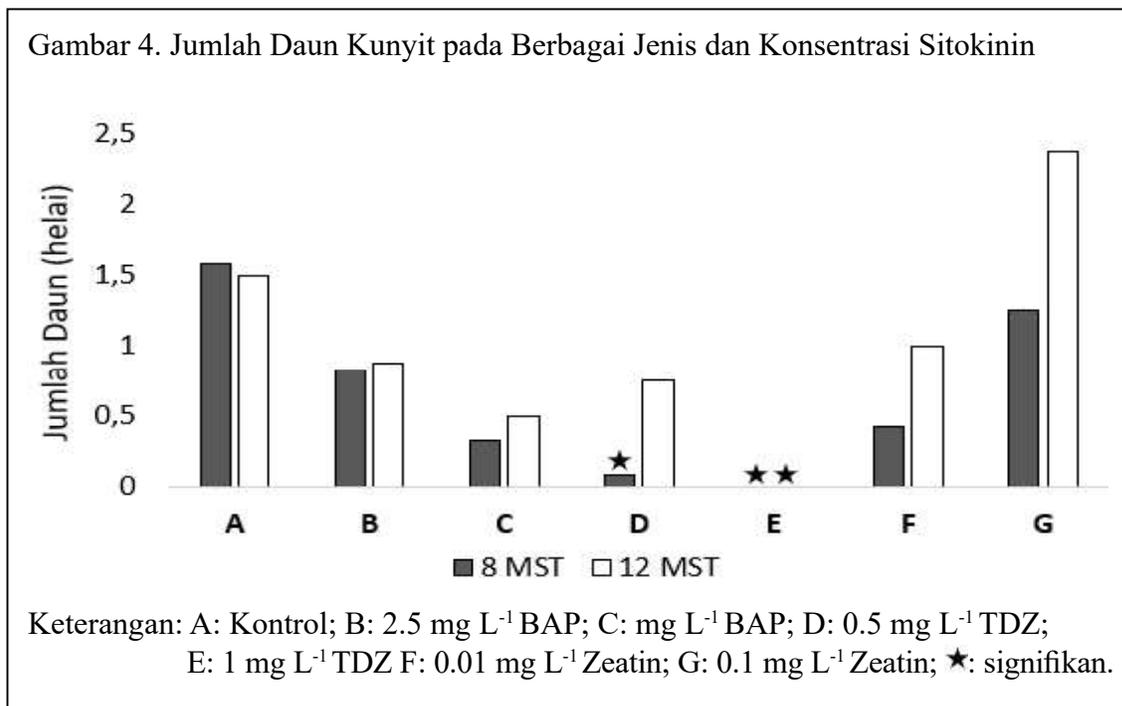
bahwa konsentrasi TDZ pada hormon endogen yang rendah ($0,0-0,005 \text{ mgL}^{-1}$) dapat menginduksi zeatin ribosa, sementara konsentrasi TDZ yang tinggi ($0,5 \text{ mgL}^{-1}$) berhubungan dengan isopentenil adenine (iP) yang mengakibatkan pembelahan sel yang cepat dan menstimulasi organogenesis tunas (Guo, Abbasi, Zeb, Xu, & Wei, 2011).

Pembentukan akar pada media MS dan penambahan zeatin pada media lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Gambar 3 menunjukkan keseluruhan perlakuan tidak memberikan hasil yang signifikan terkecuali perlakuan D dan E signifikan menurunkan jumlah akar bila dibandingkan perlakuan kontrol. Perlakuan E (1 mg L^{-1} TDZ) pada saat 8 dan 12 MST menunjukkan hasil terendah yaitu 0 dan 0,11 buah.

Penambahan zeatin pada eksplan diduga dapat mensintesis auksin pada jaringan tanaman. Jones *et al.* (2012) menjelaskan bahwa peran sitokinin dalam pembentukan akar yaitu sitokinin mampu menginduksi biosintesis auksin dan meningkatkan kadar auksin pada jaringan muda yang sedang berkembang seperti pada akar dan tunas (Jones *et al.*, 2010). Pembentukan akar pada media yang mengandung thidiazuron tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap pembentukan akar. Hal tersebut dikarenakan selain mempengaruhi jumlah dan panjang akar, TDZ juga menghambat pembentukan akar (Mutui, Mibus, & Serek, 2005).

Gambar 4 menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan menurunkan jumlah daun pada perlakuan D ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ TDZ)





pada minggu ke-8, dan perlakuan E (1 mg L⁻¹ TDZ) pada minggu ke-8 dan 12. Jumlah daun tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan G (0,1 mg L⁻¹ Zeatin), sedangkan jumlah daun terendah ada pada perlakuan E (1 mg L⁻¹ TDZ). Hal tersebut diduga karena rendahnya persentase eksplan berakar pada perlakuan E. Sebaliknya, persentase berakar tertinggi pada perlakuan G mempengaruhi terbentuknya daun pada tanaman kunyit.

Akar dapat mensintesis sitokinin sehingga kandungan sitokinin endogen menjadi meningkat. Variasi jumlah daun dalam penelitian ini dimungkinkan karena adanya hormon endogen yang kadarnya tidak persis sama pada setiap eksplan sehingga responnya terhadap penambahan zat pengatur tumbuh juga bervariasi. Komposisi

zat pengatur tumbuh dalam suatu media pertumbuhan sangat mempengaruhi fisiologi, bentuk, metabolisme, dan sintesis hormon endogen tanaman jahe (Zheng, Liu, Ma, & Xu, 2008). Hoesen (2004) menjelaskan hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan TDZ > 0,1 mg L⁻¹ dapat meningkatkan jumlah rata-rata tunas jahe yang banyak, tetapi menurunkan pembentukan daun. Penambahan zeatin pada media dapat mendorong meningkatnya jumlah daun pisang pada eksplan (Kasutjiani, Khumaida, & Efendi, 2010). Selain itu, adanya perbedaan fase pertumbuhan, kondisi fisiologis, kemampuan tanaman dalam mengabsorpsi hormon berpengaruh terhadap respon pertumbuhan tanaman terutama daun (Untari & Puspaningtyas, 2006).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini terdapat pengaruh yang berbeda-beda pada berbagai jenis dan konsentrasi sitokinin terhadap pertumbuhan eksplan tunas kunyit. Perlakuan D (1mg L⁻¹ TDZ) menunjukkan respon yang lebih baik terhadap pertumbuhan eksplan kunyit dengan meningkatkan jumlah tunas eksplan tanaman kunyit.

Saran

Pemberian zat pengatur tumbuh berupa TDZ sebanyak 1 mg L⁻¹ baik digunakan jika dimaksudkan untuk multiplikasi tunas kunyit.

DAFTAR PUSTAKA

- Arab, M. M., Yadollahi, A., Shojaeiyan, A., Shokri, S., & Ghoghah, S. M. (2014). Effects of nutrient media, different cytokinin types and their concentrations on in vitro multiplication of G× N15 (hybrid of almond× peach) vegetative rootstock. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 12(2), 81-87.
- Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jendral. (2017). *Produksi kunyit menurut provinsi, tahun 2012-2016*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Casanova, E., Valdés, A. E., Fernández, B., Moysset, L., & Trillas, M. I. (2004). Levels and immunolocalization of endogenous cytokinins in thidiazuron-induced shoot organogenesis in carnation. *Journal of Plant Physiology*, 161(1), 95-104.
- Das, A., Kesari, V., & Rangan, L. (2010). Plant regeneration in curcuma species and assessment of genetic stability of regenerated plants. *Biologia Plantarum*, 54(3), 423-429.
- de Souza Ferrari, M. P., Antoniazzi, D., Nascimento, A. B., Franz, L. F., Bezerra, C. S., & Magalhães, H. E. M. (2016). Evaluation of new protocols to *Curcuma longa* micropropagation: a medicinal and ornamental specie. *Journal of Medicinal Plants Research*, 10(25), 367-376.
- Guo, B., Abbasi, B. H., Zeb, A., Xu, L. L., & Wei, Y. H. (2011). Thidiazuron: A multi-dimensional plant growth regulator. *African Journal of Biotechnology*, 10(45), 8984-9000.
- Hamirah, M. N., H. B. Sani., P. C. Boyce and S.L Sim. (2010). Micropropagation of red ginger (*Zingiber montanum* Koenig), a medicinal plant. *AsPac J. Mol. Biol. Biotechnol*, 18(1), 127-130.
- Hoesen, D. S. H. (2004). Kultur in vitro eksplan rimpang zingiber zerumbet van aromaticum val. *Berita Biologi*, 7(3), 117-125.
- Indah, P. N., & Ermavitalini, D. (2013). Induksi kalus daun nyamplung (*Calophyllum inophyllum* Linn.) pada beberapa kombinasi konsentrasi 6-benzylaminopurine (BAP) dan 2, 4-bichlorophenoxyacetic acid (2, 4-D). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(1), E1-E6.
- Jones, B., Gunnerås, S. A., Petersson, S. V., Tarkowski, P., Graham, N., May, S., ... & Ljung, K. (2010). Cytokinin regulation of auxin synthesis in *Arabidopsis* involves a homeostatic feedback loop regulated via auxin and cytokinin signal transduction. *The Plant Cell*, 22(9), 2956-2969.
- Kasutjjaningati, R. P., Khumaida, N., & Efendi, D. (2010). Kemampuan pecah tunas dan kemampuan berbiak mother plant pisang Rajabulu (AAB) dan pisang Tanduk (AAB) dalam medium inisiasi in vitro. *Agriplus*, 20, 39-46.

- Kristina, N. N., & Syahid, S. F. (2012). Pengaruh air kelapa terhadap multiplikasi tunas in vitro, produksi rimpang, dan kandungan xanthorrhizol temulawak di lapangan. *Jurnal Littri*, 18(3), 125-134.
- Lizawati. (2012). Induksi kalus embriogenik dari eksplan tunas apikal tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) dengan penggunaan 2,4-D dan TDZ. *Menara Perkebunan*, 1(2), 75-87.
- Mei, F. Y. (2012). *In vitro regeneration of kunyit hitam (curcuma caesia roxb.)* (Tesis tidak diterbitkan). Faculty of Resource Science & Technology, Malaysia.
- Mutui, T., Mibus, H., & Serek, M. (2005). Effects of thidiazuron, ethylene, abscisic acid and dark storage on leaf yellowing and rooting of Pelargonium cuttings. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(5), 543-550.
- Oratmangun, K. M., Pandiangan, D., & Kandou, F. E. (2017). Deskripsi Jenis-Jenis Kontaminan Dari Kultur Kalus *Catharanthus roseus* (L.) G. Donnaman. *Jurnal MIPA*, 6(1), 47-52.
- Rahayu, S., & Adil, W. H. (2012). The effect of BAP and Thidiazuron on in vitro growth of java turmeric (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb). *Plant Science*, 7(10), 820-824.
- Rahimi, S., Naderi, R., Ghaemaghani, S. A., Kalatejari, S., & Farham, B. (2013). Study on effects of different Plant Growth Regulators types in shoot regeneration and node formation of Sutsuki Azalea (*Rhododendron indicum*): A commercially important bonsai. *Procedia Engineering*, 59, 240-246.
- Rainiyati, L., & Kristiana, M. (2009). Peranan IAA dan BAP terhadap perkembangan nodul pisang (*Musa AAB*) raja nangka secara in vitro. *Jurnal Agronomi*, 13(1), 51-57.
- Sajid, Z. A., & Aftab, F. (2009). Effect of thidiazuron (TDZ) on in vitro micro-propagation of solanum tuberosum L. cvx desire and cardinal. *Pak. J. Bot.*, 41(4), 1811-1815.
- Shofiyani, A., & Damajanti, N. (2017). Pengembangan metode sterilisasi pada berbagai eksplan guna meningkatkan keberhasilan kultur kalus kencur (*Kaemferia galangal* L). *Agritech*, 17(1), 55-64.
- Singh, R., Chandra, R., Bose, M., & Luthra, P. M. (2002). Antibacterial activity of curcuma longa rhizome extract on pathogenic bacteria. *Current Science*, 83(6), 737-740.
- Siregar, L. H., Siregar, L. A. M., & Putri, L. A. P. (2013). Pengaruh α -benzil amino purina dan α -asam asetat naftalena terhadap pertumbuhan akar boesenbergia flava secara in-vitro. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 1(3), 511-522.
- Susilowati, A., & Listyawati, S. (2001). Keanekaragaman jenis mikroorganisme sumber kontaminasi kultur in vitro di Sub Lab Biologi Laboratorium MIPA Pusat UNS. *Biodiversitas*, 2(1), 110-114.
- Untari, R., & Puspitaningtyas, D. M. (2006). The effect of some organic compounds and NAA application on the in vitro growth of the black orchid (*Coelogyne pandurata* Lindl.). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 7(4), 344-348.
- Winarsih, W., Wientarsih, I., Handharyani, E., & Almira, R. M. (2010). Evaluasi aktivitas fraksi hexan rimpang kunyit (*Curcuma longa*) dalam persembuhan luka pada mencit. *Jurnal Hemera Zoa*, 1(2), 37-44.
- Zheng, Y., Liu, Y., Ma, M., & Xu, K. (2008). Increasing in vitro microrhizome production of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(4), 513-519.

INDEKS SUBJEK

Jurnal Penelitian Saintek Volume 24 Nomor 1 dan 2

A

abu vulkanik 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63
air kelapa 97, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107
Andisol 55, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127
apex height 129, 134, 136, 137
auksin 39, 41, 44
Azotobacter sp. 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107

B

bahan aditif 97, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106
batang benalu 13, 15, 19
batuan fosfat 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63
biomekanika 32, 37, 38
biopestisida 21

D

dedak 97, 99, 100, 102, 103
Dendrothoe falcata 13

E

eksplan kunyit 1, 5, 7, 8

F

feromon 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29
fisiologi 32
fitoremediasi 88, 89, 95
flavonoid 13, 17, 18, 19, 20

H

hawar daun bakteri 21, 22
heliks gorlov 108, 109, 110, 111, 118, 119
hidrogel 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54
hidrokarbon 88, 89, 91, 92, 93, 94, 95

I

IES VE 2018 74, 76, 82

inokulan 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95
in vitro 1, 2, 10, 11, 12, 143, 147, 151, 152

J

jumlah sudu 108, 110, 111, 112, 114, 115, 117, 118, 119, 120

K

kedelai 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107
kinerja turbin air 108, 110, 119, 120
kunyit 39, 40, 41, 43, 44, 45, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152

M

manual material handling 32, 38
Melia azedarach 13, 14, 15
molase 97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106
murashige 1, 39
musculoskeletal disorder 32

P

padi 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30
partikel mikro 121, 124, 126, 127
Pediculus kapitalis 65
penggerek batang 21, 22, 23, 26, 27, 29
pH 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128
prestasi belajar 65, 66, 67, 72, 73

R

rami 88, 90, 92, 93, 94, 95, 96
retensi P 121, 122, 124, 125, 127, 128
RMSE 74, 77

S

sitokinin 39, 41, 43, 44, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151
skoog 1, 39
spreading ratio 129, 134, 136, 137, 141
status anemia 65, 67, 72, 73

successive droplets 129

T

tembaga 129, 131, 134, 136, 141

terak baja 121, 122, 123, 124, 125, 126,
127, 128

termal ruang 74, 81, 82, 87

tipe bukaan 74, 86, 87

W

waktu inkubasi 46, 48, 49, 51, 52, 53

Z

Zea mays Saccharata 46, 53

INDEKS PENGARANG

Jurnal Penelitian Saintek Volume 24 Nomor 1 dan 2

A

Adiyanto, Okka 32
Alfani, Yunia Vella 97
Arifin, Mahfud 55
Atun, Sri 13
Azizah, Nur 55

D

Damayani, Maya 55
Deendarlianto 129
Devnita, Rina 121

F

Fitriatin, Betty Natalie 88

I

Indriani, Mita 1

J

Joy, Benny 121

K

Kamal, Samsul 129
Karnowo 108
Khikmah, Nur 65
Kusumawanto, Arif 74

L

Lestari, Astuti 13

M

Majid, Akmal Irfan 129
Mubarok, Syariful 1, 39
Mulyani, Oviyanti 46, 121

N

Nuraini, Anne 1, 39, 143
Nurbaity, Anne 46
Nursuhud 1

Nurullia, Marhan 143

P

Pranio, Jeri 108
Prasetyo, Fajar Aji 32

R

Ramadhani, Faris Kautsar 32
Romadhoni, Nur Azizah 39
Rostini, Ai Ening 121

S

Samudra, I Made 21
Senoaji, Ali Anton 74
Setiawan, Ade 97
Sobardini, Denny 1
Sulistiyani, Nunung 65
Sulistyaningsih 1
Suminar, Erni 1, 39, 143
Suriadikusumah, Abraham 46
Suryadi, Yadi 21
Suryatmana, Pudjawati 88
Suryatmana, Pudjawati 97
Susilowati, Dwiningsih 21

T

Trinuranisofyan, Emma 46

U

Utami, Sentagi Sesotya 74

W

Wibowo, Teguh 129
Wicaksana, Noladhi 1
Widyatama, Arif 129
Winingsih, Atih 46

Y

Yuhanidz 88

UCAPAN TERIMA KASIH KEPADA MITRA BESTARI

Dengan hormat, Dewan Redaksi **Jurnal Penelitian Saintek (JPS)** mengucapkan terima kasih atas bantuan Bapak/Ibu yang telah berkenan menjadi mitra bestari **Jurnal Penelitian Saintek** Volume 24 Nomor 1 (April 2019) dan Nomor 2 (Oktober 2019), yaitu:

Dr. Ari Widiyantoro, M.Si
(Universitas Tanjungpura)

Prof. Kristian Handoyo Sugiyarto, M. Sc., Ph.D
(Universitas Negeri Yogyakarta)

Sigit Sujatmika, M.Pd
(Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa)

Dr. dr. Rachmah Laksmi Ambardini, M.Kes.
(Universitas Negeri Yogyakarta)

Prof. Dr. Is Fatimah, M.Si.
(Universitas Islam Indonesia)

Dr. I Made Arsana, M.T.
(Universitas Negeri Surabaya)

Surono, M.Pd.
(Universitas Negeri Yogyakarta)