

Jurnal Teknologi

TECHNOSCIENTIA

Vol. 11 No. 2 Februari 2019



SUSUNAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Dr. Ir. Sudarsono, M.T.
Ketua Penyunting : Dr. Edhy Sutanta, S.T., M.Kom.
Sekretaris Penyunting : Safriyudin, S.T., M.T.
Bendahara : Ari Santoso, S.T.

Reviewer :

1. Ellyawan Setyo Arbintarso, S.T., M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Ir. Sudarsono, M.T.
3. Dr. Ir. Amir Hamzah, M.T.
4. Dr. Ir. Hj. Titin Isna Oesman, M.M.
5. Dr. Sri Mulyaningsih, S.T., M.T.

Peer Reviewer :

1. Dr. Bambang Sugiantoro, M.T. (UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta)
2. Dr. Darwan, S.Kom., M.Kom. (IAIN Syekh Nurjati Cirebon)
3. Dr. Hermawan Syahputra, S.Si., M.Si. (Universitas Negeri Medan)
4. Dr. Heri Setiawan, S.Kom., M.Kom. (Univ. Indo Global Mandiri Palembang)
5. Dr. I Gede Aris Gunadi, S.Si., M.Kom. (Univ. Pendidikan Ganesha Singaraja)
6. Dr. Ir. Muhammad Hasbi, M.Kom. (STMIK Sinar Nusantara Surakarta)
7. Dr. Jumi, S.Kom., M.Kom. (Politeknik Negeri Semarang)
8. Dr. Sri Andayani, S.Si., M.Kom. (Universitas Negeri Yogyakarta)
9. Dr. Wijang Widhiarso, S.Kom., M.Kom. (STMIK Global Informatika MDP Palembang)

Dewan Redaksi :

1. Rokhana Dwi Becti, S.Si., M.Si.
2. Rosalia Arum Kumalasanti, S.T., M.T.
3. Dra. Yuli Pratiwi., M.Si.
4. Muhammad Andang Novianta, S.T., M.T.
5. Joko Triyono, S.Kom., M.Cs.

Redaksi Pelaksana :

1. Aji Pranoto, S.Pd., M.Pd.
2. Dra. Suprih Ambawani, M.Pd.
3. Erna Kumalasari Nurnawati, S.T., M.T.
4. Blana Radetyana, S.Kom.I.

DAFTAR ISI

Pengaruh Kecepatan Las Mig Material AA5083H116 pada Laju Korosi Di Lingkungan 3.5% NaCl Mudjijana	Hal: 106-113
Pengaruh Penambahan Plastik Polipropilena Terhadap Yield Dan Kualitas Minyak Nabati Hasil Pirolisis Bonggol Jagung yang Menggunakan CO₂ Sebagai Gas Pembawa Justin Edgar, Dijan Supramono	114-120
Studi Eksperimen Pengaruh Porosity Ratio pada Perforated Twisted Tape Insert Terhadap Karakteristik Heat Transfer dan Friction Factor pada Penukar Kalor Pipa Ganda Susi Puspitasari, Arrad Ghani Safitra	121-127
Karakterisasi Sifat Optik C-Dots dari Kulit Luar Singkong Menggunakan Teknik Microwave Permono Adi Putro, Liszulfah Roza, Isnaeni	128-136
Model Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis dan Cellular Automata Markov Chain: Studi Kasus Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau Bobby Rachmat Fitriyanto, Muhammad Helmi, Hadiyanto	137-147
Model Sistem Informasi Manajemen Ketahanan Pangan (Pemanfaatan dan Ketersediaan Pangan) Zaidir, Erizal	148-157
Rancangan dan Implementasi Sistem Pengarsipan Digital Berbasis Web Sebagai Data Pendukung dalam Akreditasi Program Studi (Studi Kasus: Fakultas Sains & Teknologi Universitas Respati Yogyakarta) Ahmad Sahal, Farida Nur Aini	158-166
Teknik Watermarking Menggunakan Metode CRT pada Deteksi Tepi Canny untuk Perlindungan Hak Cipta (Dagadu) Nuniek Herawati	167-172
Perbandingan Kualitas Citra pada Tiga Software Video Harmastuti, Dwi Setyowati, Panggih C. Prasetyo, Mahendra K. Widhiatmoko	173-185
Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban pada Ruang Server Berbasis IoT (<i>Internet Of Things</i>) Gatot Santoso, Samuel Kristiyana, Slamet Hani, Achmad Miradani Mujahidin	186-192
Perkembangan Lingkungan Pengendapan dari Formasi Sambipitu ke Formasi Wonosari Daerah Jelok, Desa Beji, Kecamatan Patok, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta Dina Tania	193-201
Karakteristik Mekanik Komposit Serat Cantula (<i>Agave Cantula Roxb</i>) sebagai Alternatif Bahan Penguat terhadap Partisi Rumah Lidi Wilaha	202-207

PENGARUH KECEPATAN LAS MIG MATERIAL AA5083H116 PADA LAJU KOROSI DI LINGKUNGAN 3.5% NaCl

Mudjijana¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Email: ¹mudjijana@ugm.ac.id

Masuk: 1 September 2018, Revisi masuk: 10 September 2018, Diterima: 14 September 2018

ABSTRACT

Transportation equipment of product and people from one island to another using a small or large ship is cheaper than by plane. The ship can be constructed using A36 steel materials and AA5xxx aluminum alloys that are resistant to saline water. The purpose of this research is to investigate the effect of MIG welding speed of AA5083H116 on corrosion rate in a 3.5 wt% NaCl environment.

AA5083H116 material of 300mm x 75mm x 3 mm was welded using a MIG Tenjima 200s equipment and using ER5356 electrode of 0.8 mm diameter, at welding speed of 8, 10, 12 mm/s, filler rate of 27 mm/s, and in argon gas environmental. The specimen of 15 mm diameter and 2 mm thick was let to be corroded including the base metal (BM), heat affected zone (HAZ), and weld metal zone. The corrosion testing was carried out at BATAN Serpong using a three-cell potentiodynamic polarization electrode. The results of Tafel plot was showed a corrosion current (i_{corr}) and corrosion voltage (E_{corr}), then corrosion rate can be determined. The corroded specimen surfaces were investigated using a scanning electron microscope (SEM) and an energy dispersive spectrometer (EDS).

The results of the research show that the corrosion rate of welding speed of 12 mm/s is lower than that of welding speed of 8 mm/s. It is confirmed that the SEM showed that the deterioration of surfaces corrosion is smaller than at HAZ zone.

Keywords: AA5083H116, Corrosion rate, MIG welding.

INTISARI

Alat transportasi orang/barang dari daratan satu ke lainnya dapat menggunakan kapal laut dengan biaya lebih murah dibanding dengan pesawat terbang. Kapal laut dapat dikonstruksi menggunakan bahan baja A36 dan aluminium paduan AA5xxx yang tahan terhadap air laut. Penelitian ini bertujuan meneliti pengaruh kecepatan las MIG material AA5083H116 pada laju korosi di lingkungan 3.5%wt NaCl.

Material AA5083H116 berukuran 300 mm x 75 mm x 3 mm di las MIG Tenjima 200S menggunakan elektroda ER5356 berdiameter 0,8 mm, kecepatan las 8, 10, 12 mm/s, laju *filler* 27 mm/s, dan pelindung gas argon. Selanjutnya dibuat spesimen korosi yang mencakup bagian *base metal* (BM), *heat affected zone* (HAZ), dan *weld metal* (WM) berdiameter sekitar 15 mm dan tebal 2 mm. Pengujian korosi dilakukan di BATAN Serpong dengan polarisasi potensiodinamik menggunakan sel tiga elektroda. Hasil Tafel plot ditunjukkan arus arus (i_{cor}) dan tegangan korosi (E_{cor}) selanjutnya dapat ditentukan laju korosinya. Permukaan spesimen terkorosi diamati dengan *scanning electron microscope* (SEM) dan *energy dispersive spectrometer* (EDS).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi pada kecepatan las 12 mm/s lebih rendah dibanding dengan kecepatan las 8 mm/s. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengamatan SEM luas kerusakan permukaan akibat korosi lebih sedikit pada daerah HAZ.

Kata-kata kunci: AA5083H116, Laju korosi, Las MIG.

PENDAHULUAN

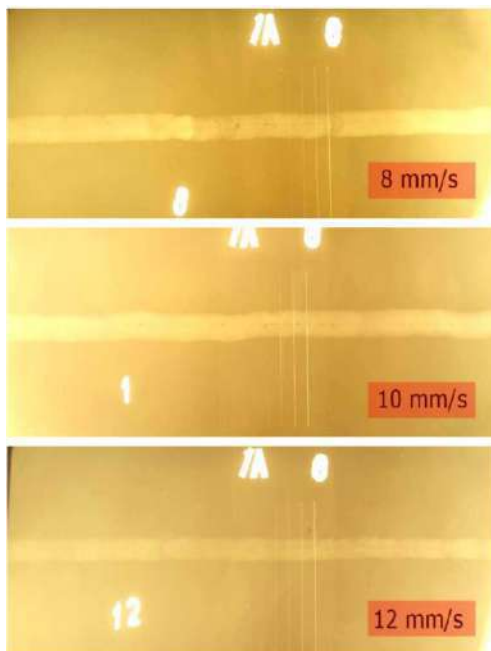
Indonesia dikenal sebagai negara maritim sejak zaman kerajaan Majapahit karena mempunyai luas wilayah 2/3 lautan dan 1/3 daratan (Massetio, 2014), sehingga banyak diperlukan kapal laut untuk mempersatukan antara wilayah satu dengan lainnya. Mengingat kejayaan masa lalu, sekarang pemerintah telah memulai pembuatan TOL laut untuk memperlancar dalam mengeksport barang-barang yang dihasilkan dan mengimpor barang-barang yang dibutuhkan masyarakat Indonesia menggunakan kapal laut. Di samping itu, kapal laut dapat digunakan untuk transportasi orang dari wilayah satu ke lainnya dengan biaya lebih murah dibanding dengan pesawat terbang. Kapal laut dapat dikonstruksi menggunakan bahan baja A36 dan aluminium paduan AA5083 yang tahan terhadap air laut dengan kekuatan luluh 145 MNm^{-2} pada kondisi anil *supersaturated* αAl (Ashby dan Jones, 2013). Aluminium paduan AA5083 H116 artinya AA adalah Aluminium Association, 5083 adalah aluminium paduan seri 5 dengan unsur paduan utama adalah magnesium (Mg), 0 adalah batas ketidakmurnian nol, 83 menunjukkan kemurnian aluminium. H artinya adalah *cold worked (strain hardening)*, angka 1 pertama menunjukkan *cold work only*, angka 1 kedua menunjukkan *partial solution plus natural aging*, angka 6 menunjukkan $\frac{3}{4}$ keras (Udomphol, 2007). Kurva polarisasi potensiodinamik AA2524-T3 di lingkungan 0,6M NaCl mempunyai potensial korosi ($E_{=0}$) sedikit lebih positif daripada AA2198-T851. Tidak ada *passive plateau* dalam *domain anodic* kedua paduan ini, ada pertumbuhan *pits* dengan gelombang arus. Jadi kedua paduan ini secara alami terjadi korosi *pitting*. Di samping itu pada kurva polarisasi rapat arus korosi (i_{corr}) untuk paduan AA2524-T3 lebih tinggi daripada AA2198-T851 (Moreto, dkk., 2014). Kelakuan korosi *pitting* di lingkungan 3,5% NaCl pada aluminium paduan 7A60 telah diselidiki oleh Wang, dkk. (2014) dengan *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS), struktur mikro dan kandungan fasa kedua diamati dengan *scanning electron microscope*

(SEM) dan *energy dispersive spectrometer* (EDS). Beberapa korosi *pitting* pada paduan 7A60 terutama disebabkan oleh elektrokimia partikel aktif MgZn_2 , dan partikel-partikel Al_2MgCu , Mg_2Si , $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ sedikit memberikan kontribusi. Pengaruh struktur mikro pada proses *solution heat treatment, cold working, artificial ageing* pada paduan Al-Li AA2099 diselidiki oleh Ma, dkk. (2016) menggunakan polarisasi potensiodinamik. Hasil penelitian menunjukkan terjadi beberapa korosi lokal disebabkan perlakuan termomekanik. Khususnya pada perlakuan T8 mudah terjadi beberapa korosi lokal diban-dingkan dengan lainnya. Selama proses polarisasi potensiodinamik pada paduan untuk *solution heat-treated* dan perlakuan T3 ditunjukkan morfologi korosi kristalografi, sedangkan pada perlakuan T6 dan T8 terjadi serangan selektif dalam butir dan lokal batas butir. Paduan Al-Zn-Mg (7N01-T5) dan (7N01-T4) di las dengan *metal inert gas* (MIG) dengan elektroda ER5356 diselidiki oleh Li, dkk. (2017) terhadap sifat-sifat mekanik dan ketahanan korosi. Sifat-sifat mekanik sambungan las lebih rendah daripada *base metal* (BM). Pada sambungan las terjadi perbedaan komposisi Zn dan jumlah presipitat kedua paduan yang menyebabkan variasi potensial korosi dan mengakibatkan korosi galvanik, korosi tertinggi terjadi pada paduan 7N01-T4 di daerah yang berdekatan dengan *weld metal* (WM). Korosi *pathway* di lingkungan 3.5%NaCl pada aluminium paduan AA2024-T3, AA5083-O, dan AA6082-T6 telah diselidiki oleh Donatus. Dkk. (2017) menggunakan uji polarisasi potensiodinamik. Hasil penelitian menunjukkan korosi *pathway* masing-masing paduan berbeda dan dipengaruhi oleh aliran cairan korosif. Pada AA5083 terjadi korosi *filiform-like pathway*, paduan AA6082-T6 terjadi *linear pathway*, sedangkan paduan AA2024-T3 korosi *pathway* tidak bergantung partikel fasa ke dua dan karakter batas butir. Penelitian laju korosi AA5083-O di las MIG dan *stress relieved weld metals* di lingkungan 3.5% NaCl menggunakan polarisasi potensiodinamik telah dilakukan oleh Ilman, dkk. (2017). Hasil

penelitian menunjukkan pada material di las MIG tidak memperlihatkan aktif-pasif hanya terjadi penguraian anodik dengan rapat arus korosi (i_o) relatif tinggi 3.78 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ekuivalen laju korosi 1.6813 mpy. Perubahan signifikan pada kurva polarisasi setelah logam las dilakukan *stress relieved* dengan adanya pasivasi anodik dan rapat arus korosi lebih rendah 3.48 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ekuivalen laju korosi 1.5457 mpy.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah AA5083H116, elektroda ER5356, dan gas argon. Pengelasan dilakukan menggunakan las MIG Tenjima 200S, pelat berukuran 300 mm x 75 mm x 3 mm, diameter elektroda 0,8 mm dengan laju elektroda 27 mm/s, dan variasi kecepatan las $v = 8, 10, 12$ mm/s dengan arus 120 A, tegangan 19 V, laju argon 17 liter/menit, sudut pengelasan 45° , hasil radiografi semua memenuhi syarat (Zain, 1982) seperti ditunjukkan pada Gambar 1 (Mudjijana dkk, 2017).



Gambar 1. Spesimen hasil radiografi pada Kecepatan Las 8, 10, 12 mm/s (Mudjijana, dkk., 2017)

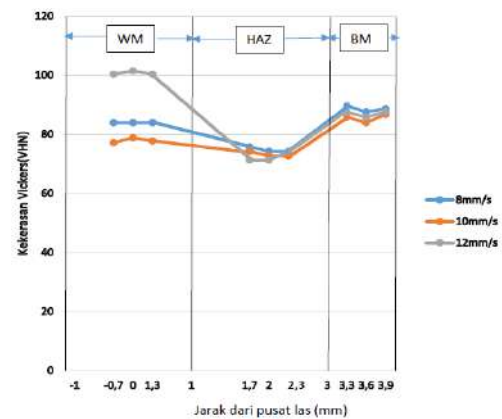
Setelah selesai pengelasan dibuat spesimen uji kekerasan mikro Vickers dan struktur mikro, dan uji korosi

berdiameter sekitar 15 mm dan tebal 2 mm. Pengujian kekerasan menggunakan beban 100 gram dan pengamatan struktur mikro menggunakan etsa HF. Pengujian korosi menggunakan alat sel 3 elektroda dilakukan di BATAN Serpong. Hasil uji korosi dalam bentuk Tafel plot dan ditunjukkan arus (i_{corr}) dan tegangan (E_{corr}) korosi. Setelah diuji korosi diamati permukaannya menggunakan SEM dan EDS.

PEMBAHASAN

Hasil Uji Kekerasan Mikro Vickers

Pengujian kekerasan mikro Vickers dilakukan dengan beban 100 gram hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kekerasan Vickers VHN daerah WM, HAZ, dan BM

Nilai kekerasan daerah terpengaruh panas (*heat affected zone*: HAZ) relatif lebih kecil dibandingkan dengan daerah logam las (*weld metal*: WM) dan logam induk (*base metal*: BM). Bahan logam induk AA5083H116 dengan perlakuan proses rol dingin, *partial solution plus natural aging*, dan dikeraskan $\frac{3}{4}$ keras dengan deformasi sekitar 60% sehingga setelah dilakukan proses pengelasan terjadi proses pelunakan disebabkan terjadi proses normalising. Perbedaan nilai kekerasan di daerah HAZ dan BM relatif kecil dibanding di WM, kecuali pada kecepatan las 12 mm/s di WM dihasilkan nilai kekerasan berbeda cukup signifikan dibandingkan dengan kecepatan las 8 dan 10 mm/s. Hal ini dimungkinkan jumlah presipitat Al_2Mg_3 lebih banyak sehingga menyebabkan dihasilkan nilai kekerasan lebih tinggi dan pada

kecepatan lebih tinggi rekristalisasi AA5083H116 tidak sebanyak pada kecepatan 8 dan 10 mm/s.

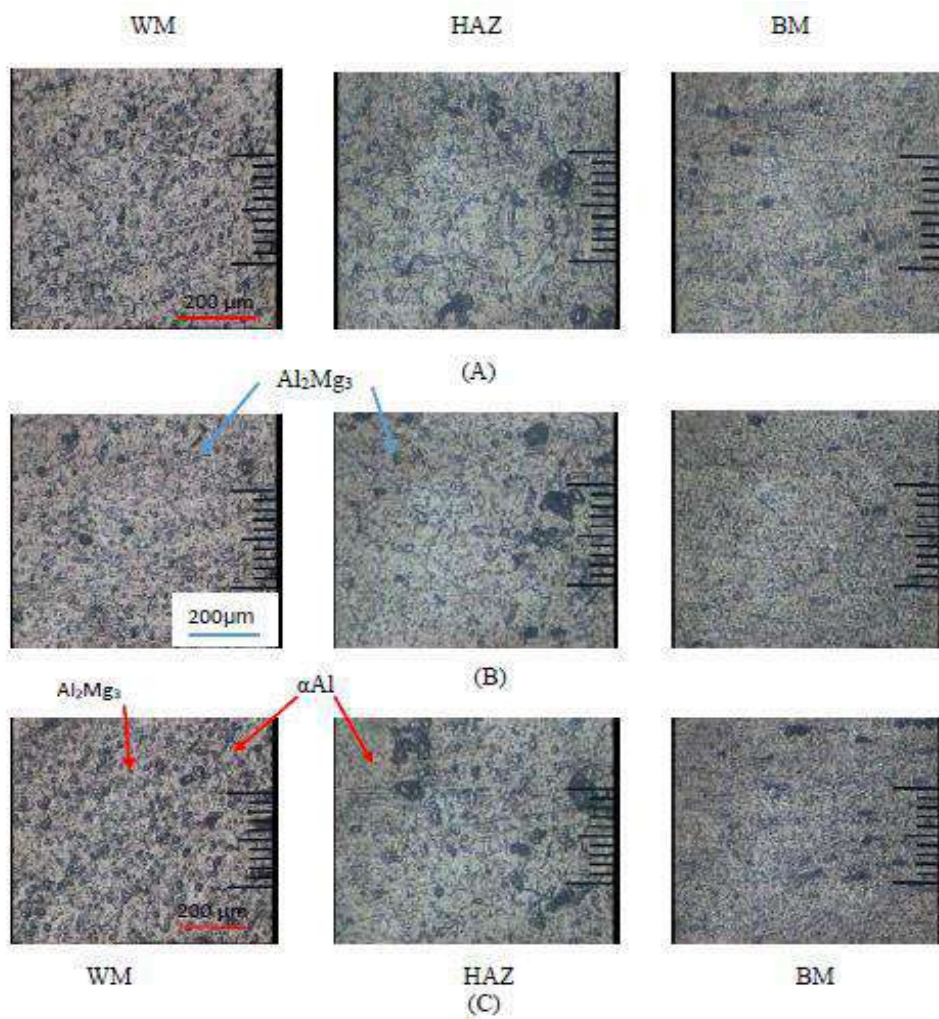
Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro untuk hasil pengelasan pada kecepatan las 8, 10, 12 mm/s ditunjukkan pada Gambar 3. Struktur mikro untuk ketiga variasi kecepatan di daerah WM, HAZ, dan BM tampak hampir sama, namun bila dibandingkan ketiga daerah di BM mempunyai ukuran butir yang lebih halus sehingga mempunyai nilai kekerasan relatif sedikit lebih besar dibandingkan di WM dan HAZ, kecuali pada kecepatan las 12 mm/s. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya presipitat Al_2Mg_3 yang

jumlahnya lebih banyak dan tersebar merata.

Hasil Uji Korosi dengan Polarisasi Potensiodinamik

Tabel plot hasil uji korosi ditunjukkan pada Gambar 4 dan disajikan pada Tabel 1. Pada kecepatan las $v = 8$ mm/s di hasilkan arus korosi (i_{corr}) = $0.9299 \mu A/cm^2$ dan tegangan korosi (E_{corr}) = $-0,713$ V, dan setelah dihitung didapatkan laju korosi = 0.4123 mpy. Sedangkan pada kecepatan las $v = 12$ mm/s dihasilkan arus korosi (i_{corr}) = $0.4076 \mu A/cm^2$ dan tegangan korosi (E_{corr}) = $-0,770$ V, dan setelah dihitung didapatkan laju korosi = 0.1825 mpy.



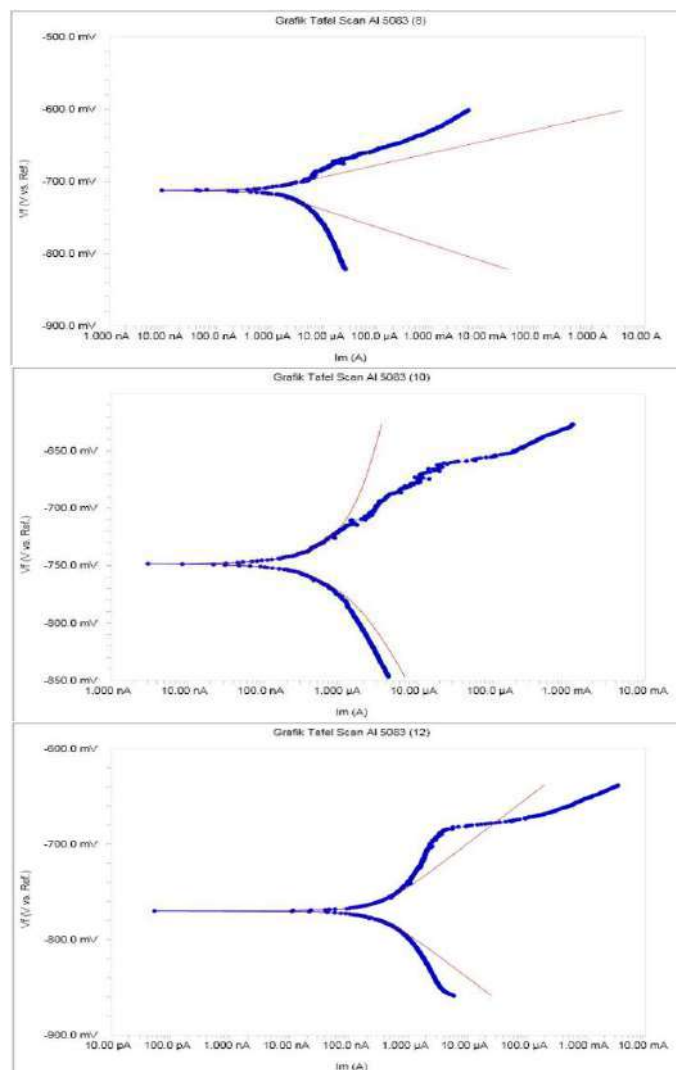
Gambar 3. Struktur mikro kecepatan las : (A) 8 mm/s, (B) 10 mm/s, (C) 12 mm/s (BM : base metal, HAZ : heat affected zone, WM : weld metal)

Tabel 1. Nilai Potensial dan Rapat Arus Uji Korosi

Tipe	E_{corr} (V)	i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju Korosi (mpy)
Welded 8 mm/s	-0,713	0,9299	0,4123
Welded 10 mm/s	-0,748	1,8344	0,8072
Welded 12 mm/s	-0,770	0,4076	0,1825

Jadi laju korosi pada kecepatan las 12 mm/s lebih rendah dibanding pada kecepatan las 8 mm/s. Hal ini dibuktikan dengan kerusakan terkorosi lebih sedikit daripada kecepatan las 8 mm/s. Namun demikian nilai laju korosi < 1 mpy (Fontana, 1987) sehingga bahan AA5083H116 yang mengalami proses pengelasan masih sangat baik sekali

ketahanan korosi terhadap air laut yang mempunyai kandungan NaCl rata-rata 3,5%wt. Dibandingkan dengan hasil Ilman, dkk. (2017), lasan yang menggunakan material AA5083-O mempunyai nilai laju korosi 1.6813 mpy. Tidak jauh berbeda sehingga hasil penelitian ini cukup bisa dipertanggungjawabkan.

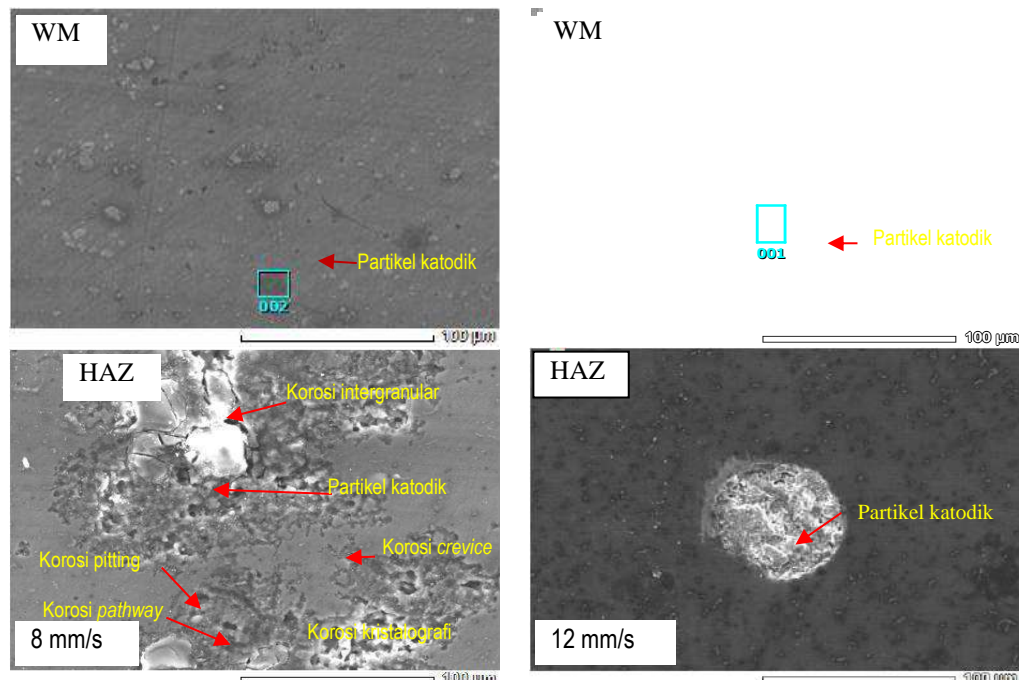


Gambar 4. Hasil uji korosi dengan polarisasi potensio dinamik pada Kecepatan Las 8, 10, dan 12 mm/s

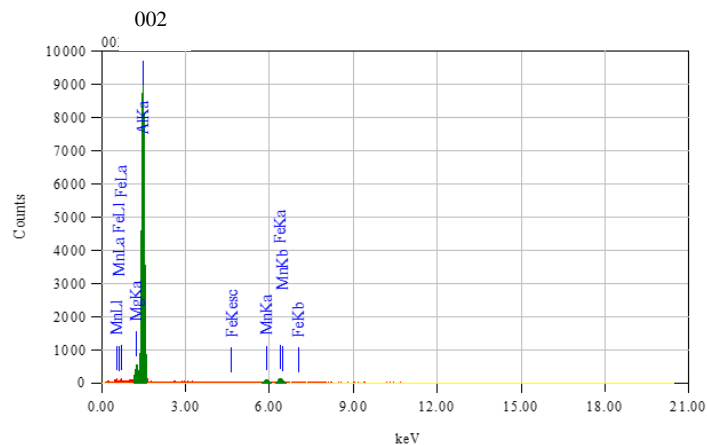
Hasil Pengamatan SEM dan EDS

Hasil pengamatan *scanning electron microscope* (SEM) luas permukaan terkorosi ditunjukkan pada Gambar 5, tampak luasan terkorosi pada daerah WM dan HAZ pada kecepatan las 8 mm/s lebih besar dibandingkan luasan terkorosi pada kecepatan 12 mm/s. Jadi jelas bahwa laju korosi pada kecepatan las 12 mm/s lebih kecil dibandingkan dengan pada kecepatan 8 mm/s. Proses pengelasan berpengaruh pada ketahanan korosi bahan AA5083H116, seperti di daerah WM dan HAZ tampak terjadi korosi *crevice*, korosi kristalografi, dan korosi intergranular disekitar partikel katodik. Partikel katodik di WM pada kecepatan las 12 mm/s berdampak korosi intergranular lebih kecil dibanding pada kecepatan las 8 mm/s, ditandai dengan luasan warna gelap disekeliling partikel. Gambar 6 menunjukkan hasil EDS pada daerah las (WM) pada kecepatan las 8 mm/s kandungan presipitat (002) unsur-unsur (%wt) Al = 82,99 ; Mg = 6,61 ; Mn = 4,2 ; Fe = 6,2, sedang-

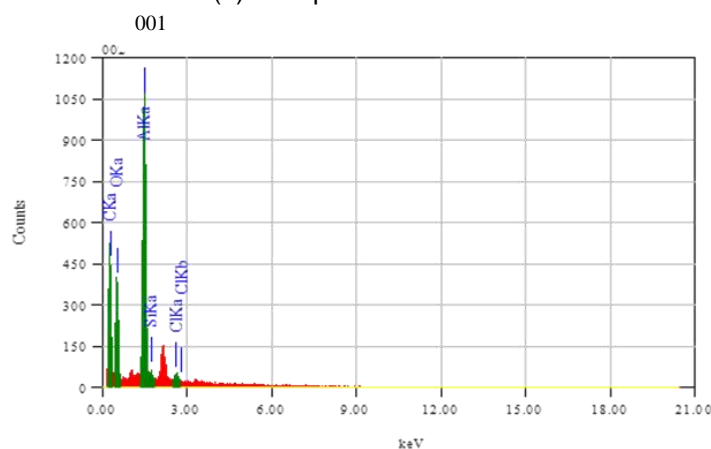
kan pada kecepatan las 12 mm/s kandungan presipitat (001) unsur-unsur (% wt) Al = 30,81; C = 43,01; O = 23,01; Si = 1,56; Cl = 1,45. Terdapat kadungan C dan O pada kecepatan las 12 mm/s disebabkan spesimen terkontaminasi dengan udara luar dan dengan kandungan O bisa menyebabkan bisa membentuk aluminium dan magnesium oksida yang memberikan kenaikan ketahanan korosi. Daerah HAZ pada kecepatan las 8 mm/s ada beberapa jenis korosi yaitu korosi intergranular (batas butir) yang disebabkan partikel katodik, korosi *crevice* atau *pitting* yang disebabkan oleh partikel anodik, korosi kristalografi disebabkan oleh partikel anodik, dan korosi *pathway* dimungkinkan karena adanya segregasi pada saat proses pendinginan selama proses pengelasan. Pada kecepatan las 12 mm/s di daerah WM terdapat kandungan Si berasal dari *filler* yang digunakan ER5356 mengandung komposisi kimia (%wt) Al = 94,38; Mg = 4,5; Cr = 0,05; Mn = 0,05; Si = 0,25; dan Zn = 0,1 (ASME, 2001).



Gambar 5. Hasil SEM pada Kecepatan Las 8 mm/s dan 12 mm/s



(a) Kecepatan Las 8 mm/s



(b) Kecepatan Las 12 mm/s

Gambar 6. Hasil EDS Daerah WM pada Kecepatan Las: (a) 8 mm/s (tanda 002 di Gambar 5) dan (b) 12 mm/s (tanda 001 di Gambar 5)

KESIMPULAN

Pengaruh kecepatan las pada bahan AA5083H116 dengan elektroda ER5356 setelah dilakukan pengujian polarisasi potensiodinamik dan permukaan terkorosi diamati menggunakan SEM dan EDS dapat disimpulkan sebagai berikut.

- 1) Pada kecepatan las 12 mm/s didapatkan laju korosi lebih rendah dibandingkan dengan 8 m/s, dan keduanya mempunyai laju korosi < 1mpy sehingga sangat tahan terhadap korosi air laut
- 2) Pada daerah HAZ permukaan terkorosi pada kecepatan las 8 mm/s memperlihatkan korosi *crevice*, korosi kristalografi, dan korosi intergranular lebih luas dibanding pada kecepatan las 12 mm/s.

- 3) Pada daerah WM kecepatan las 12 mm/s ada partikel katodik berdampak korosi intergranular lebih kecil dibanding pada kecepatan las 8 mm/s, hal ini disebabkan adanya unsur O setelah dianalisis dengan EDS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kemenristekdikti yang telah memberi dana penelitian melalui PUPT UGM No.015/SP2H/LT/DRPM/II/2016 dan Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada yang telah memberi kesempatan melakukan penelitian, dan Saudara Teddy Maulana Putra, Dede Azandri, dan M. Ridho yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, M. F., Jones, D. R. H., 2013, *Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing*, Fourth Edition, pp. 192.
- ASME, 2001, *Materials Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals*, pp. 230, The American Society of Mechanical Engineers.
- Donatus, U., Thompson, G. E., Omotoyindo, J. A., Alaneme, K. K., Aribo, S., Agbabiaka, O. G., 2017, Corrosion Pathways in Aluminium Alloys, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 27, pp. 55-62.
- Fontana, M. G., 1987, *Corrosion Engineering*, Third Edition, pp. 172, McGraw-Hill.
- Ilman, M. N., Triwibowo, N. A., Wahyudianto, A., Muslih, M. R., 2017, Environmentally Assisted Fatigue Behaviour of Stress Relieved Metal Inert Gas (MIG) AA5083 Welds in 3,5% NaCl Solution, *International Journal of Fatigue*, vol. 100, pp. 285-295.
- Li, S., Dong, H., Shi, L., Li, P., Ye, F., 2017, Corrosion Behavior and Mechanical Properties of Al-Zn-Mg Aluminum Alloy Weld, *Corrosion Science*, vol. 123, pp. 243-255.
- Ma, Y. L., Zhou, X. R., Meng, X. M., Huang, W. J., Liao, Y., Chen, X. L., Yi, Y. N., Zhang, X. X., Thompson, G. E., 2016, Influence of Thermomechanical Treatments on Localized Corrosion Susceptibility and Propagation Mechanism of AA2099 Al-Li Alloy, *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 26, pp. 1472-1481.
- Marsetio, 2014, *Membangun dan Memperkokoh Keamanan Nasional dengan Visi Maritim, Sarasehan Roadmap Pembangunan Kelautan dan Kemaritiman*, UGM, Yogyakarta.
- Moreto, J. A., Marino, C. E. B., Bose Filho, W.W., Rocha, L.A., Fernandes, J.C.S. (2014). SVET, SKP and EIS study of corrosion behaviour of high strength Al and Al-Li alloys used in aircraft fabrication. *Corrosion Science*, 84, pp. 30-41.
- Mudjijana, Ilman, M.N., Iswanto, P.T., 2017, MIG and TIG Welding Speed Influence on Distortion of AA5083H116 Materials. *International Annual Engineering Seminar (InAES)*, pp. 179-185, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Udomphol, T., 2007, *Aluminium and its alloys*. Suranaree University of Technology.
- Wang, X.H., Wang, J.H., Fu, C.W., 2014, Characterization of pitting corrosion of 7A60 aluminum alloy by EN and EIS techniques. *Transactions Nonferrous Metals Society of China*, vol. 24, pp. 3907-3916.
- Zain, H., 1982, *Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia No: PER.02/MEN/1992 tentang Kualifikasi Juru Las di Tempat Kerja*, Kementerian Tenaga Kerja dan Transmigrasi RI.

BIODATA PENULIS

Ir. Mudjijana, M.Eng., menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin dari Universitas Gadjah Mada tahun 1979, S2 pada Jurusan Teknik Mesin dari Tsukuba University Japan tahun 2005, dan menempuh pendidikan S3 pada Jurusan Teknik Mesin di Universitas Gadjah Mada tahun 2015. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Departemen Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada dengan jabatan akademik Lektor Kepala pada bidang minat *engineering materials*, *corrosion*, dan *welding*.

PENGARUH PENAMBAHAN PLASTIK POLIPROPILENA TERHADAP YIELD DAN KUALITAS MINYAK NABATI HASIL PIROLISIS BONGGOL JAGUNG YANG MENGGUNAKAN CO₂ SEBAGAI GAS PEMBAWA

Justin Edgar¹, Dijan Supramono²

^{1,2}Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Email: ¹justinedgar96@gmail.com, ²dsupramo@che.ui.ac.id

Masuk: 1 September 2018, Revisi masuk: 10 September 2018, Diterima: 14 September 2018

ABSTRACT

Indonesia has potential sources for development of renewable fuels from agricultural wastes, one of which is corn cobs. Many researches have tried to convert corn cobs into a liquid fuel by pyrolysis, but the resulting bio-oil has a high oxygenate content, resulting in a low heating value. On the other hand, plastic waste has become a major problem for Indonesia, amounting to 5,4 million tons of waste per year. Around 16% of the total plastic waste is polypropylene, in which its high hydrogen/carbon ratio is an attractive hydrogen source for co-feeding with corn cobs in co-pyrolysis. Synergetic effect has been formed between the two, which has been proven to increase the yield and quality of the resulting bio-oil. Most co-pyrolysis process has been conducted with nitrogen as carrier gas. Its high price creates an economic barrier for commercial production of bio-fuel using co-pyrolysis method. It is proposed to substitute nitrogen with carbon dioxide. Beside of its low cost, carbon dioxide is known to have a heat-trapping effect, thus increasing the heat flux to particle feed during co-pyrolysis process. Three feed compositions during the process has been investigated to observe the effect of feed composition to the yield and quality of the non-polar (non-oxygenated) fraction of resulting bio-oil, which will be compared to commercial gasoline. Co-pyrolysis process was conducted in a stirred tank reactor with low heating rate of 5°C/min, maximum temperature of 500°C. Non-polar fraction of the resulting bio-oil has been characterized using GC-MS (gas chromatography-mass spectroscopy) and H-NMR (hydrogen-nuclear magnetic resonance). Bio-oil yield is lower compared to its counterpart when nitrogen is used as carrier gas, but H-NMR results shows that the non-polar fraction have a high branching index, low alkene and aromatic contents, which is potential to be used as a bio-fuel.

Keywords: Carbon dioxide, Co-Pyrolysis, Corn cobs, Low heating rate, Polypropylene plastic.

INTISARI

Potensi bahan bakar terbarukan yang berasal dari limbah pertanian di Indonesia sangatlah melimpah, salah satu contohnya bonggol jagung. Beberapa penelitian telah mencoba untuk mengkonversi bonggol jagung menjadi bahan bakar cair melalui metode pirolisis, namun minyak nabati yang dihasilkan memiliki kadar oksigenat tinggi sehingga memiliki nilai kalor yang rendah. Di samping itu, permasalahan limbah plastik di Indonesia sudah mencapai tahap yang mengkhawatirkan, mencapai angka 5,4 juta ton pertahunnya. Sekitar 16% dari sampah plastik tersebut merupakan plastik polipropilena, yang memiliki rasio hidrogen/karbon yang tinggi sehingga sangat menarik untuk dicampurkan sebagai sumber hidrogen ke bonggol jagung dalam proses *co-pyrolysis*. Efek sinergetik akan tercipta dalam *co-pyrolysis* keduanya dan terbukti memperbaiki yield dan kualitas dari minyak nabati yang dihasilkan. Selama ini proses *co-pyrolysis* dilakukan menggunakan gas nitrogen untuk mengalirkan uap organik yang kemudian dikondensasi menjadi minyak nabati. Tingginya harga gas nitrogen membuat pertimbangan ekonomi dari produksi bahan bakar komersial menggunakan metode *co-pyrolysis* menjadi tidak menguntungkan. Dalam penelitian ini diusulkan untuk mensubstitusi gas nitrogen dengan gas karbon dioksida. Selain harganya yang murah, gas karbon dioksida diketahui

memiliki efek pengebakan panas yang akan menghantarkan fluks panas lebih baik ke partikel bahan baku selama proses *co-pyrolysis*. Variasi 3 komposisi umpan pada proses *co-pyrolysis* telah dilakukan untuk melihat pengaruh komposisi umpan terhadap *yield* dan kualitas fraksi non-polar (*non-oxygenated*) dari minyak nabati yang dihasilkan, yang kemudian akan dibandingkan dengan kualitas bahan bakar komersial seperti bensin. Proses *co-pyrolysis* berlangsung pada reaktor tangki berpengaduk, dengan *heating rate* rendah sebesar 5°C/menit, temperatur maksimum 500°C. Fraksi non-polar dari *co-pyrolysis* telah dikarakterisasi menggunakan GC-MS (*gas chromatography-mass spectroscopy*) dan H-NMR (*hydrogen-nuclear magnetic resonance*). *Yield* minyak nabati lebih rendah dibandingkan dengan *yield* pada *co-pyrolysis* yang menggunakan nitrogen sebagai gas pembawa, namun hasil H-NMR menunjukkan bahwa fraksi non-polar dari minyak nabati yang dihasilkan memiliki nilai *branching index* yang tinggi dan kandungan alkena dan aromatik yang rendah sehingga mempunyai potensi untuk digunakan menjadi bahan bakar.

Kata-kata kunci: *Bonggol Jagung, Co-Pyrolysis, Heating Rate Rendah, Karbon dioksida, Plastik Polipropilena*

PENDAHULUAN

Cadangan energi fosil yang semakin menipis dan akumulasi dampak lingkungan yang ditimbulkan telah mendorong pada ilmuwan untuk mengembangkan riset energi terbarukan. Belakangan ini, riset mengenai sintesis bahan bakar cair (*bio-fuel*) dari berbagai bahan baku dan metode menjadi perhatian khusus. *Bio-fuel* adalah salah satu bahan bakar yang menjadi pengganti bahan bakar fosil di masa depan yang dapat digunakan pada berbagai bidang khususnya transportasi dan generasi listrik.

Salah satu metode sintesis *bio-oil* atau minyak nabati sebagai prekursor *bio-fuel* yang paling banyak dipelajari adalah pirolisis biomassa. Pirolisis biomassa menghasilkan gas non-kondensibel, minyak nabati cair, dan arang. Walaupun sangat menjanjikan, kandungan oksigenat yang tinggi pada minyak nabati menyebabkan nilai kalori yang rendah, tingkat korosivitas yang tinggi, dan tidak stabil secara kimiawi (Lu dkk, 2009). Sehingga, sangat penting untuk dapat memisahkan minyak nabati yang dihasilkan menjadi 2 fraksi, fraksi non-polar yang dapat dikembangkan jadi *bio-fuel* dan fraksi polar.

Studi yang dilakukan oleh Supramono *et al.* (2016) menunjukkan adanya efek sinergistik di dalam *co-pyrolysis* lambat dari bonggol jagung dan plastik polipropilena di dalam tangki reaktor berpengaduk dengan N₂ bertekanan

sebagai gas pembawa. Eksperimen dilakukan pada laju pemanasan rendah 5°C/min. hingga suhu pada reaktor mencapai 500°C. Efek sinergistik yang dimaksud adalah *yield* minyak nabati yang dihasilkan dari *co-pyrolysis* lebih tinggi dibandingkan *yield* minyak nabati apabila bonggol jagung dan plastik polipropilena dipirolisis secara terpisah. Selain itu, konfigurasi eksperimen yang sama terbukti mengurangi kandungan oksigenat dalam minyak nabati yang disebabkan oleh radikal hidrogen yang terbentuk dari plastik polipropilena yang mengusir radikal oksigen pada molekul-molekul minyak nabati. Konfigurasi reaktor tangki berpengaduk menjadikan minyak nabati yang dihasilkan terpisah menjadi 2 fasa, yakni fasa polar dan non-polar. Hal ini disebabkan oleh perbedaan viskositas antara keduanya dan karena rendahnya nilai viskositas rata-rata keduanya. Nilai viskositas rata-rata yang rendah disebabkan oleh perpindahan panas konveksi yang lebih baik karena adanya turbulensi akibat gelembung yang diakibatkan gas N₂ di dalam lelehan plastik (Supramono dkk, 2017). Fraksi non-polar dari minyak nabati kemudian dapat di-*upgrading* untuk menjadi *bio-fuel*.

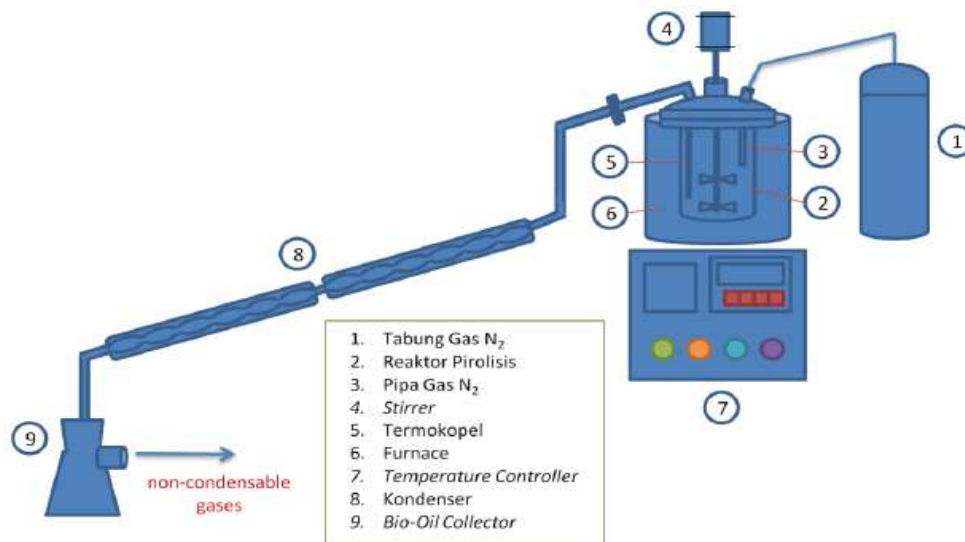
Penggunaan N₂ sebagai gas pembawa diprediksi akan berdampak buruk secara ekonomi apabila konfigurasi reaktor yang digunakan sekarang akan digunakan secara komersial karena harga gas N₂ yang

relatif tinggi dibandingkan gas-gas industri lainnya (LAEN, 2013). Karena itu, dalam penelitian ini diusulkan untuk melakukan substitusi gas N₂ dengan CO₂ sebagai gas pembawa. Di samping harganya yang lebih rendah dan ketersediaan yang lebih besar, CO₂ diketahui memiliki efek pengebakan panas seperti rumah kaca (Cengel dan Ghajar, 2015), sehingga akan menambah fluks panas yang sampai ke partikel-partikel biomassa dan plastik polipropilena. Efek lain yang diketahui adalah interaksi kimia antara CO₂ dengan reaktan pada lingkungan bertemperatur tinggi (Guizani, *dkk.*, 2013). Diperkirakan, penggunaan CO₂ sebagai gas pembawa akan mempengaruhi jumlah *yield* dan komposisi dari minyak nabati yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian yang digunakan adalah bonggol jagung dan plastik polipropilena. Bonggol jagung diperoleh dari daerah Malang, Jawa Timur yang kemudian dicacah hingga berukuran 20

mesh dan dikeringkan. Biji plastik polipropilena dibeli dari PT. Chandra Asri Petrochemical. Gas CO₂ diperoleh dari PT Samator Gas Industri. Reaktor yang digunakan adalah reaktor tangki berpengaduk seperti yang terlihat pada Gambar 1. Laju pemanasan yang digunakan adalah laju pemanasan lambat 5°C/menit hingga suhu mencapai 500°C. Gas CO₂ dialirkan dengan tekanan 3 bar dan laju alir 750 mL/menit. Kecepatan pengaduk 100 rpm. Uap yang dihasilkan pada proses pirolisis dikondensasi dengan kondensser *bulb* dengan suhu air pendingin 10-15°C, sebagian terkondensasi menjadi minyak nabati dan sebagian menjadi gas non-kondensibel. Variabel bebas penelitian adalah komposisi umpan bonggol jagung:plastik polipropilena, yakni 0%:100%, 50%:50%, dan 100%:0%. Variabel terikat adalah *yield bio-oil* dan komposisi fraksi non-polar dari *bio-oil* yang dianalisis dengan GC-MS (*gas chromatography-mass spectrometry*) dan H-NMR (*hydrogen-nuclear magnetic resonance*).

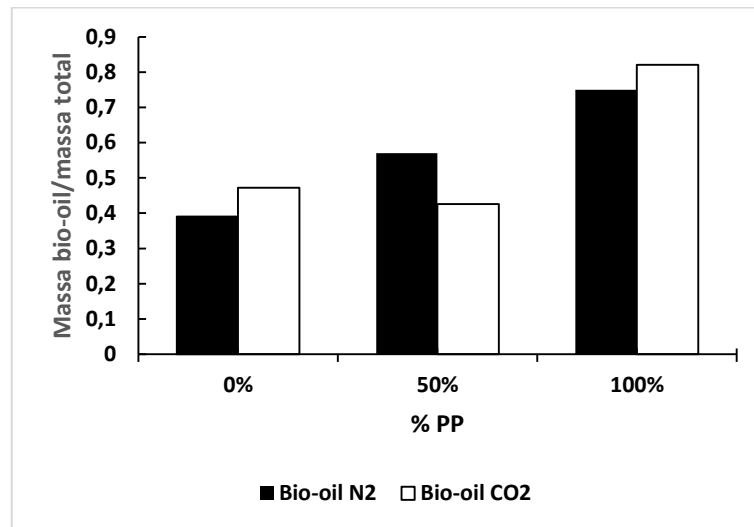


Gambar 1. Rangkaian reaktor tangki berpengaduk yang digunakan (Loandy, 2018)

PEMBAHASAN

Yield minyak nabati hasil pirolisis bonggol jagung dan plastik polipropilena

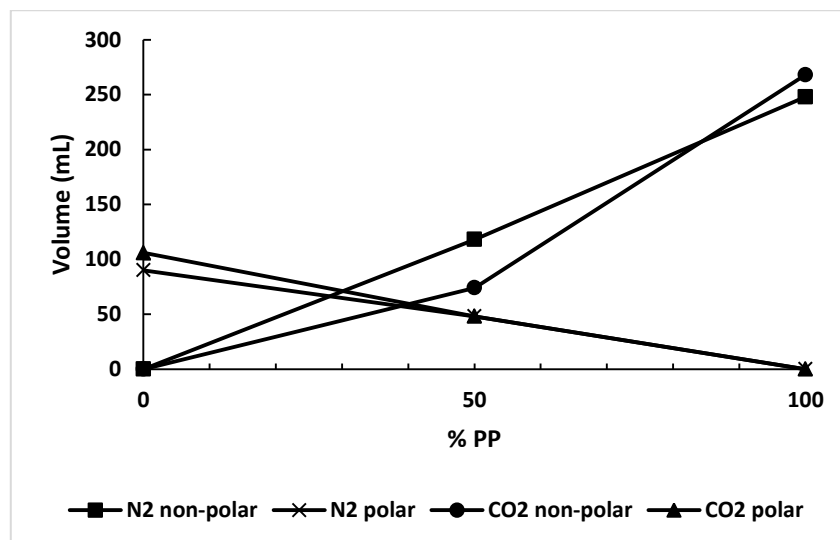
pada atmosfer CO₂ dan N₂ dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Yield minyak nabati hasil pirolisis bonggol jagung dan plastik polipropilena pada atmosfer N₂ dan CO₂

Dari Gambar 2. terlihat bahwa *yield* minyak nabati akan lebih tinggi saat menggunakan CO₂ sebagai gas pembawa apabila komposisi umpan yang digunakan adalah murni biomassa atau murni plastik polipropilena. Saat umpan berupa campuran, *yield* dari minyak nabati yang dihasilkan pada saat menggunakan gas CO₂ akan lebih rendah dibanding menggunakan gas N₂, seperti yang terlihat pada komposisi umpan 50% plastik polipropilena. Hal ini disebabkan karena temperatur degradasi plastik polipropilena yang akan turun dalam kehadiran biomassa, khususnya selulosa (Suriapparao, et al., 2014). Ada

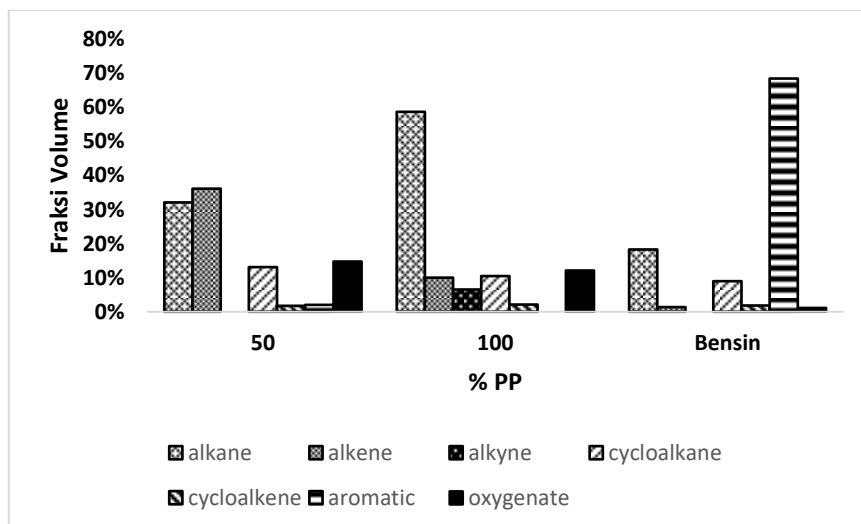
2 mekanisme yang dapat menjelaskan fakta ini, yakni CO₂ bereaksi dengan volatil organik (Guizani, dkk., 2013) atau terjadi pemotongan molekul gas-gas kondensibel menjadi gas non-kondensibel (Kwon *et al.*, 2012). Apabila kita lihat Gambar 3, terlihat bahwa *yield* fraksi polar dari minyak nabati pada atmosfer N₂ dan CO₂ pada berbagai komposisi umpan adalah hampir sama, sedangkan *yield* fraksi non-polar dari minyak nabati pada atmosfer CO₂ lebih rendah dibandingkan pada atmosfer N₂, sehingga bisa disimpulkan bahwa interaksi CO₂ terjadi mayoritas dengan molekul volatil dari plastik polipropilena.



Gambar 3. Yield minyak nabati fraksi polar dan non-polar pada atmosfer CO₂ dan N₂

Hasil analisis GC-MS dari fraksi non-polar minyak nabati dapat dilihat pada Gambar 4. Dari Gambar 4 terlihat bahwa apabila komposisi plastik polipropilena pada umpan ditingkatkan, maka kandungan alkana akan meningkat dan kandungan alkena akan menurun. Kontribusi biomassa pada alkana rantai lurus kemungkinan berasal dari degradasi selulosa (Zhang, dkk., 2016). Furan yang berasal dari pemutusan rantai dan penyusunan ulang molekul selulosa dan hemiselulosa akan bereaksi dengan olefin yang berasal dari degradasi plastik melalui mekanisme reaksi Diels-Alder, yang kemudian diikuti dengan reaksi dehidrasi, aromatisasi, dan oligomerisasi untuk membentuk

hidrokarbon aromatik. Kehadiran sikloalkana dan sikloalkena pada minyak nabati hasil pirolisis plastik polipropilena murni menunjukkan bahwa siklisasi dari oligomer plastik terjadi karena posisi radikal yang berbeda-beda pada mekanisme isomerisasi intramolekuler dalam pirolisis plastik (Vinu dan Broadbelt, 2012). Apabila dibandingkan dengan hasil analisis bahan bakar komersial seperti bensin, terlihat bahwa bensin lebih banyak mengandung aromatik dibandingkan molekul-molekul rantai lurus seperti alkana dan alkena. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan nilai bilangan oktan (*research octane number*, RON) dari bensin (Boot, dkk., 2017).



Gambar 4. Hasil analisis GC-MS pada fraksi non-polar minyak nabati pada atmosfer CO₂

Hasil analisis H-NMR dari fraksi non-polar dari minyak nabati dapat dilihat pada Tabel 1. Terlihat dari Tabel 1 bahwa populasi hidrogen pada ikatan alilik 3 kali lebih besar dibanding populasi hidrogen pada ikatan alkena apabila dibandingkan dengan populasi hidrogen pada ikatan alilik dan ikatan alkena pada atmosfer N₂ (Loandy, 2018), sehingga dapat diperkirakan bahwa fraksi non-polar dari minyak nabati yang dihasilkan dari *co-pyrolysis* bonggol jagung dan plastik polipropilena pada atmosfer CO₂ akan memiliki nilai RON yang lebih tinggi dibandingkan pada atmosfer N₂ (Boot, dkk., 2017).

Secara umum, tidak ada perbedaan yang signifikan pada komposisi dari fraksi non-polar minyak nabati berdasarkan komposisi umpannya. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi panas kurang lebih merata ke setiap partikel bonggol jagung dan plastik polipropilena selama proses pirolisis, sehingga ikatan kimia yang putus dan terbentuk secara keseluruhan adalah sama (Loandy, 2018). Hasil berbeda yang diperoleh melalui analisis GC-MS dan H-NMR disebabkan karena GC-MS hanya mendeteksi molekul dengan berat sampai 550 saja (Kunwar, dkk., 2017). Dengan itu, kenaikan kandungan alkana

dan turunnya kandungan alkena yang terdeteksi di GC-MS terjadi pada *range* berat molekul rendah, yang terdeteksi di H-NMR dalam jumlah yang sedikit. Rendahnya kandungan aromatik di spektrum H-NMR yang berlawanan dengan kandungan yang relatif cukup

tinggi yang terdeteksi di spektrum GC-MS menunjukkan bahwa kandungan aromatik didominasi oleh hidrokarbon poliaromatik yang memiliki berat molekul tinggi, sehingga tidak terdeteksi pada GC-MS.

Tabel 1. Hasil analisis H-NMR pada fraksi non-polar minyak nabati pada atmosfer CO₂

	50% PP	100% PP	Bensin komersial
% metil	51.69	52.12	43.14
% metilena	13.94	13.92	24.75
% metuna	10.09	9.61	4.40
% alil	18.05	18.05	18.14
% alkena	5.98	5.87	0.74
% aromatik	0.13	0.09	8.83
Indeks percabangan	1.43	1.48	0.99

Indeks percabangan (*Branching index*, BI) dihitung dengan formula yang diusulkan oleh Yan *et al.* (2015):

$$BI = \frac{\frac{1}{3} \times S_{CH_3}}{\frac{1}{2} \times (S_{CH_2} + S_{CH})} \quad (1)$$

dengan S menunjukkan luasan area di bawah kurva spektrum H-NMR.

Besaran nilai indeks percabangan dari fraksi non-polar minyak nabati lebih besar dibandingkan indeks percabangan dari bensin. Hal ini menunjukkan bahwa fraksi non-polar minyak nabati memiliki kandungan hidrokarbon rantai lurus relatif lebih banyak dibandingkan dengan bensin, yang didukung oleh hasil analisis GC-MS bahwa bensin banyak mengandung molekul aromatik. Wagner *et al.* (2017) menunjukkan bahwa syarat bensin yang berlaku dalam Uni Eropa pada tahun 2016 adalah nilai RON 95, dengan kandungan maksimum alkena 18% volume/volume (v/v), aromatik maksimum 35% v/v, dan benzena maksimum 1% v/v. Apabila kita tinjau dari kandungan alkena dan aromatik pada fraksi non-polar dari minyak nabati berdasarkan hasil H-NMR pada Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa fraksi non-polar dari minyak nabati yang dihasilkan hampir memenuhi syarat sebagai bahan bakar bensin gas.

KESIMPULAN

Yield minyak nabati hasil hasil pirolisis pada komposisi umpan murni akan lebih tinggi saat CO₂ digunakan sebagai gas pembawa, namun saat komposisi umpan campuran bonggol jagung dan plastik polipropilena digunakan maka *yield* minyak nabati akan lebih rendah dibandingkan dengan *yield* pada *co-pyrolysis* yang menggunakan N₂ sebagai gas pembawa. Hasil H-NMR menunjukkan bahwa fraksi non-polar dari minyak nabati yang dihasilkan memiliki nilai *branching index* yang tinggi dan kandungan alkena dan aromatik yang rendah sehingga mempunyai potensi untuk digunakan menjadi bahan bakar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dana Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia skema pendanaan tahun 2018 sehingga penelitian ini bisa terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Boot, M. D., Tian, M., Hensen, E. J. M., Sarathy, S. M., 2017, Impact of Fuel Molecular Structure on Auto-ignition Behavior-Design Rules for Future High Performance Gasolines,

- Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 60, pp. 1-25.
- Cengel, Y. A., Ghajar, A., 2015, *Heat Transfer, Fundamentals and Application*, New York: McGraw-Hill.
- Guizani, C., F. Sanz, J. E., Salvador, S., 2017. Effects of CO₂ on biomass fast pyrolysis: Reaction rate, gas yields and char reactive properties, *Fuel*, vol. 116, pp. 310-320.
- Kunwar, B., Deilami, S. D., Macaskie, L. E., Wood, J., Biller, P., Sharma, B. K., 2017, Nanoparticles of Pd Supported on Bacterial Biomass for Hydroprocessing Crude Bio-oil, *Fuel*, vol. 209, pp. 450.
- Kwon, E. E., Yi, H., Castaldi, M. J., 2012, Utilizing Carbon Dioxide as a Reaction Medium to Mitigate Production of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Thermal Decomposition of Styrene Butadiene Rubber, *Environmental Science and Technology*, vol. 46, no. 19, pp. 10752-7.
- Liquid Air Energy Network, 2013, *Liquid air production and cost*. [ONLINE] Tersedia di: <http://liquidair.org.uk/full-report/report-chapter-six>. [Diakses pada 26 November 2017].
- Loandy, S. F., 2018, Pengaruh Penambahan Plastik Polipropilena terhadap Penurunan Kadar Oksigenat oleh Hidrogen pada Bio-oil Hasil *Slow Pyrolysis* Bonggol Jagung, Universitas Indonesia: *Skripsi*.
- Lu, Q., Li, W., Zhu, X., 2009, Overview of Fuel Properties of Biomass Fast Pyrolysis Oils, *Energy Conversion and Management*, vol. 50, no. 5, pp. 1376-1383.
- Supramono, D., Jonathan, Haqqyana, Setiadi, H., Nasikin, M., 2016, Improving bio-oil quality through co-pyrolysis of corn cobs and polypropylene in a stirred tank reactor. *International Journal of Technology*, vol. 8, pp. 1382-1392.
- Supramono, D., Julianto, Haqqyana, Setiadi, H., Nasikin, M., 2017, Phase separation of bio-oil produced by co-pyrolysis of corn cobs and polypropylene, *In Earth and Environmental Science*, Kunming, China, 22-25 September, Bristol, United Kingdom: IOP Science, pp.1-13.
- Suriapparao, D. V., Ojha, D. K., Ray, T., Vinu, R., 2014, Kinetic analysis of co-pyrolysis of cellulose and polypropylene, *J Therm Anal Calorim*, vol. 117, pp. 1441-1451.
- Vinu, R. dan Broadbelt, L. J., 2012, Unraveling Reaction Pathways and Specifying Reaction Kinetics for Complex Systems, *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, vol. 3, pp. 29-54
- Wagner, V., Stahl, R., Olivares, E., Morgan, M., Foukes, E., 2015, EU: Fuels: Diesel and Gasoline, [ONLINE] Tersedia di; [#http://transportpolicy.net/index.php?title=EU:_Fuels:_Diesel_and_Gasoline](http://transportpolicy.net/index.php?title=EU:_Fuels:_Diesel_and_Gasoline) #HighwayGasoline.
- Yan, G., Jing, X., Wen, H., Xiang, S., 2015. Thermal Cracking of Virgin and Waste Plastics of PP and LDPE in a Semibatch Reactor under Atmospheric Pressure, *Energy & Fuels*, vol. 29, pp. 2289-2298.
- Zhang, X., Lei, H., Chen, S., Wu, J., 2016, Catalytic *co-pyrolysis* of lingo-cellulosic biomass with polymers: a critical review, *Green Chemistry*, vol. 18, no. 15, pp. 4145-4169.

BIODATA PENULIS

Justin Edgar, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Ir. Dijan Supramono, M.Sc., Ph.D. menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia dari Institut Teknologi Bandung tahun 1984, S2 pada Jurusan Teknik Kimia dari University of Manchester tahun 1991, dan S3 dari University of Adelaide. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia dengan jabatan akademik Lektor Kepala pada bidang minat *coal and biomass combustion; fluid mechanics in combustion*.

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH POROSITY RATIO PADA PERFORATED TWISTED TAPE INSERT TERHADAP KARAKTERISTIK HEAT TRANSFER DAN FRICTION FACTOR PADA PENUKAR KALOR PIPA GANDA

Susi Puspitasari¹, Arrad Ghani Safitra²

^{1,2}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Email: ¹susipuspitasari01@gmail.com, ²arradgs@pens.ac.id

Masuk: 1 September 2018, Revisi masuk: 10 September 2018, Diterima: 14 September 2018

ABSTRACT

Heat exchanger is used device to transfer thermal energy (enthalpy) between two or more fluids at different temperatures. One type of heat exchanger is double pipe heat exchanger. Double pipe heat exchanger consists of one pipe placed concentrically in another pipe with a larger diameter. One fluid passes through the inner pipe and the other fluid passes through the outer pipe (annulus). Performance of double pipe heat exchangers can be determined based on the characteristics of heat transfer and friction factor. One effort to improve the performance of double pipe heat exchanger can by passive method which is adding perforated twisted tape in the inner pipe. Perforated twisted tape had three different porosity ratios, that is 1.88, 3.77, and 5.65% that comparison with plain twisted tape (porosity ratio 0). Fluid flowed in double pipe heat exchanger is water in liquid phase in laminar-transition flow regime. Reynolds number in annulus is made constant at 2000, while in inner pipe is 1000-5000. Temperature of water entering annulus and inner pipe is kept constant at 20°C and 50°C, respectively. From the experimental results it found that perforated twisted tape increased Nusselt number and friction factor values respectively 0.1-0.8% and 203-1536% higher than double pipe heat exchanger without twisted tape (plain tube). Perforated twisted tape with porosity ratio 3.77% has the best performance, that is increasing Nusselt number average of 0.31% from 28.8913 in plain tube to 28.9810 and increasing friction factor average of 366.34% from 0.6521 in plain tube to 3.0410.

Keywords: Heat transfer, friction factor, double pipe heat exchanger, perforated twisted tape

INTISARI

Penukar kalor merupakan alat yang digunakan untuk mentransfer energi termal (entalpi) antara dua atau lebih fluida pada temperatur yang berbeda. Salah satu jenis penukar kalor adalah penukar kalor pipa ganda. Penukar kalor pipa ganda terdiri dari satu pipa ditempatkan secara konsentris di dalam pipa yang lain dengan ukuran diameter yang lebih besar. Satu fluida melewati pipa bagian dalam (inner pipe) dan fluida lainnya melewati pipa bagian luar (annulus). Kinerja penukar kalor pipa ganda dapat ditentukan berdasarkan karakteristik heat transfer dan friction factor. Salah satu upaya untuk meningkatkan kinerja penukar kalor pipa ganda dapat dilakukan dengan metode pasif yaitu menambahkan perforated twisted tape pada pipa bagian dalam. Perforated twisted tape yang digunakan memiliki tiga porosity ratio yang berbeda yaitu 1.88, 3.77, dan 5.65 % yang nantinya dibandingkan dengan plain twisted tape (porosity ratio 0). Fluida yang dialirkan dalam penukar kalor pipa ganda berupa air dalam fasa liquid pada rezim aliran laminar-transisi. Bilangan Reynolds pada annulus dibuat konstan sebesar 2000, sedangkan pada inner pipe dibuat 1000-5000. Temperatur air yang masuk annulus dan inner pipe dibuat konstan masing-masing sebesar 20°C dan 50°C. Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa perforated twisted tape meningkatkan nilai bilangan Nusselt dan friction factor masing-masing sebesar 0.1-0.8% dan 203-1536% lebih tinggi daripada penukar kalor pipa ganda tanpa adanya twisted tape (plain tube). Perforated twisted tape dengan porosity ratio 3.77% memiliki kinerja yang paling baik yaitu meningkatkan bilangan Nusselt rata-rata 0.31% dari 28.8913 pada plain tube menjadi 28.9810 dan

meningkatkan *friction factor* rata-rata 366.34% dari 0.6521 pada *plain tube* menjadi 3.0410.

Kata-kata kunci : *Heat transfer, friction factor, penukar kalor pipa ganda, perforated twisted tape*

PENDAHULUAN

Penukar kalor merupakan alat yang digunakan untuk mentransfer energi termal (entalpi) antara dua atau lebih fluida pada temperatur yang berbeda (Shah & Sakulic, 2003). Salah satu jenis penukar kalor adalah penukar kalor pipa ganda. Penukar kalor pipa ganda terdiri dari satu pipa yang ditempatkan secara konsentris di dalam pipa yang lain dengan ukuran diameter yang lebih besar (Kakac & Liu, 2002). Satu fluida melewati pipa bagian dalam (*inner pipe*) dan fluida lainnya melewati pipa bagian luar (*annulus*) (Incopera & Dewitt, 2011). Penukar kalor pipa ganda dapat digunakan dalam area *heat transfer* yang kecil.

Dalam penggunaannya, dibutuhkan penukar kalor pipa ganda dengan karakteristik *heat transfer* yang tinggi serta *friction factor* yang rendah agar semakin efisien. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menambahkan *twisted tape* di aliran pipa bagian dalam. *Twisted tape* ini dibuat dari suatu logam yang dipluntir, yang biasanya disebut *plain twisted tape*. Fungsinya untuk mencampur aliran bagian tengah dan aliran yang dekat dengan dinding (sebagai turbulator) sehingga mengganggu lapisan batas termal (Naphon, 2006; Eiamsa-ard, Wongcharee, & Sripattanapipat, 2009). Penggunaan *twisted tape* juga dapat dimodifikasi untuk meningkatkan performanya. Salah satunya adalah memberikan *perforated* dengan rasio *porosity* tertentu. *Perforated twisted tape* ini selain dapat meningkatkan karakteristik *heat transfer* juga dapat menurunkan *friction factor*.

Penelitian mengenai penukar kalor pipa ganda dengan penambahan *twisted tape* telah banyak dilakukan. Pada tahun 2006, Paisarn Naphon (Naphon, 2006) melakukan penelitian mengenai *heat transfer* dan *pressure drop* pada pipa ganda horisontal dengan

dan tanpa menambahkan *twisted tape* didalamnya. *Twisted tape* yang digunakan terbuat dari plat aluminium dengan tebal 1 mm dan panjang 2000 mm dengan memvariasikan panjang satu *twist (H)* yaitu sebesar 2.5 cm dan 3 cm. Fluida yang digunakan berupa air dalam fasa *liquid*. Hasil yang didapatkan adalah dengan penambahan *twisted tape* terjadi peningkatan karakteristik *heat transfer* sebesar 15% dari perhitungan serta *friction factor* sebesar 10% dari perhitungan. Temperatur air panas dan dingin terbaik yang masuk pada pipa yang digunakan masing-masing sebesar 45°C dan 15°C dengan laju alir massa 0.03 kg/s.

Perkembangan dari penelitian sebelumnya dilakukan oleh S. Naga Sarada, dkk. (2010) mengenai penggunaan *twisted tape*. *Twisted tape* yang digunakan dengan memvariasikan rasio *twist*. Rasio *twist* merupakan perbandingan antara panjang satu *twist/pitch (H)* terhadap diameter pipa bagian dalam. Rasio *twist* yang digunakan adalah 3, 4 dan 5 dengan *pitch* masing-masing 82.5, 110, dan 137.5 mm serta diameter pipa bagian dalam 27.5 mm. Selain itu, variasi yang digunakan adalah lebar dari *twisted tape* sebesar 10, 14, 18, 22, dan 26 mm. Hasil yang didapatkan adalah *Nusselt number* dan *friction factor* tertinggi adalah pada rasio *twist* 3 dengan lebar *twisted tape* 26 mm. Nilai *Nusselt number* dan *friction factor* masing-masing adalah 36 dan 0.0093 pada *Re* sebesar 10000.

Selanjutnya Bhuiya, dkk. (2013) juga melakukan penelitian mengenai *twisted tape*. Namun dimodifikasi dengan menambahkan lubang dengan diameter tertentu di sepanjang *twist (perforated)*. *Twisted tape* jenis ini dinamakan *perforated twisted tape*. *Perforated twisted tape* yang digunakan rasio *porosity* berbeda-beda. Rasio *porosity* merupakan rasio antara luasan *perforated* di sepanjang *twisted tape* dan luasan *twisted tape* secara keseluruhan.

Pada penelitian ini, *twisted tape* yang digunakan memiliki panjang 1500 mm, lebar 62 mm, tebal 3 mm, dan rasio *twist* 1.92. Variasi rasio *porosity* sebesar 1.6, 4.5, 8.9, dan 14.7% dengan diameter *perforated* masing-masing 3, 5, 7, dan 9 mm. Aliran yang digunakan dalam rezim turbulen ($Re = 7200-49800$) pada fluida kerja udara. Hasil yang didapatkan, terjadi peningkatan *nusselt number* sebesar 110-340%, *friction factor* sebesar 110-360%, dan *thermal performance* sebesar 28-59%. *Porosity* yang menghasilkan *transfer* panas yang baik adalah 4.5%. Namun semakin besar atau semakin kecil rasio *porosity* tidak dapat menentukan kemampuan *heat transfer* yang efisien. Begitu pula dengan *friction factor* yang terjadi.

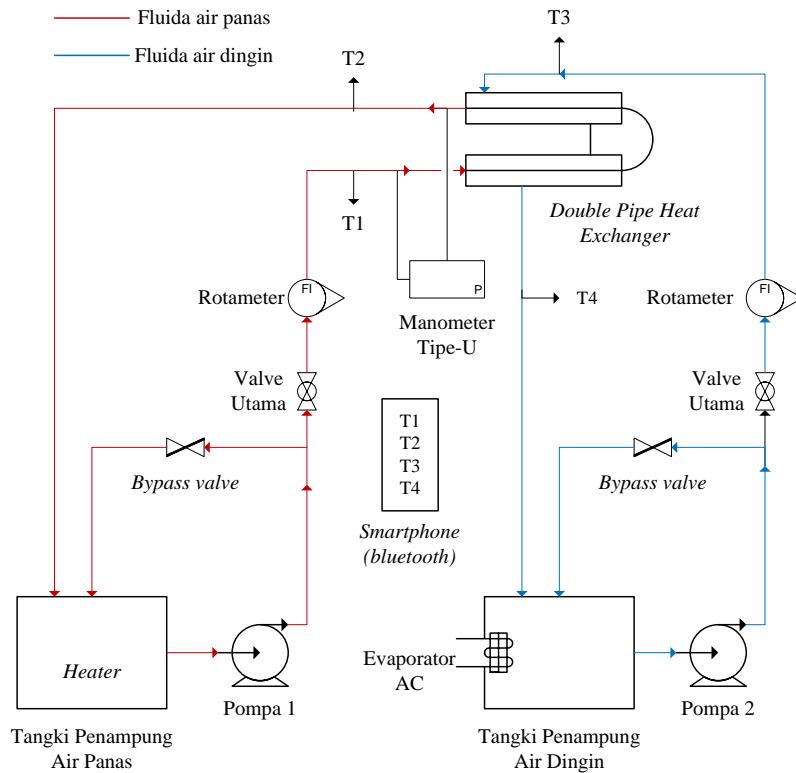
Oleh karena itu, pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh rasio *porosity* 1.88, 3.77, dan 5.65% terhadap karakteristik *heat transfer* dan *friction factor* penukar kalor pipa ganda pada aliran laminar-transisi agar peningkatan dengan ada atau tidaknya *perforated* pada *twisted tape* dapat diketahui perbedaannya secara signifikan. Karakteristik *heat transfer* dan *friction factor* dengan penambahan *twisted tape* sendiri lebih baik ketika berada di aliran laminar karena aliran laminar menyebabkan resistansi termal lebih rendah (Kumar & Murugesan, 2012). Fluida yang digunakan adalah air dalam fasa *liquid*. Tahap selanjutnya akan dibandingkan peningkatan yang terjadi dari tanpa adanya *twisted tape* (*plain tube*) dengan menambahkan *perforated twisted tape* dengan variasi *porosity ratio* dan *plain twisted tape*.

METODE PENELITIAN

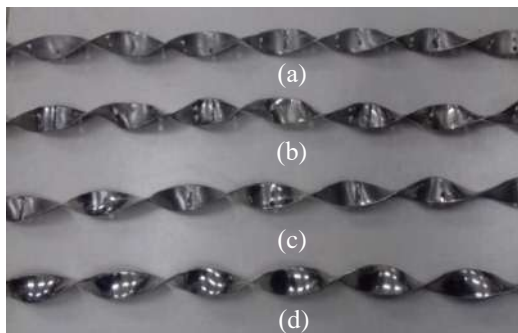
Penelitian secara eksperimen dilakukan dengan menguji penukar kalor pipa ganda dengan penambahan *perforated twisted tape* dengan variasi rasio *porosity* di Laboratorium Termal Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS). Skema dari pengujian dapat ditunjukkan pada gambar 1. Air dingin dengan temperatur 20°C dan laju alir

massa 0.3 kg/s ($Re = 2000$) dialirkan menggunakan pompa 1 ke sisi *annulus*. Sedangkan air panas dengan temperatur 50°C dan laju alir massa 0.0074, 0.0148, 0.0222, 0.0296, dan 0.0370 kg/s ($Re = 1000, 2000, 3000, 4000, \text{ dan } 5000$) dialirkan menggunakan pompa 2 ke sisi *inner pipe* dengan arah aliran yang berlawanan (*counter flow*). Terdapat empat sensor temperatur NTC yang terpasang di sisi masuk dan keluar pada *inner pipe* dan *annulus*. Keempat sensor tersebut dirangkai dan dihubungkan menggunakan *bluetooth* ke *smartphone* untuk mengetahui temperatur air yang nantinya digunakan untuk menghitung karakteristik *heat transfer*. Selain itu, dipasang manometer tipe-U di sisi masuk dan keluar *inner pipe* untuk mengetahui beda ketinggian air dalam manometer tipe-U yang nantinya digunakan untuk menghitung *pressure drop* yang selanjutnya menghitung *friction factor*. *Inner pipe* yang digunakan terbuat dari aluminium dengan diameter 0.017 m, ketebalan 0.001 m, dan panjang 1.5909 m yang dibuat menjadi bentuk U. Sedangkan *annulus* terbuat dari *acrylic* dengan diameter 0.038 m, ketebalan 0.001 m, dan panjang 0.435 m yang dipasang secara konsentris di *inner pipe*.

Pada sisi *inner pipe* ditambahkan *perforated twisted tape* dengan variasi rasio *porosity* 0, 1.88, 3.77, dan 5.65% yang ditunjukkan pada gambar 2. Sementara penukar kalor dengan penambahan *perforated twisted tape* dapat ditunjukkan pada gambar 3. Rasio *porosity* merupakan rasio antara luasan *perforated* di sepanjang *twisted tape* dan luasan *twisted tape* secara keseluruhan. *Twisted tape* yang digunakan terbuat dari *stainless steel* dengan panjang *tape* 0.500 m, lebar 0.015 m, ketebalan 0.001 m, panjang satu pluntiran (*pitch*) 0.050 dan rasio *twist* 2.94. Sementara *perforated* yang terdapat di *twisted tape* memiliki diameter 0.003 m, jarak transversal 0.006 m, dan jarak aksial: 0.0100 m ($R_p = 1.88\%$); 0.0125 m ($R_p = 3.77\%$); dan 0.0167 m ($R_p = 5.65\%$).



Gambar 1. Skema sistem pengujian *double pipe heat exchanger*



Gambar 2. *Perforated twisted tape* dengan *porosity ratio* (a) 5.65% (b) 3.77% (c) 1.88% (d) 0 atau *plain twisted tape*



Gambar 3. Penukar kalor pipa ganda dengan penambahan *perforated twisted tape*

Terdapat beberapa parameter untuk menghitung karakteristik *heat transfer* dan *friction factor* pada penelitian ini, diantaranya adalah sebagai berikut.

Menghitung laju *heat transfer*

Laju *heat transfer* yang dihitung terdiri dari dua bagian yaitu pada *inner pipe* dan *annulus* yang selanjutnya dicari nilai rata-rata dari keduanya. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju *heat transfer* adalah sebagai berikut.

$$q_h = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (1)$$

$$q_c = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2)$$

$$q_{ave} = \frac{q_h + q_c}{2}$$

Keterangan:

- q : Laju perpindahan panas (W)
- \dot{m} : Laju alir massa (kg/s)
- C_p : Kapasitas kalor spesifik (J/kg.K)
- T : Temperatur (K)

Menghitung bilangan Nusselt

Bilangan *Nusselt* mendefinisikan karakteristik *heat transfer*. Persamaan yang digunakan untuk menghitung bilangan *Nusselt* adalah sebagai berikut (Cengel, 2005).

$$Nu_h = \frac{h_i d_i}{k_h} \quad (4)$$

Dimana koefisien *heat transfer* (h_i) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$h_i = \frac{q_h}{A(T_{h,i} - T_{h,o})} \quad (5)$$

Keterangan:

- Nu : Bilangan *Nusselt*
- h : Koefisien *heat transfer* konveksi (W/m.K)
- d_i : Diameter pipa bagian dalam (m)
- k : Konduktivitas termal (W/m²K)
- A : Area terjadinya *heat transfer* (m²)

Menghitung friction factor

Friction factor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Bhuiya, dkk., 2013).

$$f = \frac{2 \Delta P d_i}{\rho v^2 l} \quad (6)$$

Dimana *pressure drop* (ΔP) dan kecepatan fluida (v) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta P = \rho g \Delta h \quad (7)$$

$$v_h = \frac{\dot{m}_h}{\rho_h A_h} \quad (8)$$

Keterangan:

- f : Fakt o r gesekan
- l : Panjang *inner pipe* (m)
- ρ : Densitas fluida (kg/m³)
- ΔP : *Pressure drop* (Pa)

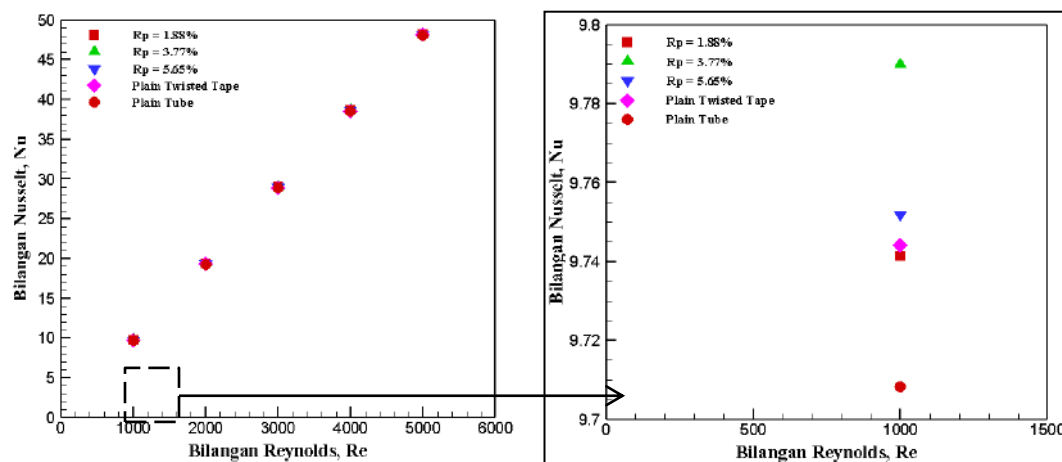
v : Kecepatan aliran (m/s)

PEMBAHASAN

Terdapat dua bahasan pokok dalam penelitian ini, yaitu pengaruh *porosity ratio* pada *perforated twisted tape insert* terhadap karakteristik *heat transfer* dan pengaruh *porosity ratio* pada *perforated twisted tape insert* terhadap *friction factor*.

Pengaruh *porosity ratio* pada *perforated twisted tape insert* terhadap karakteristik *heat transfer*

Pengaruh *porosity ratio* terhadap bilangan *Nusselt* dapat ditunjukkan pada Gambar 4. Semakin besar bilangan *Reynolds* maka *heat transfer* yang terjadi dalam suatu fluida semakin besar. Hal itu dikarenakan intensitas turbulensi dapat meningkatkan *heat transfer* secara konveksi (Bhuiya, dkk., 2013). Namun, nilai bilangan *Nusselt* yang terjadi pada masing-masing variasi dalam satu nilai bilangan *Reynolds* yang sama memiliki selisih yang sedikit, karena sistem bekerja pada aliran laminar-transisi, yang menyebabkan kinerja dari penukar kalor pipa ganda kurang maksimal. Penambahan *twisted tape* baik *plain* maupun *perforated* dapat meningkatkan *heat transfer* dibandingkan dengan tanpa adanya *twisted tape* (*plain tube*). Hal itu dikarenakan dengan adanya *twisted tape* dapat menyebabkan *swirl flow* atau *secondary flow* di sepanjang aliran fluida (Bhuiya, dkk., 2013).



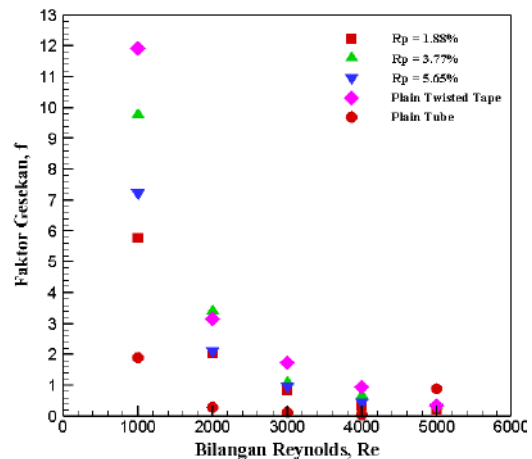
Gambar 4. Grafik pengaruh *porosity ratio* terhadap bilangan *Nusselt*

Penambahan *perforated twisted tape* dengan variasi rasio *porosity* dapat meningkatkan bilangan *Nusselt* 0.1-0.8% lebih tinggi dibandingkan dengan *plain tube*, sedangkan penggunaan *plain twisted tape* dapat meningkatkan bilangan *Nusselt* 0.2-0.4% dibandingkan *plain tube*. Variasi rasio *porosity* 3.77% merupakan variasi yang dapat meningkatkan *heat transfer* paling tinggi dibandingkan dengan variasi rasio *porosity* yang lain dan *plain twisted tape*. Apabila dirata-rata dari bilangan *Reynolds* 1000-5000 didapatkan peningkatan bilangan *Nusselt* rata-rata 0.20% dari 28.8913 pada *plain tube* menjadi 28.9481 untuk *plain twisted tape*, sedangkan rasio *porosity* 3.77% dapat meningkatkan bilangan *Nusselt* rata-rata 0.31% dari 28.8913 pada *plain tube* menjadi 28.9810. Tingginya nilai bilangan *Nusselt* pada *perforated twisted tape* dengan rasio *porosity* 3.77% disebabkan oleh kuatnya intensitas *swirl flow* yang dihasilkan, sehingga menyebabkan gangguan yang lebih efisien pada lapisan batas di sepanjang jalur aliran. Rasio *porosity* yang tinggi dapat menyebabkan efek *swirl flow* yang lebih sedikit, sedangkan rasio *porosity* yang rendah dapat menyebabkan agitasi yang rendah pada aliran fluida (Bhuiya, dkk., 2013). Namun, semakin besar atau kecil rasio *porosity* tidak dapat menunjukkan besar atau kecilnya nilai *heat transfer* yang terjadi.

Pengaruh *porosity ratio* pada *perforated twisted tape insert* terhadap *friction factor*

Pengaruh *porosity ratio* terhadap *friction factor* dapat ditunjukkan pada Gambar 5. Semakin besar bilangan *Reynolds* maka *friction factor* yang terjadi semakin menurun. Artinya semakin turbulen suatu aliran yang melewati pipa, maka gesekan yang terjadi semakin sedikit. Penambahan *twisted tape* dapat meningkatkan *friction factor*, penyebabnya karena adanya *flow blockage* dan luas permukaan kontak fluida yang lebih besar antara fluida dengan dinding *tube* dan *twisted tape* dengan jalur aliran fluida yang lebih panjang sehingga *pressure drop* tinggi terjadi karena

interaksi gaya tekanan dengan gaya inersia pada lapisan batas (Bhuiya, dkk., 2013).



Gambar 5. Grafik pengaruh *porosity ratio* terhadap *friction factor*

Penambahan *perforated twisted tape* dengan variasi rasio *porosity* dapat meningkatkan *friction factor* 203-1536% lebih tinggi dibandingkan dengan *plain tube*, sedangkan penggunaan *plain twisted tape* dapat meningkatkan *friction factor* 528-2243% dibandingkan *plain tube*. Variasi *porosity ratio* 3.77% dapat meningkatkan *friction factor* yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi rasio *porosity* yang lain, namun lebih rendah dibandingkan dengan *plain twisted tape*. Apabila dirata-rata dari bilangan *Reynolds* 1000-5000 didapatkan peningkatan *friction factor* rata-rata 455.05% dari 0.6521 pada *plain tube* menjadi 3.6194 untuk *plain twisted tape*, sedangkan rasio *porosity* 3.77% dapat meningkatkan *friction factor* rata-rata 366.34% dari 0.6521 pada *plain tube* menjadi 3.0410. Hal itu disebabkan karena pada rasio *porosity* 3.77% menghasilkan *swirl flow* atau aliran turbulen yang tinggi dan waktu tinggal yang lama dan *inner pipe* sehingga gesekan yang terjadi semakin besar (Bhuiya, Chowdhury, M.Saha, & Islam, 2013). Namun, semakin besar atau kecil rasio *porosity* tidak dapat menunjukkan besar atau kecilnya nilai *friction factor* yang terjadi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisis mengenai pengaruh *porosity ratio* pada

perforated twisted tape insert terhadap karakteristik *heat transfer* dan *friction factor* dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penambahan *perforated twisted tape* dapat meningkatkan bilangan *Nusselt* dan *friction factor* masing-masing 0.1-0.8% dan 203-1536% lebih tinggi dari *plain tube*.
2. *Perforated twisted tape* dengan *porosity ratio* 3.77% dapat meningkatkan karakteristik *heat transfer* paling tinggi dibandingkan dengan *porosity ratio* yang lain dan *plain twisted tape*, yaitu meningkatkan bilangan *Nusselt* rata-rata 0.31% dari 28.8913 pada *plain tube* menjadi 28.9810.
3. *Perforated twisted tape* dengan *porosity ratio* 3.77% juga dapat meningkatkan *friction factor* lebih tinggi dibandingkan dengan *porosity ratio* yang lain namun lebih rendah dibandingkan *plain twisted tape*, yaitu meningkatkan *friction factor* rata-rata 366.34% dari 0.6521 pada *plain tube* menjadi 3.0410.
4. Semakin besar atau kecil *porosity ratio* tidak dapat menentukan semakin besar atau kecil karakteristik *heat transfer* dan *friction factor*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada program studi Sistem Pembangkit Energi, Departemen Teknik Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya yang telah menunjang dalam penelitian ini, khususnya pihak-pihak terkait dan Laboratorium Thermal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhuiya, M., Chowdhury, M., M.Saha, & Islam, M., 2013, Heat transfer and friction factor characteristics in turbulent flow through a tube fitted with perforated twisted tape insert. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 46, pp. 49-57.
- Cengel, Y. A., 2005, *Heat Transfer A Pratical Approach* (2nd ed.).
- Eiamsa-ard, S., Wongcharee, K., Sripattanapipat, S., 2009, 3-D Numerical simulation of swirling flow and convective heat transfer in a

circular tube induced by means of loose-fit twisted tape. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 36, pp. 947-955.

- Incopera, F. P., Dewitt, D. P., 2011, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (7th ed.), United Sates of America: John Wiley & Sons.
- Kakac, S., Liu, H., 2002, *Heat Exchanger Selection, Rating and Thermal Design* (2nd ed.), Florida: CRC Press LLC.
- Kumar, C. N., Murugesan, P., 2012, (April). Review on Twisted Tapes Heat Transfer Enhancement. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 3, pp. 1-9.
- Naphon, P., 2006, Heat transfer and pressure drop in the horizontal double pipes with and without twisted tape insert. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 33, pp. 166-175.
- Sarada, S. N., Raju, A. S., Radha, K. K., & Sunder, L. S., 2010, Enhancement of heat transfer using varying width twisted tape insert. *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, pp. 107-118.
- Serth, R. W., 2007, *Process Heat Transfer Principles and Applications*. United Kingdom: Elsevier.
- Shah, R. K., Sakulic, D. P., 2003, *Fundamental of Heat Exchanger Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

BIODATA PENULIS

Susi Puspitasari, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

Arrad Ghani Safitra, S.T., M.T., menyelesaikan pendidikan D3 dari Universitas Gadjah Mada tahun 2010, S1 dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2013, dan S2 dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember tahun 2016. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap program studi Sistem Pembangkitan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

KARAKTERISASI SIFAT OPTIK C-DOTS DARI KULIT LUAR SINGKONG MENGUNAKAN TEKNIK MICROWAVE

Permono Adi Putro¹, Lizzulfah Roza², Isnaeni³

^{1,2} Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka

³ Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Email: ¹permonoadi29@gmail.com, ²lizzulfahroza@gmail.com,

³isnaeniusman@gmail.com

Masuk: 1 September 2018, Revisi masuk: 10 September 2018, Diterima: 14 September 2018

ABSTRACT

Carbon dots (C-dots) are a new type of phosphorescent nanoparticles that can be easily synthesized from natural sources or raw materials. The outer shell of cassava is the second waste obtained from cassava skin waste which is less attention to be utilized. Synthesis of C-dots from the outer shell of dried cassava has been successfully carried out with Microwave techniques. Synthesis of C-dots was carried out using water as a solvent with a variation of the concentration of precursor solutions to the microwave duration. Microwave duration causes changes in the structure and optical properties of C-dots. C-dots are characterized to study the optical properties of the UV-Vis absorbance spectrum and emission intensity in the form of emissions. The observed optical properties aim to determine the C-dots energy transition, such as surface and core energy. The core energy level becomes dominant in the transition $\pi \rightarrow \pi^$ compared to the transition of $n \rightarrow \pi^*$ in surface energy when the C-dots concentration increases so that energy shifts. This phenomenon is known from the top of the broad C-dots emission spectrum and shifts to longer wavelengths. In addition, we suspect that the difference in C-dots emissions is caused by the molecular density and content of the preparation based on the concentration of precursor solutions and the length of microwave time.*

Keywords: C-dots, cassava outer skin, energy shift, microwave duration, precursor solution concentration.

INTISARI

Carbon dots (C-dots) adalah tipe baru dari nanopartikel berpendar yang dapat mudah disintesis dari sumber atau bahan baku alami. Kulit luar singkong merupakan limbah kedua yang diperoleh dari limbah kulit singkong yang kurang perhatian untuk dimanfaatkan. Sintesis C-dots dari kulit luar singkong kering telah berhasil dilakukan dengan teknik Microwave. Sintesis C-dots dilakukan menggunakan air sebagai pelarut dengan variasi konsentrasi larutan prekursor terhadap lama waktu microwave. Lama waktu microwave menyebabkan perubahan struktur dan sifat optik dari C-dots. C-dots dikarakterisasi untuk mempelajari sifat optik dari spektrum absorbansi UV-Vis dan intensitas pendaran berupa emisi. Sifat optik yang diamati bertujuan untuk mengetahui transisi energi C-dots, seperti energi permukaan dan inti. Tingkat energi inti menjadi dominan pada transisi $\pi \rightarrow \pi^$ dibandingkan transisi $n \rightarrow \pi^*$ pada energi permukaan ketika konsentrasi C-dots meningkat sehingga mengalami pergeseran energi. Fenomena itu diketahui dari puncak spektrum emisi C-dots yang luas dan bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang. Selain itu, kami menduga bahwa perbedaan emisi C-dots disebabkan oleh kerapatan molekul dan kandungan penyusunannya berdasarkan konsentrasi larutan prekursor dan lama waktu microwave.*

Kata-kata kunci: C-dots, konsentrasi larutan prekursor, kulit luar singkong, lama waktu microwave, pergeseran energi.

PENDAHULUAN

Carbon dots (C-dots) telah muncul baru-baru ini sebagai salah satu penemuan yang paling menarik dalam pencarian nanomaterial baru (Yu, dkk., 2017), (Algarra, dkk., 2014). C-dots ditemukan sejak tahun 2004 secara tidak disengaja sebagai salah satu zat yang dihasilkan dari proses purifikasi atau pemurnian jenis nanomaterial *single-walled carbon nanotubes* (SWNT) (Xu, dkk., 2004), (Pires, dkk., 2015). C-dots adalah alternatif terbaru dari nanomaterial yang telah ditemukan dan menggambarkan beberapa kelebihan dibanding nanopartikel lain (Ngu, dkk., 2016). C-dots adalah nanopartikel yang memancarkan cahaya atau berpendar, tidak beracun dibandingkan alternatifnya yang serupa seperti quantum dots (Algarra, dkk., 2014).

Karakteristik C-dots tidak seperti nanodiamonds (Ding, dkk., 2014), C-dots merupakan material yang termasuk ke dalam kelas nanopartikel 0 dimensi yang bersifat fotoluminesensi (Sugiarti & Darmawan, 2015) dengan ukuran di bawah 10 nm memiliki kerangka atom karbon sp^2 hibridisasi dengan residu oksigen yang berlimpah (Fang, dkk., 2012) dan permukaannya dilapisi dengan gugus oksigen, polimer, atau spesies lainnya (Strauss, dkk., 2014), (Bao, dkk., 2015), (Unnikrishnan, dkk., 2016) (Smagulova, dkk., 2017). Selain itu, C-dots berbentuk bulat dan terdiri dari inti karbon amorf (Vassilakopoulou, dkk., 2016). C-dots menunjukkan karakteristik pendaran biru atau hijau di bawah sinar UV radiasi (Baruah, dkk., 2014).

Perkembangan dalam pembuatan C-dots menggunakan bahan alami yang memiliki ikatan rantai karbon (Baker & Baker, 2010) menjadi tantangan (Ma, dkk., 2017) dan kemajuan yang sangat pesat (Ngu, dkk., 2016). Namun, sifat optik C-dots dari sumber daya alam atau bahan kimia memiliki kemurnian yang sebanding (Isnaeni & Rahmawati, 201). C-dots memiliki beberapa sifat unik, yaitu biokompabilitas (Himaja, dkk., 2014) (Mao, dkk., 2016), (Cheng, dkk., 2017), (Cui, dkk., 2018), hidrofilik (Yazid, dkk., 2013), mudah larut dalam air (Goryacheva, dkk., 2017), tidak beracun (Esteves

da Silva & Gonçalves, 2011), penyerapan seluler (Zhou, dkk., 2013), toksisitas rendah (Yazid, dkk., 2013) (Ng, 2014), fluoresensi (Himaja, dkk., 2014), dan fotoluminisensi yang unik (Bourlinos, dkk., 2012) (Kopela, dkk., 2014).

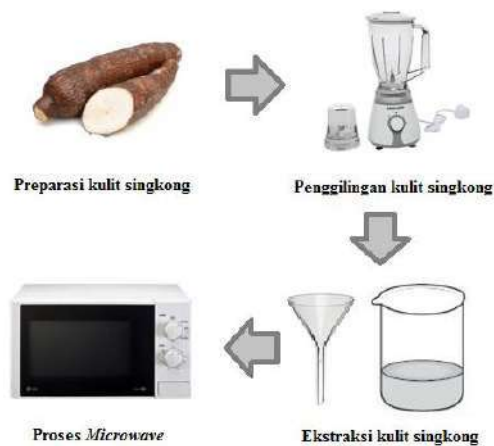
Berbagai metode yang digunakan dalam sintesis C-dots diklasifikasikan ke dalam dua cara, yaitu metode *top-down* dan *bottom-up*. Sintesis nanopartikel dengan cara memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer disebut metode *top-down*. Metode *top-down* diantaranya terdiri dari metode *arc discharge*, *laser ablation*, *electrochemical oxidation*, *chemical oxidation*, dan *ultrasonic synthesis*. Metode *bottom-up* menggunakan atom-atom atau molekul-molekul yang membentuk partikel berukuran nanometer yang dikehendaki, seperti *Microwave synthesis*, *thermal decomposition*, *hydrothermal treatment*, *templated routes*, dan *plasma treatment* (Baker & Baker, 2010) (Goryacheva, dkk., 2017) (Liu, dkk., 2014) (Hu, dkk., 2017) (Wang, dkk., 2017).

Teknik microwave adalah sebuah pendekatan *bottom-up* untuk mensintesis C-dots secara sederhana dengan beberapa kelebihan, seperti prosesnya lebih cepat, kondisinya lebih ringan dan menggunakan energi yang rendah sehingga teknik microwave menghindari sintesis multi-step (Arcudi, dkk., 2016). Teknik microwave dipilih karena teknik yang sederhana untuk menghasilkan C-dots. Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak menunjukkan bahwa teknik microwave mudah untuk mensintesis C-dots dengan berbagai sumber, seperti daun teh dan daun pepaya (Al Ghifari & Putra, 2017), daun sawi, kentang, biji jagung, kulit dan tongkol jagung (Fatimah, dkk., 2017), daun mangga (Qurrata, dkk., 2018), jahe dan laos (Isnaeni & Rahmawati, 2018). Namun, belum ada yang menggunakan sumber kulit luar singkong (KLS) karena dianggap limbah kedua dari limbah kulit singkong yang belum dimanfaatkan dengan baik. Hal tersebut menjadi sesuatu yang baru dan menarik untuk diamati dalam perkembangan sintesis C-dots. Sifat optik C-dots KLS, seperti

spektrum absorbansi dan intensitas pendaran diamati untuk mengetahui karakteristik pergeseran energinya.

METODE PENELITIAN

Bahan dasar yang digunakan untuk sintesis adalah C-dots, yaitu KLS yang diperoleh dari pasar lokal Lembang, Ciledug, Tangerang Kota, Indonesia. Air digunakan sebagai pelarut non-kimia dalam metode *green synthesis*. Prosedur *green synthesis* dilakukan melalui beberapa tahapan seperti pada Gambar 1. *Microwave* diatur dengan variasi waktu terhadap berat bahan baku C-dots untuk mengetahui pengaruh waktu dan berat bahan baku C-dots terhadap sifat optik C-dots yang diperoleh.



Gambar 1 . Skema prosedur sintesis C-dots dengan teknik *microwave*

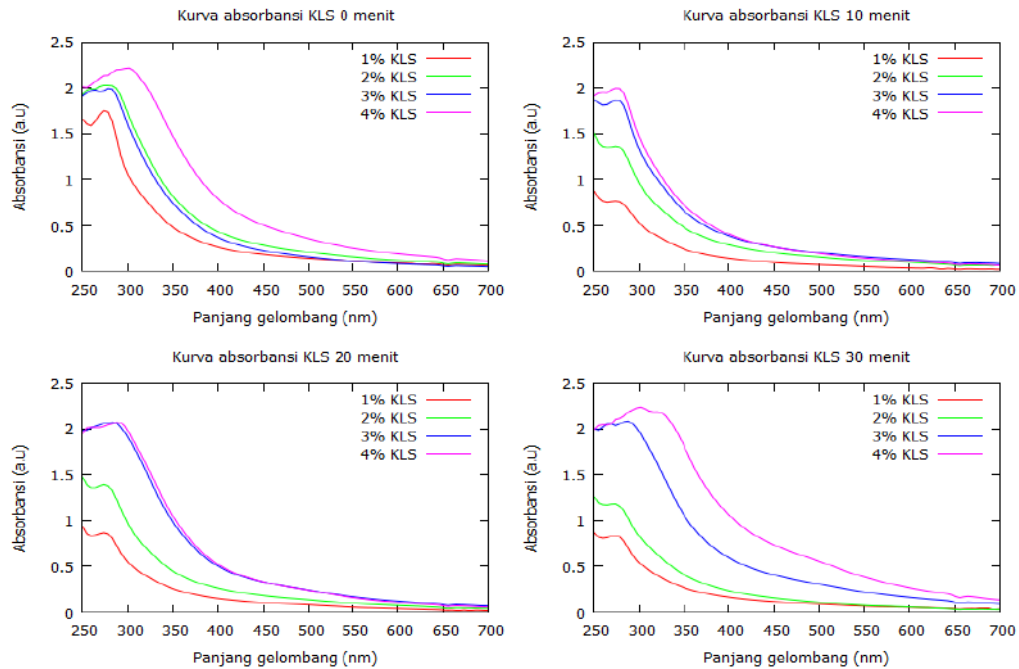
KLS dicuci menggunakan air hingga air bilasan terakhir tidak keruh. KLS dimasukan ke dalam *oven* pada suhu 120°C selama 12 jam hingga sampel kering. KLS yang sudah kering digiling menggunakan *blender* hingga halus dan disaring menggunakan *sieve 40 mesh* sehingga dihasilkan ukuran KLS kurang $\leq 425 \mu\text{m}$. Ekstraksi KLS dilakukan dengan variasi konsentrasi KLS dalam air dari 1%, 2%, 3%, dan 4% dalam 50 ml air dan disaring menggunakan kertas saring sehingga dihasilkan larutan KLS

yang disebut larutan prekursor. 50 mL larutan prekursor dimasukkan ke dalam *microwave* dengan variasi waktu dari 10, 20, dan 30 menit. Tambahkan air sampai tanda tera 50 ml (volume awal) dan didiaduk menggunakan *magnetic stirrer* ± 15 menit sampai larutan homogen. Sampel disaring kembali menggunakan kertas saring sehingga koloid C-dots diperoleh. Koloid C-dots dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan *photoluminescence* (PL). Pengukuran absorbansi menggunakan lampu *deuterium* dan halogen sebagai sumber cahaya dan MAYARAPRO2000 *Ocean Optics* sebagai Spektrofotometer. Pengukuran PL menggunakan *picosecond diode laser* pada panjang gelombang 420 nm sebagai sumber eksitasi.

PEMBAHASAN

Fenomena yang penting saat C-dots berinteraksi dengan cahaya adalah energi absorbansi. Besarnya energi yang diserap bergantung pada frekuensi cahaya yang diterima. Besar energi yang diserap untuk setiap frekuensi disebut spektrum absorbansi. Spektrum ini menggambarkan karakteristik respons optik material atau sifat optiknya (Idrus, dkk., 2018).

C-dots yang diperoleh dari teknik *microwave* menghasilkan perbedaan warna fisik dari setiap konsentrasi larutan prekursor pada variasi waktu *microwave*. C-dots selanjutnya dikarakterisasi sifat optiknya, seperti spektrum absorbansi berupa eksitasi (serapan) menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan PL berupa spektrum emisi (intensitas pendaran) menggunakan spektrofotometer PL. Sifat optik dilakukan untuk mengetahui puncak (*peak*) spektrum absorbansi dan intensitas pendaran yang mengindikasikan pergeseran energi C-dots. Spektrum absorbansi dan intensitas pendaran C-dots secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 2. dan Gambar 3.



Gambar 2. Spektrum absorbansi C-dots pada variasi konsentrasi larutan prekursor terhadap lama waktu *microwave*

Spektrum absorbansi C-dots menunjukkan perbedaan nilai absorbansi yang dipengaruhi oleh variasi konsentrasi larutan prekursor (KLP) C-dots terhadap lama waktu *microwave* (LWM) yang dapat dilihat pada Gambar 2. pada panjang gelombang 250-350 nm. LWM dari 10-30 menit menunjukkan puncak absorbansi yang dipengaruhi oleh KLP secara berurutan dari puncak yang rendah ke tinggi, yaitu dari 1-4%. Namun, pada LWM 0 menit menunjukkan perbedaan puncak absorbansi secara berurutan dari puncak yang rendah ke tinggi, yaitu 1, 3, 2, dan 4%. Hal ini menunjukkan puncak absorbansi cenderung meningkat seiring meningkatnya LWM (Isnaeni & Rahmawati, 2018).

C-dots dapat menyerap secara efektif pada beberapa panjang gelombang karakteristik tertentu, dan dapat menyerap elektron dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Di sisi lain, sebagian energi dilepaskan dalam bentuk foton saat transisi dari keadaan tereksitasi terendah ke keadaan dasar (You, dkk., 2016) (Ke, dkk., 2017). Transisi elektronik seperti itu melibatkan ikatan (σ dan π), anti ikatan (σ^* dan π^*) dan orbital non-ikatan (n), di mana $\sigma \rightarrow \sigma$

* , $\pi \rightarrow \pi^*$, $n \rightarrow \sigma^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$ transisi umumnya terjadi. Di antara hal tersebut, $\pi \rightarrow \pi^*$ dan $n \rightarrow \pi^*$ transisi adalah perhatian khusus karena energi transisi mereka sesuai dengan panjang gelombang cahaya tampak, yaitu sesuai dengan intensitas pendaran dikisaran spektrum yang terlihat. Pada kenyataannya, semua transisi tersebut berhubungan satu sama lainnya untuk menghasilkan *ground excited* (S_{00}), *first excited* (S_{11}), *second excited* (S_{22}) states dan sebagainya (Kwon, dkk., 2015).

Puncak spektrum absorbansi selama 0 menit proses *microwave* dari konsentrasi 1%-4% secara berturut-turut terdapat pada panjang gelombang 275, 275, 285 dan 292 nm. Pada 10 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 271, 276, 278 dan 276 nm. Pada 20 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 275, 275, 285 dan 292 nm. Sedangkan, pada 30 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 274, 273, 278 dan 300 nm. Puncak spektrum absorbansi pada panjang gelombang 271-291 nm menunjukkan transisi elektron $\pi-\pi^*$ dari inti (*core*) C-dots. Sedangkan, puncak spektrum absorbansi pada panjang gelombang 300

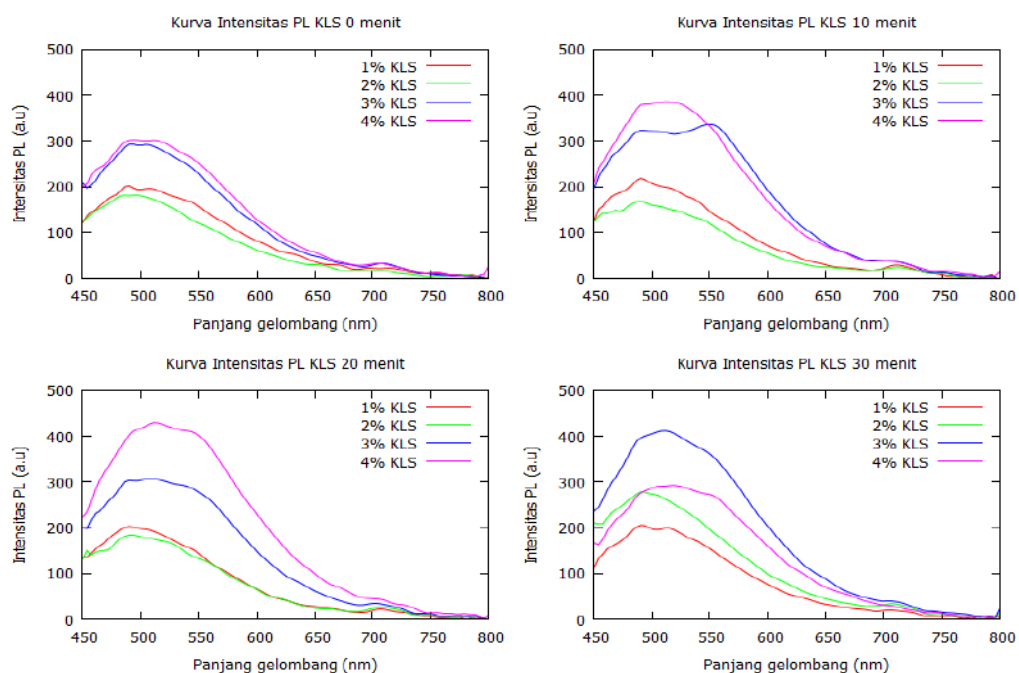
nm menunjukkan transisi elektron $n-\pi^*$ dari permukaan (*surface state*) C-dots (Baruah, dkk., 2014) (Tarasenska, dkk., 2017) (Isnaeni, dkk., 2018) (Han, dkk., 2017). Pergeseran transisi elektron $\pi-\pi^*$ dari inti (*core*) C-dots lebih dominan dibandingkan transisi elektron $n-\pi^*$ dari permukaan (*surface state*) C-dots.

Pendaran terjadi karena adanya pembangkitan elektron yang mendapatkan energi dari sinar UV pada panjang gelombang 420 nm yang digunakan. Energi ini akan menyebabkan teradinya fenomena eksitasi dan deeksitasi berupa loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada keadaan tertentu elektron selanjutnya akan kembali mengisi kekosongan yang semula ditinggalkan, hal inilah yang selanjutnya menyebabkan pelepasan energi berupa emisi gelombang elektromagnetik (Qurrata, dkk., 2018).

Spektrum intensitas pendaran C-dots menunjukkan perbedaan pada variasi konsentrasi larutan prekursor (KLP) C-dots terhadap lama waktu *microwave* (LWM) yang dapat dilihat pada Gambar 3. Puncak spektrum intensitas pendaran selama 0 menit proses *microwave* dari konsentrasi 1% - 4% secara berturut-turut

terdapat pada panjang gelombang 490, 483, 489 dan 486 nm. Pada 10 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 490, 482, 483 dan 509 nm. Pada 20 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 495, 492, 519 dan 508 nm. Sedangkan, pada 30 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 493, 490, 516 dan 527 nm. Puncak spektrum intensitas pendaran C-dots cenderung meningkat pada setiap KLP yang dipengaruhi oleh LWM (Isnaeni, I Rahmawati, 2018). Pergeseran puncak intensitas pendaran yang diamati disertai dengan perubahan intensitas pendaran menunjukkan pergeseran Stokes. Sifat emisi yang tergantung pada eksitasi dianggap sebagai karakteristik C-dots sebagai bahan berpendar (Bandi, dkk., 2018).

Mekanisme spektrum intensitas pendaran C-dots dapat dikaitkan dengan dua hal, yaitu (i) keadaan emisi melalui transisi celah energi, di mana transisi $\pi-\pi^*$ dan $n-\pi^*$ yang bergantung pada ukuran partikel dan (ii) keadaan emisi melalui tingkat energi yang dikaitkan dengan keadaan permukaan dalam celah energi (Yoshinaga, dkk., 2018). Namun



Gambar 3. Spektrum intensitas pendaran C-dots pada variasi konsentrasi larutan prekursor terhadap lama waktu *microwave*

pergeseran puncak intensitas pendaran ini menunjukkan transisi keadaan inti di mana intensitas pendaran cenderung meningkat meningkat dan bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang (pergeseran ke daerah panjang gelombang merah) (Mozdbar, dkk., 2018) (Bhaisare, dkk., 2015). Namun, intensitas pendaran C-dots sangat sensitif pada pasivasi permukaan sehingga hal ini menunjukkan pergeseran puncak intensitas pendaran dipengaruhi oleh permukaan C-dots (Aloukos, dkk., 2014). Karakteristik tersebut dikaitkan dengan distribusi ukuran partikel yang tidak homogen sehingga menghasilkan keadaan *quantum confinement* yang berbeda (Castro, dkk., 2017)

KESIMPULAN

Kestabilan C-dots yang dibuat dari KLS dapat ditandai dengan nilai pergeseran Stokes antara keadaan eksitasi (intensitas pendaran) dan emisi (absorbansi). Karakteristik tersebut dikaitkan dengan distribusi ukuran partikel yang tidak homogen sehingga menghasilkan keadaan *quantum confinement* yang berbeda. Tingkat energi permukaan menjadi dominan pada transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ ketika konsentrasi C-dots meningkat sehingga mengalami pergeseran energi, diketahui dari puncak emisi C-dots yang luas dan bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang. Selain itu, kami menduga bahwa perbedaan emisi C-dots disebabkan oleh kerapatan molekul dan kandungan penyusunannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada kelompok penelitian laser di Pusat Penelitian Fisika (P2F) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di laboratorium laser P2F-LIPI.

DAFTAR PUSTAKA

Algarra, M., Campos, B. B., Radotić, K., Mutavdžić, D., Bandosz, T., Jiménez-Jiménez, J., ... Esteves da Silva, J. C. G. (2014). Luminescent Carbon Nanoparticles: Effects of Chemical Functionalization, and Evaluation of Ag⁺ Sensing Properties. *Journal of*

Materials Chemistry A, 2(22), 8342. <https://doi.org/10.1039/c4ta00264d>.

Aloukos, P., Papagiannouli, I., Bourlinos, A. B., Zboril, R., & Couris, S. (2014). Third-order nonlinear optical response and optical limiting of colloidal carbon dots. *Optics Express*, 22(10), 12013. <https://doi.org/10.1364/OE.22.012013>

Arcudi, F., Dordevic, L., & Prato, M. (2016). Synthesis, separation, and characterization of small and highly fluorescent nitrogen-doped carbon nanodots. *Angewandte Chemie-International Edition*, 55(6), 2107-2112. <https://doi.org/10.1002/anie.201510158>.

Baker, S. N., & Baker, G. A. (2010). Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights. *Angewandte Chemie-International Edition*, 49(38), 6726-6744. <https://doi.org/10.1002/anie.200906623>.

Bandi, R., Dadigala, R., Gangapuram, B. R., & Guttena, V. (2018). Green Synthesis of Highly Fluorescent Nitrogen-Doped Carbon Dots from Lantana camara Berries for Effective Detection of Lead(II) and Bioimaging. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 178, 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.jphoto.2017.11.010>.

Bao, L., Liu, C., Zhang, Z. L., & Pang, D. W. (2015). Photoluminescence-Tunable Carbon Nanodots: Surface-State Energy-Gap Tuning. *Advanced Materials*, 27(10), 1663-1667. <https://doi.org/10.1002/adma.201405070>.

Baruah, U., Gogoi, N., Konwar, A., Jyoti Deka, M., Chowdhury, D., & Majumdar, G. (2014). Carbon Dot Based Sensing of Dopamine and Ascorbic Acid. *Journal of Nanoparticles*, 2014, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2014/178518>.

Bhaisare, M. L., Talib, A., Khan, M. S., Pandey, S., & Wu, H. F. (2015). Synthesis of Fluorescent Carbon Dots via Microwave Carbonization of Citric Acid in Presence of Tetraoctylammonium Ion, and their Application to Cellular Bioimaging. *Microchimica Acta*, 182(13-14), 2173-2181. <https://doi.org/10.1007/s00604-015-1541-5>.

- Bourlinos, A. B., Zbořil, R., Petr, J., Bakandritsos, A., Krysmann, M., & Giannelis, E. P. (2012). Luminescent Surface Quaternized Carbon Dots. *Chemistry of Materials*, 24(1), 6-8. <https://doi.org/10.1021/cm2026637>.
- Castro, H. E. P. S., Pereira, M. A. K. P., Ferreira, V. C., Ickmann, J. A. M. H., & Correia, R. I. R. B. C. (2017). Optical characterization of carbon quantum dots in colloidal suspensions. *Optical Materials Express*, 7(2), 5801-5806.
- Cheng, C., Shi, Y., Li, M., Xing, M., & Wu, Q. (2017). Carbon Quantum Dots from Carbonized Walnut Shells: Structural Evolution, Fluorescence Characteristics, and Intracellular Bioimaging. *Materials Science and Engineering C*, 79, 473-480. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.094>.
- Cui, B., Yan, L., Gu, H., Yang, Y., Liu, X., Ma, C. Q., ... Jia, H. (2018). Fluorescent Carbon Quantum Dots Synthesized by Chemical Vapor Deposition: An alternative Candidate for Electron Acceptor in Polymer Solar Cells. *Optical Materials*, 75, 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2017.10.010>.
- Ding, C., Zhu, A., & Tian, Y. (2014). Functional Surface Engineering of C-dots for Fluorescent Biosensing and in Vivo Bioimaging. *Accounts of Chemical Research*, 47(1), 20-30. <https://doi.org/10.1021/ar400023s>.
- Dior Al Ghifari, A., & Pratama Putra, W. (2017). Analisis Fotoluminesensi Karbon Dot Dari Daun Teh dan Daun Pepaya dengan Teknik Microwave. *Seminar Nasional Fisika*, VI, 19-26.
- Esteves da Silva, J. C. G., & Gonçalves, H. M. R. (2011). Analytical and Bioanalytical Applications of Carbon Dots. *TrAC-Trends in Analytical Chemistry*, 30(8), 1327-1336. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.04.009>.
- Fang, Y., Guo, S., Li, D., Zhu, C., Ren, W., Dong, S., & Wang, E. (2012). Easy Synthesis and Imaging Applications of Cross-linked Green Fluorescent Hollow Carbon Nanoparticles. *ACS Nano*, 6(1), 400-409. <https://doi.org/10.1021/nn2046373>.
- Fatimah, S., Tahir, D., Selatan, S., Fisika, P. P., Ilmu, L., Indonesia, P., & Selatan, T. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Fotoluminesens Carbon Dots Berbahan Dasar Organik dan Limbah Organik, VII(2), 37-41.
- Goryacheva, I. Y., Sapelkin, A. V., & Sukhorukov, G. B. (2017). Carbon Nanodots: Mechanisms of Photoluminescence and Principles of Application. *TrAC-Trends in Analytical Chemistry*, 90, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.02.012>.
- Han, S., Chang, T., Zhao, H., Du, H., Liu, S., Wu, B., & Qin, S. (2017). Cultivating Fluorescent Flowers with Highly Luminescent Carbon Dots Fabricated by a Double Passivation Method. *Nanomaterials*, 7(7), 176. <https://doi.org/10.3390/nano7070176>.
- Himaja, A. L., Karthik, P. S., Sreedhar, B., & Singh, S. P. (2014). Synthesis of Carbon Dots from Kitchen Waste: Conversion of Waste to Value Added Product. *Journal of Fluorescence*, 24(6), 1767-1773. <https://doi.org/10.1007/s10895-014-1465-1>.
- Hu, Q., Gong, X., Liu, L., & Choi, M. M. F. (2017). Characterization and Analytical Separation of Fluorescent Carbon Nanodots. *Journal of Nanomaterials*, 2017, 30-37. <https://doi.org/10.1155/2017/1804178>.
- Idrus, R., Lapanporo, B. P., & Putr, Y. S. (2018). Studi Teoritik Respons Optik Two-Level System Semiconductor Quantum Dots. *PRISMA FISIKA*, VI(2), 82-88.
- Isnaeni, I Rahmawati, R. I. and M. Z. (2018). Photoluminescence Study of Carbon Dots from Ginger and Galangal Herbs using Microwave Technique. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/985/1/012004>.
- Isnaeni, Herbani, Y., & Suliyanti, M. M. (2018). Concentration effect on optical properties of carbon dots at room temperature. *Journal of Luminescence*, 198, 215-219. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2018.02.012>.
- Ke, J., Li, X., Zhao, Q., Liu, B., Liu, S., & Wang, S. (2017). Upconversion carbon quantum dots as visible light responsive component for efficient

- enhancement of photocatalytic performance. *Journal of Colloid and Interface Science*, 496, 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.01.121>.
- Kwon, W., Do, S., Kim, J. H., Jeong, M. S., & Rhee, S. W. (2015). Control of Photoluminescence of Carbon Nanodots via Surface Functionalization using Para-substituted Anilines. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/srep12604>
- Liu, Y., Zhao, Y., & Zhang, Y. (2014). One-Step Green Synthesized Fluorescent Carbon Nanodots from Bamboo Leaves for Copper(II) Ion Detection. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 196, 647-652. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.02.053>.
- Ma, X., Dong, Y., Sun, H., & Chen, N. (2017). Highly Fluorescent Carbon Dots from Peanut Shells as Potential Probes for Copper Ion: The Optimization and Analysis of the Synthetic Process. *Materials Today Chemistry*, 5, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2017.04.004>.
- Mao, Q. X., Han, L., Shu, Y., Chen, X. W., & Wang, J. H. (2016). Improving the Biocompatibility of Carbon Nanodots for Cell Imaging. *Talanta*, 161, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.08.031>.
- Mohd Yazid, S. N. A., Chin, S. F., Pang, S. C., & Ng, S. M. (2013). Detection of Sn(II) Ions via Quenching of the Fluorescence of Carbon Nanodots. *Microchimica Acta*, 180(1-2), 137-143. <https://doi.org/10.1007/s00604-012-0908-0>.
- Mozdbar, A., Nouralishahi, A., Fatemi, S., & Mirakhori, G. (2018). The Effect of Precursor on the Optical Properties of Carbon Quantum Dots Synthesized by Hydrothermal/Solvothermal Method. *AIP Conference Proceedings*, 1920. <https://doi.org/10.1063/1.5018961>.
- Ng, S. M. (2014). Sustainable Alternative in Environmental Monitoring using Carbon Nanoparticles as Optical Probes. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 3, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2014.08.001>.
- Ngu, P. Z. Z., Chia, S. P. P., Fong, J. F. Y., & Ng, S. M. (2016). Synthesis of Carbon Nanoparticles from Waste Rice Husk Used for the Optical Sensing of Metal Ions. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials*, 31(2), 135-143. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(16\)60008-2](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(16)60008-2).
- Pires, N. R., Santos, C. M. W., Sousa, R. R., de Paula, R. C. M., Cunha, P. L. R., & Feitosa, J. P. A. (2015). Novel and Fast Microwave-Assisted Synthesis of Carbon Quantum Dots from Raw Cashew Gum. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26(6), 1274-1282. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20150094>.
- Qurrata, A., Tahir, D., Ramlan, N. M., & Putri, R. H. (2018). Perbandingan Sifat Optik Karbon Dots (C-Dots) dari Daun Mangga Kering dan Segar. *Prosiding Seminar Nasional Quantum*, 25, 626-623.
- Smagulova, S. A., Egorova, M. N., Tomskaya, A. E., Kapitonov, A. N. (2017). Synthesis of Carbon Dots with Tunable Luminescence. *Journal of Material Science & Engineering*, 06 (05), 1-6. <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000376>.
- Strauss, V., Margraf, J. T., Dolle, C., Butz, B., Nacken, T. J., Walter, J., ... Guldi, D. M. (2014). Carbon Nanodots: Toward a Comprehensive Understanding of their Photoluminescence. *Journal of the American Chemical Society*, 136(49), 17308-17316. <https://doi.org/10.1021/ja510183c>.
- Sugiarti, S., & Darmawan, N. (2015). Synthesis of Fluorescence Carbon Nanoparticles From Ascorbic Acid. *Indones. J. Chem*, 15(2), 141-145.
- Tarassenka, N., Stupak, A., Tarasenko, N., Chakrabarti, S., & Mariotti, D. (2017). Structure and Optical Properties of Carbon Nanoparticles Generated by Laser Treatment of Graphite in Liquids. *ChemPhysChem*, 18(9), 1074-1083. <https://doi.org/10.1002/cp hc.201601182>.
- Unnikrishnan, B., Wu, C. W., Chen, I. W. P., Chang, H. T., Lin, C. H., & Huang, C. C. (2016). Carbon Dot-Mediated Synthesis of Manganese Oxide Decorated Graphene Nanosheets for Supercapacitor Application. *ACS Sus-*

- tainable Chemistry and Engineering*, 4(6), 3008-3016. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01700>.
- Vassilakopoulou, A., Georgakilas, V., Vainos, N., & Koutselas, I. (2016). Successful Entrapment of Carbon Dots within Flexible Free-Standing Transparent Mesoporous Organic-Inorganic Silica Hybrid Films for Photonic Applications Successful Entrapment of Carbon Dots within Flexible Free-Standing Transparent Mesoporous Organic-In, 1-24. Retrieved from <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1608/1608.00824.pdf>.
- Vedran Milosavljevic Pavel Kopela, et al., A. M. (2014). Microwave Preparation of Carbon Quantum Dots with Different Surface Modification. *Journal of Metallomics and Nanotechnologies*, 3, 16-22.
- Wang, R., Lu, K.-Q., Tang, Z.-R., & Xu, Y.-J. (2017). Recent Progress in Carbon Quantum Dots: Synthesis, Properties and Applications in Photocatalysis. *J. Mater. Chem. A*, 5(8), 3717-3734. <https://doi.org/10.1039/C6TA08660H>.
- Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H. J., Gearheart, L., Raker, K., & Scrivens, W. A. (2004). Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments. *Journal of the American Chemical Society*, 126, 12736-12737. <https://doi.org/10.1021/ja040082h>.
- Yoshinaga, T., Iso, Y., & Isobe, T. (2018). Particulate, Structural, and Optical Properties of D-Glucose-Derived Carbon Dots Synthesized by Microwave-Assisted Hydrothermal Treatment. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 7(1), R3034-R3039. <https://doi.org/10.1149/2.0091801jss>.
- You, Y., Zhang, H., Liu, Y., & Lei, B. (2016). Transparent sunlight conversion film based on carboxymethyl cellulose and carbon dots. *Carbohydrate Polymers*, 151, 245-250. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.063>.
- Yu, J., Nan, J., & Zeng, H. (2017). Size Control of Nanoparticles by Multiple-Pulse Laser Ablation. *Applied Surface Science*, 402, 330-335. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.094>.
- Zhou, L., Li, Z., Liu, Z., Ren, J., & Qu, X. (2013). Luminescent Carbon Dot-Gated Nanovehicles for pH-Triggered Intracellular Controlled Release and Imaging. *Langmuir*, 29(21), 6396-6403. <https://doi.org/10.1021/la400479n>.

BIODATA PENULIS

Permono Adi Putro, S.Pd,

menyelesaikan pendidikan S1 program studi Pendidikan Fisika dari Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka tahun 2018 dengan bidang minat material biophotonics dan material polymers.

Dr. Liszulfah Roza, S.Si., M.I.S.,

menyelesaikan pendidikan S1 program studi Fisika dari Universitas Andalas tahun 2010, S2 program studi Fisika Material dari Universiti Tenaga Nasional Malaysia tahun 2012, dan S3 program studi Fisika Material dari Universiti Kebangsaan Malaysia tahun 2017. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka dengan jabatan akademik Lektor dengan bidang minat fisika material, nanoelektronik, sel surya, material plasmonik.

Dr. Isnaeni, M.Sc.,

menyelesaikan pendidikan S1 program studi Fisika dari IPB Bogor pada tahun 2000, S2 program studi Fisika dari The University of Queensland Australia pada tahun 2006, dan S3 program studi Fisika dari Korea Advanced Institute of Science and Technology, KOREA pada tahun 2012. Saat ini bekerja di Pusat Penelitian Fisika, LIPI dengan bidang minat laser, quantum DOT, LED, nanoparticles, dan photonics.

**MODEL PREDIKSI PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DENGAN
PENDEKATAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DAN CELLULAR
AUTOMATA MARKOV CHAIN: STUDI KASUS KABUPATEN ROKAN HULU,
PROVINSI RIAU**

Bobby Rachmat Fitriyanto¹, Muhammad Helmi², Hadiyanto¹

¹Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang

²Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang

Email: ¹bobby.kemenhut@gmail.com, ²muhammadhelmi69@gmail.com,

³hadiyanto@live.undip.ac.id

Masuk: 1 September 2018, Revisi masuk: 10 September 2018, Diterima: 14 September 2018

ABSTRACT

Rokan Hulu Regency, Riau Province, is one of the largest oil palm plantation centers in Indonesia. The large growth of palm oil plantations in recent years has threatened the existence of protected areas and increased deforestation rates. This study aims to (1) find out the extent of land use change in Rokan Hulu Regency in 2000-2012, (2) predict land use change in Rokan Hulu regency by 2030. This research uses Geographic Information System approach with prediction model of Cellular Automata (CA) Markov Chain. The driving factors of land use change as input of CA Markov Chain model consist of distance to road, distance to river, distance to disturbance area, distance to Plantation Forest, distance to Forest Clearance Permits and slope data. The results showed that the area of deforestation reached 60.38% from 2000 to 2012, mostly in the northeastern region of Rokan Hulu Regency. The prediction model of land use change has an accuracy of 68.15% based on the kappa index agreement (KIA). By 2030, the area of forest land in Rokan Hulu is predicted to be 3.13%

Keywords: Cellular Automata, Deforestation, Forest, Land use change.

INTISARI

Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau, merupakan salah satu sentra perkebunan kelapa sawit terbesar di Indonesia. Besarnya pertumbuhan areal perkebunan kelapa sawit dalam beberapa tahun terakhir mengancam keberadaan kawasan lindung serta berpotensi meningkatkan angka deforestasi. Penelitian ini bertujuan (1) mengetahui luas perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu tahun 2000-2012, (2) memprediksi perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu pada tahun 2030. Penelitian ini menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis dengan model prediksi Cellular Automata (CA) Markov Chain. Faktor pendorong perubahan penggunaan lahan sebagai input model CA Markov terdiri dari jarak terhadap jalan, jarak terhadap sungai, jarak terhadap areal yang mengalami perubahan penggunaan lahan (disturbance area), jarak terhadap IUPHHK-HT, jarak terhadap Izin Pelepasan Kawasan Hutan dan data kelerengan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi deforestasi sebesar 60,38% dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2012, yang sebagian besar terjadi di wilayah timur laut Kabupaten Rokan Hulu. Model prediksi perubahan penggunaan lahan memiliki akurasi sebesar 68,15% berdasarkan kappa index agreement (KIA). Diprediksi luas penggunaan lahan hutan di Kabupaten Rokan Hulu Pada tahun 2030 sebesar 3,13%.

Kata-kata kunci: Cellular Automata, Deforestasi, Hutan, Penggunaan Lahan.

PENDAHULUAN

Perubahan tutupan dan penggunaan lahan dapat terjadi akibat faktor alam serta aktivitas manusia (Sajikumar &

Remya, 2015). Walaupun demikian, perubahan tutupan dan penggunaan lahan faktanya lebih banyak dipengaruhi oleh aktivitas manusia dalam rangka

memenuhi berbagai macam kebutuhan seperti perumahan, industri, pertanian, perkebunan pertambangan dan fasilitas infrastruktur lainnya yang biasanya menjadi indikator pertumbuhan ekonomi suatu daerah (Zubair, 2006; Rawat, dkk., 2013 dalam Zope, dkk., 2016). Perubahan tutupan dan penggunaan lahan terutama yang diakibatkan oleh campur tangan manusia dapat mempengaruhi kualitas jasa ekosistem (Kundu, dkk., 2017) seperti stok karbon, ketersediaan air serta konservasi tanah (Gao, dkk., 2015). Begitu juga pada suatu sistem Daerah Aliran Sungai (DAS), perubahan tutupan dan penggunaan lahan yang terjadi di daerah hulu akan mempengaruhi seluruh bagian DAS dan menjadi salah satu penyebab terjadinya banjir di daerah hilir akibat air hujan yang tidak dapat diserap oleh tanah karena penurunan kualitas daerah tangkapan air (Ali, dkk., 2016).

Perkembangan teknologi penginderaan jauh (*Remote Sensing*), baik dari sisi kemudahan untuk memperoleh maupun dari sisi kualitas, membuat semakin banyak penelitian yang menggunakan pendekatan deteksi perubahan (*change detection*) permukaan bumi. Resolusi spasial yang terus menerus meningkat membuat semakin banyak informasi yang dapat diperoleh dari suatu data citra satelit (Han, dkk., 2016). Selain perkembangan teknologi penginderaan jauh, model untuk mensimulasi dan memprediksi perubahan tutupan dan penggunaan lahan pun telah banyak dikembangkan, diantaranya Model Sistem Dinamik (SD) dan Model *Cellular Automata* (CA) (Xu, dkk., 2016). Xu, dkk. (2016) menjelaskan bahwa kelebihan Model SD dapat mensimulasikan hubungan yang kompleks antara faktor alam dan faktor sosial ekonomi, akan tetapi model ini tidak memiliki kemampuan untuk memprediksi pola spasial dari perubahan tutupan dan penggunaan lahan. Begitu sebaliknya, Model CA memiliki kemampuan yang tinggi untuk memproyeksikan pola spasial perubahan tutupan dan penggunaan lahan akan tetapi sulit untuk merepresentasikan faktor sosial dan ekonomi.

Setiap tahun luas perkebunan kelapa sawit terus bertambah seiring dengan banyaknya tingkat permintaan minyak mentah (CPO) di tingkat dunia. Salah satu Kabupaten yang secara signifikan bertambah luas areal perkebunan kelapa sawitnya adalah Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau. Ekspansi perkebunan kelapa sawit ditambah dengan besarnya perubahan peruntukan dan fungsi kawasan hutan, mengancam keberadaan kawasan lindung serta berpotensi meningkatkan jumlah deforestasi di Kabupaten Rokan Hulu. Prediksi penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu melalui model *CA Markov Chain* diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis agar perencanaan wilayah yang disusun sesuai dengan kecenderungan perubahan penggunaan lahan. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mengetahui luas perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu dari tahun 2000 sampai dengan 2012, (2) memprediksi perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu pada tahun 2030.

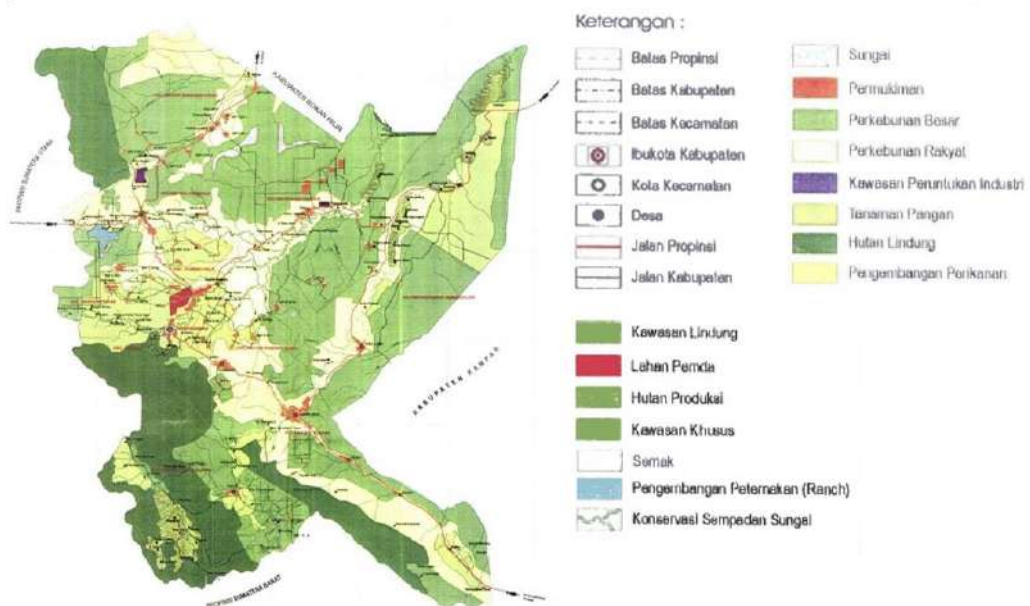
LOKASI PENELITIAN

Provinsi Riau, terutama Kabupaten Rokan Hulu, merupakan sentra perkebunan kelapa sawit paling luas di Indonesia, yakni 21,23% dari total areal kepala sawit di Indonesia (Kementerian Pertanian, 2014). Dari luasan tersebut, kepemilikan kelapa sawit rakyat adalah yang paling dominan yaitu sebesar 62,23% sedangkan perusahaan swasta sebesar 33,29% dan perkebunan negara 4,08%. Kegiatan perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Rokan Hulu memberikan dampak positif terhadap sosial ekonomi masyarakat, diantaranya (1) Peningkatan kesejahteraan masyarakat sekitar; (2) Memperluas lapangan kerja dan kesempatan berusaha; (3) Memberikan kontribusi terhadap pembangunan daerah.

Berdasarkan Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 66 Tahun 2011 tentang Kode dan Wilayah Administrasi Pemerintah, Kabupaten Rokan Hulu memiliki luas wilayah sebesar 7.588,13 km² atau 758.813 hektar. Secara administratif, kabupaten ini memiliki 16 daerah kecamatan, 7 daerah kelurahan dan

149 daerah desa. Secara astronomis, Kabupaten Rokan Hulu terletak pada $0^{\circ}21'11,37''$ - $1^{\circ}25'57,83''$ LU $100^{\circ}03'1,34''$ - $100^{\circ}57'22,47''$ BT (Gambar 1). Luas kawasan hutan di Kabupaten Rokan Hulu berkurang seiring meluasnya areal perkebunan kelapa sawit. Berdasarkan data spasial perkembangan kawasan hutan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, diketahui luas Areal Penggunaan Lain/non kawasan hutan berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan nomor SK. 7651/Menhut-VII/Kuh/2011 bertambah ± 135.655 hektar jika dibandingkan dengan Surat

Keputusan Menteri Kehutanan nomor SK. 878/Menhut-II/2014. Mengacu pada peta rencana pemanfaatan lahan berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Rokan Hulu nomor 19 Tahun 2003 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Rokan Hulu diketahui bahwa sebagian besar rencana pemanfaatan lahan diarahkan untuk perkebunan besar, perkebunan rakyat dan tanaman pangan. Kawasan lindung sebagian besar direncanakan berada di sisi selatan wilayah kabupaten, hal ini mempertimbangkan status kawasan hutan serta kondisi topografi.



Gambar 1. Peta Rencana Pemanfaatan Lahan Kabupaten Rokan Hulu
(Sumber: Perda Kabupaten Rokan Hulu Nomor 19 Tahun 2013)

METODE PENELITIAN

Perangkat lunak (*software*) utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah ArcGIS dan Idrisi Selva. *Software* ArcGIS digunakan untuk melakukan pengolahan data vektor berformat *shapefile* (*shp*) dan data raster berformat *tiff/img*. *Software* Idrisi Selva digunakan untuk mengolah data raster berformat *rst/rdt* file serta digunakan dalam membuat model prediksi perubahan penggunaan lahan dengan pendekatan model Cellular Automata. Data yang digunakan dalam penelitian ini tersaji dalam Tabel 1.

Pada penelitian ini terdapat 4 tahapan analisis yang dilakukan yang pertama adalah analisis perubahan penggunaan lahan Kabupaten Rokan Hulu dari tahun 2000 hingga tahun 2012. Perubahan tiap kelas tutupan lahan dianalisis dengan teknik analisis *input output* (*I/O*). Metode *input output* untuk analisis perubahan penutupan lahan merupakan modifikasi model *input output* untuk analisis sektor ekonomi (Wijaya, 1993 dalam Eko, 2012). Teknik analisis ini berguna untuk mengetahui luas dan besaran perubahan penggunaan lahan. Tahapan kedua adalah analisis faktor pendorong perubahan penggunaan lahan. Dengan

bantuan Sistem Informasi Geografis (SIG) faktor pendorong tersebut dihitung jarak pusat piksel melewati pusat piksel lainnya ke arah objek/fenomena yang ditentukan dengan menggunakan teknik *Euclidean Distance* (ED). Faktor

pendorong tersebut juga perlu dilakukan Uji Cramer's v agar dapat diketahui bobot pengaruh faktor pendorong terhadap perubahan penggunaan lahan. Uji Cramer's v ini dilakukan dengan bantuan *software* Idrisi Selva.

Tabel 1. Kebutuhan data

No	Jenis Data	Tipe Data	Sumber Data
1.	Data tutupan lahan tahun 2000, 2012, dan 2015	Vektor	Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)
2.	Data batas administrasi wilayah Kabupaten Rokan Hulu	Vektor	Peta Rupa Bumi Indonesia, Badan Informasi Geospasial (BIG)
3.	Data izin pelepasan kawasan hutan	Vektor	Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, KLHK
4.	Data izin pemanfaatan kawasan hutan	Vektor	Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, KLHK
5.	Data jaringan jalan	Vektor	Peta Rupa Bumi Indonesia, BIG
6.	Data jaringan sungai	Vektor	Peta Rupa Bumi Indonesia, BIG
7.	Data DEM (Digital Elevation Model)	Raster	https://earthexplorer.usgs.gov/

Tahapan yang ketiga adalah membangun dan memvalidasi model prediksi perubahan penggunaan lahan. Tahap analisis ini dilakukan dengan bantuan *software* Idrisi Selva, dimana input data berupa peta basis proyeksi (peta tutupan lahan tahun 2000 dan tahun 2012) dan faktor-faktor pendorong yang mempengaruhi perubahan penutupan lahan. Prinsip dasar CA Markov chain adalah mengukur probabilitas pada serangkaian kejadian di masa sekarang untuk memprediksi kejadian di masa depan. Untuk memvalidasi hasil prediksi perubahan penggunaan lahan, dilakukan operasi uji *kappa accuracy* untuk membandingkan hasil prediksi penggunaan lahan tahun 2015 dengan peta tutupan lahan tahun 2015 yang bersumber dari Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Tahapan yang terakhir adalah analisis hasil prediksi perubahan tutupan lahan di Kabupaten Rokan Hulu tahun 2030.

PEMBAHASAN

1. Analisis perubahan penggunaan lahan

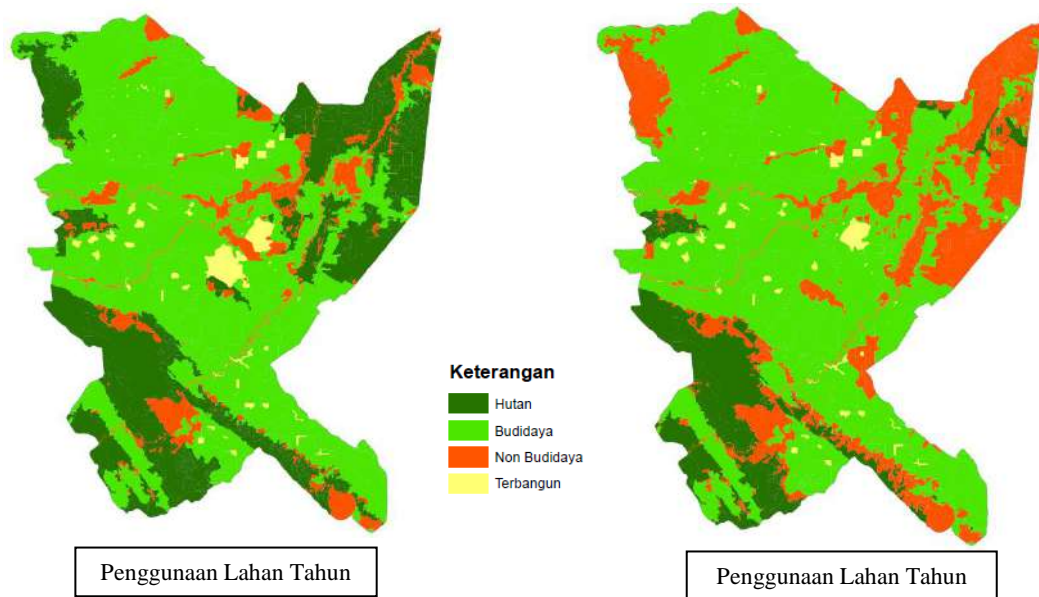
Data penggunaan lahan Kabupaten Rokan Hulu yang digunakan dalam penelitian ini adalah data penggunaan lahan hasil penafsiran dari citra landsat 5 tahun 2000 dan landsat 8 untuk tahun 2012 yang sudah diuji lapangan oleh

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Pada tahapan analisis ini digunakan 4 kelas penggunaan lahan yaitu: Hutan, Budidaya, Non Budidaya dan Terbangun. Kelas penggunaan lahan hutan terdiri atas tutupan lahan hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, hutan rawa sekunder dan hutan tanaman. Untuk kelas penggunaan lahan budidaya terdiri atas tutupan lahan perkebunan, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering+semak dan sawah. Untuk kelas penggunaan lahan non budidaya terdiri atas tutupan lahan belukar rawa, pertambangan, semak/belukar, tanah terbuka dan tubuh air. Sedangkan kelas penggunaan lahan terbangun terdiri atas pelabuhan udara/laut, permukiman dan transmigrasi.

Untuk mengetahui perubahan tiap kelas penggunaan lahan dilakukan teknik analisis input output (I/O) yang disusun dalam suatu matriks perubahan penggunaan lahan tahun 2000-2012. Berdasarkan tabel input output (I/O), diketahui bahwa terjadi konversi penggunaan lahan hutan sebesar 60,38%. Penggunaan lahan hutan sebesar 48,86% berubah menjadi penggunaan lahan non budidaya, sedangkan sebesar 11,52% berubah menjadi penggunaan lahan budidaya. Besarnya perubahan penggunaan lahan hutan menjadi penggunaan lahan non budidaya mengindikasikan

adanya kegiatan *land clearing* untuk mempersiapkan lahan menjadi lahan perkebunan atau pertanian. Hal ini didukung adanya perubahan sebagian besar penggunaan lahan non budidaya menjadi budidaya (12,36%) yang menunjukkan bahwa konversi lahan hutan menjadi lahan budidaya (perkebunan /pertanian) didahului dengan perubahan

lahan hutan menjadi lahan non budidaya (tanah terbuka/semak belukar). Tabel 2 menampilkan data *input output* (I/O) perubahan penggunaan lahan dari tahun 2000 hingga tahun 2012 di Kabupaten Rokan Hulu, sedangkan Gambar 2 menampilkan peta penggunaan lahan Kabupaten Rokan Hulu Tahun 2000 dan Tahun 2012.



Gambar 2. Peta penggunaan lahan Kabupaten Rokan Hulu Tahun 2000 dan Tahun 2012

Tabel 2. Tabel *input output* (I/O) perubahan penggunaan lahan dari tahun 2000 hingga tahun 2012 di Kabupaten Rokan Hulu

Penggunaan Lahan Tahun 2000	Penggunaan Lahan Tahun 2012								
	Hutan		Budidaya		Non Budidaya		Terbangun		Total (Ha)
	Luas (Ha)	%	Luas (Ha)	%	Luas (Ha)	%	Luas (Ha)	%	
Hutan	89.852,24	39,62	26.126,71	11,52	110.792,56	48,86	-	-	226.771,52
Budidaya	-	-	437.332,12	98,68	5.864,92	1,32	-	-	443.197,04
Non budidaya	1.170,04	1,64	8.825,95	12,36	61.419,93	86,00	-	-	71.415,91
Terbangun	-	-	6.540,67	37,53	-	-	10.887,87	62,47	17.428,53
Total (Ha)	91.022,28		478.825,44		178.077,41		10.887,87		758.813,00

Untuk lahan budidaya tidak mengalami perubahan penggunaan lahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa lahan budidaya yang ada di Rokan Hulu dikelola dengan baik. Perubahan penggunaan lahan terbangun menjadi budidaya sebesar 37,53% merupakan perubahan areal transmigrasi menjadi areal perkebunan. Areal transmigrasi yang

pada data tutupan lahan Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan merupakan areal transmigrasi yang ditunjuk pemerintah, sehingga pada prosesnya areal transmigrasi tersebut bisa berubah menjadi lahan terbangun maupun lahan budidaya. Pada tabel *input output* (I/O) ini juga diketahui

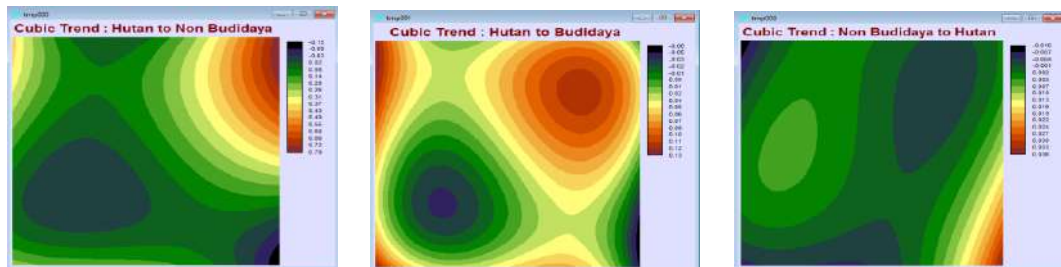
bahwa terdapat perubahan penggunaan lahan non budidaya menjadi lahan hutan sebesar 1,64% atau 1.170,04 hektar.

Berdasarkan *cubic trend* perubahan penggunaan lahan pada Gambar 3, diketahui bahwa trend perubahan penggunaan lahan hutan menjadi non budidaya sebagian besar terjadi di wilayah timur laut Kabupaten Rokan Hulu. Demikian pula *trend* perubahan penggunaan lahan hutan menjadi budidaya yang sebagian besar terjadi di wilayah timur laut dan secara sporadis terjadi di wilayah batas administrasi Kabupaten Rokan Hulu. Untuk perubahan penggunaan lahan non budidaya

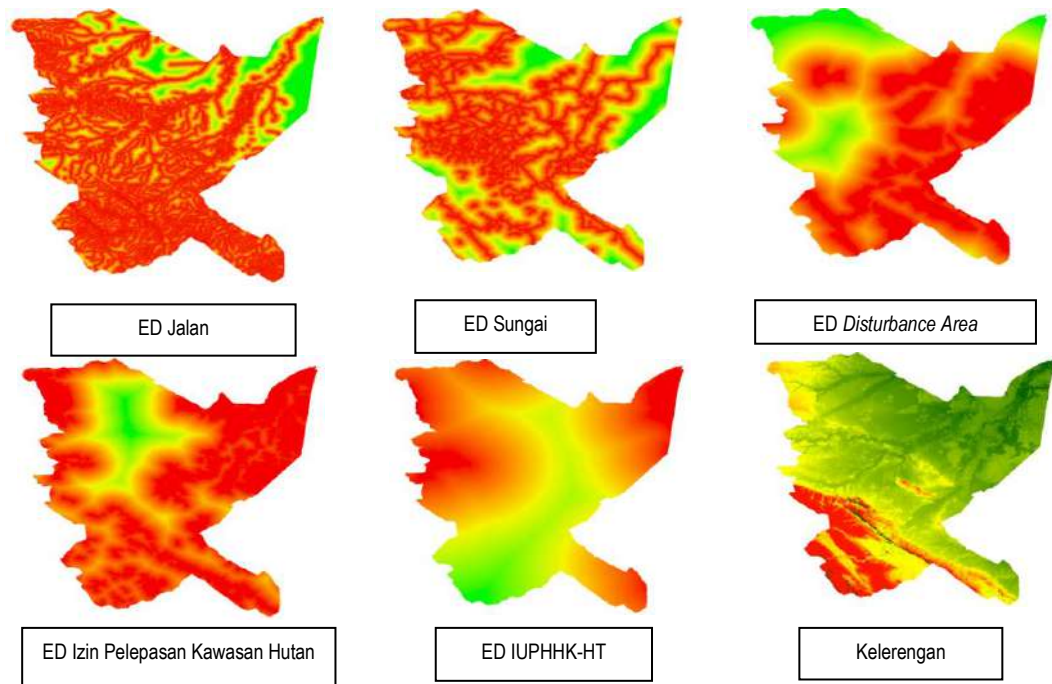
menjadi hutan terjadi di wilayah tenggara Kabupaten Rokan Hulu. *Cubic trend* perubahan penggunaan lahan Kabupaten Rokan Hulu tersaji pada Gambar 4.

2. Analisis faktor pendorong perubahan penggunaan lahan

Identifikasi faktor-faktor pendorong yang mempengaruhi perubahan penggunaan lahan merupakan langkah yang sangat penting untuk membangun prediksi perubahan lahan di masa yang akan datang. Faktor pendorong inilah yang menjadi kunci agar perubahan penggunaan lahan di masa depan dapat terprediksi secara sistematis.



Gambar 3. *Cubic trend* perubahan penggunaan lahan hutan dari tahun 2000 hingga tahun 2012 di Kabupaten Rokan Hulu



Gambar 4. Peta faktor pendorong perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu

Mulyanto & Jaya (2004) menyebutkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya deforestasi adalah jarak terhadap kampung, jalan, sungai dan rencana karya tahunan apabila terdapat izin dalam kawasan hutan. Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini ditentukan 6 (enam) faktor pendorong perubahan penggunaan lahan yaitu jarak terhadap jalan, jarak terhadap sungai, jarak terhadap areal yang mengalami perubahan penggunaan lahan (*disturbance area*), jarak terhadap Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu Hutan Tanaman (IUPHHK-HT), Izin Pelepasan Kawasan Hutan untuk kegiatan perkebunan dan data kelerengan. Faktor pendorong perubahan penggunaan lahan ini kemudian dilakukan pembobotan untuk dilihat besar nilai pengaruhnya.

Penentuan nilai pengaruh (bobot) dari beberapa faktor pendorong perubahan penggunaan lahan di atas, diawali dengan mengonversi data peta vektor menjadi raster. Format data raster ini digunakan untuk melakukan analisis faktor jarak spasial (*ED*) terhadap masing-masing faktor pendorong dengan ukuran cell 30x30 karena data penggunaan lahan hasil interpretasi dari citra landsat yang beresolusi spasial 30x30m. Analisis ED ini menggunakan bantuan *software* ArcGIS 10.1. Variabel prediktor menunjukkan jarak setiap lokasi di Kabupaten Rokan Hulu terhadap variabel pendorong perubahan lahan yang telah ditentukan. Hasil analisis jarak ini berupa peta jarak

terhadap lokasi variabel independen dalam format raster dengan resolusi spasial 30 meter. Setiap piksel memiliki nilai jarak yang dihitung dari pusat piksel tersebut ke pusat piksel variabel independen terdekat. Untuk variabel kelerengan, dilakukan pembobotan sesuai dengan tingkat kelerengan di Kabupaten Rokan Hulu.

Faktor pendorong perubahan penggunaan lahan selanjutnya dilakukan uji *Cramer's v* dengan tujuan untuk mengukur keterkaitan antara satu variabel dengan masing-masing kelas penggunaan lahan dengan rentang nilai antara 0-1, dimana 0 berarti tidak ada keterkaitan antara faktor pendorong dan kelas penggunaan lahan tertentu sedangkan nilai 1 menunjukkan keterkaitan yang erat. Koefisien korelasi *Cramer* merupakan koefisien korelasi antara dua variabel dimana variabel tersebut merupakan variabel berskala nominal dan dihitung menggunakan tabel kontingensi. Pada tabel kontingensi akan dicari nilai harapan (*expected value*) setiap *cell*-nya, semakin besar perbedaan antara nilai harapan dan nilai observasi (*observed value*), maka akan semakin besar pula derajat hubungan dua variabel yang berarti semakin besar pula nilai koefisien *Cramer*-nya (Septiono, 2016). Dari hasil uji test *cramer* dihasilkan bobot dari setiap faktor pendorong perubahan lahan pada Tabel 3.

Tabel 3. Bobot hasil uji *Cramer's v* faktor pendorong perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu

No	Faktor Pendorong	Bobot hasil uji <i>Cramer's v</i>
1.	<i>Euclidean Distance</i> Jalan	0,2023
2.	<i>Euclidean Distance</i> Sungai	0,1177
3.	<i>Euclidean Distance</i> Disturbance Area	0,3016
4.	<i>Euclidean Distance</i> Izin Pelepasan Kawasan Hutan	0,1350
5.	<i>Euclidean Distance</i> IUPHHK-HT	0,2118
6.	Kelerengan	0,3354

Dari hasil uji *cramer's* diketahui bahwa ke enam faktor pendorong tersebut dapat digunakan dalam model prediksi penggunaan lahan. Faktor pendorong yang memiliki bobot terbesar yang mempengaruhi perubahan penggunaan lahan adalah kelerengan dan

jarak terhadap areal yang mengalami perubahan penggunaan lahan (*disturbance area*). Hal ini juga dapat diartikan bahwa kondisi kelerengan dan jarak terhadap areal yang mengalami perubahan penggunaan lahan (*disturbance area*) menjadi penentu terjadinya perubahan

penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu.

3. Membangun dan memvalidasi model prediksi perubahan penggunaan lahan

Pada tahap ini dilakukan simulasi prediksi penggunaan lahan tahun 2015 dengan menggunakan input data berupa peta basis proyeksi (peta tutupan lahan tahun 2000 dan tahun 2012) dan faktor-faktor pendorong yang mempengaruhi perubahan penutupan lahan ke dalam model *Cellular Automata* (CA) Markov dengan bantuan *software Idrisi Selva*. Peta transisi perubahan penggunaan lahan yang dijadikan input dalam penyusunan model ini adalah hutan menjadi budidaya, hutan menjadi non budidaya, budidaya menjadi non budidaya, non budidaya menjadi budidaya. Dipilihnya 4 transisi perubahan penggunaan kawasan hutan dikarenakan 4 jenis perubahan tutupan lahan tersebut merupakan yang dominan yang terjadi di Kabupaten Rokan Hulu, selain itu fokus penelitian ini adalah melihat konversi lahan hutan menjadi lahan budidaya atau non budidaya.

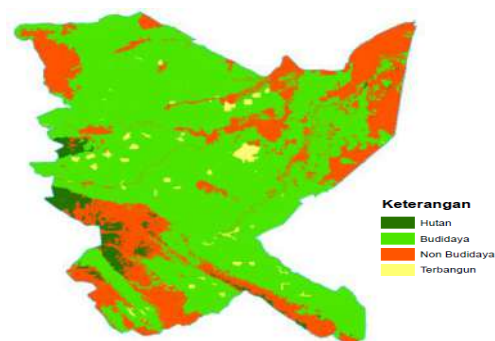
Untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan, perlu secara empiris dimodelkan masing-masing dari empat transisi tersebut. Terdapat dua metode untuk melakukan permodelan tersebut yang pertama adalah regresi logistik dan yang kedua adalah *multi-layer perceptron* (MLP) *neural network*. Jika yang digunakan adalah regresi logistik masing-masing transisi ini harus dimodelkan secara terpisah, akan tetapi jika menggunakan MLP, seluruh transisi dapat dimodelkan sekaligus (J.R. Eastman, 2012). Dalam penelitian ini dilakukan model dengan metode *multi-layer perceptron* (MLP) *neural network*.

Uji validasi dilakukan dengan membandingkan hasil peta simulasi tahun 2015 dengan peta tutupan lahan tahun 2015 yang bersumber dari Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan KLHK. Teknik analisis uji validasi model dilakukan melalui uji kappa akurasi. Hasil komparasi luasan penggunaan lahan pada peta simulasi dengan peta existing dihitung tingkat validitasnya.

Dalam penelitian ini dihasilkan *kappa index agreement* (KIA) sebesar 0,6815 atau sekitar 68,15%. Menurut Landis & Koch (1977) nilai KIA sebesar 0,61-0,80 termasuk kategori *substantial agreement*, artinya permodelan yang dilakukan sudah layak secara substansial. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan nilai KIA adalah (1) data tutupan lahan hutan yang digunakan, yang bersumber dari Ditjen Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan KLHK perlu dicermati kembali konsistensi dan akurasi, (2) perlu dikaji kembali faktor lain yang mendorong maupun menghambat terjadinya perubahan penggunaan lahan, seperti: nilai lahan dan wilayah konflik.

4. Prediksi perubahan penggunaan lahan Kabupaten Rokan Hulu tahun 2030

Berdasarkan hasil prediksi perubahan tutupan lahan melalui model *Cellular Automata* (CA) Markov Chain, terlihat bahwa pada tahun 2030 diprediksi luas penggunaan lahan hutan hanya 3,13% dari total wilayah Kabupaten Rokan Hulu. Hal tersebut menunjukkan apabila trend deforestasi ini dibiarkan maka penggunaan lahan hutan di Kabupaten Rokan Hulu terutama pada Kawasan Hutan Lindung akan terkonversi. Tabel 4 menunjukkan perbandingan persen luas penggunaan lahan hutan dimana penggunaan lahan hutan tahun 2000 sebesar 29,89% sedangkan tahun 2012 sebesar 12%. Gambar 5 menampilkan peta prediksi penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu tahun 2030.



Gambar 5. Peta Prediksi Penggunaan Lahan Kabupaten Rokan Hulu Tahun 2030

Tabel 4. Penggunaan lahan tahun 2000, tahun 2012 dan prediksi tahun 2030 di Kabupaten Rokan Hulu

No	Penggunaan lahan	Tahun 2000		Tahun 2012		Tahun 2030 (Prediksi)	
		Luas (Ha)	Persen (%)	Luas (Ha)	Persen (%)	Luas (Ha)	Persen (%)
1.	Hutan	226.771,52	29,89	91.022,28	12,00	23.730,51	3,13
2.	Budidaya	443.197,04	58,41	478.825,44	63,10	528.104,42	69,60
3.	Non budidaya	71.415,91	9,41	178.077,41	23,47	195.547,17	25,77
4.	Terbangun	17.428,53	2,30	10.887,87	1,43	11.430,90	1,51
	Total	758.813,00	100,00	758.813,00	100,00	758.813,00	100,00

Trend laju deforestasi yang tinggi di Kabupaten Rokan Hulu memberikan ancaman lingkungan yang serius. Beberapa dampak deforestasi terutama akibat kegiatan budidaya (perkebunan/pertanian) adalah:

1. Rusak dan hilangnya keanekaragaman hayati karena hilangnya habitat.
2. Menimbulkan potensi bencana baik banjir, kekeringan, kebakaran hutan maupun tanah longsor.
3. Mempengaruhi sifat fisik maupun kimia tanah sehingga dapat merusak kualitas tanah dan mengurangi tingkat kesuburan.
4. Berpotensi meningkatkan pencemaran lingkungan yang berdampak negatif terhadap kesehatan masyarakat.
5. Menjadi penyumbang emisi karbon terbesar.

Untuk menjaga kelestarian hutan dan lingkungan di Kabupaten Rokan Hulu perlu dilakukan evaluasi terhadap pelaksanaan Peraturan Daerah Kabupaten Rokan Hulu nomor 19 Tahun 2003 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Rokan Hulu. Evaluasi rencana tata ruang tersebut perlu mempertimbangkan laju deforestasi akibat konversi lahan hutan menjadi perkebunan kelapa sawit. Selain itu perlu adanya ketegasan dalam penerapan hukum terutama terkait dengan penggunaan kawasan hutan untuk kegiatan perkebunan. Undang-Undang 41 Tahun 1999 menyatakan bahwa kawasan hutan tidak dapat digunakan untuk kegiatan perkebunan kecuali kawasan hutan tersebut dirubah peruntukannya melalui pelepasan kawasan hutan atau tukar menukar kawasan hutan. Pemerintah Kabupaten perlu memberikan perhatian khusus pada penggunaan lahan non budidaya.

Penggunaan lahan non budidaya memiliki potensi besar untuk terkonversi menjadi penggunaan lahan perkebunan, disisi lain penggunaan lahan non budidaya menjadi peluang bagi Pemerintah Daerah untuk melakukan rehabilitasi lahan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis perubahan penggunaan lahan, terjadi deforestasi hutan di Kabupaten Rokan Hulu dari tahun 2000 sampai dengan 2012 seluas 136.919,27 hektar atau 11.409.94 hektar per tahun.
2. Faktor pendorong terjadinya perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Rokan Hulu diantaranya adalah jarak terhadap jalan, jarak terhadap sungai, jarak terhadap areal yang mengalami perubahan penggunaan lahan (*disturbance area*), jarak terhadap IUPHHK-HT, jarak terhadap Izin Pelepasan Kawasan Hutan untuk kegiatan perkebunan dan data kelelerengan. Faktor pendorong yang memiliki bobot tertinggi adalah kelelerengan dan jarak terhadap areal yang mengalami perubahan penggunaan lahan (*disturbance area*).
3. Prediksi perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan model *Cellular Automata Markov Chain* dengan bantuan *software* Idrisi Selva. Model yang dibangun memiliki memiliki akurasi sebesar 68,15% berdasarkan KIA. Hasilnya penggunaan lahan hutan pada tahun 2030 diprediksi hanya seluas 3,13 hektar dari total wilayah kabupaten.
4. Untuk mengembalikan dan mempertahankan fungsi kawasan lindung, perlu dilakukan evaluasi pelaksanaan

RTRWK Kabupaten Rokan Hulu, penegakan hukum terhadap berbagai pelanggaran pemanfaatan lahan dan rehabilitasi areal tidak produktif.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan sebesar-besarnya kepada Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta atas kesempatannya untuk mengikuti Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2018, kepada Bappenas atas beasiswa gelar S-2 dalam negeri tahun 2017, Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., Hadi, S., & Sulistyantara, B. (2016). Study on Land Cover Change of Ciliwung Downstream Watershed with Spatial Dynamic Approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 227(November 2015), 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.042>.
- Eko, T. (2012). *Perubahan Penggunaan Lahan Dan Kesesuaiannya Terhadap RDTR Wilayah Peri Urban. Studi Kasus Kecamatan Mlati. Tesis*. Program Studi Magister Pembangunan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Gao, J., Li, F., Gao, H., Zhou, C., & Zhang, X. (2015). The impact of land-use change on water-related ecosystem services: A study of the Guishui River Basin, Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, 163, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.049>
- Han, M., Yang, X., & Jiang, E. (2016). An Extreme Learning Machine based on Cellular Automata of edge detection for remote sensing images. *Neurocomputing*, 198, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.08.121>
- Eastman, J.R. (2012). *IDRISI Selva Tutorial*. Idrisi Production. Clark Labs-Clark University.
- Kabupaten Rokan Hulu. (2003). *Peraturan Daerah Kabupaten Rokan Hulu nomor 19 Tahun 2003 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Rokan Hulu*. Rokan Hulu
- Kementerian Dalam Negeri. (2011). *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor 66 Tahun 2011 tentang Kode dan Wilayah Administrasi Pemerintah*. Jakarta.
- Kementerian Pertanian. (2014). *Statistik Perkebunan Indonesia 2014-2016 Kelapa Sawit*. Jakarta
- Kundu, S., Khare, D., & Mondal, A. (2017). Past, present and future land use changes and their impact on water balance. *Journal of Environmental Management*, 197, 582-596. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.018>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Mulyanto, lukman dan surati jaya, I nengah. (2004). *Analisis Spasial Degradasi Hutan dan Deforestasi*, Jurnal Manajemen Hutan Tropika, Vol. X No. 1: 29-42 (2004).
- Ritohardoyo Su. (2002). *Penggunaan dan Tata Guna Lahan*. Bahan Kuliah. Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta.
- Sajikumar, N., & Remya, R. S. (2015). Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of Environmental Management*, 161, 460-468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.041S>
- Septiono D,S. (2016). Model Perubahan Penggunaan Lahan dan Strategi untuk Mendukung Rencana Pengelolaan Kesatuan Pengelolaan Hutan (Studi Kasus KPH Yogyakarta). *Tugas Akhir*, Program Studi Magister Pembangunan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, Semarang
- Siradjuddin, I. (2015). Dampak Perkebunan Kelapa Sawit terhadap Perekonomian Wilayah Di Kabupaten Rokan Hulu. *Jurnal Agroteknologi*, 5(2), 7-14.
- Worldbank. (2016). *Population, Total*. Diakses 5 oktober 2017. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>
- Xu, X., Du, Z., & Zhang, H. (2016). Integrating the system dynamic and Cellular Automata models to predict land use and land cover change.

International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 52, 568-579. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.022>

Yusuf, Syarifuddin. (2007). *Evaluasi Pemanfaatan Ruang di Kecamatan Umbulharjo Kota Yogyakarta*. Tugas Akhir tidak diterbitkan. Program Studi Magister Pembangunan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, Semarang.

Zope, P. E., Eldho, T. I., & Jothiprakash, V. (2016). *Impacts of land use–land cover change and urbanization on flooding: A case study of Oshiwara River Basin in Mumbai, India*. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.009>.

dosen tetap Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang.

BIODATA PENULIS

Bobby Rachmat Fitriyanto, S.Hut., M.Ling., lahir di Pekanbaru tanggal 10 Mei 1988, menyelesaikan pendidikan S1 pada program studi Manajemen Hutan dari Universitas Universitas Gadjah Mada tahun 2011 dan S2 pada program studi Magister Ilmu Lingkungan dari Universitas Diponegoro Semarang tahun 2018.

Dr. Muhammad Helmi, S.Si., M.Si., lahir di Denpasar tanggal 20 November 1969, menyelesaikan pendidikan S1 pada program studi Penginderaan Jauh dan Kartografi dari Universitas Gadjah Mada tahun 1996, S2 pada program studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut dari Institut Pertanian Bogor tahun 2007, dan S3 bidang manajemen sumberdaya pantai dari Universitas Diponegoro tahun 2016. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap Program Studi Oseanografi Universitas Diponegoro dan tergabung dalam tim Pusat Kajian Mitigasi Bencana dan Rehabilitasi Pesisir.

Dr. Hadiyanto, S.T., M.T., lahir di Pekalongan tanggal 28 Oktober 1975, menyelesaikan pendidikan S1 pada program studi Teknik Kimia dari Universitas Diponegoro tahun 1998, S2 pada program studi Biotechnology dari Wageningen University dan S3 pada program studi Product Quality Driven Food Process Wageningen University. Saat ini tercatat sebagai

MODEL SISTEM INFORMASI MANAJEMEN KETAHANAN PANGAN (PEMANFAATAN DAN KETERSEDIAAN PANGAN)

Zaidir¹, Erizal²

¹Prodi Manajemen Informatika Universitas Respati Yogyakarta

²Prodi Sistem Informasi Universitas Respati Yogyakarta

Email: ¹zaidirtan@respati.ac.id, ²erizal@respati.ac.id

Masuk: 01 November 2018, Revisi masuk: 30 Desember 2018, Diterima: 06 Januari 2019

ABSTRACT

The concept of food security considers the availability of food, access to food and the use of food as the main aspects supporting food security and linking these aspects to ownership of household assets, livelihood strategies, and political, social, institutional and economic environments. In Law Number 18 of 2012 it is said that the Government and Regional Government are obliged to develop, compile and develop a food information system on aspects of food utilization and availability. The benefits of information have a significant impact on an institution or the public. Quality information can only be produced from a quality information system. Data and information are needed as a basis for policy making and decisions from planning to evaluating activities. The model development method in this study is with the stages of analysis, design and coding and model testing. The results of this study are a model of the Food Security Information System that can provide information on food security analysis with various variations. Indicators of achievement in the study are in the form of design use case diagrams, database design and interface design.

Keywords: Food Security, Food Utilization and Availability, Management Information Systems.

INTISARI

Konsep ketahanan pangan mempertimbangkan ketersediaan pangan, akses terhadap pangan dan pemanfaatan pangan sebagai aspek-aspek utama penopang ketahanan pangan serta menghubungkan aspek tersebut dengan kepemilikan aset rumah tangga, strategi penghidupan, dan lingkungan politik, sosial, kelembagaan dan ekonomi. Dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 dikatakan bahwa Pemerintah dan Pemerintah Daerah berkewajiban membangun, menyusun, dan mengembangkan sistem informasi pangan pada aspek pemanfaatan dan ketersediaan pangan. Manfaat suatu informasi mempunyai dampak yang cukup besar terhadap suatu lembaga maupun publik. Informasi berkualitas hanya bisa dihasilkan dari sebuah sistem informasi yang juga berkualitas. Data dan informasi diperlukan sebagai dasar dalam pengambilan kebijakan dan keputusan dari perencanaan hingga evaluasi kegiatan. Metode pengembangan model pada penelitian ini adalah dengan tahapan analisis, perancangan, implementasi, serta pengujian. Hasil penelitian ini adalah suatu model Sistem Informasi Ketahanan Pangan yang dapat menyajikan informasi analisa ketahanan pangan dengan berbagai variasi. Indikator pencapaian pada penelitian berupa rancangan *use case diagram*, perancangan basis data dan perancangan antarmuka.

Kata-kata kunci: Ketahanan Pangan, Pemanfaatan dan Ketersediaan Pangan, Sistem Informasi Manajemen.

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan menurut Undang-undang Republik Indonesia No. 18 tahun 2012 adalah "kondisi terpenuhinya

pangan bagi negara sampai dengan perseorangan, yang tercermin dari tersedianya pangan yang cukup, baik jumlah maupun mutunya, aman,

beragam, bergizi, merata, dan terjangkau serta tidak bertentangan dengan agama, keyakinan, dan budaya masyarakat, untuk dapat hidup sehat, aktif, dan produktif secara berkelanjutan". Pangan didefinisikan sebagai segala sesuatu yang berasal dari sumber hayati produk pertanian, perkebunan, kehutanan, perikanan, peternakan, perairan, dan air, baik yang diolah maupun tidak diolah yang diperuntukkan sebagai makanan atau minuman bagi konsumsi manusia, termasuk bahan tambahan pangan, bahan baku pangan, dan bahan lainnya yang digunakan dalam proses penyiapan, pengolahan, dan/atau pembuatan makanan atau minuman.

Pangan merupakan kebutuhan dasar bagi manusia, sehingga hak untuk mendapatkan pangan merupakan hak dasar manusia. Ketahanan pangan di Indonesia merupakan cita-cita dan tanggung jawab yang mewajibkan negara untuk mewujudkan ketersediaan, keterjangkauan, dan pemenuhan konsumsi pangan yang cukup, aman, bermutu, dan bergizi seimbang, baik pada tingkat nasional maupun daerah hingga perseorangan secara merata di seluruh wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia sepanjang waktu dengan memanfaatkan sumber daya, kelembagaan, dan budaya lokal. Untuk dapat mewujudkan cita-cita tersebut, maka semua daerah sebagai bagian dari ketahanan nasional wajib ikut serta dalam mewujudkan ketahanan pangan di daerahnya.

Dari definisi di atas dirumuskan bahwa ketahanan pangan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan pangan di daerah, akses pangan secara fisik, ekonomi, maupun sosial, dan penyerapan pangan yang merupakan kebutuhan rumah tangga terhadap pangan. Agar dapat diperoleh kondisi yang tahan pangan maka tiga entitas tersebut harus selalu terjaga keseimbangannya secara berkelanjutan (*stability*).

Sistem ini menarik untuk dikembangkan agar dapat menyajikan informasi analisa ketahanan pangan dengan berbagai variasi. Dengan demikian Dinas Ketahanan Pangan dapat

mengidentifikasi keadaan pangan di suatu wilayah.

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan permasalahan yaitu 1) bagaimana membuat sebuah rancangan sistem yang memanfaatkan teknologi informasi berbasis *web* sebagai sarana untuk melakukan informasi tentang kondisi pangan di suatu daerah, 2) bagaimana membangun sistem informasi ketahanan pangan dalam rangka pengambilan keputusan yang efektif dan efisien.

Penelitian ini bertujuan 1) membuat sebuah rancangan atau model sistem informasi manajemen ketahanan pangan yang dapat memberikan informasi tentang kondisi pangan di suatu daerah, 2) membangun sistem informasi ketahanan pangan (*prototype*) yang dapat membantu pengambilan keputusan untuk perencanaan, pemantauan dan evaluasi penyelenggaraan ketahanan pangan.

Untuk mencapai tujuan penelitian tersebut digunakan metode penelitian yang terdiri atas dua tahap yaitu pengumpulan data dan pengembangan model. Pengumpulan data dilakukan dengan tiga cara yaitu observasi, kearsipan, dan kepustakaan. Pengembangan model dilakukan dengan empat tahap yaitu analisis, perancangan, implementasi, serta pengujian.

Penelitian terkait ketahanan pangan sudah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Budiyanto (2010) dalam penelitiannya mengatakan bahwa model ini dapat digunakan sebagai dasar untuk merumuskan kebijakan publik dan upaya edukasi serta advokasi publik dalam bidang pangan untuk mendorong terwujudnya ketahanan pangan nasional. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif dengan desain penelitian deskriptif kualitatif. Subjek penelitian adalah Badan Perencana Pembangunan dan Pengembangan Kabupaten, Dinas Pertanian, Petani, Tokoh Masyarakat, Kelompok Tani di Kabupaten Lumajang, Malang, dan Blitar. Teknik *sampling* yang digunakan adalah *Snowball sampling*. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah dokumentasi, wawancara, observasi, dan *Focus Group Discussion*.

Isbandi dan Rusdiana (2014) dalam penelitiannya mengatakan bahwa kebutuhan pangan di Indonesia untuk saat ini belum dapat tercukupi karena, pertanian di Indonesia belum bisa dikelola dengan baik, padahal peran para petani sangat dibutuhkan guna untuk meningkatkan produktivitas pangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana strategi tercapainya ketahanan pangan dalam ketersediaan pangan secara nasional yang dapat diatasi dengan ketersediaan pangan, mengembangkan kelembagaan, solusi diversifikasi pangan secara nasional sehingga dapat terwujud ketahanan pangan dan tidak ketergantungan pada pangan pokok masyarakat. Pangan merupakan komoditas penting dan strategis bagi bangsa Indonesia mengingat pangan adalah kebutuhan dasar manusia yang harus dipenuhi oleh pemerintah dan masyarakat secara bersama-sama seperti diamanatkan oleh Undang-undang Nomor 7 Tahun 1996 tentang Pangan. Dalam Undang-undang tersebut dinyatakan bahwa pemerintah menyelenggarakan pengaturan, pembinaan, pengendalian, dan pengawasan, masyarakat menyelenggarakan proses produksi dan penyediaan, perdagangan, distribusi serta berperan sebagai konsumen yang berhak memperoleh pangan yang cukup dalam jumlah dan mutu, aman, bergizi, beragam, merata, dan terjangkau oleh daya beli masyarakat. Kecukupan pangan untuk kepentingan masyarakat secara nasional, tercapainya target kecukupan pangan dengan adanya sistem ketahanan pangan di Indonesia secara komprehensif meliputi empat sub-sistem, yaitu: ketersediaan pangan dalam jumlah dan jenis yang cukup untuk seluruh masyarakat secara nasional, distribusi pangan yang lancar, harga pangan murah dan terjangkau oleh lapisan masyarakat secara nasional, merata keseluruhan daerah-daerah di Indonesia, konsumsi pangan setiap individu terpenuhi kecukupan gizi seimbang dapat menikmati yang berdampak pada kecukupan pangan dengan baik dan status gizi masyarakat Indonesia terpenuhi secara regional.

Pinem (2016) pada penelitiannya menyatakan bahwa implementasi *Oracle Spatial* pemetaan ketahanan dan kerentanan pangan dapat menjadi solusi dalam menentukan status ketahanan pangan, sehingga membantu dalam proses analisis penyebab rentan pangan di suatu daerah. Selain itu dapat digunakan sebagai rujukan pada dinas terkait untuk meningkatkan status ketahanan pangan. Secara spasial terlihat bahwa beberapa kecamatan memiliki status yang berbeda-beda. Status Kabupaten Brebes secara nasional adalah Tahan Pangan, namun ketika penelitian difokuskan ke masing-masing kecamatan, terlihat beberapa kecamatan memiliki status ketahanan pangan Cukup Tahan Pangan dan Cukup Rentan Pangan, atau prioritas 4 dan prioritas 3. Hal ini menunjukkan apabila objek penelitian difokuskan, maka akan terlihat lebih detail penyebab status ketahanan pangan suatu daerah. Proses penanggulangan dapat lebih mengerucut dengan melihat status ketahanan pangan setiap kecamatan.

Faqih dkk. (2017) pada penelitiannya mengatakan bahwa ketahanan pangan adalah kondisi terpenuhinya pangan bagi Negara sampai dengan perseorangan yang tercermin dari tersedianya pangan yang cukup, baik jumlah maupun mutunya. Dinas Pangan mempunyai tugas untuk melaksanakan urusan pemerintah di bidang ketahanan pangan, melalui kebijakan teknis dan pembinaan pelaksanaan kegiatan untuk penyangga ketahanan pangan dan penyelenggaraan penyuluhan pertanian dalam arti luas serta tugas lain yang diberikan oleh bupati sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku. Dinas Pangan Sukoharjo dalam bidang ketersediaan pangan memiliki tugas melakukan pemantauan pangan yang masuk. Dalam melaksanakan hal tersebut terjadi beberapa masalah seperti data dari 12 komoditas pangan yang dipantau melibatkan banyak data dalam satu kabupaten. Perhitungan data tersebut masih kumulatif sehingga sering data ketersediaan dan kebutuhan tidak akurat karena penghitungannya sangatlah lambat dan setiap masyarakat yang

membutuhkan informasi tentang potensi pangan harus mendatangi ke kantor Dinas Pangan untuk meminta *fotocopy* data potensi pangan pada Kabupaten Sukoharjo. Metode pengembangan sistem yang digunakan adalah metode SDLC (*Software Development Life Cycle*) dengan menggunakan model *prototype*. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa sistem yang dihasilkan dapat mengidentifikasi potensi pangan pada Kabupaten Sukoharjo, sistem dapat menampilkan data spasial pemetaan lahan potensi pangan pada wilayah Kabupaten Sukoharjo, sistem dapat mengolah data dan menyajikan dalam bentuk pemetaan lahan dalam *google maps*, dan sistem dapat menampilkan visualisasi pemetaan lahan yang informatif dan mudah dimengerti.

Muchsam (2017) pada penelitiannya mengatakan bahwa kabupaten mempunyai kewajiban penanganan urusan ketahanan pangan yang terkait dengan Sistem Informasi Ketahanan Pangan (SIKP) seperti: 1) tersedianya informasi situasi pangan dan gizi bulanan dan tahunan; 2) tersedianya informasi hasil investigasi daerah/desa yang diindikasikan rawan pangan; 3) tersusunnya rekomendasi kebijakan dan pelaksanaan intervensi bagi penanganan kerawanan pangan dan gizi; serta 4) tersedianya laporan dan rekomendasi kebijakan dan perencanaan program yang berkaitan dengan pangan. Keberhasilan SIKP dalam upaya pencegahan dan penanggulangan daerah rawan pangan dalam pelaksanaannya, sangat tergantung adanya: 1) koordinasi antar instansi terkait, 2) dukungan dari pemerintah daerah, dan 3) komitmen Tim Pokja untuk melakukan aktivitas kegiatan SIKP secara rutin berkelanjutan.

PEMBAHASAN

Model sistem yang dihasilkan diwujudkan dalam tiga bentuk yaitu model fungsionalitas sistem, model data, dan prototype.

Model Indikator Ketersediaan dan Pemanfaatan Pangan

Ada dua hal yang menjadi dasar perhitungan dalam penyajian informasi ketahanan pangan yaitu: 1) aspek ketersediaan pangan (bulanan), 2) aspek pemanfaatan pangan. Aspek ketersediaan pangan ditampilkan pada Tabel 1, sedangkan aspek pemanfaatan pangan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Indikator ketersediaan pangan

No	Indikator	Persentase (r) (%)	Bobot
1	Persentase luas tanam bulan berjalan dibandingkan dengan rata-rata luas tanam bulan bersangkutan	$r >= 5$	1 = Aman
		$-5 < r < 5$	2 = Waspada
		$r < -5$	3 = Rawan
2	Persentase luas poso bulan berjalan dibandingkan dengan rata-rata luas poso bulan bersangkutan 5 tahun terakhir	$r < -5$	1 = Aman
		$5 <= r < -5$	2 = Waspada
		$r > 5$	3 = Rawan

Tabel 2. Indikator pemanfaatan pangan

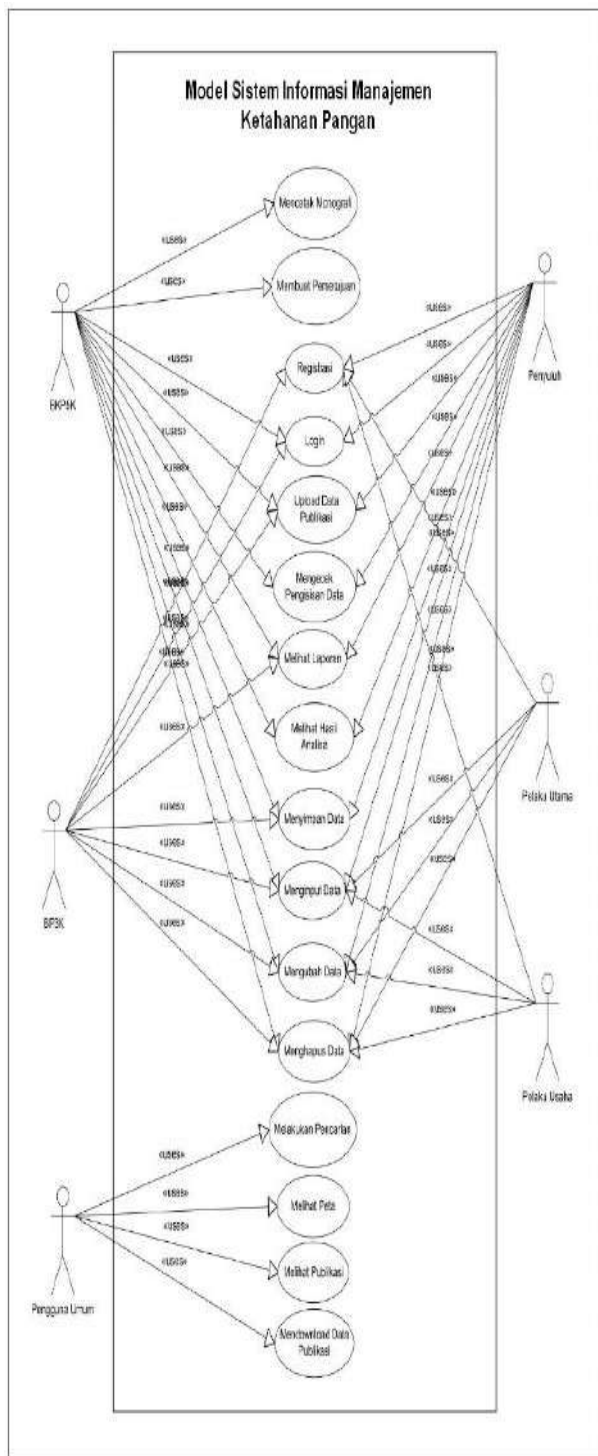
No	Indikator	Persentase (r) (%)	Bobot
1	Persentase Balita yg naik BB (N) dibandingkan jumlah Balita Ditimbang (D)	$r >= 90$	1 = Aman
		$80 <= r < 90$	2 = Waspada
		$r < 80$	3 = Rawan
2	Persentase Balita yg BGM dibandingkan jumlah Balita ditimbang (D)	$r < 5$	1 = Aman
		$5 <= r <= 10$	2 = Waspada
		$r > 10$	3 = Rawan
3	Persentase Balita yang tidak naik berat badannya dalam 2 kali penimbangan berturut-turut (2T) dibandingkan Jumlah Balita Ditimbang (D)	$R < 10$	1 = Aman
		$10 <= r <= 20$	2 = Waspada
		$r > 20$	3 = Rawan

Model Fungsionalitas Sistem dengan Use Case Diagram

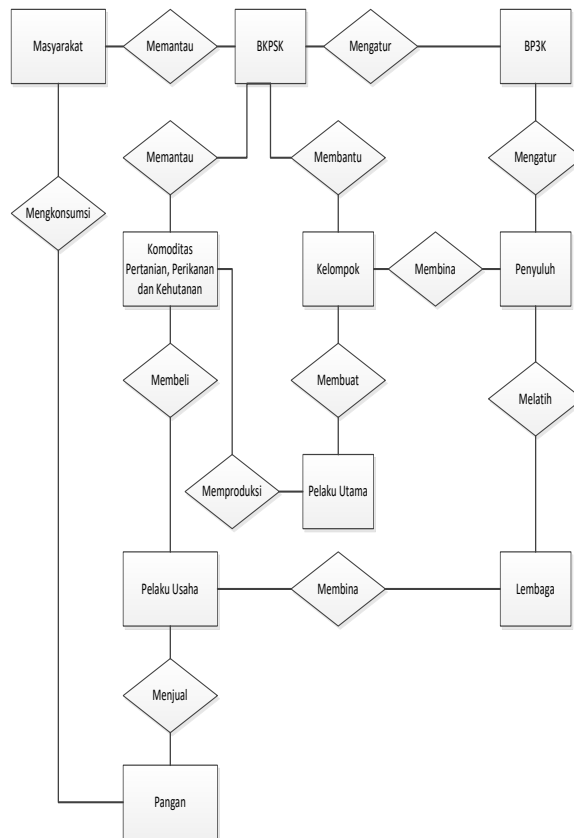
Diagram *use case* model Sistem Informasi Manajemen Ketahanan Pangan yang dikembangkan ditampilkan pada Gambar 1.

Model Data dengan Entity Relationship Diagram

Entity Relationship Diagram (ERD) Model Sistem Informasi Manajemen Ketahanan Pangan yang dikembangkan ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Use case model SIM Ketahanan Pangan



Gambar 2. ERD Model SIM Ketahanan Pangan

Implementasi dan Pengujian Model

Implementasi model, diwujudkan dalam bentuk *user interface* sebagai berikut.

Halaman Login

Halaman Login disediakan bagi pengguna (*user*) sekaligus sebagai pengamanan aplikasi dari pihak yang tidak berwenang. Bentuk tampilan halaman login ditampilkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Halaman Login

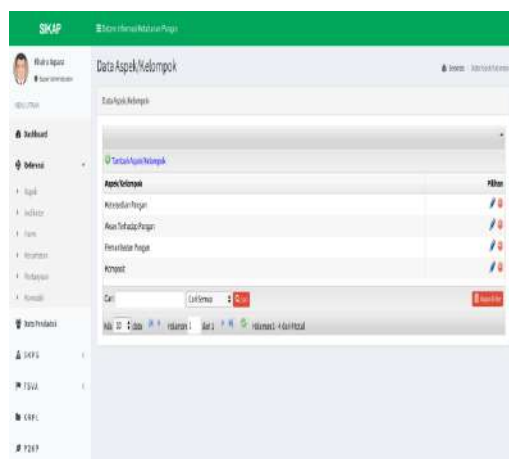
Ada dua isian yang perlu dilakukan pada *interface* ini yaitu nama pengguna (*user name*) dan sandi (*password*). Pada saat diklik pada tombol Login, jika *user name* dan *password* tidak cocok, akan ditampilkan kotak pesan kesalahan sebagai informasi kepada pengguna. Jika *user name* dan *password* cocok, akan dilanjutkan ke tampilan halaman utama. Pada halaman utama disajikan pilihan proses untuk melakukan pengelolaan data. Setiap *user* diberi hak akses yang berbeda sesuai kewenangan yang telah disepakati. Administrator memiliki kewenangan yang paling luas untuk mengelola sistem.

Halaman Data Aspek/Kelompok

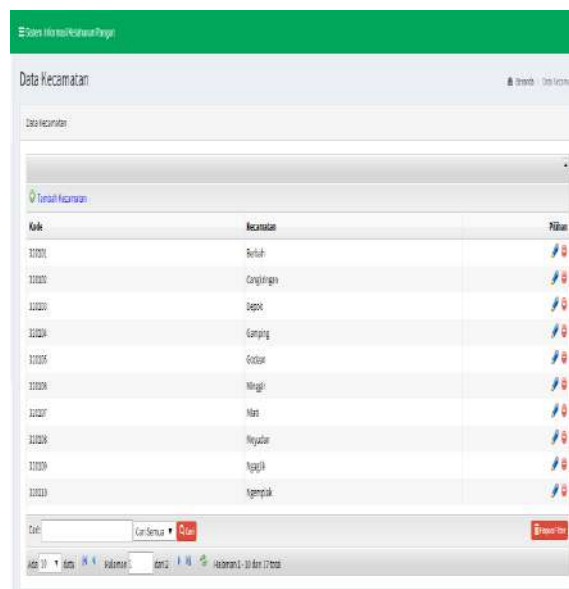
Halaman ini disediakan untuk mencatat aspek penilaian pada manajemen ketahanan pangan. Pada halaman ini hal yang perlu dilakukan adalah mengisi data nama aspek/kelompok dan dilanjutkan mengklik tombol Simpan. Bentuk tampilan halaman data aspek/kelompok ditampilkan pada Gambar 4.

Halaman Data Kecamatan

Halaman ini disediakan untuk mencatat nama kecamatan yang akan dilakukan penilaian. Bentuk tampilan halaman data kecamatan ditampilkan pada Gambar 5. Pada halaman ini, yang perlu diisikan adalah nama kecamatan. Data yang telah diisikan perlu disimpan ke dalam *database* dengan cara mengklik tombol Simpan.



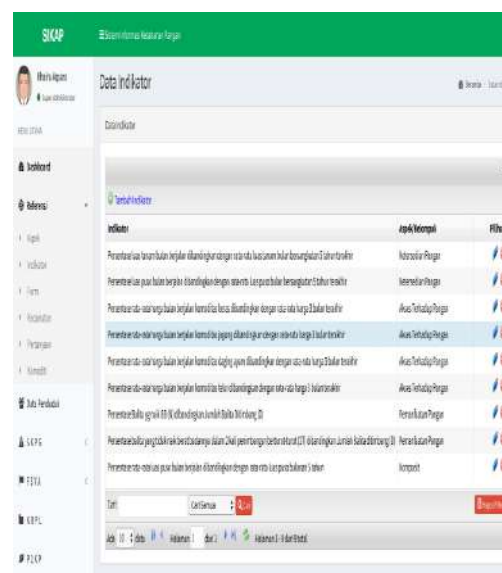
Gambar 4. Halaman data aspek



Gambar 5. Halaman data kecamatan

Halaman Data Indikator

Halaman ini disediakan untuk mencatat jenis indikator penilaian berdasarkan aspek/kelompok. Bentuk tampilan halaman data data indikator ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Halaman data indikator

Halaman Data Akses Pangan Bulanan

Halaman ini disediakan untuk mencatat akses pangan yang ada pada masing-masing kecamatan sesuai data komoditi yang ada.

Pada halaman ini, data yang pertama diisikan adalah tahun dan bulan, dilanjutkan dengan mengklik tombol Proses Data untuk mengisikan nama komoditi, harga rata-rata bulan berjalan di tingkat kecamatan, harga rata-rata 3 bulan terakhir. Setelah mengisi data tersebut, akan ditampilkan secara otomatis persentase harga rata-rata bulan berjalan dibandingkan harga rata-rata 3 bulan terakhir. Selanjutnya akan ditampilkan kolom Bobot yang menyatakan apakah suatu komoditi tersebut: Aman, Waspada, atau Kritis. Bentuk tampilan halaman data akses pangan bulanan ditampilkan pada Gambar 7.

No	Kecamatan	Komoditi	Harga rata-rata bulan berjalan di tingkat kecamatan (Rp/kg)	Harga rata-rata 3 bulan terakhir (Rp/kg)	Perbandingan harga rata-rata bulan berjalan dibanding harga rata-rata 3 bulan terakhir (%)	Bobot
1	Limang	Jagung	2200	2200	100	Aman
2		Padi	6000	6000	100	Aman
3		Kacang	7000	6000	116,67	Aman
4		Biji-bijian	1	1	100	Aman
5		Susu	7000	5000	140	Aman
6		Telur	18000	22000	81,82	Aman
7		Ayam	15000	40000	37,5	Aman

Gambar 7. Halaman data akses pangan bulanan

Halaman Data Aspek Pemanfaatan Pangan Bulanan

Halaman data aspek pemanfaatan pangan bulanan disediakan untuk mencatat aspek pangan yang ada pada masing-masing kecamatan sesuai data komoditi yang ada.

Pada halaman ini, data yang pertama diisikan adalah tahun dan bulan, selanjutnya mengklik tombol Proses Data untuk mengisikan aspek pemanfaatan pangan yang terdiri atas jumlah balita ditimbang, jumlah balita BB naik, jumlah balita bgm, balita yang tidak naik BB dalam 2 kali penimbangan berturut-turut. Setelah

mengisikan data itu, akan ditampilkan perhitungan angka pencapaiannya. Bentuk tampilan halaman data aspek pemanfaatan pangan bulanan dapat dilihat pada Gambar 8.

No	Kecamatan	Aspek	Target	Pencapaian	Persentase Pencapaian (%)	Status
1	Limang	Luas Tanam	10000	10000	100	Aman
2		Luas Puso	10000	10000	100	Aman
3		Luas Tanam Bersangkutan 5 Tahun Terakhir	10000	10000	100	Aman
4		Luas Puso Bersangkutan 5 Tahun Terakhir	10000	10000	100	Aman

Gambar 8. Halaman data aspek pemanfaatan pangan bulanan

Halaman Data Aspek Ketersediaan Pangan Bulanan

Halaman ini disediakan untuk mencatat aspek pangan di masing-masing kecamatan pada bulan tertentu.

Pada halaman ini, data yang diisikan adalah tahun dan bulan, diteruskan dengan cara mengklik tombol Proses Data untuk mengisikan aspek ketersediaan pangan yang terdiri atas luas tanam, rata-rata luas tana bulan bersangkutan 5 tahun terakhir, luas puso, rata-rata luas puso bulan bersangkutan 5 tahun terakhir. Setelah mengisikan data tersebut, akan ditampilkan perhitungan luas tanam bulan berjalan dibandingkan dengan rata-rata luas tanam bersangkutan 5 tahun terakhir, dan luas puso bulan berjalan dibandingkan dengan rata-rata luas puso bulan bersangkutan 5 tahun terakhir. Bentuk tampilan halaman data aspek ketersediaan pangan bulanan ditampilkan pada Gambar 9.

Gambar 9. Halaman data aspek ketersediaan pangan bulanan

Halaman Data Aspek Ketersediaan Pangan Tahunan

Halaman ini disediakan untuk mencatat aspek pangan di masing-masing kecamatan pada tahun tertentu.

Pada halaman ini, data yang pertama diisikan adalah data tahun, selanjutnya diikuti dengan mengklik tombol Proses Data untuk mengisikan perkiraan produksi (tren) setiap komoditi seperti padi, jagung, ubi kayu dan ubi jalar. Bentuk tampilan halaman data aspek ketersediaan pangan tahunan ditampilkan pada Gambar 10.

Gambar 10. Halaman data aspek ketersediaan pangan tahunan

Halaman Data Akses Pemanfaatan Pangan

Halaman ini disediakan untuk mencatat akses pemanfaatan pangan di tiap kecamatan.

Pada halaman ini, data yang diisikan adalah data tahun, diteruskan dengan mengklik tombol Proses Data untuk melihat jumlah balita, persentase gizi buruk, persentase gizi kurang, persentase KEP. Selanjutnya ditampilkan juga kolom bobot yang menampilkan kondisi yang dialami yaitu Waspada, Aman, dan Rawan. Bentuk tampilan halaman data akses pemanfaatan pangan ditampilkan pada Gambar 11.

Gambar 11. Halaman data akses pemanfaatan pangan

PENGUJIAN

Pengujian terhadap model yang dihasilkan dilakukan dengan metode *black box test*. Pengujian lebih difokus pada fungsionalitas model yang dihasilkan. Metode pengujian menekankan pada menjalankan fungsi dan pemeriksaan inputan dan data output. Jumlah *form* yang diuji ada sebanyak 9 *form*. Empat *form* master dan lima form untuk pengisian transaksi dan penyajian hasil analisis ketahanan pangan. Hasil pengujian yang dilakukan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Pengujian Model

No	Nama Form	Uraian Error Fungsi	Jml error (kali)	Score Error
1	Login	Saat dilakukan pengujian dengan memasukkan nama user dan password, sesuai dengan fungsinya	0	0
2	Data Aspek atau Kelompok	Saat dilakukan pengujian pengisian data aspek atau kelompok, maka data bisa tersimpan ke dalam database. Fungsi ubah data dan hapus data juga bisa berjalan sesuai fungsinya	0	0
3	Data Kecamatan	Saat dilakukan pengujian pengisian data kecamatan, maka data bisa tersimpan ke dalam database. Fungsi ubah data dan hapus data juga bisa berjalan sesuai fungsinya	0	0
4	Data Indikator	Saat dilakukan pengujian pengisian data indikator, maka data bisa tersimpan ke dalam database. Fungsi ubah data dan hapus data juga bisa berjalan sesuai fungsinya	0	0
5	Data Akses Pangan Bulanan	Saat dilakukan pengujian untuk mengisi data akses pangan bulanan sekaligus menampilkan hasil, bisa berjalan sesuai fungsinya dengan menyajikan informasi berdasarkan model yang ditetapkan	0	0
6	Data Aspek Pemanfaatan Pangan Bulanan	Saat dilakukan pengujian untuk mengisi data aspek pemanfaatan pangan bulanan sekaligus menampilkan hasil, bisa berjalan sesuai fungsinya dengan menyajikan informasi berdasarkan model yang ditetapkan	0	0
7	Data Aspek Ketersediaan Pangan Bulanan	Saat dilakukan pengujian untuk mengisi data aspek ketersediaan pangan bulanan sekaligus menampilkan hasil, bisa berjalan sesuai fungsinya dengan menyajikan informasi berdasarkan model yang ditetapkan	0	0
8	Data Aspek Ketersediaan Pangan Tahunan	Saat dilakukan pengujian untuk mengisi data aspek ketersediaan pangan tahunan sekaligus menampilkan hasil, bisa berjalan sesuai fungsinya dengan menyajikan informasi berdasarkan model yang ditetapkan	0	0
9	Data Akses Pemanfaatan Pangan	Saat dilakukan pengujian untuk mengisi data akses pemanfaatan pangan sekaligus menampilkan hasil, bisa berjalan sesuai fungsinya dengan menyajikan informasi berdasarkan model yang ditetapkan	0	0

Setiap form diuji sebanyak 5 kali. Total pengujian adalah sebanyak 45 kali. Berdasarkan hasil jumlah error dan score

error, maka model dianggap memenuhi harapan untuk diimplementasikan.

KESIMPULAN

Rancangan sistem yang memanfaatkan teknologi informasi berbasis web dapat dibuat dengan melakukan kajian secara komprehensif mengenai ketersediaan pangan, akses terhadap pangan dan pemanfaatan pangan sebagai aspek-aspek utama penopang ketahanan pangan serta menghubungkan aspek-aspek tersebut dengan kepemilikan aset rumah tangga, strategi penghidupan, dan lingkungan politik, sosial, kelembagaan dan ekonomi di suatu daerah. Hasil kajian tersebut dirumuskan, dimodelkan dengan tool teknologi informasi, serta diterjemahkan dengan menggunakan bahasa pemrograman yang mendukung pengelolaan basis data.

Sistem informasi ketahanan pangan yang bisa membantu pengambilan keputusan secara efektif dan efisien dapat dibangun dengan membuat model output yang menyajikan laporan berupa analisa ketahanan pangan dengan berbagai variasi. Sistem ini dapat dikembangkan dengan tambahan konsep berbasis geografis.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyanto, M.A.K., 2010, Model Pengembangan Ketahanan Pangan Berbasis Pisang Melalui Revitalisasi Nilai Kearifan Lokal, *Jurnal Teknik Industri*, vol. 11, no. 2, hal: 170-177.
- Faqih, P.I, Prasetyo, H.N, Sanjaya, M.B, 2017, Sistem Informasi Geografis Ketersediaan Pangan pada Dinas Pangan Sukoharjo Berbasis Web, *e-Proceeding of Applied Science*, hal.: 1325-1330.
- Isbandi dan Rusdiana, S., 2014, Strategi Tercapainya Ketahanan Pangan dalam Ketersediaan Pangan di Tingkat Regional, *Agriekonomika*, vol. 3, no. 2, hal:116-131.
- Muchsam, Y., 2017, Pengembangan Sistem Informasi Kerawanan Pangan Berbasis SMS Gateway dengan Menggunakan Metode FAS (*Framework for the Applications of System Thinking*), *Jurnal E-KOMTEK*, vol. 1, no. 1, hal: 99-111.

Pinem, A. P. R, 2016, Implementasi Oracle Spatial untuk Pemetaan Ketahanan dan Kerawanan Pangan di Kabupaten Brebes, *Jurnal Transformatika*, vol. 14, no. 1, hal: 38-43.

BIODATA PENULIS

Zaidir, S.T., M.Cs., lahir di Padang Pariaman tanggal 19 Oktober 1968, menyelesaikan pendidikan jenjang D3 prodi Manajemen Informatika dari "AMIK-ASTER" Yogyakarta tahun 1991, S1 Jurusan Teknik Informatika dari Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta tahun 2005, dan S2 Jurusan Ilmu Komputer dari Universitas Gajah Mada Yogyakarta tahun 2016. Tahun 2005-2009 menjadi dosen di Akademi Komputer "AMIK-ASTER" Yogyakarta, dan pada tahun 2009-sekarang menjadi dosen tetap di Universitas Respati Yogyakarta (UNRIYO) dengan jabatan akademik asisten ahli pada bidang minat basis data dan rekayasa perangkat lunak.

Erizal, S.Si., M.Kom., lahir di Medan pada tanggal 12 September, menyelesaikan pendidikan S1 dari Univeristas Gadjah Mada tahun 1998, dan S2 dari Universitas Indonesia tahun 2002. Saat ini berkerja sebagai dosen tetap pada Program Studi Sistem Informasi Universitas Respati Yogyakarta (UNRIYO) dengan jabatan akademik asisten ahli pada bidang minat pemrograman dan sistem cerdas.

**RANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PENGARSIPAN DIGITAL
BERBASIS WEB SEBAGAI DATA PENDUKUNG DALAM AKREDITASI
PROGRAM STUDI
(Studi Kasus: Fakultas Sains & Teknologi Universitas Respati Yogyakarta)**

Ahmad Sahal¹, Farida Nur Aini²

^{1,2}Universitas Respati Yogyakarta

Email: ¹ihza_asm@respati.ac.id, ²farida_resp@yahoo.co.id

Masuk: 01 November 2018, Revisi masuk: 30 Desember 2018, Diterima: 06 Januari 2019

ABSTRACT

The rapid development of science and technology can cover all aspects of life, including writing and writing, and can also store data in digital form in the form of storage media in the form of hard disks or the like. Besides that, it can also be found in a data storage system using a database system, which in this storage system makes it easy to get stored data whenever needed. The application developer scheme used for digital processing, uses the Rapid Application Development (RAD) method. Create a prototype built with Computer Aided Software Engineering (CASE) that allows, creates data models, converts data models to databases, and codes in one device, but will remain at this stage. From this study are the results of the design used to create digital archives, for the process of Digital Archive Implementation is in the process of completion. It is expected that there will be a process of implementing the Archive Elimination Process in the Study Program at the Faculty of Medicine and Technology at Respati University in Yogyakarta.

Keywords: *Digital Archive Series, Web Implementation, Database.*

INTISARI

Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dapat memasuki semua segi kehidupan, tak terkecuali dalam tulis-menulis, dan juga dapat menyimpan data dalam bentuk digital baik berupa media penyimpanan berupa harddisk atau sejenisnya. Selain itu bisa dijumpai pula sistem penyimpanan data dengan menggunakan sistem *database*, yang mana dalam sistem penyimpanan ini memudahkan untuk mendapatkan kembali data yang disimpan, apa bila sewaktu-waktu dibutuhkan kembali. Skema pengembangan suatu aplikasi yang digunakan untuk rancangan sistem kearsipan digital, menggunakan metode *Rapid Application Development (RAD)*. Pembuatan prototipe yang dibangun dengan *Computer Aided Software Engineering (CASE)* yang berfungsi memasukkan persyaratan, mengonversi mereka ke model data, mengubah model data ke *database*, koding. Penelitian ini menghasilkan suatu rancangan untuk membuat arsip secara digital, dan masih dilanjutkan ke tahap implementasi sistem pengelolaan Arsip yang ada pada Program Studi di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Respati Yogyakarta.

Kata-kata kunci: Rancangan Arsip Digital, Impelementasi Web, Database.

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini, dapat dimanfaatkan untuk media penyimpanan data dan kemudian bisa dilakukan pengambilan kembali bila diperlukan. Berawal dari hal tersebut bermunculan arsip-arsip dokumen penting yang harus disimpan, baik itu bersifat individu

maupun organisasi yang dapat diarsipkan secara digital. Setiap individu akan menghasilkan arsip dalam menjalankan aktivitasnya baik dalam institusi besar maupun kecil. Misalnya arsip mengenai ijazah, kartu tanda penduduk, surat keputusan (SK) mengajar, surat ijin menguji, surat masuk, surat keluar, surat perintah dan lain sebagainya. Kondisi

seperti ini akan sangat tidak efektif apabila tidak dikelola dengan memanfaatkan sistem informasi secara khusus, yang mana sistem informasi tersebut dapat mengelola berbagai macam arsip penting dalam bentuk arsip digital.

Arsip digital ini berfungsi sebagai media penyimpanan dan dapat ditampilkan kembali bila sewaktu-waktu diperlukan, dan dengan adanya data digital sebagai arsip yang dapat diambil kembali dengan mudah maka akan sangat membantu dalam pengambilan keputusan manajemen, menunjang legitimasi, menunjang efisiensi penggunaan sumber daya dan sebagai rujukan historis kinerja dari suatu organisasi. Menurut Undang-undang nomor 43 tahun 2009 tentang Kearsipan, arsip adalah rekaman kegiatan atau peristiwa dalam berbagai bentuk dan media sesuai dengan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang dibuat dan diterima oleh lembaga negara, pemerintahan daerah, lembaga pendidikan, perusahaan, organisasi politik, organisasi kemasyarakatan, dan perseorangan dalam pelaksanaan kehidupan bermasyarakat, berbangsa, dan bernegara.

Pengelolaan arsip senantiasa mengikuti dinamika perkembangan teknologi informasi yang terjadi pada masyarakat, pada saat ini telah ada dan berkembang aplikasi *open source* yang dapat digunakan untuk sistem informasi digital. Walaupun sudah ada arsip digital tersebut namun untuk arsip berupa kertas masih di perlukan, hanya saja dengan arsip digital ini memudahkan organisasi atau individu untuk menemukan kembali arsip, dapat dilakukan dengan cepat. Karena sistem aplikasinya dapat dimanfaatkan sebagai katalog untuk memberikan informasi letak dari arsip dokumen dalam bentuk kertas.

Penelitian yang dilakukan oleh Hakim dan Bandono (2015) mengembangkan Omeka sebuah aplikasi pengelola arsip digital dalam berbagai format. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa arsip digital mudah diciptakan dan perkembangan teknologi informasi merubah pola akses masyarakat dalam mengakses informasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Latifah dan Pratama (2015) telah merancang sistem informasi manajemen arsip elektronik (E-Arsip) berbasis Microsoft Access pada PT. Hi-Test. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa kearsipan merupakan bagian pekerjaan kantor yang sangat penting. Kearsipan sangat dibutuhkan dalam pelaksanaan kegiatan kantor karena arsip merupakan pusat ingatan untuk setiap kegiatan dalam kantor.

Saidah (2014) juga telah melakukan perancangan sistem manajemen pengarsipan berbasis elektronik pada Madrasah Tsanawiyah Negeri Gajah. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa, 1) sistem informasi pengarsipan elektronik dapat memudahkan pegawai tata usaha dalam mengelola arsip dalam hal penyimpanan dan akses kembali data; 2) sistem dapat mempermudah proses pencarian data arsip yang akan dibutuhkan; dan 3) sistem diharapkan memberikan *space* (tempat penyimpanan) yang efektif.

Sementara itu penelitian Irmawati, dkk. (2014) mengembangkan sistem informasi kearsipan untuk meningkatkan kualitas pelayanan. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa arsip adalah sebuah kumpulan informasi yang disimpan dalam bentuk berkas *hardfile* atau *softfile* yang dibuat, diterima, atau dikelola oleh organisasi maupun perseorangan sebagai bukti dari kegiatan.

Penelitian ini membuat rancangan dan implementasi sistem pengarsipan digital berbasis *web* sebagai data pendukung dalam akreditasi program studi dengan memanfaatkan aplikasi *open source* berbasis *web* yang dapat digunakan untuk sistem arsip digital untuk mendukung akreditasi program studi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Program studi Manajemen Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Respati Yogyakarta. Data yang digunakan sebagai sampel adalah data arsip yang terdiri dari beberapa kategori yaitu: buku, jurnal, abstrak penelitian, artikel, peraturan (SK), buku panduan, materi

kuliah, RPS, prosi-ding, artikel populer, inventaris, laporan, dan lainnya yang termasuk dalam data arsip.

Tahap penelitian, yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kebutuhan sistem
Kebutuhan sistem dapat dibagi dua yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.

2. Tahap pengumpulan data
Pengumpulan data dilakukan di kampus Universitas Respati di Program Studi Manajemen Informatika. Data yang dikumpulkan adalah data arsip sebagai sampel data.

3. Tahap pengembangan sistem
Skema pengembangan aplikasi Untuk mengembangkan rancangan sistem kearsipan digital, penelitian ini menggunakan metode *Rapid Application Development* (RAD) dengan tahapan sebagai berikut:

a. Pembuatan prototipe
Prototipe dibangun dengan *Computer Aided Software Engineering* (CASE) yang berfungsi untuk memasukkan persyaratan, mengonversinya ke model data, mengubah model data ke *database*, dan menghasilkan kode dalam satu perangkat.

b. Pengembangan berulang
Pengembangan berulang yang berarti menciptakan versi yang semakin fungsional dari suatu sistem dalam siklus pengembangan yang singkat. Setiap versi diperlukan ulasan atau review dari klien dalam hal program studi terkait untuk menghasilkan persyaratan yang memberi masukan pada versi aplikasi berikutnya. Proses ini diulang sampai semua fungsi yang dibutuhkan telah lengkap dikembangkan.

c. *Time boxing*
Time boxing adalah proses menonaktifkan fitur untuk versi aplikasi yang akan datang agar dapat menyelesaikan versi aplikasi saat ini dalam waktu yang singkat. Waktu yang sangat ketat adalah aspek penting dari RAD, karena tanpa itu

cakupan sistem dapat menyebabkan proses pengembangan aplikasi menjadi panjang. Oleh karena itu komunikasi dengan pengelola program studi, khususnya membatasi harapan pengguna, sangat penting dengan adanya *time boxing* dan pengembangan berulang dengan metode RAD diperlihatkan pada Gambar 1.



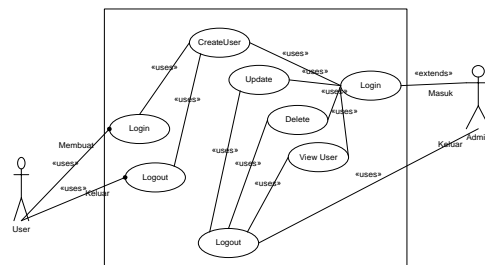
Gambar 1. Skema pengembangan aplikasi dengan metode RAD

Rancangan Model Sistem

Rancangan model aplikasi yang akan dikembangkan dapat digambarkan melalui *use case* pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Use Case Manajemen User

Use Case pengelolaan *User* memperlihatkan dua pengguna dengan otoritas yang berbeda yaitu *user* Admin dengan otoritas membuat *user*, mengubah *user*, melihat *user*, dan menghapus *user*, sedangkan pengguna lainnya yaitu *user* umum hanya mempunyai otoritas mendapatkan account, login, dan logout sistem.

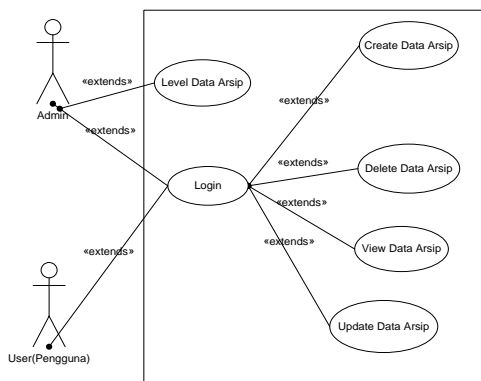


Gambar 2. Use Case Manajemen User

Use Case Pengelolaan Bahan Arsip

Use case pengelolaan bahan arsip melibatkan dua model pengguna dengan otoritas yang berbeda yang pertama adalah admin dapat melakukan

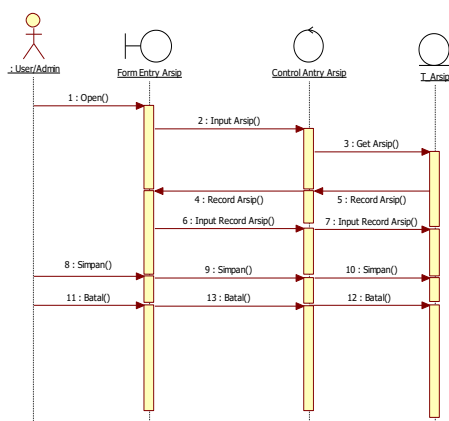
pembuatan data arsip, perubahan data, melihat data arsip dan penghapusan arsip. Sedangkan pengguna atau *user* lainnya mengikuti otoritas yang berlaku yang dibuat dan diatur oleh admin. Dengan demikian untuk pengguna sistem ini diberi otoritas khusus sesuai dengan level atau tingkatan yang telah diatur terlebih dahulu oleh admin, hal ini untuk menjaga agar arsip data tidak mudah dirubah atau dihapus maupun diakses oleh pihak yang tidak berhak.



Gambar 3. Use Case Pengelolaan Bahan Arsip

Sequence Diagram Entry Data Arsip

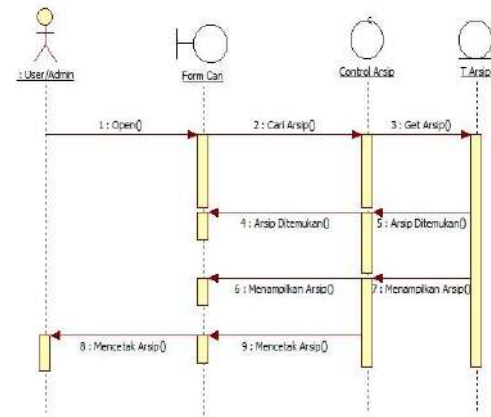
Sequence diagram Entry Data Arsip adalah urutan proses bisnis yang terjadi dalam sistem ini pada saat sistem sedang berjalan, khususnya berjalan pada saat modul *entry* data arsip.



Gambar 4. Sequence Diagram Entry Data Arsip

Sequence Diagram Mencari Data Arsip

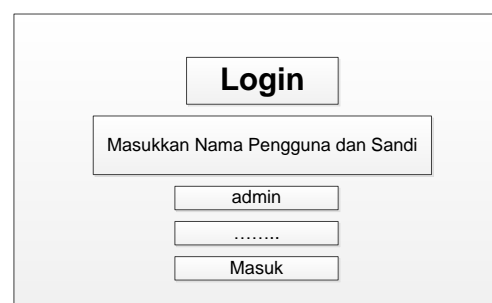
Sequence diagram Mencari Data Arsip adalah urutan proses bisnis yang terjadi dalam sistem ini pada saat sistem sedang berjalan, khususnya berjalan pada saat modul pencarian data arsip, seperti tampak pada Gambar 5.



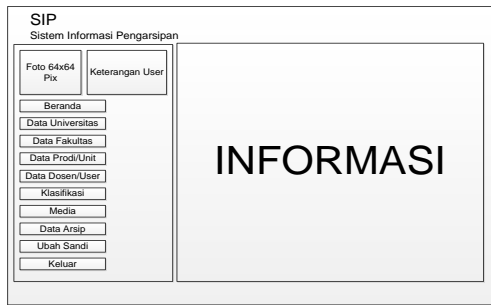
Gambar 5. Sequence Diagram Mencari Data Arsip

Rancangan Interface (Antar muka)

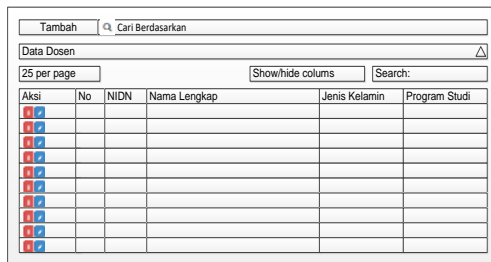
Rancangan *interface* berfungsi sebagai tampilan laman suatu aplikasi, sehingga *interface* sangat penting artinya dalam semua aplikasi. Rancangan *interface* pada penelitian ini, berturut-turut ditampilkan pada Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.



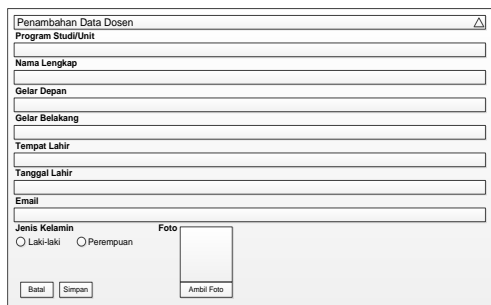
Gambar 6. Rancangan Interface Login User/Pengguna



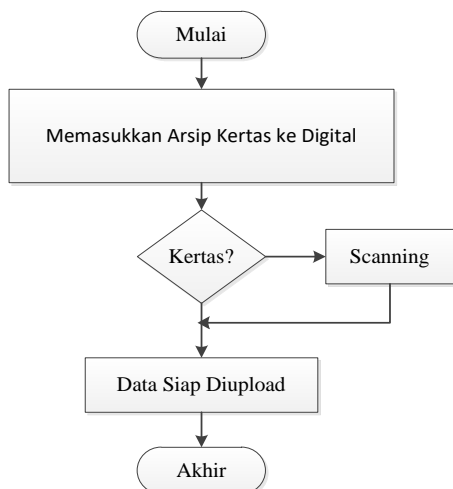
Gambar 7. Rancangan Interface Menu Utama



Gambar 8. Rancangan Interface View dan Pencarian Data Dosen/User



Gambar 9. Rancangan Interface Input Data Dosen/User



Gambar 10 Alur Merubah Data Berbentuk Kertas menjadi File digital

Peralatan yang diperlukan untuk mengubah format data dari dokumen kertas menjadi dokumen berupa digital adalah Scanner atau Camera Digital.

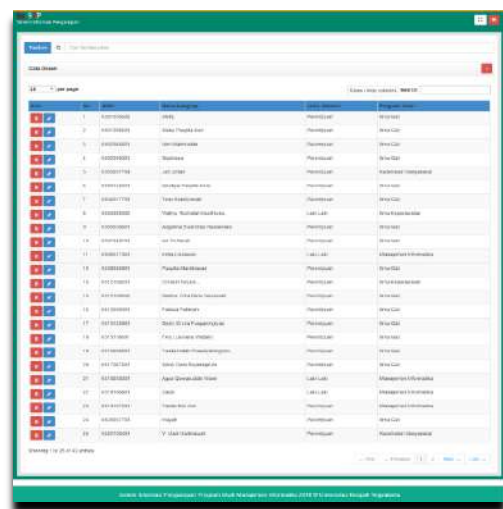
PEMBAHASAN

Berdasarkan rancangan sistem dan metode yang telah dikembangkan, dihasilkan Sistem Kearsipan Digital dengan tampilan implementasi seperti pada Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13. Gambar 11 adalah laman utama yang mana laman ini dapat dilihat oleh admin dari sistem, dengan demikian admin dapat memantau dan mengelola semua data arsip digital yang terdapat pada sistem.



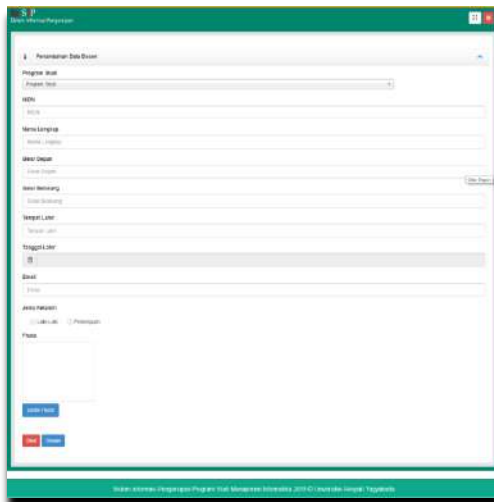
Gambar 11 Halaman Utama

Gambar 12 adalah laman yang digunakan untuk menampung data semua dosen yang telah dimasukkan ke dalam sistem.



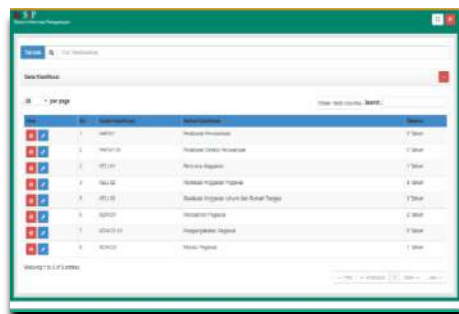
Gambar 12. Data Dosen (User)

Gambar 13 adalah laman yang digunakan untuk form penambahan data dosen yang dapat diisi pada *form* ini menjadi data dosen, dimana data ini nantinya juga dapat juga berfungsi sebagai data *user*.



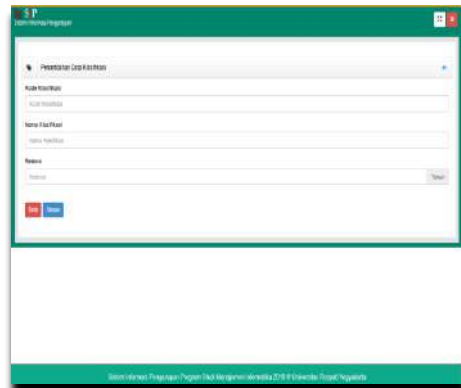
Gambar 13. Entry Data Dosen (User)

Gambar 14 adalah laman yang digunakan untuk View Data Klasifikasi yang mana klasifikasi ini digunakan untuk mengelompokkan data arsip digital yang ada dalam sistem.



Gambar 14. View Data Klasifikasi

Gambar 15 adalah laman yang digunakan untuk data klasifikasi yang digunakan untuk mengelompokkan data arsip digital yang ada dalam sistem dan *form* ini digunakan sebagai *entry* data.



Gambar 15. Entry Data Klasifikasi

Gambar 16 adalah laman yang digunakan untuk View Data Media Arsip yang mana Data Media Arsip yang sudah diisi dapat ditampilkan pada laman ini dengan tujuan bila ada perubahan ada penghapusan dapat dilakukan di sini.



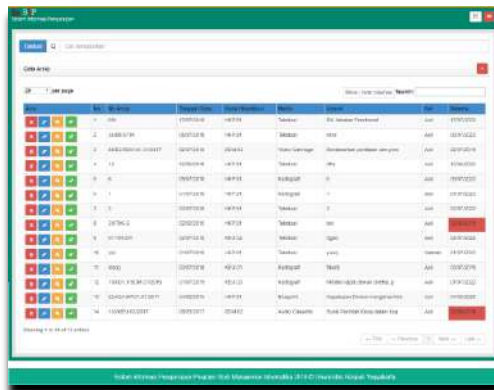
Gambar 16. View Data Media Arsip

Gambar 17 adalah laman yang digunakan untuk *Entry* Data Media Arsip yang mana Data Media Arsip, dapat diisi pada laman ini.



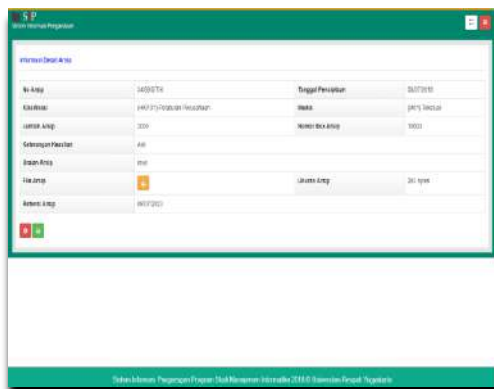
Gambar 17. Entry Data Media Arsip

Gambar 18 adalah laman yang digunakan untuk View Data Arsip yang mana Data Arsip yang sudah dientry dapat ditampilkan pada laman ini dengan tujuan bila ada perubahan/penghapusan dapat dilakukan pada *form* ini.



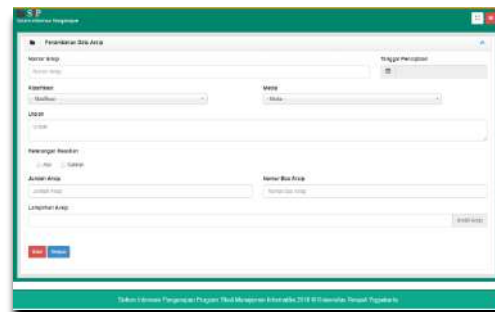
Gambar 18. View Data Arsip

Gambar 19 adalah laman yang digunakan untuk Informasi Detail Arsip yang mana Informasi Detail Arsip dapat mencetah dan melihat tentang detail dari arsip yang telah ada pada sistem.



Gambar 19. Informasi Detail Arsip

Gambar 20 adalah laman yang digunakan untuk Entry Data Arsip yang mana Entry Data Arsip digunakan untuk mengentri data arsip ke dalam sistem.



Gambar 20. Entry Data Arsip

Gambar 21 adalah laman yang digunakan untuk Ubah Arsip yang mana telah dientry bila terjadi kesalahan atau harus dilakukan pembetulan dapat dilakukan pada *form* ini.



Gambar 21. Ubah Arsip

Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan pada delapan form pada aplikasi, secara ringkas ditampilkan pada Tabel 1

Tabel 1. Pengujian Sistem

No.	Data Uji	Input	Hasil Tes Diharapkan	Output	Kesimpulan
1	Laman Utama	Data Arsip	Menampilkan data Arsip dan dapat memfilter data arsip	Menampilkan data arsip dan dapat memfilter	Valid
2	Login	User dan Password	dapat masuk ke sistem hanya yang memiliki user dan password	Hanya yang memiliki user dan password yang dapat masuk ke sistem	Valid
3	Beranda	Data Arsip	Menampilkan Laman dashboard	Dapat menampilkan laman dashboard	Valid
4	Data Fakultas	Data Fakultas	Menambah, merubah dan menghapus data, pencarian dan filter	Dapat Menambah, merubah dan menghapus data, pencarian dan filter	Valid
5	Data Prodi	Data Prodi	Menambah, merubah dan menghapus data, pencarian dan filter	Dapat Menambah, merubah dan menghapus data, pencarian dan filter	Valid
6	Form Data Klasifikasi	Data Klasifikasi Arsip	Menambah, merubah dan menghapus data, pencarian dan filter	Dapat Menambah, merubah dan menghapus data, pencarian dan filter	Valid
7	Data Media	Data Media Arsip	Menambah, merubah dan menghapus data, pencarian dan filter	Dapat Menambah, merubah dan menghapus data, pencarian dan filter	Valid
8	Data Arsip	Data Arsip	Menambah, merubah dan menghapus data, pencarian, filter, melakukan sharing data dan mencetak data, menampilkan bentuk arsip	Dapat menambah, merubah dan menghapus data, pencarian, filter, melakukan sharing data dan mencetak data, menampilkan bentuk arsip	Valid
9	Ubah Sandi	User dan Password	Merubah data user dan password	Dapat Merubah data user dan password	Valid

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan telah dihasilkan Sistem Pengarsipan Digital berupa *software* aplikasi berbasis *web* yang dapat digunakan untuk membangun sistem kearsipan digital serta dapat diimplementasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hakim, H. A. B., Bandono, 2015, Omeka: Aplikasi Pengelola Arsip Digital dalam Berbagai Format, Jupiter, vol. XIV, no. 2, hal.: 31-37.
- Irmawati, D., & Indrihapsari, Y., 2014, Sistem Informasi Kearsipan untuk Meningkatkan Kualitas Pelayanan, Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, vol. 22, no. 2, hal.: 136-147.
- Latifah, F., & Pratama, A., W., 2015, Perancangan Sistem Informasi

Manajemen Arsip Elektronik (E-Arsip) Berbasis Microsoft Access Pada PT. Hi-Test, Jurnal Akuntansi, Ekonomi dan Manajemen Bisnis, vol. 3, no. 1, hal.: 21-31.

- Saidah, 2014, Perancangan Sistem Manajemen Pengarsipan Berbasis Elektronik Pada Madrasah Tsanawiyah Negeri Gajah, Jurnal Mahasiswa STEKOM Semarang, vol. 1, no. 1.
- Undang-undang Nomor 43 tahun 2009 tentang Kearsipan.

BIODATA PENULIS

Ahmad Sahal., S.Kom, M.Cs., lahir di Rantau Kadam (Musi Rawas) tanggal 23 Maret 1970, menyelesaikan pendidikan D3 Teknik Informatika dari "Akademi Teknik PIRI" Yogyakarta tahun 2002, S1 pada Jurusan Teknik Informatika dari STMIK Proactive

Yogyakarta tahun 2007, dan S2 Jurusan Ilmu Komputer dari Universitas Gajah Mada Yogyakarta tahun 2013. Sejak tahun 2008 hingga saat ini tercatat sebagai dosen tetap program studi Manajemen Informatika di Universitas Respati Yogyakarta (UNRIYO) dengan jabatan akademik asisten ahli pada bidang minat pemrograman visual dan jaringan komputer.

Farida Nur Aini, S.T., M.T., lahir di Kulonprogo tanggal 19 Oktober 1972, menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Manajemen Informatika & Teknik Komputer dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 1997, S2 pada Jurusan Ilmu Komputer dari Universitas Atma Jaya Yogyakarta tahun 2014. Sejak tahun 2009 hingga saat ini tercatat sebagai dosen tetap program studi Manajemen Informatika di Universitas Respati Yogyakarta (UNRIYO) dengan jabatan akademik asisten ahli pada bidang minat multimedia, pemrograman web, dan pemrograman *database*.

TEKNIK WATERMARKING MENGGUNAKAN METODE CRT PADA DETEKSI TEPI CANNY UNTUK PERLINDUNGAN HAK CIPTA (DAGADU)

Nuniek Herawati¹

¹Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Sains Terapan, IST AKPRIND Yogyakarta
Email: ¹nuniekh@akprind.ac.id

Masuk: 01 Januari 2019, Revisi masuk: 10 Januari 2019, Diterima: 16 Januari 2019

INTISARI

Yogyakarta merupakan salah satu kota tujuan wisata favorit di Indonesia. Hampir setiap akhir pekan atau liburan Kota Gudeg ini selalu dipadati oleh wisatawan baik lokal maupun manca negara dari anak-anak, remaja sampai orang dewasa. Pada kota pariwisata khususnya, ketersediaan cinderamata dan oleh-oleh memegang peran penting untuk menambah *income* daerah dan sudah pasti mempunyai kekhasan. Kota Yogyakarta tak hanya terkenal dengan oleh-olehnya yang berupa gudeg, batik dan bakpia saja, namun juga dikenal dengan *brand* fashion Dagadu. Dagadu merupakan sebuah merek dagang khas Yogyakarta berupa rancangan grafis yang dibuat pada cinderamata terutama kaos, baju, gantungan kunci, stiker dan lain-lain. Rancangan grafis dimana menghasilkan citra bisa dijaga dari manipulasi citra agar tidak bisa ditiru oleh pihak lain. Skema *watermarking* dibuat untuk mengatasi hal ini.

Teknik *watermarking* merupakan salah satu solusi menghindari penyalinan yang tidak legal. Saat ini banyak skema *watermarking* yang telah diajukan untuk mengatasi masalah ini. Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan teknik *watermarking Chinese Remainder Theorem* (CRT) untuk pelabelan hak cipta. Sebelum dilakukan penanaman *watermark*, dilakukan proses *preprocessing* terlebih dahulu menggunakan metode deteksi tepi Canny untuk mengetahui tepi dan batas-batas pada citra. Hasil pengukuran kualitas citra menggunakan *Structural Similarity* (SSIM), terlihat metode CRT pada deteksi tepi Canny mampu meningkatkan kualitas citra *watermark* secara signifikan dengan rata-rata 0.99963 dibandingkan dengan metode CRT yang hanya memiliki rata-rata 0.99842. Pada saat diberi serangan pengolahan citra, CRT pada deteksi tepi Canny mampu mempertahankan *robustness* terhadap serangan dengan rata-rata kompresi 0,68212 dan *noise* 0.940038 sedangkan metode CRT hanya memiliki rata-rata kompresi 0,56653 dan *noise* 0.93632.

Kata-kata kunci: *Watermarking*, CRT, Canny, SSIM, NC.

PENDAHULUAN

Yogyakarta merupakan salah satu kota tujuan wisata favorit di Indonesia. Hampir setiap akhir pekan atau liburan Kota Gudeg ini selalu dipadati oleh wisatawan baik lokal maupun manca negara dari anak-anak, remaja sampai orang dewasa. Pada kota pariwisata khususnya, ketersediaan cinderamata dan oleh-oleh memegang peran penting untuk menambah *income* daerah dan sudah pasti mempunyai kekhasan. Kota Yogyakarta tak hanya terkenal dengan oleh-olehnya yang berupa gudeg, batik dan bakpia saja, namun juga dikenal dengan *brand* fashion Dagadu. Dagadu merupakan sebuah merk dagang khas Yogyakarta berupa rancangan grafis

yang dibuat pada cinderamata terutama kaos, baju, gantungan kunci, sticker dan lain-lain. Rancangan grafis dimana menghasilkan citra bisa dijaga dari manipulasi citra agar tidak bisa ditiru oleh pihak lain

Merk dagang merupakan sesuatu yang cukup penting dimiliki oleh seseorang atau perusahaan. Seiring dengan perkembangan jaman, tidak sedikit merk dagang yang banyak di manipulasi atau digunakan oleh pihak yang tidak bertanggung jawab untuk mendapat keuntungan. Munculnya masalah manipulasi gambar atau citra ini membuat khawatir beberapa pihak, padahal pemerintah Indonesia sudah mencanangkan peraturan yang sudah

tertulis dalam sebuah UUHC (Undang-undang Hak Cipta), yaitu Undang-undang yang mengatur Hak Cipta adalah Undang-undang nomor 28 tahun 2014 (Syamsudin, 2014). Dalam pasal 1 butir 1 pengertian hak cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Otentikasi gambar menjadi permasalahan penting, sebagai akibat dari pertumbuhan daya komputasi, teknologi internet, pasar multimedia, aplikasi pencitraan medis, dan meningkatkan minat dalam aplikasi *web*. Dengan jumlah data multimedia yang sangat banyak dan menggunakan format digital dapat dengan mudah diubah atau dirusak menggunakan alat pengolahan gambar, maka dari itu tidak dapat dipastikan bahwa gambar yang diterima melalui internet adalah otentik. Perlindungan hak cipta menjadi satu permasalahan yang serius untuk memastikan integritas gambar yang diterima serta kepemilikan asli untuk keamanan. Beberapa teknik perlindungan hak cipta diantaranya adalah kriptografi, steganografi, dan *watermarking*. Konsep dari ketiga teknik tersebut adalah *data hiding*, dimana suatu informasi rahasia akan disisipkan pada sebuah objek sehingga tidak dapat diketahui oleh orang asing.

Teknik *watermarking* merupakan salah satu solusi menghindari penyalinan yang tidak sah. Baru-baru ini banyak skema *watermarking* telah diajukan untuk mengatasi masalah ini. Teknik *watermarking* didefinisikan sebagai proses menyembunyikan data digital dalam data penutup yang harus dilindungi dan diekstraksi kemudian untuk verifikasi kepemilikan. Kelebihan *watermarking* adalah tahan terhadap berbagai jenis serangan, diantaranya *cropping*, *rotating*, *scaling*, *low pass filtering*, mengubah ukuran, dan kompresi JPEG.

Ada 2 jenis domain yang dapat dilakukan penyisipan *watermarking*, diantaranya yaitu domain spasial dan domain frekuensi. Dengan algoritme sederhana, *watermarking* domain spasial

untuk menanamkan citra *watermark*, yaitu dengan cara nilai piksel pada citra asli diubah. Namun *watermark* domain ini bersifat lemah, tidak tahan dengan serangan, dan informasi yang ditanamkan mudah rusak dan diubah. Sedangkan *watermarking* domain frekuensi, nilai lain piksel ditransformasikan menjadi koefisien. Untuk pemrosesan penanaman *watermark* pada citra asli, koefisien tersebut harus diubah. Sebagian besar operasi pengolahan citra dapat dikenali dengan mudah

Teknik *watermarking* yang digunakan oleh Patra dkk. (2010) adalah *Chinese Remainder Theorem* (CRT). Penggunaan CRT memberikan keuntungan dalam hal peningkatan keamanan dan kompleksitas komputasi rendah. Dalam skema ini hanya beberapa informasi yang diperlukan untuk ekstraksi *watermark*. Skema yang diusulkan dapat meningkatkan kapasitas *embedding* dalam citra dan tetap menjaga *imperceptibility* dan ketahanan terhadap serangan. Namun, kelemahan CRT yaitu tidak tahan terhadap kompresi JPEG dan *brightening attack*. Maka dari itu teknik *watermarking* CRT perlu diterapkan pada deteksi tepi agar tahan terhadap kompresi.

Metode deteksi tepi *Canny* dapat melakukan perhitungan deteksi tepi dengan baik dibanding metode lainnya. Dan dapat meningkatkan akurasi dalam pengenalan pola. Kelebihan dari metode *Canny* adalah sebelum melakukan perhitungan deteksi tepi, metode *Canny* terlebih dahulu mengurangi noise, sehingga menghasilkan tepi-tepi yang lebih optimal.

Berdasarkan latar belakang diatas maka peneliti menggunakan metode *Chinese Remainder Theorem* (CRT) untuk penanaman *watermark*. Sebelum dilakukan penanaman *watermark*, citra Dagadu di *preprocessing* terlebih dahulu menggunakan metode deteksi tepi *Canny* untuk mengetahui tepi dan batas-batas pada citra.

METODE PENELITIAN

Alat Penelitian

1. Perangkat lunak

Perangkat lunak merupakan komponen utama yang digunakan dalam

penelitian, supaya maksud dan tujuan penelitian yang dilakukan dapat tercapai dengan baik. Perangkat lunak yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- a. Sistem operasi, sistem operasi yang digunakan adalah Windows 7 Home Premium 64-bit.
- b. Aplikasi pengolah, aplikasi yang digunakan adalah Matlab R2012a. Matlab R2012a digunakan untuk mengolah gambar yang akan ditanami *watermark* dan juga untuk menguji kualitas gambar yang telah ditanami *watermark*.

2. Perangkat keras

Faktor utama lain adalah kebutuhan perangkat keras. Perangkat keras yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu, sebagai berikut :

- a. Laptop
Laptop adalah perangkat keras utama dalam menyelesaikan penelitian ini, spesifikasi dari laptop yang digunakan adalah:
 - *Operating System*: Windows 7 Home Premium 64-bit
 - *System manufacture*: HP
 - *Processor*: Intel(R) Celeron(R) CPU 1000M @ 1.80GHz (2 CPUs), ~1.8GHz
 - *Memory* : 4096MB RAM

b. Printer

3. Teknik analisis data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini mengaplikasikan metode deteksi tepi Canny untuk proses *preprocessing*. Berikut adalah langkah dari *preprocessing* metode deteksi tepi Canny:

- a. Membuang *noise* yang terdapat pada citra asli dengan menerapkan filter Gaussian.
- b. Melakukan deteksi tepi dengan melakukan pencarian secara horisontal (G_x) dan vertikal (G_y). Dua operator disatukan untuk menghasilkan gabungan tepi horisontal dan vertikal memanfaatkan rumus (1) dan (2):

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$|G| = |G_x| + |G_y| \dots\dots\dots (2)$$

- c. Menentukan arah tepian dilakukan menggunakan rumus (3):

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \dots\dots\dots (3)$$

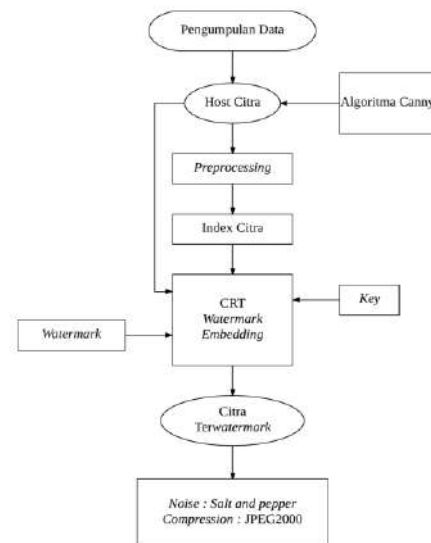
Kemudian memecah menjadi 4 warna, sehingga garis dengan arah yang berlainan memiliki warna yang berlainan pula. Berikut adalah pembagiannya:

- 0° - $22,5^\circ$ dan $157,7^\circ$ - 180° berwarna kuning
- $22,5^\circ$ - $67,5^\circ$ berwarna hijau
- $67,5^\circ$ - $157,5^\circ$ berwarna merah

- d. Menerapkan *non maximum suppression* untuk memperkecil garis tepi yang muncul, sehingga garis tepi yang dihasilkan lebih ramping.

- e. Menerapkan *thresholding* untuk binerisasi.

Gambar 1 menampilkan langkah proses penyisipan menggunakan metode CRT.



Gambar 1. Proses penyisipan menggunakan metode CRT

4. Tahap penyisipan *watermark* (*watermark embedding*)

Langkah penyisipan *watermark* (*watermark embedding*) adalah sebagai berikut:

- a. Pilih piksel bagian tepi (piksel terindeks), untuk disematkan di blok, menggunakan PRNG.

- b. Mengkonversi nilai desimal X , yang berkisar 0-255, menjadi bentuk biner 28.
 - c. Perhatikan 6 bit yang paling tidak signifikan (LSBs) dari X dan ubah menjadi nilai desimal Z . Rentang Z adalah 0-63.
 - d. Pada 2 bit yang paling signifikan (MSB) X , ubah menjadi nilai desimal Y dengan mengambil nilai 0, 64, 128 dan 192.
 - e. Pilih pasangan bilangan *co-prima* sebagai $M_1 = 6$, $M_2 = 11$.
 - f. Tentukan R_1 dan R_2 untuk Z dengan menerapkan invers CRT.
 - g. Untuk menyisipkan bit '1', kondisi yang dibutuhkan adalah:
 $R_1 \geq R_2$ (4)
 - h. Untuk menyisipkan bit '0', kondisi yang dibutuhkan adalah:
 $R_1 < R_2$ (5)
 - i. Setelah diperoleh nilai R_1 dan R_2 , CRT digabungkan dengan M_1 dan M_2 untuk mendapatkan Z' .
 - j. Kombinasikan nilai Y dengan Z' untuk mendapatkan X' , nilai piksel *watermark* yang baru.
 - k. Ulangi langkah a-j untuk semua blok sampai semua bit *watermark* disisipkan.
5. Tahap ekstraksi *watermark* (*watermark extracting*)
Prosedur ekstraksi adalah kebalikan dari prosedur penyisipan. Proses ekstraksi untuk mengambil *watermark* dari citra yang disisipi *watermark* perlu diketahui informasi berikut:
- a. Citra ter*watermark*
 - b. Ukuran *watermark*
 - c. Dasar dari PRNG 30
 - d. Pasangan bilangan *co-prima* M_1 dan M_2
- Dengan mengetahui PRNG, piksel blok dimana *watermark* disisipkan akan dipilih dan nilai piksel Z ditemukan. Setelah itu, dengan menggunakan M_1 , M_2 dan Z , nilai R_1 dan R_2 ditentukan. Selanjutnya, perbandingan dibuat antara R_1 dan R_2 . Jika $R_1 \geq R_2$, maka akan diekstraksi nilai bit '1', jika tidak bit '1' maka akan diekstraksi bit '0'. Langkah-langkah ini diulang untuk setiap blok berturut-turut untuk mengekstrak semua bit *watermark*.

6. Eksperimen dan cara pengujian metode
Pengujian kualitas citra *watermarking* dilakukan menggunakan SSIM (*Structural Similarity*) dan NC (*Normalized Correlation*) yang dibuat dengan menggunakan aplikasi Matlab R2012a. Untuk perhitungan SSIM dibutuhkan citra asli dan citra yang sudah dikenakan *watermark*). Sedangkan untuk perhitungan NC dibutuhkan citra *watermark* asli dan citra *watermark* terekstrak. Hasil dari pengujian ini mendeskripsikan tingkat *imperceptibility* dan *robustness* citra *watermark*. Setelah dilakukan perhitungan dengan SSIM dan NC, hasil pengujian dicatat dengan *form* yang menunjukkan *range* angka yang didapatkan pada saat pengujian dilakukan.

PEMBAHASAN

1. Citra yang Digunakan

Citra yang digunakan untuk implementasi penelitian ini adalah 10 citra asli tipe warna *grayscale* berukuran 512x512 piksel, dan 1 citra *watermark* tipe biner berukuran 128x128 piksel dengan format PNG. Citra asli dan citra *watermark* yang digunakan ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Citra Dagadu

2. Deteksi Tepi Canny

Deteksi tepi Canny memberikan fleksibilitas yang tinggi, melokalisasi tepi, dan hanya menunjukkan satu respon pada tiap tepi. Implementasi deteksi tepi Canny dilakukan melalui empat tahapan, yaitu:

- a. Mengubah citra RGB ke *grayscale*
Langkah pertama yang harus dilakukan adalah merubah citra RGB ke citra *grayscale*
- b. Filter Gaussian
Mengurangi *noise* pada citra asli untuk mencegah kesalahan deteksi tepi, dilakukan dengan melalui proses *smoothing*. Tahap ini diterapkan teknik filter Gaussian untuk mengurangi *noise*.
- c. Filter Prewitt
Metode Prewitt menggunakan matrik 3x3 dan susunan pikselnya di sekitar piksel (x,y).
- d. Mengubah Arah Tepian
Penentuan arah tepian dengan menggunakan acuan berikut:
 - 1). Setiap arah tepian yang bernilai antara 0 hingga 22,5 dan 157,5 hingga 180 derajat dirubah menjadi 0 derajat.
 - 2). Setiap arah tepian yang bernilai antara 22,5 hingga 67,5 derajat dirubah menjadi 45 derajat.
 - 3). Setiap arah tepian yang bernilai antara 67,5 hingga 112,5 derajat dirubah menjadi 90 derajat.

3. Proses Penyisipan *Watermark*

Berikut ini adalah proses penyisipan citra menggunakan algoritme CRT.

- a. Menentukan nilai piksel (X) pada blok menggunakan *Pseudorandom Number Generator* (PRNG) dengan *Linear Congruential Generator* (LCG). Persamaan LCG yang digunakan adalah:

$$X_{n+1} = (a \times X_n + c) \bmod n \dots\dots (6)$$

Contoh:

$$a = 5$$

$$c = 9$$

$$X_n = 1 \text{ (merupakan perulangan dari } n = 1 \text{ hingga } n = 64)$$

$$\begin{aligned} X_0 &= (5 \times 1 + 9) \bmod 64 \\ &= 14 \bmod 64 \\ &= 14 \end{aligned}$$

- b. Mengonversi nilai piksel X hasil dari PRNG, menjadi bentuk biner.
Jika bernilai pecahan maka bilangan diubah menjadi bilangan bulat tanpa pecahan dengan melakukan pembulatan ke bawah pada bilangan tersebut, kemudian bilangan dikonversi ke dalam bentuk biner, sedang-

kan nilai pecahan akan digunakan untuk nilai selanjutnya saat *embedding*.

$$X = 202$$

$$202_{10} = 110010102$$

3. Pada 6 bit yang paling tidak signifikan (LSBs) dari X, ubah menjadi nilai desimal Z dengan rentang 0-63.

$$X = 11001010$$

$$Z = 001010$$

$$0010102 = 1010$$

$$Z = 10$$

4. Pada 2 bit yang paling signifikan (MSB) X, ubah menjadi nilai desimal Y, biasanya mengambil nilai 0, 64, 128 dan 192.

$$Y = 11$$

5. Pilih pasangan bilangan co-prima sebagai $M1 = 6, M2 = 11$
6. Tentukan R1 dan R2 untuk Z dengan menerapkan invers CRT.
7. Berikut adalah proses penyisipan *watermark*:

- a. Jika nilai piksel *watermark* sama dengan bit '1', maka kondisi nilai $R1 \geq R2$. Sedangkan untuk nilai piksel *watermark* sama dengan bit '0', maka diperlukan kondisi $R1 < R2$. Apabila kondisi tidak terpenuhi, maka nilai Z akan dimodifikasi.

- b. Dari *watermark* diambil nilai piksel untuk digunakan sebagai proses *embedding*, dimana *watermark* berukuran 128x128. Pada penelitian ini hanya dipaparkan piksel *watermark* berukuran 2x1.

KESIMPULAN

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penerapan metode CRT pada deteksi tepi Canny memiliki kemampuan *imperceptibility* yang signifikan, yaitu citra ter-*watermark* yang dihasilkan sangat mirip dengan citra asli.
2. Metode yang diusulkan mampu mengoptimalkan tingkat *robustness* dan *imperceptibility*. Hal ini ditunjukkan pada pengukuran kualitas citra menggunakan SSIM, ternyata metode CRT pada deteksi tepi Canny mampu meningkatkan kualitas citra *watermark* secara signifikan dengan nilai rata-rata 0.99963 dibandingkan deng-

an metode CRT yang hanya memiliki rata-rata 0.99842. Pada saat diberi serangan pengolahan citra, CRT pada deteksi tepi Canny mampu mempertahankan *robustness* terhadap serangan dengan rata-rata kompresi 0,68212 dan *noise* 0.940038, sedangkan metode CRT hanya memiliki rata-rata kompresi 0,56653 dan *noise* 0.93632.

DAFTAR PUSTAKA

Patra, J. C., Phua, J. E., and Bornand, C., 2010, A Novel DCT Domain CRT-Based Watermarking Scheme for Image Authentication Surviving JPEG Compression, *Elsevier Digit. Signal Process. A Rev. J.*, vol. 20, no. 6, pp. 1597-1611.

Syamsudin, A., 2014, Undang-undang Nomor 28 Tahun 2007 tentang Hak Cipta.

BIODATA PENULIS

Dra. Nuniek Herawati, M.Kom., lahir di Tegal tanggal 31 Desember 1961, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Diponegoro pada tahun 1989, dan S2 program studi Ilmu Komputer dari Universitas Gadjah Mada tahun 2003. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap program studi Sistem Komputer di Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor pada bidang minat ilmu komputer.

PERBANDINGAN KUALITAS CITRA PADA TIGA SOFTWARE VIDEO

Harmastuti¹, Dwi Setyowati², Panggih Cahyo Prasetyo³, Mahendra Kurnia Widhiatmoko⁴
^{1,2,3,4}Prodi Sistem Komputer, IST AKPRIND Yogyakarta
Email: ¹harmastuti@akprind.ac.id, ²dwisetiowati@akprind.ac.id,
³panggihcahyop@gmail.com, ⁴mahe13621@gmail.com

Masuk: 01 Desember 2018, Revisi masuk: 10 Januari 2019, Diterima: 17 Januari 2019

ABSTRACT

The development of information technology is currently very rapid, can be seen in the real world how important the use of video, such as in the field of advertising, entertainment, business and no less important in the field of education for the delivery of learning information which all require a clear and attractive display.

In this study, we will examine a comparison of three video software on image quality, image sharpness, brightness and audio effects in Windows Live Movie Maker, VideoSpin and Movavi Video. The research conducted made the video using the three software on the NTSC video format, AVI file type, resolution (720x480), 4:3 Pixel ratio, Standard D1 aspect ratio (0.09), 1500 kbps bit rate, 29.97fps frame rate with Audio: Stereo Channels, 48,000 HZ sample rate, 2.2 minutes duration. The samples were taken by the HMJ activities (HIMAKOM), namely graphic science competitions, sports, the introduction of new software training students, data used by static photos. For testing, questionnaires were collected on 43 respondents, students, majoring in Computer Systems and Statistics to assess the results of the video from the three video software and then tested with ANOVA to find out which one was better.

From the results of the calculation of respondents' data, the average respondents liked the Movavi Video software with an image quality value of 89.2, sharpness of images 88.103, audio effects 83.333 and after being tested using ANOVA software Movavi Video analysis was better. It was concluded in this study that Movavi Video software could be a consideration to choose from in making videos.

Keywords: Video, Image quality, Brightness, ANOVA.

INTISARI

Perkembangan teknologi Informasi saat ini sangat pesat, dapat dilihat di dunia nyata betapa pentingnya penggunaan video, seperti untuk periklanan, entertain, bisnis, dan tak kalah pentingnya di bidang pendidikan untuk penyampaian informasi pembelajaran yang semuanya memerlukan tampilan yang jelas dan menarik.

Dalam penelitian ini dibandingkan tiga *software* video pada kualitas citra, ketajaman gambar, *brightness*, dan efek audio pada Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video. Penelitian yang dilakukan membuat video menggunakan ketiga *software* tersebut pada Format video NTSC, File type AVI, resolusi 720x480), rasio 4:3 *pixel*, aspek rasio D1 Standar (0.09), bit rate 1500 kbps, frame rate 29,97 fps dengan Audio: Channels Stereo, sampel rate 48.000 HZ, durasi 2.2 menit. Sampel diambil objek kegiatan HMJ (HIMAKOM) yaitu lomba desain grafis, olah raga, pelatihan *software* pada mahasiswa baru, dan data yang digunakan berupa foto statis. Untuk pengujian dilakukan pengisian kuisisioner pada 43 responden mahasiswa Jurusan Sistem Komputer dan Statistika untuk menilai hasil video dari ketiga *software* dan selanjutnya diuji dengan ANOVA untuk mengetahui mana yang lebih bagus.

Dari hasil perhitungan data responden rata-rata responden menyukai *software* Movavi Video dengan nilai kualitas citra 89,2, ketajaman gambar 88,103, efek audio 83,333, dan setelah diuji menggunakan analisis ANOVA *software* Movavi Video lebih baik. Disimpulkan pada penelitian ini *software* Movavi Video dapat menjadi pertimbangan untuk dipilih dalam membuat video.

Kata-kata kunci: Video, Kualitas citra, Brightness, ANOVA.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi komputer semakin pesat, begitu pula dengan multimedia berbasis komputer, karena dengan multimedia dapat menyampaikan informasi secara cepat baik berbentuk tulisan menarik (teks), gambar (*image*), animasi, suara (audio), video baik secara parsial maupun integrasi semuanya. Dari semua elemen multimedia tersebut video merupakan bagian dari multimedia yang berperan penting karena dapat membawa pengguna komputer lebih dekat dengan dunia nyata, video dapat membantu menangkap, merekam, memroses, menransmisi, dan menata ulang gambar bergerak biasanya menggunakan film seluloid, sinyal elektronik, atau media digital. Aplikasi umum dari teknologi video seperti televisi, tetapi, dapat juga digunakan dalam aplikasi teknik, keilmuan, produksi dan keamanan juga dapat diunduh di telepon seluler tetapi dengan format tertentu karena keterbatasan memori. Penggunaan video pada multimedia mencakup banyak hal seperti *entertainment* (broadcast TV), VCR/DVD *recording*, *interpersonal* (*video telephony*, *video conferencing*), atau *interactive* (windows). Dalam periklanan, multimedia sangat membantu dalam penyampaian informasi secara cepat, sedangkan pada dunia pendidikan video dapat memvisualkan materi pembelajaran supaya lebih menarik terutama pada anak-anak usia di bawah 10 tahun, begitu juga untuk siswa dan mahasiswa. Untuk anak usia balita video dapat digunakan untuk mengenalkan lingkungan sekitar baik alam maupun dalam kehidupan sehari-hari, sedangkan untuk siswa SD, SMP, SMA, dan Mahasiswa dapat digunakan sebagai penyampaian materi pembelajaran, untuk dunia bisnis dapat mengenalkan/ menawarkan produk yang dibuat. Hasil pembuatan video dapat disimpan dalam bentuk CD ataupun disimpan di komputer. Di sini perlu diperhatikan kapasitas penyimpanan file video, karena file video jika tanpa dikecilkan (dikompres) akan banyak memakan memori penyimpanan apalagi file video yang penuh animasi, apabila diunggah di internet maka proses *loading* akan lama. Penggunaan video dapat

berbasis analog atau digital. Dari kedua tipe ini dirasa video digital lebih efektif. Dalam makalah penelitian ini dibahas tentang perbandingan kualitas citra pada aplikasi tiga software video, yang ditinjau pada tampilan gambar secara keseluruhan, *brightness* kontras pada masing-masing gambar dan efek audio pada tampilan ketiga video. *Software* yang dibandingkan adalah Windows Live Movie Maker, videospin (pinacle), dan Movavi video. Selanjutnya dilakukan pengamatan langsung pada video yang dibuat oleh mahasiswa Jurusan Sistem Komputer dan Jurusan Statistika dengan sampel sebanyak 43 orang. Hasil pengamatan diolah dengan SPSS menggunakan uji ANOVA.

Edy, dkk. (2006) membahas file video digital dan cara mengatasi besar ukuran file video menggunakan metoda kompresi file video yaitu *Discrete Cosine Transform* (DCT). Dalam pembuatan video perlu disiapkan naskah untuk ide yang akan disajikan seperti untuk penyusunan transisi antar gambar, pengambilan gambar, penggunaan kamera, tata suara (*audio*, *sound*), dll. Penelitian Balamba (2017) membahas simulasi pembuatan video animasi 3 dimensi tentang penyakit jantung koroner dengan menggunakan aplikasi *Wonder-share Filmora* dan *Audacity* yang disimpan format file.mp4 beresolusi 720x576 pixel berdurasi 5 menit 55 detik dan ukuran file 163 MB, proses dimulai dengan menentukan ide dan tema, studi literatur, mengumpulkan data sehingga merancang *storyboard*. Rekam jejak pembuatan video animasi 3D. Jatmiko dan Fiantika (2017) dalam melakukan analisis konsep/topik perancangan awal instrumen, penyederhanaan langkah dan teori pengembangan perangkat pembelajaran. Penelitian Buchari (2015) membuat video 3D untuk mekanisme pengujian kendaraan bermotor yang disimulasikan melalui video. Penelitian diawali dengan pengumpulan data hingga penyusunan *storyboard* untuk membuat visual integrasi semua data yang terkumpul menggunakan aplikasi *blended software Adobe Premiereprocs5* dan *Adobe Soundbooth* dalam penyimpanan file .avi resolusi 720x576 *pixel* untuk

video berdurasi 11 menit 54 detik dan ukuran file 2.52 GB.

Video merupakan elemen multimedia yang berisi rekaman dari kaset video, kamera atau yang lainnya yang bersifat analog maupun digital, kemudian dimasukkan dalam lingkungan komputer dan dikonversikan menjadi gambar-gambar digital yang tidak jauh berbeda dengan animasi yang bersuara. Dalam pembuatannya lebih sederhana dibandingkan dengan pembuatan animasi yang cukup rumit dan memakan waktu, tetapi peralatan tambahan yang diperlukan untuk membuat video dan memasukkannya ke dalam multimedia cukup banyak sekalipun masih cukup mahal. Untuk dapat memainkan file video di lingkungan windows diperlukan program aplikasi tambahan seperti Windows Media Player, Mplayer, dan FFmpeg. Pada dasarnya video merupakan *array* tiga dimensi dimana dua dimensi digunakan untuk menggambarkan ruang pergerakan gambar dan satu dimensi menggambarkan waktu. Sebuah *frame* adalah kumpulan *pixel* pada suatu waktu, bagaimana video bekerja pada saat cahaya direfleksikan dari sebuah objek melalui lensa kamera video maka cahaya akan dikonversikan menjadi sinyal elektronik oleh sensor *charge-couple-device* (CCD). Output CCD diproses oleh kamera menjadi sebuah sinyal yang memuat tiga *channel* informasi warna dan getaran sinkronisasi.

Dalam penyusunan video diperlukan data gambar, teks, suara (audio), narasi. Selain gambar dan teks, audio atau suara merupakan elemen multimedia yang berpengaruh dalam membuat presentasi multimedia berbasis video karena suara dapat membuat presentasi multimedia biasa ataupun spektakuler (Vaughan, 2006). Dalam pembuatan proyek multimedia perlu memperhatikan bagaimana membuat suara, bagaimana merekam dan mengedit suara pada komputer dan mengintegrasikan dalam proyek tersebut. Dalam sistem windows sistem suara dapat digunakan file wav, tetapi kebanyakan suara direkam secara digital maka dalam produk multimedia digunakan file MIDI (*musical instrument digital interface*). Audio digital diperoleh

dari inputan analog dari mikrofon, *tape recording*, atau siaran TV yang dikonversi ke digital dalam bentuk bilangan *binary*. Untuk merepresentasikan nilai sampel suara perlu memperhatikan *bitdepth*, ukuran sampel, resolusi dan *range* dinamis. Semakin banyak data yang disimpan semakin bagus resolusi dan kualitas suara yang ditangkap pada saat diputar. Dalam multimedia terdapat tiga frekwensi *sampling* yang sering dihitung dengan kHz (kiloherzs), 22.05 k.Hz dan 11.025 bkHz dengan ukuran sampel resolusi 8 bit stereo diperlukan 2,6 MB jika mono diperlukan 1,3 MB dalam waktu satu menit, untuk resolusi 16 bit diperlukan byte 2,5 MB mono, 1,3 MB untuk stereo waktu satu menit. Untuk mempersiapkan file audio siapkan rekaman dari media analog selanjutnya diunggah ke media digital komputer yang dapat menerima file data rekaman tersebut, selanjutnya untuk editing kualitas suara sesuaikan RAM dan tempat penyimpanan (*hard disk*) dan seting sehingga diperoleh suara yang diinginkan. Elemen-elemen yang menentukan ukuran file video antara lain *frame rate*, ukuran *image*, dan resolusi. *Frame rate* merupakan banyaknya gambar yang akan ditunjukkan setiap detik dengan ukuran *frame per secon* (fps). Ukuran standar movie video 30 fps, movi film 24 fps, dan fideo digital minimal 15 fps. *Image size* merupakan perbandingan lebar : tinggi *image* yang menentukan kualitas *image* dan *color dept/resolution* : sejumlah warna (*pixel*) yang ditampilkan di layar mulai dari 1 bit hingga 8 bit, 16 atau 24 bit per *pixel*. Kualitas video berhubungan langsung dengan *frame size*, *image size* dan *color depth*. Selain itu juga tergantung pada perpindahan gambar yang memerlukan *frame rate* tinggi. *Bit rate* merupakan jumlah bit yang diproses satu satuan waktu untuk mewakili media kontinu seperti video dan audio setelah dilakukan kompresi.

Video Analog

Dalam video analog digunakan sinyal elektrik (gelombang analog) seperti siaran TV yang bisa dilihat di rumah-rumah, video player yang menggunakan kaset VHS atau Betacam yang umumnya

di dalam kaset video terdapat 3 track seperti *track* gambar, suara dan *track* control.

Video Digital

Menurut Vaugan (2006) video digital adalah jenis sistem *video recording* yang bekerja menggunakan sistem digital dibandingkan dalam hal representasi videonya. Biasanya video digital direkam dalam *tape*, kemudian didistribusikan melalui *optical disc*, misal VCD dan DVD. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk menghasilkan video digital adalah *camcorder*, yang digunakan untuk merekam gambar-gambar video dan audio, sehingga sebuah *camcorder* terdiri dari *camera* dan *recorder*. *Camcorder* terdiri dari 3 komponen yaitu lensa untuk mengatur banyak cahaya, *zoom*, dan kecepatan *shutter*, *imager* untuk melakukan konversi cahaya ke sinyal elektronik video mini-DV *camcorder* DV Handycam dan *Recorder* untuk menulis sinyal video ke media penyimpanan (seperti *magnetic videotape*). Dalam pembuatan video digital perlu diperhatikan perangkat keras yang memenuhi spesifikasi minimum untuk proses transfer data, penyimpanan, dan kecepatan proses, seperti komputer dengan koneksi Fifi Wire, prosesor yang cepat, RAM, serta *hard disk* yang cepat dan besar. Untuk memastikan hasil editan tampilan dapat dilakukan minimal dua kali. Untuk mengatur suara dari *camcorder* perlu mixer audio, pembicara eksternal. Jika hasilnya akan dilihat di TV, maka diperlukan monitor televisi dan perangkat lunak editing non linier. Video digital saat ini menjadi suatu kebutuhan yang harus dipenuhi di masyarakat. Masalah yang muncul adalah ukuran file video yang besar. Untuk mengatasi masalah ini, dicari berbagai macam cara agar dapat melakukan kompresi terhadap file video dengan hasil tetap baik. Pada dasarnya video digital dapat disusun atas sederetan *frame* yang ditampilkan di layar pada kecepatan tertentu. Laju *frame* perlu diperhatikan, jika terlalu cepat gambar tidak dapat ditangkap mata manusia. Masing-masing *frame* merupakan gambar (*image*) yang direpresentasikan dalam sebuah matriks

yang elemennya merepresentasikan nilai intensitas. Karakteristik video digital ditentukan oleh resolusi (*resolution*) atau dimensi *frame*, kedalaman piksel (*pixel depth*), dan laju *frame* (*frame rate*). Hal ini akan menentukan perbandingan antara kualitas video dan jumlah bit yang diperlukan untuk menyimpan file video dan transmisi.

Resolusi atau dimensi *frame* merupakan ukuran yang dinyatakan dalam bentuk piksel x piksel, misalnya ukuran 640x480. Semakin tinggi resolusi, maka kualitas video semakin bagus karena lebih detil (padat) pikselnya. Tetapi hal ini mengakibatkan jumlah bit yang diperlukan semakin tinggi yang berefek pada penyimpanan dan transmisi. Sedangkan kedalaman bit (*bit depth*) diperlukan untuk menentukan jumlah bit yang akan digunakan dalam merepresentasikan setiap piksel pada sebuah *frame* dan dinyatakan bit/piksel. Semakin tinggi kedalaman piksel berarti jumlah bit yang digunakan lebih banyak. Ukuran 1 byte (8 bit) untuk setiap piksel akan diperoleh 2^8 atau 256 tingkat intensitasnya, sedangkan laju *frame* atau *frame rate* menggambarkan jumlah *frame* pada setiap detik. Tampilan video perlu memperhatikan kehalusan gerakan (*smooth motion*) dan kilatan (*flash*). Kehalusan gerakan ditentukan oleh jumlah *frame* yang berbeda pada setiap detiknya. Untuk mendapatkan gerakan yang halus diperlukan minimal 25 *frame*/detik, sedangkan kilatan ditentukan berapa kali layar di gambar perdetik. Video yang berkualitas memerlukan minimal 30 *frame* per detik, hal ini untuk menyesuaikan dengan mata manusia. Representasi warna pada data video pada umumnya dipisah menjadi komponen warna (*chrominance*) dan komponen kecerahan (*luminance*) yaitu RGB, YUV dan YIQ.

Kompresi video

Data video merupakan representasi data teks, gambar, suara, dan animasi yang belum dilakukan kompresi mempunyai kapasitas sangat besar. Salah satu contoh pada HDTV (*High Definition TV*) mempunyai kecepatan *bit rate* dapat mencapai lebih 1 Gb/ps, untuk

pengiriman data, ini melalui komunikasi jaringan sangat tidak mungkin. Data video dapat dibedakan menjadi dua yaitu *interframe* dan *intraframe* (Daryanto, 2005). Tinjauan pada H.261 dibuat oleh CCITT (Consultative Comite for International Telephone and Telegraph) dirancang untuk aplikasi video-telephone menggunakan jaringan telephone ISDN dengan kecepatan *bit rate* p x 64kb/sec dengan p *frame rate* bernilai 1-30.

Video Kamera

Video kamera menggunakan teknik-*interlaced*, yaitu metode untuk menampilkan gambar (*image*) dalam *rasterscanned display device* seperti CRT televisi analog, yang ditampilkan bergantian antara garis ganjil dan genap secara cepat untuk setiap *frame*. *Refresh rate* disarankan untuk metode *interlaced* adalah antara 50-80Hz. *Interlace* digunakan di sistem televisi analog PAL (*Phase Alternating Line*), memerlukan 625 baris, 50 Hz *refresh rate* dengan *frame rate* 25 fps. SECAM (*Séquentiel Couleur Avec Mémoire*) memerlukan *frequency modulation* 25 Hz *refresh rate* dan 625 baris format yang digunakan YUV.NTSC (*National Television System Committee*) memerlukan 525 baris, 60 Hz *refresh rate* dengan *frame rate* 30, fps format yang digunakan YIQ. NTSC (*National Television System Committee*), 29,97 fps, resolusi 720 x 480, rasio 4:3 pixel aspek rasio D1 Standar (0.09) dengan Audio: *Channels Stereo*, sampel rate 48.000 HZ

Format File Video

Format file video adalah format file untuk menyimpan data video digital pada sistem komputer, video hampir semuanya disimpan dalam kompresi hal ini bertujuan mengurangi ukuran file. Deskripsi format file video digital meliputi informasi *bit depth* dan rasio *sampling* untuk informasi warna yang ditunjukkan dalam tiga nilai dalam bentuk 4:4:4 mengacu pada jumlah sampel yang diambil dari tiga *channel* dari komponen video.

Beberapa Format File Video

Beberapa format file video adalah:

1. AVI (*Audio Video Interleave*), merupakan format berkas yang dibuat oleh Microsoft, sebagian besar format ini merupakan format baku pada saat *capture* video baik video digital maupun analog. Pilihan yang dapat diambil pada format AVI dengan metode *compressor-decompressor* (*codec*) yaitu Cinepak, Indeo, Microsoft video 1, Clear video (AVI). Apabila *codec* yang digunakan pada berkas AVI belum terinstal dikomputer maka berkas AVI tidak dapat dijalankan.
2. MPEG (*Motion Picture Expert Group*), merupakan file terkompresi *lossy*, ini biasa digunakan untuk format VCD dengan audio berformat MP3. MPEG merupakan sebuah sinkronisasi dan *multiplexing* video pada audio, kompresi *codec non interlaced* sinyal video, kompresi *codec* untuk pengodean perseptual, pengkodean sinyal video (MP1, MP2, MP3), prosedur untuk pengujian kesesuaian, pengujian perangkat lunak. *MP-1 beresolusi 352x240 dan hanya mensupport progressive scan video*, MP-2 beresolusi 352x240, digunakan untuk *broadcast*, siaran, *direct-satelit* dan TV kabel, dan suport *interlaced* format MP-2 digunakan pada HDTV dan DVD video disc. MPEG-4 adalah metode untuk kompresi video, MP-4 digunakan untuk *streaming*, *CD ditribution*, *videophone*, dan *broadcast television*.
3. RMVB (*Real Media Variabel Bit rate*), merupakan sebuah format video digital yang dibuat oleh Real Network.Inc yang memiliki kecepatan bit variabel perpanjangan dari *multimedia container real media*. Biasanya RBMV digunakan untuk penyimpanan secara lokal dengan ekstensi file RBMV. Keunggulan RBMV adalah menggunakan variabel *bit rate* untuk kompres file video dan memiliki ukuran kecil dengan kecepatan bit rendah dan kualitas lebih bagus dibanding AVI.

Perangkat Lunak Pendukung Video

Perangkat lunak pendukung video diperlukan untuk membuat atau mengedit video. Pengolahan video memerlukan proses memilih atau menyunting gambar

dari hasil *shooting* dengan cara memotong gambar ke gambar (*cut to cut*) atau dengan menggabungkan gambar-gambar dengan menyisipkan sebuah transisi animasi, narasi dan *sound*. Untuk editing video tersedia banyak perangkat lunak yang dapat digunakan, antara lain VideoSpin, Windows Live Movie Maker, dan Movavi Video.

1. VideoSpin

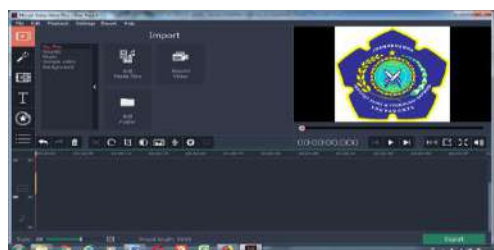
Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk membuat dan mengedit video maupun slide show berbasis multimedia. Fasilitas yang diberikan meliputi *capture* video, teks, transisi, *background sound*, dan musik. Lembar kerja awal Videospin atau Pinnacle ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lembar kerja Videospin (Pinnacle)

2. Movavi Video

Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk membuat, mengedit video, maupun *slide show* berbasis multimedia, fasilitas yang diberikan *capture* video, teks, transisi, *background sound*, musik, efek visual, dan menambah stiker gambar. Lembar kerja awal Movavi Video tampak pada Gambar 2.

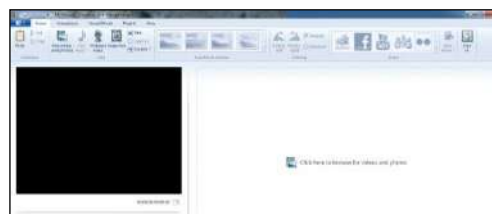


Gambar 2. Lembar kerja Movavi Video

3. Windows Live Movie Maker

Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk membuat, mengedit video maupun *slide show* berbasis multimedia. Fasilitas

yang diberikan *capture* video, teks, transisi, *background sound*, musik, visual efek, dan menambah stiker gambar. Lembar kerja awal Windows Live Movie Maker tampak pada Gambar 3.



Gambar 3. Windows Live Movie Maker

Lembar kerja Videospin dan Movavi Video tampak sama, penempatan data disusun atas sejumlah *layer*, sedangkan pada Windows Live Movie Maker data yang terpilih langsung ditempatkan dalam satu area. Pada dasarnya cara kerja ketiganya sama dan data yang harus disiapkan gambar statis atau bergerak, teks untuk judul, audio, narasi, transisi dan musik.

Pengujian Aplikasi

Penilaian kualitas citra dapat dilakukan secara subjektif, penilaian ini memberikan hasil yang cepat dan mudah. Penilaian didasarkan pada penglihatan mata dan persepsi penilai, seperti tampak pada Tabel 1 (Andono, dkk., 2017). Sedangkan penilaian citra secara objektif dilakukan menggunakan perhitungan rumus, pengukuran didasarkan pada kesalahan statistik. Perbaikan kualitas citra dapat pula diaplikasikan dalam bidang pengolahan video (*video processing*), karena video adalah sekumpulan citra yang dijalankan secara sekuensial.

Tabel 1. Kebaikan citra

Skala kebaikan citra	Kualitas
Sangat baik (5)	Tidak terlihat kekurangannya
Baik (4)	Terlihat, tetapi tidak mengganggu
Sedang (3)	Terlihat, sedikit mengganggu
Buruk (2)	Mengganggu
Sangat buruk (1)	Sangat mengganggu

Perbaikan Kualitas Citra

Untuk melihat kualitas citra dalam video diperlukan tahapan berikut:

1. Membaca file video.
2. Mengekstrak seluruh *frame* citra yang menyusun video.

3. Melakukan operasi perbaikan kualitas citra pada setiap *frame*.
4. Menyatukan kembali *frame* citra yang telah diperbaiki kualitasnya dan menjalankannya secara sekuensial dalam bentuk video.

Pada penilaian didasarkan pada penglihatan mata, di sini hasil akan diujikan dengan cara memperlihatkan hasil video pada sekumpulan orang populasi (N) yang diwakili oleh sampel (n) orang. Dalam pengambilan sampel dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya metode *slovin*, dengan menggunakan metode yang tepat dapat menggambarkan populasi sesungguhnya yang akurat dan dapat menghemat biaya. Pada rumus *slovin* (Sevilla, 2007), diperlukan untuk menentukan jumlah sampel (n) dengan populasi (N) dalam penelitian. Dalam pengambilan sampel kalau terlalu kecil dikhawatirkan tidak menggambarkan populasi sesungguhnya. Supaya sampel yang diambil representatif maka sampel harus memiliki ciri karakteristik yang sama atau relatif sama dengan ciri karakteristik populasinya yaitu dengan menggunakan rumus (1)

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- n : jumlah sampel
- N: jumlah populasi
- e : batas toleransi kesalahan (*error tolerance*)

Misal, populasi yang akan diteliti 150 dengan tingkat kesalahan 10%, maka jumlah sampel yang diperlukan adalah:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} = \frac{150}{1 + 150.(0.1)^2} = 60$$

jadi untuk populasi 150, sampel yang diambil 60.

Pengujian

Uji hipotesis menggunakan ANOVA mempunyai kelebihan antara lain (Walpole dan Myers, 1990):

1. Memudahkan analisa atas beberapa kelompok sampel yang berbeda dengan resiko kesalahan terkecil.
2. Mengetahui signifikansi perbedaan rata-rata (μ) antara kelompok sampel yang satu dengan yang lainnya. Walaupun demikian meskipun mem-

punyai perbedaan besar secara numeris, tetapi berdasar ANOVA perbedaan tersebut tidak signifikan sehingga μ dapat diabaikan. Sebaliknya secara numeris perbedaannya kecil secara numeris, namun secara analisa ANOVA perbedaan tersebut signifikan sehingga ada satu μ yang berbeda dan perbedaan antar kelompok sampel tidak dapat diabaikan.

Sebagai ilustrasi, uji ANOVA untuk membandingkan beberapa rata-rata dari populasi yang diwakili sampel secara bersama-sama hipotesis untuk tiga kelompok adalah:

$$H_0 : \mu_1 : \mu_2 : \mu_3$$

$$H_1 : \text{salah satu: } \mu \text{ tidak sama}$$

Pada hipotesis ini tidak menyebutkan μ yang berbeda satu dengan lainnya berarti μ yang tidak sama tidak menjadi masalah, maka uji ANOVA dapat digunakan untuk menganalisa sejumlah sampel dengan jumlah data sama pada setiap kelompok sampel atau berbeda. Dengan tingkat signifikansi atau batas toleransi kesalahan 10% maksudnya hanya ada kesalahan 0.01 atau 1% kebetulan terjadi. Hal ini menyatakan 99% penelitian benar. Untuk ilmu-ilmu sosial disepakati tingkat kesalahan 0.05 atau 5% yang berarti meyakini 95% penelitian benar.

Penggunaan uji ANOVA perlu memperhatikan asumsi yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Independensi observasi, setiap observasi dalam analisis ANOVA harus bersifat independen.
2. Normalitas, residual atau *error* harus mengikuti distribusi normal.
3. Homoginitas varians, varians antara kelompok yang dibandingkan harus homogen.

Lebih dari sekedar membandingkan nilai *mean* (rata-rata), uji ANOVA juga mempertimbangkan keragaman data yang dimanifestasikan dalam nilai varians. Uji ANOVA banyak digunakan dalam penelitian eksperimen, maka uji ANOVA dikelompokkan sebagai berikut:

1. ANOVA satu arah dapat digunakan untuk menguji perbedaan di antara dua atau lebih kelompok dan hanya satu faktor yang dipertimbangkan.

2. ANOVA faktorial, merupakan pengembangan dari ANOVA satu arah, di sini terdapat lebih dari satu faktor dan mempertimbangkan interaksinya.
3. ANOVA *repeated measure* digunakan apabila dalam desain eksperimen memungkinkan subyek penelitian diikutsertakan pada perlakuan yang berbeda.
4. Multivariat ANOVA berbeda dengan uji ANOVA yang hanya mengukur satu respon, MANOVA mengukur lebih dari satu respon dalam satu kali eksperimen.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian, seperti pengetahuan tentang multimedia video, jenis penyimpanan file video atau format file video, media penyimpanan yang dapat digunakan, melakukan telaah mengenai pengertian video, mempelajari/mengamati *software* video Windows Live Movie Maker, VideoSpin (pinacle), dan Movavi Video pada resolusi yang digunakan yaitu 720x480. Untuk bahan penelitian dibuat video singkat kegiatan mahasiswa Jurusan Sistem Komputer IST AKPRIND.

Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui 4 tahapan, yaitu analisis kebutuhan, penyiapan data, implementasi, dan pengujian. Pada analisis kebutuhan dirinci kebutuhan yang akan dikerjakan seperti menentukan *software* yang akan digunakan, *frame rate*, *bit rate*, *audio*, tipe format video, dan penentuan tema video. Selanjutnya penyiapan data, data yang dimaksud adalah berupa gambar kegiatan, musik *background*, teks, dan narasi yang diperlukan. Pada tahap implementasi data yang sudah terkumpul disusun ke dalam *storyboard*. Terakhir dilakukan pengujian untuk membandingkan kualitas citra video pada tiga *software*. Dalam pembuatan video diperlukan proses penyiapan data, yaitu memilih atau menyunting gambar dari hasil *shooting* dengan cara memilih hasil *shooting*, selanjutnya dipotong atau menggabungkan gambar dan pemberian transisi di antara gambar. Dalam pembuatan video

perlu diperhatikan *grammar of the edit* seperti motivasi, informasi, komposisi, *continuity*, *tittling*, dan *sound*. Untuk memperjelas alur cerita gambar yang ditampilkan dapat diberikan informasi dengan komposisi gambar yang baik dan perlu diperhatikan kesinambungan antar gambar, pemilihan judul yang menarik serta pemilihan *sound* sesuai tema. Selain itu apabila data diambil dari kamera perlu diperhatikan gerakan kamera, *angle* atau sudut rekam kamera. Selanjut apabila data sudah diperoleh dan siap disusun maka diperlukan urutan penempatan objek seperti dalam *Timeline* Tabel 2. Untuk itu perlu disiapkan skenario alur cerita dan gambar statis atau bergerak yang diperlukan, transisi antar gambar, teks yang akan digunakan, audio sebagai *background*, dan narasi. Setelah pengisian *timeline* selesai dilanjutkan pemilihan format video. Untuk kasus dalam penelitian ini dibuat video salah satu kegiatan mahasiswa Jurusan Sistem Komputer (HIMAKOM) IST AKPRIND tahun 2016/2017 dan 2017/2018 berisi kegiatan lomba desain grafis, olah raga, mahasiswa baru, pelatihan *software* dalam bentuk foto-foto kegiatan yang selanjutnya disusun pada *timeline*. Penyusunan *script* tampak pada Tabel 3.

Tabel 2. *Timeline* penempatan objek

1. baris untuk penempatan gambar statis atau animasi dan transisi antar gambar
2. baris untuk pembuatan teks
3. baris untuk penempatan audio
4. baris untuk penempatan narasi

Tabel 3. Penyusunan *script*

No	Visual	Audio	Durasi
1	Logo HIMAKOM & institut	<i>instrument</i>	3 detik
2	Opening judul /tema	<i>instrument</i>	3 detik
3	Isi gambar-gambar dari awal hingga akhir	<i>dubbing peristiwa</i>	2.2 menit
4	Mengisi Transisi		
5	Isi <i>background</i> musik	<i>instrument</i>	
6	Narasi		

Perangkat lunak yang digunakan adalah Windows Live Movie Maker, Videospin, dan Movavi Video, video format NTSC, file type AVI, resolusi 720x480, rasio 4:3 pixel, aspek rasio D1 standar (0.09), *bit rate* 1500 kbps, *frame rate* 29,97fps dan

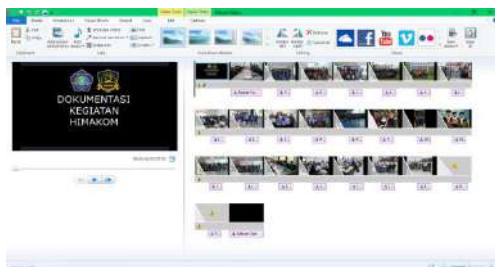
audio menggunakan *Channels Stereo*, *sample rate* 48.000HZ.

Rancangan Lembar Kerja

1. Windows Live Movie Maker

Gambar 4 adalah lembar kerja Windows Live Movie Maker. Pilihan pada pembuatan *movie/slide* adalah:

1. Penyimpanan ke CD, resolusi 720x 480 pixel, aspek rasio *widescreen*, *bit rate* 2,99 Mbps, estimasi file 21.39 MB *per minute of video*.
2. Penyimpanan ke komputer, resolusi 720x480 pixel, aspek rasio standar, *bit rate* 5,69 Mbps, estimasi file 40.71 MB *per minute of video*.



Gambar 4. Lembar kerja Windows Live Movie Maker

2. Videospin

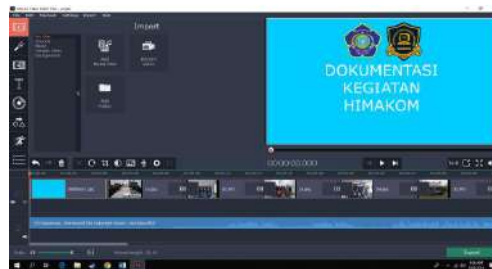
Pada pembuatan video dengan Videospin disusun video format NTSC, 29,97 fps, resolusi 720x480 *frame/sec*, rasio 4:3 pixel, *interlaced*. Lembar kerja Videospin ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Lembar kerja Videospin

3. Movavi Video

Lembar kerja pada Movavi Video ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Lembar kerja Movavi Video

Pengujian

Untuk mengetahui perbandingan kualitas citra tiga *software* menurut versi responden, dilakukan dengan cara memperlihatkan hasil video yang tersusun kepada responden yaitu 76 mahasiswa, selanjutnya responden mengisi kuisioner yang telah disusun. Sampel yang digunakan diambil menggunakan metode *slovin* dengan tingkat kesalahan 5%. Pengambilan sampel (*n*) dilakukan dengan rumus berikut:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

dimana:

n : jumlah sampel

N: jumlah populasi = 76

e : batas toleransi kesalahan (*error tolerance*) = 5%

maka jumlah sampel yang diperlukan adalah:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} = \frac{76}{1 + 76 \cdot (0.1)^2} = 43 \text{ orang.}$$

Selanjutnya dilakukan analisis dengan uji ANOVA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil akhir dari pembuatan tiga video disimpan dengan ekstensi AVI dengan spesifikasi format video NTSC, *file type* AVI, resolusi 720x480, rasio 4:3 pixel, aspek rasio D1 standar (0.09), *bit rate* 1500 kbps, *frame rate* 29,97 fps, dengan audio *Channels Stereo*, *sample rate* 48.000 HZ, durasi 2.2 menit, seperti ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. File video pada tiga *software*

Halaman cover tiga video yang terbentuk tampak pada Gambar 8.



Gambar 8. Halaman cover video

Untuk analisis video yang dihasilkan dilakukan dengan cara membagikan kuisioner kepada responden mahasiswa Jurusan Sistem Komputer dan mahasiswa Jurusan Statistika IST AKPRIND dengan jumlah sampel 43 orang, usia rata-rata di atas 18 tahun, jumlah laki-laki 19 orang dan perempuan 24 orang. Selanjutnya hasil isian kuisioner direkap dan diolah menggunakan *software* SPSS dan uji ANOVA. Hasil analisis yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil kuisioner

Kriteria	Video 1	Video 2	Video 3
1. Tampilan gambar secara keseluruhan	85,359	79,359	89,2
2. <i>Brightness</i> kontras pada masing-masing gambar	83,179	78,359	88,103
3. Efek audio pada tampilan video	83	76,769	83,333

Keterangan:

Video 1 : Windows Live Movie Maker

Video 2 : VideoSpin

Video 3 : Movavi Video

Dari Tabel 4, tampak *software* Movavi Video mempunyai rata-rata lebih besar untuk ketiga komponen yang dianalisis. Selanjutnya dilakukan uji ANOVA untuk membuktikan apakah benar bahwa Movavi Video lebih baik.

Pengujian:

Dari hasil isian kuisioner 43 responden dilakukan uji ANOVA untuk mengetahui kualitas citra tiga *software* pada tampilan gambar secara keseluruhan, *brightness* kontras pada masing-masing gambar, dan efek audio. Hasilnya sebagai berikut:

1. Uji apakah ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal tampilan gambar secara keseluruhan.

Hipotesis:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (tidak ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal tampilan gambar secara keseluruhan).

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal tampilan gambar secara keseluruhan).

Taraf signifikansi: $\alpha = 0.05$.

Statistik uji (Gambar 9).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Tampilan						
Sphericity Assumed	1628.000	2	813.000	19.230	.000	.314
Greenhouse-Geisser	1628.000	1.997	812.829	19.230	.000	.314
Huynh-Feldt	1628.000	1.995	815.088	19.230	.000	.314
Lower-bound	1628.000	1.000	1628.000	19.230	.000	.314
Efektampilan						
Sphericity Assumed	3551.333	84	42.278			
Greenhouse-Geisser	3551.333	80.077	44.349			
Huynh-Feldt	3551.333	83.787	42.385			
Lower-bound	3551.333	42.000	84.558			

Gambar 9. Statistik uji (1)

Daerah kritis:

H_0 ditolak jika $p_{value} < \alpha$

Kesimpulan:

Karena $p_{value} = 0.000 < \alpha = 0.05$, maka H_0 ditolak. Artinya ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal tampilan gambar secara keseluruhan dengan tingkat kepercayaan 95%.

2. Uji apakah ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal *brightness* kontras pada masing-masing gambar.

Hipotesis:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (tidak ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal *brightness* kontras pada masing-masing gambar).

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal *brightness* kontras pada masing-masing gambar).

Taraf signifikansi: $\alpha = 0.05$.

Statistik uji (Gambar 10).

Tests of Within-Subjects Effects							
Measure: confidence							
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
Tampilan	Spherically Assumed	1679.132	2	839.566	21.012	.000	.333
	Greenhouse-Geisser	1679.132	1.633	969.490	21.012	.000	.333
	Huynh-Feldt	1679.132	2.000	839.566	21.012	.000	.333
	Lower-bound	1679.132	1.000	1678.132	21.012	.000	.333
Error(Tampilan)	Spherically Assumed	3358.202	84	39.855			
	Greenhouse-Geisser	3358.202	81.203	41.331			
	Huynh-Feldt	3358.202	84.000	39.855			
	Lower-bound	3358.202	42.000	79.910			

Gambar 10. Statistik uji (2)

Daerah kritis:

H_0 ditolak jika $p_{value} < \alpha$

Kesimpulan:

Karena $p_{value} = 0.000 < \alpha = 0.05$, maka H_0 ditolak. Artinya ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal *brightness* kontras pada masing-masing gambar dengan tingkat kepercayaan 95%.

3. Uji apakah ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal efek audio pada tampilan ketiga video.

Hipotesis:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (tidak ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal efek audio pada tampilan ketiga video).

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal efek audio pada tampilan ketiga video).

Taraf signifikansi: $\alpha = 0.05$.

Statistik uji (Gambar 11).

Tests of Within-Subjects Effects							
Measure: confidence							
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	
Tampilan	Spherically Assumed	967.085	2	483.543	19.061	.000	.312
	Greenhouse-Geisser	967.085	1.974	489.895	19.061	.000	.312
	Huynh-Feldt	967.085	2.000	483.543	19.061	.000	.312
	Lower-bound	967.085	1.000	967.085	19.061	.000	.312
Error(Tampilan)	Spherically Assumed	2130.915	84	25.369			
	Greenhouse-Geisser	2130.915	80.911	25.701			
	Huynh-Feldt	2130.915	84.000	25.369			
	Lower-bound	2130.915	42.000	50.738			

Gambar 11. Statistik uji (3)

Daerah kritis:

H_0 ditolak jika $p_{value} < \alpha$.

Kesimpulan:

Karena $p_{value} = 0.000 < \alpha = 0.05$, maka H_0 ditolak. Artinya ada perbedaan rata-rata penilaian responden terhadap kualitas video jenis Windows Live Movie Maker, VideoSpin, dan Movavi Video dalam hal hal efek audio pada tampilan ketiga video dengan tingkat kepercayaan 95%.

4. Uji kualitas/efek video mana yang paling bagus dari ketiga jenis video Uji kualitas/efek video mana yang paling bagus dari ketiga jenis video pada tampilan gambar secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji kualitas/efek video pada tampilan gambar secara keseluruhan

(I) factor	(J) factor	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^a	95% Confidence Interval for Difference ^a	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	5.093 [*]	1.524	.002	2.018	8.168
	3	-3.558 [*]	1.416	.016	-6.416	-7.700
2	1	-5.093 [*]	1.524	.002	-8.168	-2.018
	3	-8.651 [*]	1.254	.000	-11.181	-6.121
3	1	3.558 [*]	1.416	.016	.700	6.416
	2	8.651 [*]	1.254	.000	6.121	11.181

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 0.5 level

a. Adjustment for multiple comparisons: Least Significant Difference (equivalent to no adjustments)

Interpretasi:

Dari hasil output di atas dapat diketahui bahwa ada perbedaan rata-rata penilaian yang signifikan di setiap pasang jenis video. Video yang memiliki rata-rata penilaian tertinggi adalah Movavi Video. Dengan demikian Movavi Video signifikan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan video Windows Live Movie

Maker dan VideoSpin dalam hal tampilan gambar secara keseluruhan.

Uji kualitas *brightness kontras* pada masing-masing gambar ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Uji kualitas *brightness kontras* pada masing-masing gambar

(I) Factor 1	(J) factor 1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^a	95% Confidence Interval for Difference ^a	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	4.372*	1.409	.003	1.528	7.216
	3	-4.465*	1.440	.003	-7.370	-1.560
2	1	-4.372*	1.409	.003	-7.216	-1.528
	3	-8.837*	1.232	.000	-11.323	-6.352
3	1	4.465*	1.440	.003	1.560	7.370
	2	8.837*	1.232	.000	6.352	11.323

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 0.5 level.

a. Adjustment for multiple comparisons: Least Significant

Difference (equivalent to no adjustments).

Interpretasi

Dari hasil output di atas dapat diketahui bahwa ada perbedaan rata-rata penilaian yang signifikan di setiap pasang jenis video. Video yang memiliki rata-rata penilaian tertinggi adalah Movavi Video. Dengan demikian Movavi Video signifikan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan video Windows Live Movie Maker dan VideoSpin dalam hal *brightness kontras*.

Uji efek audio pada tampilan ketiga video ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Uji efek audio pada tampilan ketiga video

(I) factor1	(J) factor 1	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^a	95% Confidence Interval for Difference ^a	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	5.651*	1.041	.000	3.551	7.751
	3	-.302	1.071	.779	-2.463	1.859
2	1	-5.651*	1.041	.000	-7.751	-3.551
	3	-5.953*	1.145	.000	-8.263	-3.644
3	1	.302	1.071	.779	-1.859	2.463
	2	5.953*	1.145	.000	3.644	8.263

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the 05 level.

a. Adjustment for multiple comparisons:

Least Significant Difference (equivalent to no adjustments).

Interpretasi:

Dari hasil output di atas dapat diketahui bahwa ada perbedaan rata-rata penilaian yang signifikan di setiap pasang jenis video, kecuali Windows Live Movie Maker dan VideoSpin. Video yang memiliki rata-rata penilaian tertinggi adalah Movavi Video. Namun demikian video ini tidak signifikan berbeda dengan Windows Live Movie Maker.

KESIMPULAN

1. Dalam hal penggunaan, *software* Windows Live Movie Maker, Video-spin, Movavi Video untuk membuat video tidak terlalu sulit.
2. Data gambar statis atau bergerak perlu dipersiapkan dengan cermat agar hasil/video yang dibuat bagus.
3. Hasil kuisioner dari 43 responden diperoleh rata-rata responden menyukai *software* Movavi Video dengan nilai kualitas citra 89,2, ketajaman gambar 88,103, dan efek audio 83,333.
4. Hasil analisis ANOVA diperoleh hasil bahwa *software* Movavi Video juga lebih baik dibanding dua *software* lainnya yang diuji.
5. Hasil penilaian responden menyatakan bahwa *software* Movavi Video dianggap lebih jelas dan bagus.

DAFTAR PUSTAKA

- Andono, P. N., Sutojo, T., Muljono, 2017, *Pengolahan Citra Digital*, Andi offset Yogyakarta.
- Balamba M. K., 2017, Animasi 3 Dimensi Penyakit Jantung Koroner Pada Manusia, *Jurnal Tekno*, Vol. 11, No. 1, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Buchari M. Z., 2015, Rancang Bangun Video Animasi 3 Dimensi, untuk Mekanisme Pengujian Kendaraan Bermotor di Dinas Perhubungan, Kebudayaan, Pariwisata, Komunikasi dan Informasi, *Jurnal Tekno*, Vol. 6, No. 1, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Daryanto, T., 2005, *Sistem Multimedia dan Aplikasinya*, Graha Ilmu Yogyakarta.
- Edy, W. H., 2006. *Kompresi Video Menggunakan Discrete Cosine Transform*, Laboratorium Ilmu dan Reka-

- yasa Komputasi, Departemen Teknik Informatika, ITB Bandung.
- Jatmiko, Fiantika, F. R., 2017, *Sebuah Rekam Jejak Proses Pembuatan Perangkat Pembelajaran Berbasis Video Animasi 3D Portofolio Pendidikan Matematika*, Universitas Nusantara PGRI Kediri.
- Sevilla, C. G., 2007, *Research Methods*, Rex Printing Company Quezon City.
- Vaughan, T., 2006, *Multimedia making it Work*, Andi Offset Yogyakarta, Universitas Nusantara PGRI Kediri.
- Walpole, R. E. & Myers, R. H., 1980, *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, MacMillan Publishing Company, New York.

BIODATA PENULIS

- Dra. Harmastuti, M.Kom.**, lahir di Sragen pada tanggal 22 September 1959, menyelesaikan pendidikan S1 program studi Matematika dari Universitas Gadjah Mada tahun 1987 dan S2 program studi Ilmu Komputer dari Universitas Gadjah Mada tahun 2001. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap Prodi Sistem Komputer IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor pada bidang minat ilmu komputer dan matematika terapan.
- Dra. Dwi Setyowati, M.T.**, lahir di Sragen pada tanggal 22 Juli 1959, menyelesaikan pendidikan S1 program studi Fisika dari Universitas Gadjah Mada tahun 1987 dan S2 program studi Teknik Elektro dari Universitas Gadjah Mada tahun 2002. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap Prodi Sistem Komputer IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor pada bidang minat sistem komputer.
- Panggih Cahyo Prasetyo**, tercatat sebagai mahasiswa program studi Sistem Komputer jenjang sarjana di IST AKPRIND Yogyakarta.
- Mahendra Kurnia Widhiatmoko**, tercatat sebagai mahasiswa program studi Sistem Komputer jenjang sarjana di IST AKPRIND Yogyakarta.

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN PADA RUANG SERVER BERBASIS IoT (*INTERNET OF THINGS*)

Gatot Santoso¹, Samuel Kristiyana², Slamet Hani³, Achmad Miradani Mujahidin⁴

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Email: ¹gatsan@akprind.ac.id, ²yanaista@akprind.ac.id, ³shan@akprind.ac.id,
⁴bobiaja62@gmail.com

Masuk: 05 Januari 2019, Revisi masuk: 15 Januari 2019, Diterima: 20 Januari 2019

ABSTRACT

Room server is a room that is used to store server computers and network devices. Room server is important assets for companies or institutions that implement information technology as a support in their daily activities. The importance of that is because in the server room there are applications and databases that store all important and valuable information for the company or institution concerned, therefore the server room must always be in good condition.

Design of temperature and humidity monitoring systems designed to detect changes in temperature and humidity in the room using ESP8266 Node MCU as the main control, then use DHT 11 as a temperature and humidity detection sensor, then the data will be sent to the Telegram application already installed on the smartphone and displayed in the LCD.

If the MQ-2 gas sensor detects a smoke greater than 500 ppm, the buzzer active. With this tool, it is expected to be able to monitor the real time room temperature and humidity in the server room so that it can reduce the damage to the hard drive or other damage.

Keywords: *Temperature and Humidity, Gas, Sensor DHT 11, Sensor MQ-2, ESP8266.*

INTISARI

Ruang server adalah sebuah ruangan yang digunakan untuk menyimpan komputer server dan perangkat jaringan. Ruang server adalah aset penting untuk perusahaan atau lembaga yang menerapkan teknologi informasi sebagai penunjang dalam kegiatan sehari-harinya. Pentingnya hal tersebut dikarenakan pada ruang server terdapat aplikasi dan basis data yang menyimpan segala informasi penting dan bernilai bagi perusahaan atau lembaga yang bersangkutan, oleh karena itu ruangan server harus selalu dalam kondisi baik.

Rancang bangun sistim *monitoring* suhu dan kelembaban ini dirancang untuk mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban pada ruangan dengan menggunakan ESP8266 Node MCU sebagai kontrol utamanya, lalu menggunakan DHT 11 sebagai sensor pendeteksi suhu dan kelembaban, selanjutnya data akan dikirim ke aplikasi Telegram yang sudah terinstall pada *smartphone*.

Jika sensor gas MQ-2 mendeteksi adanya asap lebih besar 500 ppm maka *buzzer* akan berbunyi. Dengan adanya alat ini di harapkan dapat melakukan *monitoring* ruangan secara realtime suhu dan kelembaban pada ruang server sehingga mengurangi adanya kerusakan *hardwere* atau kerusakan yang lainnya.

Kata-kata kunci: Suhu dan kelembaban, Gas, DHT 11, MQ-2, ESP8266.

PENDAHULUAN

IoT (*Internet of Things*) adalah salah satu tren baru di dunia teknologi yang akan kemungkinan besar akan menjadi tren di masa depan. Sederhananya, IoT

menyambungkan alat-alat fisik seperti lampu, televisi, kulkas bahkan pintu rumah terhubung ke internet secara terus-menerus dan dapat dikendalikan pada jarak jauh melalui alat yang dipunyai

seorang pengguna. Dimana kemampuan akses bisa saja tidak terbatas berkat perangkat IoT yang selalu tersambung ke Internet, sehingga dapat diakses dan digunakan kapan saja dan dimana saja.

Ruang *server* adalah sebuah ruangan yang digunakan untuk menyimpan komputer *server* dan perangkat jaringan. Ruang *server* adalah aset penting untuk perusahaan atau lembaga yang menerapkan teknologi informasi sebagai penunjang dalam kegiatan sehari-harinya. Pentingnya hal tersebut dikarenakan pada ruang *server* terdapat aplikasi dan basis data yang menyimpan segala informasi penting dan bernilai bagi perusahaan atau lembaga yang bersangkutan, oleh karena itu ruangan *server* harus selalu dalam kondisi baik.

Meskipun terdapat banyak jenis sensor, kebanyakan sensor terutama sensor suhu memiliki rentang terukur yang sempit serta akurasi yang rendah namun memiliki biaya yang tinggi. Disamping itu mentoring suhu dan kelembaban ini menggunakan aplikasi telegram di android. Oleh karena itu, tugas akhir ini akan berupaya untuk membuat rancang bangun system *monitoring* suhu menggunakan sensor DHT 11, dimana *range* suhu yang terukur cukup lebar dan memiliki akurasi yang cukup tinggi serta tergolong ekonomis.

Telah dilakukan perancangan sistem *monitoring* suhu ruangan di PT. Tunggal Idaman dengan desain yang minimalis yang sudah terintegrasi dengan android (Saputra, 2016). Dimana dalam perancangan ini menggunakan sensor DHT 11, Arduino Uno dan modul SIM 900L yang nantinya juga ditampilkan dalam LCD.

Aplikasi Instant Messaging Telegram memiliki *Application Programming Interface* (API) yang dapat digunakan oleh publik (Bachtiar, 2017). Berbeda dengan instant messaging lainnya seperti WhatsApp dan LINE. Pada instant messaging WhatsApp tidak menyediakan API bagi publik, tetapi aplikasi LINE menyediakan API dengan versi trial atau terbatas. API yang disediakan oleh Telegram dapat digunakan oleh siapapun dan tanpa batas. Telegram juga memiliki bot API yang memungkinkan untuk dengan mudah membuat program yang

menggunakan pesan Telegram sebagai antarmuka. API ini memungkinkan pengembang untuk menghubungkan bot pada sistem Telegram. Telegram bot merupakan cara khusus yang tidak memerlukan nomor telepon tambahan sebagai syarat khususnya. Akun bot tersebut berfungsi sebagai antarmuka untuk kode yang dapat dijalankan pada server pengembang

Merancang sistem *monitoring* suhu pada ruang *server* secara *real time*, dengan menggunakan sensor DHT 22 dan Arduino Uno (Jumaila, 2017). Pada sistemnya ini hasil perubahan suhu akan ditampilkan ke dalam LCD dan dapat dilihat melalui web yang sudah dibuat khusus untuk menampilkan perubahan suhu dan kelembaban pada ruangan tersebut.

Telegram menyediakan *source code* yang mereka gunakan saat ini. Tipe API yang kedua adalah Telegram Bot API. API jenis kedua ini memungkinkan siapa saja untuk membuat bot yang akan membalas semua penggunaannya jika mengirimkan pesan perintah yang dapat diterima oleh Bot tersebut. Bot juga dapat menggunakan custom keyboard untuk penggunaannya. Hal ini akan mempermudah interaksi antara bot dan penggunaannya (Cokrojoyo, 2015). Semua dasar pengiriman data yang digunakan oleh server Telegram akan menggunakan JSON, sehingga pengembang bot harus juga menggunakan bentuk data JSON. Bot Telegram tidak terbatas oleh bahasa pemrograman. Hampir semua bahasa pemrograman bisa digunakan untuk merancang suatu bot. Telegram juga menyediakan contoh bot yang menggunakan berbagai bahasa pemrograman.

Sistem *monitoring* suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT 22, Mikrokontroler ATmega328, GPRS (*General Packet Radio Service*) Shield dan modul SIM900L. Pada sistem ini pengiriman data perubahan suhu dan kelembaban melalui SMS (*Short Message Service*). Hasil data akan ditampilkan pada *web browser* yang telah dibuat. Selain itu jika suhu melebihi batas maksimal maka akan mengirimkan pemberitahuan melalui SMS bahwa suhu melebihi batas normal (Awaj, 2014).

Perancangan *monitoring* suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT 11, Arduino Uno, dan LCD 16x2. Data yang terbaca oleh sensor nantinya akan di tampilkan dalam LCD berupa keadaan suhu dan kelembaban pada waktu itu (Dangi, 2017).

Sistem *monitoring* menggunakan sensor SHT 11, dimana sensor ini mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban area sekitar. Dengan penambahan modul SIMENS GSM, maka perubahan suhu dan kelembaban akan dikirim melalui SMS ke android. Jika suhu melebihi batas normal yang telah di tentukan maka alarm akan berbunyi dan led menyala (Wang, 2017).

Sistem *monitoring* suhu ruangan yang dibuat menggunakan sensor LM35 dan dikirim ke *smartphone* melalui GPRS menggunakan USB kabel dan aplikasi C2DM (*Cloud To Device Messaging*) service (Poonam, 2016). Sensor LM 35 ini hanya dapat mendeteksi suhu saja, sehingga ketika suhu pada ruang *server* melebihi batas normal maka sensor LM 35 akan aktif dan akan mengirimkan SMS ke *smartphone*. Selain dapat di kirim, data juga di simpan dalam cloud dimana dapat diakses menggunakan *web server*.

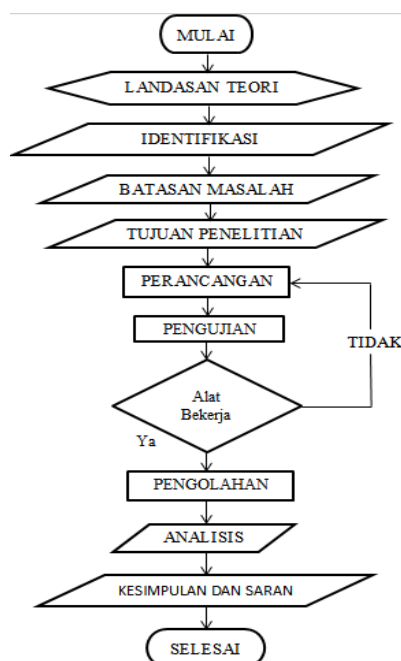
Web server Based Smart Monitoring System Using ESP8266 Node MCU Module menggunakan sensor DHT 11, sensor gas MQ-2, dan NodeMcu pernah dikembangkan oleh (Aziz, 2018). Penambahan sensor gas MQ-2 memiliki fungsi sebagai pendeteksi adanya asap/indikasi kebakaran yang ada pada ruang *server*, sehingga nantinya apabila ada asap yang keluar maka sensor akan aktif dan mengirimkan data melalui *web server* yang sudah dihubungkan secara IoT menggunakan modul ESP8266 NodeMcu. Begitu juga apabila suhu dan kelembaban ruangan *server* melebihi batas yang di tentukan.

Dengan adanya beberapa hasil penelitian di atas maka dimungkinkan

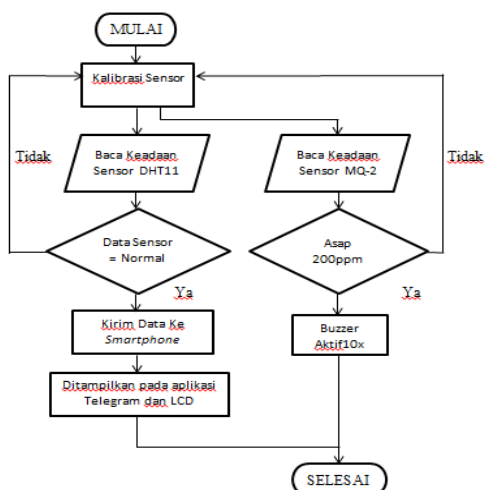
membuat prototipe alat dengan dasar pemrograman melalui arduino IDE. Program dibuat agar sistem *monitoring* bekerja secara otomatis, yaitu mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban dalam ruang *server* yang digukung dengan sensor DHT11 dan aplikasi Telegram.

METODE

Lokasi penelitian ini dilakukan di PT. Telkom Indonesia Cabang Wonosari, Gunungkidul. Pengambilan data dilakukan dalam ruang *server* yang ada pada PT. Telkom. Dalam penelitian ini pedoman untuk pengambilan data suhu dan kelembaban pada ruang *server*, mengacu pada SE-16/PJ/2011 tentang pedoman pengamanan perangkat dan fasilitas pengolahan data dan informasi. Gambar 1 adalah menampilkan bagan alir penelitian ini, sedangkan Gambar 2 menampilkan alur kerja sistem.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Alur Kerja Sistem

Pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa sistem pertama kali akan melakukan kalibrasi sensor (DHT11 dan MQ-2). Setelah itu sensor pertama (DHT11) akan membaca data suhu dan kelembaban pada ruang server yang akan di proses oleh modul NodeMcu ESP8226. Data yang dibaca oleh sensor DHT11 kemudian di kirim ke *smartphone* melalui aplikasi Telegram. Memasukkan intruksi *“/cek”* pada pesan telegram yang nantinya dikirim ke bot yang sudah dibuat pada modul NodeMcu. Intruksi *“/cek”* memiliki fungsi untuk memanggil data hasil sensor (DHT11 dan MQ-2) secara *real time*. Memasukan intruksi *“/stop”* pada kolom chat dengan bot telegram akan mengakhiri pengambilan data *output* sensor. Data *output* sensor juga ditampilkan kedalam LCD 16x2. Jika sensor MQ-2 mendeteksi adanya asap pada ruang server maka akan mengaktifkan *buzzer* (berbunyi 10x) sebagai *warning system*. Selanjutnya data akan dikirim ke Telegram dan ditampilkan ke dalam LCD.

NodeMCU seperti pada Gambar 3 merupakan sebuah *open source platform* IoT dan pengembangan kit menggunakan bahasa pemrograman Lua untuk membantu dalam membuat prototipe produk IoT atau bisa dengan memakai sketch dengan *arduino IDE (Integrated Development Environment)*. Pengembangan kit ini didasarkan pada modul

ESP8266, yang mengintegrasikan GPIO (*General Purpose Input Output*), PWM (*Pulse Width Modulation*), IIC, 1-Wire dan ADC (*Analog to Digital Converter*)

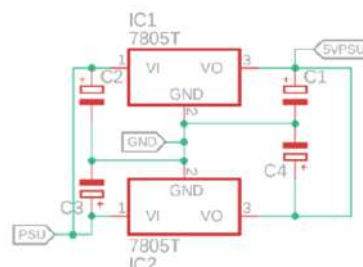
No	Pengukuran	Data (Volt)			Rata-Rata (Volt)
		1	2	3	
1	PSU Input AC	220	220	220	220
	Output AC	15,43	15,96	16,00	15,79
2	LM 7805 Input DC	11,87	11,90	12,00	11,45
	Output DC	4,89	4,91	5,00	4,94

semua dalam satu *board*.



Gambar 3. NodeMcu ESP8266

Rangkaian PSU pada Gambar 4 berfungsi sebagai sumber tegangan rangkaian, dimana sumber dari 220 volt AC PLN diubah dari AC-DC.



Gambar 4. Rangkaian PSU

Dalam skema rangkaian di atas, fungsi IC7805 sebagai regulator tegangan. Sehingga tegangan yang sudah dirubah dari AC-DC akan stabil dalam 5 volt sesuai dengan kebutuhan alat.

PEMBAHASAN

Pengujian Catudaya dan LM 7805

Untuk menentukan tegangan input *output* pada rangkaian maka di lakukan pengukuran pada catu daya dan IC regulator 7805. Tabel 1 menampilkan data hasil pengukuran.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran

Pada Tabel 1 pengujian pertama terlihat bahwa dalam pengujian pengukuran *output* catu daya terjadi kenaikan tegangan mulai dari 15,45 volt hingga batas yang diinginkan 16 volt. Sehingga didapatkan rata-rata pengukuran sebesar 15,79 volt. Hasil ini masih dalam batas wajar catu daya.

Selanjutnya pada pengujian *input* LM 7805 untuk mencapai keadaan stabil pada 5 volt dibutuhkan 3 kali percobaan, dimana pada percobaan ke 1 dan ke 2 masih di bawah 5 volt. Rata-rata yang didapat sebesar 4,94 volt. Hasil ini masih dikategorikan berfungsi dengan baik.

Hasil rata-rata pengukuran *output* berdasarkan IC 7805 dengan multimeter adalah 4,94 Volt DC. Idealnya IC Regulator ini mengeluarkan tegangan 5 Volt DC. Hasil penyimpangan keluaran untuk IC 7805:

$$\text{Kesalahan} = (5 - 4,94) / 5 \times 100\% = 1,2\%$$

Data Hasil Pengujian Alat

Tabel 2 menampilkan data hasil perbandingan pengujian alat dengan alat pembanding suhu dan kelembaban.

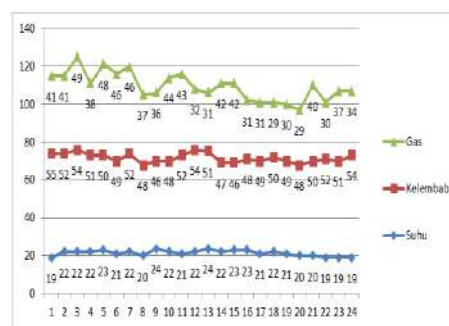
Tabel 2. Hasil Pengujian DHT 11

Hari	Tgl	Jam	Suhu (°C)		Selisih (°C)	Kelembaban (% RH)		Selisih (%)
			Termometer (°C)	Output Sensor (°C)		Hygrometer (%)	Output Sensor (%)	
Jumat	1 Februari 2019	13.00 - 14.00	20	19	1	53	55	2
Jumat	1 Februari 2019	14.00 - 15.00	20	22	2	53	52	1
Jumat	1 Februari 2019	15.00 - 16.00	21	22	1	53	54	1
Jumat	1 Februari 2019	16.00 - 17.00	21	22	1	52	51	1
Jumat	1 Februari 2019	17.00 - 18.00	22	23	1	52	50	2
Jumat	1 Februari 2019	18.00 - 19.00	23	21	2	49	49	2
Jumat	1 Februari 2019	19.00 - 20.00	23	22	1	51	52	1
Jumat	1 Februari 2019	20.00 - 21.00	23	20	3	49	48	1
Jumat	1 Februari 2019	21.00 - 22.00	23	24	1	49	46	3
Jumat	1 Februari 2019	22.00 - 23.00	23	22	1	49	48	1
Jumat	1 Februari 2019	23.00 - 00.00	23	21	2	49	52	2

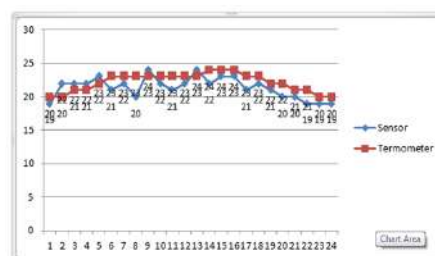
Tabel 2. Lanjutan

Hari	Tgl	Jam	Suhu (°C)		Selisih (°C)	Kelembaban (% RH)		Selisih (%)
			Termometer (°C)	Output Sensor (°C)		Hygrometer (%)	Output sensor (%)	
Sabtu	02 Februari 2019	00.00 - 01.00	23	22	1	48	54	6
Sabtu	02 Februari 2019	01.00 - 02.00	23	24	1	48	51	3
Sabtu	02 Februari 2019	02.00 - 03.00	24	22	2	48	47	1
Sabtu	02 Februari 2019	03.00 - 04.00	24	23	1	48	46	2
Sabtu	02 Februari 2019	04.00 - 05.00	24	23	1	47	48	1
Sabtu	02 Februari 2019	05.00 - 06.00	23	21	2	47	49	2
Sabtu	02 Februari 2019	06.00 - 07.00	23	22	1	47	50	3
Sabtu	02 Februari 2019	07.00 - 08.00	22	21	1	47	49	2
Sabtu	02 Februari 2019	08.00 - 09.00	22	20	2	49	48	1
Sabtu	02 Februari 2019	09.00 - 10.00	21	20	1	49	50	1
Sabtu	02 Februari 2019	10.00 - 11.00	21	19	2	50	52	2
Sabtu	02 Februari 2019	11.00 - 12.00	20	19	1	52	51	1
Sabtu	02 Februari 2019	12.00 - 13.00	20	19	1	53	54	1

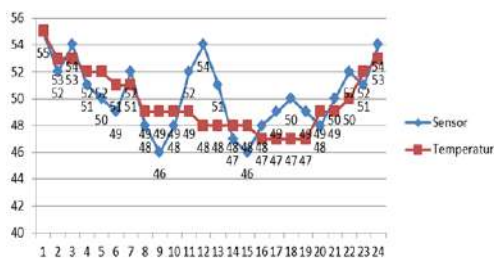
Gambar 5 menampilkan grafik Pengujian Sensor, Gambar 6 menampilkan data hasil perbandingan sensor DHT 11 dengan *termometer*, dan Gambar 7 menampilkan data hasil perbandingan sensor DHT 11 dengan *hygrometer*.



Gambar 5. Grafik Pengujian Sensor



Gambar 6. Data Hasil Perbandingan Sensor DHT 11 dengan *Termometer*



Gambar 7. Data Hasil Perbandingan Sensor DHT 11 dengan *Hygrometer*

Tabel 2 merupakan data hasil pengujian temperatur dan kelembaban pada ruang *server*. Pengambilan data berlangsung setiap jam selama 24 jam, mulai dari hari Jumat 1 Februari 2019 pukul 13.00 WIB - Sabtu 2 Februari 2019 pukul 13.00 WIB. Pengujian dilakukan dengan meletakkan alat pada ruang *server* dan dimonitoring menggunakan *smartphone* melalui pesan Telegram. Terlihat pada Gambar 6 suhu awal dari 20⁰-25⁰ dengan selisih suhu yang tertinggi adalah 3⁰C dan yang terendah 1⁰C. sedangkan terlihat pada Gambar 7 kelembaban berubah dari nilai 48%-55% dengan selisih kelembaban yang tertinggi adalah 6% dan yang terendah 1%. Hasil tersebut masih dalam batas normal standar suhu dan kelembaban pada ruang *server* berdasarkan lampiran SE-16/PJ/2011 (Direktorat Jendral Pajak, 2011). Pada hasil pengujian tersebut terdapat perbedaan nilai temperatur dan kelembaban DHT11 dengan *Hygrometer* dan *Termometer*. Perbedaan tersebut dikarenakan sensitivitas serta keakuratan setiap sensor berbeda-beda. Perubahan kelembaban pada *hygrometer* jauh lebih lambat dari pada sensor DHT11.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rancang bangun sistem *monitoring* suhu dan kelembaban berjalan baik, tetapi masih ditemukan kekurangan, seperti permasalahan catu daya yang kurang linier terhadap rangkaian karena adanya beban yang menyebabkan terjadinya perubahan *output* yang dihasilkan oleh catu daya.

Pada Tabel 1 tampak perubahan catu daya yang seharusnya 5V namun ketika diuji hanya menghasilkan 4,89 volt. Hal ini terjadi karena adanya hambatan di IC Regulator 7805 namun perubahan ini

tidak berpengaruh terhadap kinerja alat karena masih dalam batas toleransi.

Jarak jangkauan NodeMcu cukup jauh, dari hasil percobaan jangkauan *hostpot* sampai dengan 200 meter tanpa halangan masih bisa terhubung dengan *node MCU*. Namun ketika menggunakan *hostspot* terdapat halangan berupa tembok atau benda keras lainnya maka jarak efisien yang dapat mengirimkan data hanya 20 meter saja. Untuk meningkatkan jarak pengiriman data, maka dapat digunakan wifi. Menghubungkan Node MCU dengan wifi pada area ruang *server* dapat meningkatkan kecepatan pengiriman data dan jarak pengiriman.

Pengujian perbandingan data sensor DHT 11 dengan alat ukur yang sudah ada yaitu *Termometer* menghasilkan perbedaan antara 1-3⁰C. Perbedaan ini terjadi karena tingkat akurasi sensor dengan alat yang sudah ada berbeda. Sedangkan pengujian perbandingan dengan *Hygrometer* untuk kelembaban terjadi kenaikan 1-6%. Hal ini dipengaruhi kondisi yang ada dalam ruang *server* yang berubah-ubah.

Proses *monitoring* yang dilakukan pada Telegram menggunakan perintah `"/start"` untuk menampilkan menu pada telegram. Untuk memulai proses pengiriman data dapat menggunakan perintah `"/cek"` sehingga data otomatis akan terkirim dari NodeMcu ke Telegram. Apabila belum dituliskan perintah `"/stop"` data masih terkirim secara terus menerus.

KESIMPULAN

Rancang bangun sistem *monitoring* suhu dan kelembaban pada ruang *server* berbasis IoT ini berjalan dengan baik selama 24x pengambilan data tingkat keakuratan alat ini mencapai 90%. Hasil pengambilan data suhu DHT11 dengan *Termometer* hampir sempurna dikarenakan perbedaan hasil tidak lebih dari 2⁰C atau dikatakan masih dalam batas normal sesuai dengan ketentuan yang berlaku 20⁰C-25⁰C. Dengan kesalahan pembacaan 1⁰C-2⁰C.

Pengukuran kelembaban pada ruang *server* menggunakan DHT11 dengan *Hygrometer* sebagai pembanding mendapatkan hasil dengan selisih 1%-6%. Data sensor pembacaan DHT 11,

MQ-2 dikirimkan ke aplikasi Telegram menggunakan NodeMcu ESP866 yang dapat terhubung dengan *wifi* dengan jarak maksimal dalam ruang *server* dengan jarak 20 meter.

Warning system secara otomatis dapat memberikan peringatan melalui *buzzer* ketika sensor MQ-2 mendeteksi gas/asap >550 ppm.

SARAN

1. Untuk pengembangan selanjutnya lebih baik menggunakan *multiple* sensor yang agar lebih *responsive*.
2. Belum dilengkapinya penyimpanan data *monitoring* dan fasilitas untuk menampilkan laporan pada sistem ini, kedepannya perangkat ini dapat ditambahkan fitur *database* seperti MySQL, MS Access, SQL *server*, dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaj, M. F., 2014, Sistem Pengukur Suhu dan Kelembaban Ruang *Server*.
- Aziz, A., 2018, *Webserver Based Smart Monitoring System Using ESP8266 Node MCU Module*.
- Bachtiar, 2017, Rancang Bangun Application Programming Interface (API) Ongkos Kirim dan Tracking Ekspedisi Indonesia.
- Cokrojoyo, A., 2015, Pemanfaatan Bot Telegram API (Application Programming Interface) pada *Monitoring* Laboratorium Kimia.
- Dangi, N., 2017, *Monitoring* Environmental Parameters: Humidity and Temperature using Arduino Based Microcontroller and Sensors.
- Direktorat Jendral Pajak, 2011, Pedoman Pengaman Perangkat dan Fasilitas Pengolahan Data dan Informasi. SE-16/PJ.
- Jumaila, S. I., 2017, Pemantauan Suhu dan Kelembaban di Laboratorium Kalibrasi Tekanan dan Volume Berbasis Web Secara Real Time.
- Poonam, 2016, Remote Temperature *Monitoring* Using LM35 Sensor and Intimate Android User via C2DM Service.
- Saputra, Z. R., 2016, Perancangan *Monitoring* Suhu Ruangan Menggunakan Arduino Berbasis Android Di PT.

Tunggal Idaman Abdi Cabang Palembang.

Wang, X., 2017, Temperature and Humidity *Monitoring* System Based on GSM Module.

BIODATA PENULIS

Ir. Gatot Santoso, M.T., lahir di Madiun tanggal 3 Agustus 1965, menyelesaikan pendidikan S1 bidang ilmu teknik elektro dari Institut Teknologi Nasional Malang tahun 1993, dan S2 bidang ilmu teknik telekomunikasi dari Universitas Indonesia Jakarta. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap Jurusan Teknik Elektro di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor Kepala pada bidang minat tentang teknologi seluler.

Dr. Samuel Kristiyana, S.T., M.T., lahir di Bantul tanggal 6 Desember 1970, menyelesaikan pendidikan S1 bidang ilmu teknik elektro dari IST AKPRIND Yogyakarta tahun 1998, S2 bidang ilmu teknik elektro dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 2005, dan S3 bidang ilmu teknik elektro dari UGM Yogyakarta tahun 2017. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap Jurusan Teknik Elektro di IST AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik asisten Ahli pada bidang minat antenna.

Slamet Hani, S.T., M.T., lahir di Yogyakarta tanggal 30 Desember 1960, menyelesaikan pendidikan S1 bidang ilmu Teknik Elektro dari Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta tahun 1996, S2 bidang ilmu Teknik Elektro dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 2006. Saat ini tercatat sebagai Dosen di Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta dengan jabatan akademik Lektor Kepala, bidang minat penelitian tentang Tenaga Listrik.

Achmad Miradani Mujahidin, S.T., lahir di Gunungkidul pada tanggal 25 Juni 1996, menyelesaikan pendidikan S1 bidang ilmu Teknik Elektro dari Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta tahun 2019. , bidang minat penelitian tentang Sistem Komunikasi.

**PERKEMBANGAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN DARI FORMASI
SAMBIPITU KE FORMASI WONOSARI DAERAH JELOK, DESA BEJI,
KECAMATAN PATOK, KABUPATEN GUNUNGKIDUL, DAERAH ISTIMEWA
YOGYAKARTA**

Dina Tania¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

¹Email: dina_tania@akprind.ac.id

Masuk: 05 Januari 2019, Revisi masuk: 15 Januari 2019, Diterima: 20 Januari 2019

ABSTRACT

The research is investigating Middle Miocene to Pliocene geological stage of sediment depositional changing in Dusun Beji, Desa Jelok, Kecamatan Patok, Kabupaten Gunung Kidul, Special Region of Yogyakarta. Base on the measure section of cross-section analysis and bentonitic fossil analysis, the research area has three formations from old to young formation such as Sambipitu Formation, Oyo Formation, and Wonosari Formation.

The result analyzed that microfossil show Sambipitu Formation deposition in the middle of the neritic zone and changed into the deep neritic zone until lower bathyal in Oyo Formation, and it changes become more shallow in Wonosari Formation, which is depositions in the lower neritic zone to upper neritic zone as long Middle Miocene to Pliocene age.

Sambipitu and Oyo Formation have depositional changing from Lower Fan to Supra Fan Lobes on Mid Fan with lithology change from silt with bioturbation structure to pumice breccia, tuff, sandstone and claystone with slump structure, lamination and massive. In other depositional in Wonosari Formation have environment of Inner Ramp with clastic limestone dominated such as calcsirudite and calcarenite.

Keywords: *Desa Jelok, Depositional environment change, Microfossil, Measure section of cross-section.*

INTISARI

Dusun Beji, Desa Jelok, Kecamatan Patok, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta saat Miosen Tengah hingga Pliosen mengalami perubahan lingkungan pengendapan. Berdasarkan analisa penampang stratigrafi terukur dan analisa fosil mikro bentonik, daerah telitian terdiri dari 3 (tiga) formasi dari tua ke muda berupa Formasi Sambipitu, Formasi Oyo dan Formasi Wonosari.

Hasil analisa fosil mikro bentonik menunjukkan bahwa Formasi Sambipitu diendapkan pada lingkungan Neritik Tengah dan berubah menjadi Neritik Dalam hingga Bathial Bawah pada Formasi Oyo dan berubah menjadi lebih dangkal pada Formasi Wonosari yakni Neritik Dalam hingga Neritik Luar selama Miosen Tengah hingga Pliosen.

Formasi Sambipitu dan Formasi Oyo mengalami perubahan lingkungan pengendapan dari *Lower Fan* ke *Supra Fan Lobes on Mid Fan* (Walker, 1984) dengan perubahan litologi dari napal dengan struktur bioturbasi menjadi litologi breksi pumis, tuff, batupasir dan batulempung dengan struktur *slump*, perlapisan, laminasi dan massif. Sedangkan Formasi Wonosari berada pada Inner Ramp dengan litologi didominasi oleh batugamping klastik berupa kalsirudit dan kalkarenit.

Kata-kata kunci: *Desa Jelok, Perubahan lingkungan pengendapan, Fosil mikro, Penampang stratigrafi terukur.*

PENDAHULUAN

Lingkungan pengendapan merupakan kajian penting dalam ilmu sedimentologi.

Karena merupakan tempat mengendapnya material sedimen beserta kondisi fisik, kimia, dan biologi yang mencirikan

terjadinya mekanisme pengendapan tertentu (Gould, 1972). Kehadiran struktur sedimen yang mencerminkan kondisi fisik batuan dan kelimpahan kandungan fosil sebagai data biologi dalam batuan dapat menjadi dasar analisis lingkungan pengendapan. Rekaman variasi struktur sedimen dan keberagaman kandungan fosil yang diikuti perubahan berangsur dari litologi penyusun batuan di Dusun Jelok, Desa Beji, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta menjadi menarik untuk diteliti tentang perubahan lingkungan pengendapan dari Formasi Sambipitu menuju Formasi Wonosari.

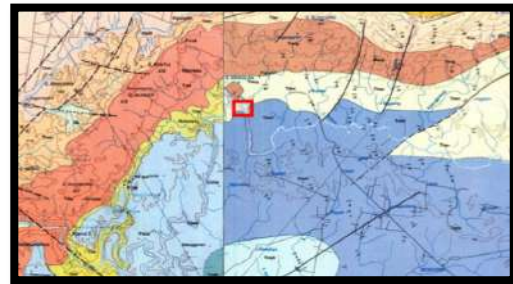
METODE

Perkembangan Lingkungan Pengendapan Dari Formasi Sambipitu Ke Formasi Wonosari Daerah Jelok, Desa Beji, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta dikaji melalui pengamatan stratigrafi terukur (*measure section*) di sepanjang Kali Oyo yang membelah Dusun Jelok hingga didapat data susunan batuan dan struktur sedimen, lalu batuan di sampling untuk dianalisa kandungan fosil mikro di laboratorium sehingga dapat dianalisis lingkungan pengendapan daerah telitian konsep Kipas Bawah Laut (Walker, 1984) dan konsep Wright dan Burchette (1998) untuk lingkungan pengendapan karbonat.

HASIL PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif berada pada Dusun Jelok, Desa Beji, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta dan secara geografis terletak pada koordinat $S 7^{\circ}52'51''$ - $7^{\circ}53'42''$ dan $E 110^{\circ}30'30''$ - $110^{\circ}30'48''$. Daerah penelitian dapat ditempuh dari Kampus Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta selama kurang lebih 1 (satu) jam menggunakan kendaraan roda empat maupun kendaraan roda dua dengan jarak tempuh sekitar 40 km. Gambar (1) dan Gambar (2).



Gambar 1. Lokasi daerah telitian (1)
(Raharjo dkk., 1995)



Gambar 2. Lokasi daerah telitian (2)

B. Fisiografi

Fisiografi daerah telitian (Gambar 3) termasuk dalam wilayah bagian tengah dan timur Pulau Jawa yakni Zona Pegunungan Selatan yang hampir membujur barat-timur sepanjang 50 km dan ke arah utara-selatan sekitar 40 km menurut van Bemmelen (1949).



Gambar 3. Fisiografi Jawa Tengah dan Jawa Timur (van Bemmelen, 1949)

C. Stratigrafi

Lokasi penelitian berada pada Formasi Sambipitu hingga Formasi Wonosari yang termasuk ke dalam penamaan satuan litostratigrafi Pegunungan Selatan oleh Surono dkk. (1992) secara berurutan dari tua ke muda tersusun seperti ditampilkan pada Gambar 4.

KALA	ZONASI RICH (1949)	PENELITI				
		NOTRE (1929)	YAN BENMELLEN (1949)	SIMARSO, (SOMOYOWATI) (1979)	SURONO, dkk. (1992)	
HOLOSEN	N.23			Endapan Vulkanik Muda dari Merapi		
PLISTOSEN	N.22					
	N.21					
PLIOSEN	N.20					
	N.19					
	N.18					
	N.17					
	MIOSEN	Tengah	N.16			
			N.15	Kepek	Wonosari	Kepek
			N.14		Wonosari	Wonosari
	MIOSEN	Awal	N.13	Wonosari	Nglanggran	Wonosari
			N.12		Sambipitu	
			N.11		Semilir	
N.10			Oyo	Kebo Butak	Sambipitu	
MIOSEN	Awal	N.9				
		N.8				
		N.7	Sambipitu		Semilir	
		N.6	Nglanggran		Semilir	
		N.5				
		N.4				
OLIGOSEN	Tengah	N.3	Semilir	Kebo Butak	Kebo Butak	
		N.2 (P.21)	Kebo Butak			
		N.1 (P.20)				
		P.19				
Eosen	Tengah	P.18				
		P.16				
		P.15	Wungkal Gamping	Gamping	Wungkal Gamping	
		P.14				
Eosen	Tengah	P.13		Wungkal		

Gambar 4. Stratigrafi Pegunungan Selatan, Jawa Tengah (Surono dkk., 1992)

Pada Miosen Tengah, aktivitas vulkanik mulai menurun dengan ditandai oleh pembentukan Formasi Sambipitu yang dominan dijumpai satuan turbidit berupa batupasir berselang-seling dengan batupasir tuffan yang banyak mengandung fosil jejak dengan lingkungan pengendapan pada bathial bawah yang berkembang hingga ke neritik atas. (Pandita, 2008). Perubahan lingkungan pengendapan semakin terlihat dengan diendapkannya Formasi Oyo pada laut dangkal saat Miosen Akhir yang disusun oleh batu-pasir gampingan, kalsilitut tuffan dan konglomerat berfragmen batugamping (Pandita dkk., 2009). Perkembangan batugamping makin terlihat jelas oleh pembentukan Formasi Wonosari yang berumur Miosen Akhir hingga Pliosen yang diperkirakan mempunyai hubungan menjeri dengan Formasi Oyo dengan litologi penyusun berupa batugamping berlapis dan batugamping terumbu (Pandita dkk., 2009).

D. Data

1. Stratigrafi Terukur

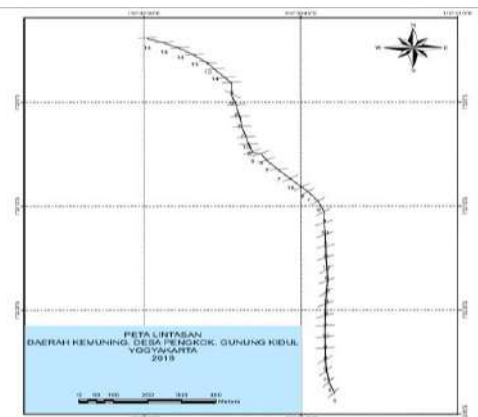
Pengamatan stratigrafi terukur dilakukan di Kali Oyo yang tersusun oleh batuan berwarna krem hingga abu-abu cerah

dan digenangi oleh sungai berwarna kehijauan yang berarah tenggara-selatan (Gambar 5).



Gambar 5. Lokasi lintasan *measure section*

Pengukuran data MS dilakukan sepanjang 164,5 meter meliputi 38 layer batuan dengan kedudukan *azimuth* berkisar 35°-100° dan *dip* berkisar 5°-18° yang tersusun oleh 6 (enam) satuan batuan yakni napal yang berwarna krem hingga abu-abu cerah yang didominasi oleh struktur bioturbasi (Gambar 6, Gambar 7).



Gambar 6. Peta lintasan daerah telitian



Gambar 7. Singkapan napal dengan fosil jejak

Lalu hadir batulempung berwarna abu-abu gelap yang hadir menyisip di antara napal dan batupasir dengan ciri khas yakni berkomposisi silika. Terdapat pula batupasir silika berwarna abu-abu gelap dan batupasir karbonatan yang berwarna krem keabuan yang banyak mengandung fosil mikro dan struktur sedimen laminasi, *wavy laminasi*, hingga *flame structure* (Gambar 8, Gambar 9).



Gambar 8. Singkapan batulempung silika



Gambar 9. Singkapan batupasir dengan struktur *wavy laminasi* dan *flame structure*

Kehadiran breksi pumis dan tuff menyisip di antara batupasir dan batulempung menandakan aktivitas vulkanik pada Kala Miosen (Gambar 10, Gambar 11).



Gambar 10. Singkapan breksi pumis



Gambar 11. Singkapan tuff

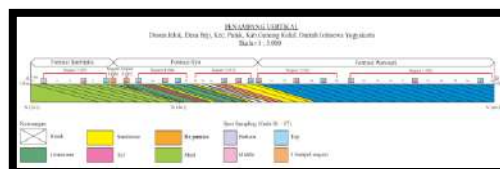
Semakin ke atas perkembangan batugamping berlapis makin meningkat dengan dominasi batugamping kalkarenit meski di bawah nya sedikit tersusun oleh batugamping kalsirudit (Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14).



Gambar 12. Singkapan batugamping kalsirudit



Gambar 13. Singkapan batugamping kalkarenit



Gambar 14. Penampang stratigrafi terukur (MS) daerah telitian

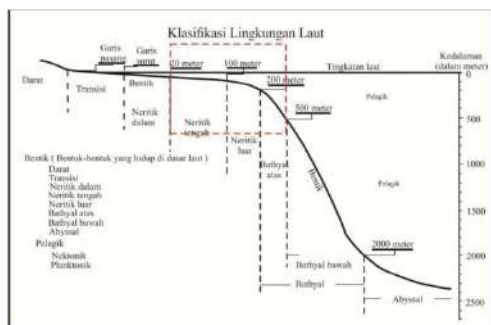
Berdasarkan pengamatan penampang stratigrafi terukur sebanyak 38 layer didapat bahwa ada 7 fasies di lokasi

penelitian yang terbagi menjadi 3 (tiga) formasi yakni (dari bawah ke atas) Formasi Sampitu, Formasi Oyo dan Formasi Wonosari.

Formasi Sampitu dominan tersusun oleh napal dengan struktur fosil jejak pada sekuen ke-7. Formasi Oyo terletak di atas nya yang terdiri dari 4 sekuen yakni sekuen 6 dan sekuen 5 berupa batulempung karbonatan, sekuen 4 dan sekuen 3 tersusun oleh perulangan breksi pumis, tuff, batupasir dan batulempung dengan struktur *slump*, laminasi dan masif. Sedangkan Formasi Wonosari terdiri dari batugamping kalsirudit pada sekuen 2 dan batugamping kalkarenit pada sekuen 1.

2. Fosil Mikro

Analisa lingkungan pengendapan berdasarkan fosil mikro menggunakan data fosil bentonik dengan konsep lingkungan laut mengacu pada Tipword dkk. (1966) (Pringgoprawiro, 1999) Gambar 15).



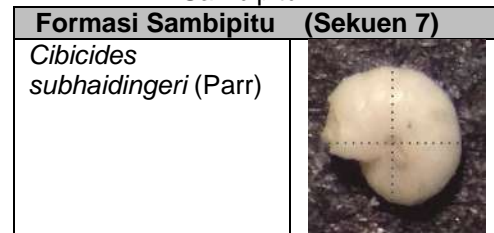
Gambar 15. Klasifikasi lingkungan laut menurut Tipword dkk. (1966) dalam Pringgoprawiro (1999)

Lingkungan pengendapan Formasi Sampitu dengan litologi napal berada pada Neritik Tengah yang ditunjukkan kehadiran fosil *Cibicides subhaidingeri* (Parr) (Tabel 1, Tabel 2).

Tabel 1. Lingkungan pengendapan Formasi Sambipitu

		AREA Jelak, Baji, Ket. Patal, Kab. Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta		SEKUEN 7 Mud	
FOSIL GROUP/TREATMENT FORAMINIFERA BENTHONIC		DATE 15 - Oktober 2018		OBSERVED	
ABUNDANCE Barren Rare Few Common Abundant PRESERVATION Poor Moderate Good		FORMASI Sambipitu		PALEOLITHOMETRY Middle Neritic	
SAMPLE PREPARATION PROCEDURE Smear Thin Section Stain Other		ASSOCIATION FORAMINIFERA BENTHIC AS FOSILS BATHYMETRY (BANDY, 1969)			
GENUS & SPECIES Cibicides subhaidingeri (Parr)		RIVER MARSH LAGOON		BATHYAL INNER MIDDLE OUTER UPPER MIDDLE LOWER	

Tabel 2. Fosil bentonik Formasi Sambipitu



Lingkungan pengendapan Formasi Oyo dengan perulangan litologi berupa breksi pumis, tuff, batupasir dan batulempung berada pada Neritik Dalam hingga Bathial Bawah (Tabel 3). Tabel 4 menampilkan fosil bentonik Formasi Oyo.











Tabel 3. Lingkungan Pengendapan Formasi Oyo

		AREA Jelak, Baji, Ket. Patal, Kab. Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta		SEKUEN 4 Mudle Medium Sandstone	
FOSIL GROUP/TREATMENT FORAMINIFERA BENTHONIC		DATE 13 - Oktober 2018		OBSERVED	
ABUNDANCE Barren Rare Few Common Abundant PRESERVATION Poor Moderate Good		FORMASI Oyo		PALEOLITHOMETRY Inner Neritic - Upper Bathyal	
SAMPLE PREPARATION PROCEDURE Smear Thin Section Stain Other		ASSOCIATION FORAMINIFERA BENTHIC AS FOSILS BATHYMETRY (BANDY, 1969)			
GENUS & SPECIES Cibicides subhaidingeri (Parr)		RIVER MARSH LAGOON		BATHYAL INNER MIDDLE OUTER UPPER MIDDLE LOWER	

		AREA Jelak, Baji, Ket. Patal, Kab. Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta		SEKUEN 4 Mudle Medium Sandstone	
FOSIL GROUP/TREATMENT FORAMINIFERA BENTHONIC		DATE 13 - Oktober 2018		OBSERVED	
ABUNDANCE Barren Rare Few Common Abundant PRESERVATION Poor Moderate Good		FORMASI Oyo		PALEOLITHOMETRY Inner Neritic - Upper Bathyal	
SAMPLE PREPARATION PROCEDURE Smear Thin Section Stain Other		ASSOCIATION FORAMINIFERA BENTHIC AS FOSILS BATHYMETRY (BANDY, 1969)			
GENUS & SPECIES Cibicides subhaidingeri (Parr)		RIVER MARSH LAGOON		BATHYAL INNER MIDDLE OUTER UPPER MIDDLE LOWER	

		AREA Jelak, Baji, Ket. Patal, Kab. Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta		SEKUEN 3 Mudle Medium Sandstone	
FOSIL GROUP/TREATMENT FORAMINIFERA BENTHONIC		DATE 18 - Oktober 2018		OBSERVED	
ABUNDANCE Barren Rare Few Common Abundant PRESERVATION Poor Moderate Good		FORMASI Oyo		PALEOLITHOMETRY Inner Neritic - Middle Neritic	
SAMPLE PREPARATION PROCEDURE Smear Thin Section Stain Other		ASSOCIATION FORAMINIFERA BENTHIC AS FOSILS BATHYMETRY (BANDY, 1969)			
GENUS & SPECIES Cibicides subhaidingeri (Parr)		RIVER MARSH LAGOON		BATHYAL INNER MIDDLE OUTER UPPER MIDDLE LOWER	

Tabel 4. Fosil bentonik Formasi Oyo

Formasi Oyo (Sekuen 6)		
<i>Oolina globosa</i> (Montagu)		
<i>Nodosaria flintii</i> (Chusman)		
<i>Cibicides subhaidingeri</i> (Parr)		
Formasi Oyo (Sekuen 5)		
<i>Lagena leavis</i> (Montagu)		
<i>Dentalina subemaciata</i> (Parr)		
<i>Globulina rotundata</i> (Boreman)		
<i>Melonis soldanii</i> (D'Orbignii)		
Formasi Oyo (Sekuen 4)		
<i>Globulina milumata</i> (D'Orbignii)		
Formasi Oyo (Sekuen 3)		
<i>Pyrgo depressa</i> (D'Orbignii)		
<i>Nodosaria redicula</i> (Brady)		


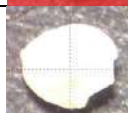
Lingkungan pengendapan Formasi Wonosari dengan litologi berupa batugamping klastik kalsirudit dan kalkarenit berada pada Neritik Dalam hingga Neritik Luar (Tabel 5).

Tabel 5. Lingkungan pengendapan Formasi Wonosari

LABORATORIUM SUMBERDAYA BUMIH JURUSAN TEKNIK GEOLOGI FAKULTAS TEKNIK GEOLOGI INSTITUT SAINS & TEKNOLOGI ACEH (STTA) AR-RANIRI		AREA	SEQUEN							
FOSIL GROUP TREATMENT : FORAMINIFERA BENTONIK		Jaloh, Baji, Kac, Patah, Kab Gantung Kandi, Emarah Intanaya Vogelkars	2 - Middle Lustrans (Ratih)							
ABUNDANCE : 1 - Scarce PRESERVATION : Poor - Moderate	DATE : 15 - October 2018	COLLECTED :								
SAMPLE PREPARATION PROCEDURE Serial This Section Save Other	TECHNIQUE : Vacuum	PALAEONTOLOGY :	Inner Niche							
ASSOCIATION FORAMINIFERA BENTONIC AS FOSSIL BATHYMETRY										
GENUS & SPECIES	RIVER	MARSH	LAGOON	NERITIC	BATHYAL	ABYSSAL				
				INNER	MIDDLE	OUTER	UPPER	MIDDLE	LOWER	ABYSSAL

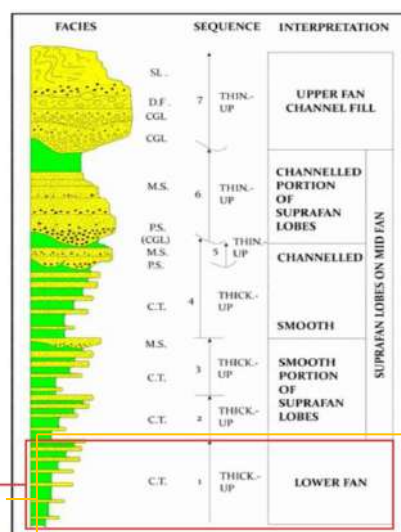
LABORATORIUM SUMBERDAYA BUMIH JURUSAN TEKNIK GEOLOGI FAKULTAS TEKNIK GEOLOGI INSTITUT SAINS & TEKNOLOGI ACEH (STTA) AR-RANIRI		AREA	SEQUEN							
FOSIL GROUP TREATMENT : FORAMINIFERA BENTONIK		Jaloh, Baji, Kac, Patah, Kab Gantung Kandi, Emarah Intanaya Vogelkars	1 - Middle Lustrans (Ratih)							
ABUNDANCE : 1 - Scarce PRESERVATION : Poor - Moderate	DATE : 15 - October 2018	COLLECTED :								
SAMPLE PREPARATION PROCEDURE Serial This Section Save Other	TECHNIQUE : Vacuum	PALAEONTOLOGY :	Inner Niche							
ASSOCIATION FORAMINIFERA BENTONIC AS FOSSIL BATHYMETRY										
GENUS & SPECIES	RIVER	MARSH	LAGOON	NERITIC	BATHYAL	ABYSSAL				
				INNER	MIDDLE	OUTER	UPPER	MIDDLE	LOWER	ABYSSAL

Tabel 6. Fosil bentonik Formasi Wonosari

Formasi Wonosari (Sekuen 2)		
<i>Fissurina marginata</i> (D'Orbignii)		
<i>Globulina gibba</i> (D'Orbignii)		

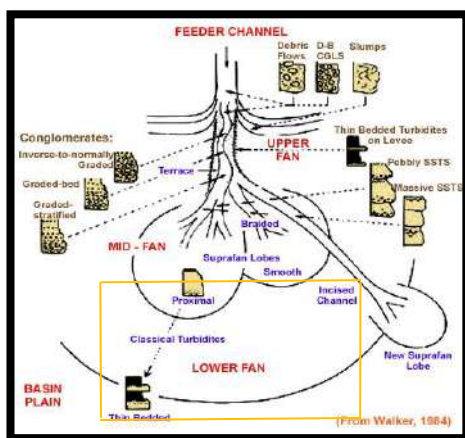
E. Lingkungan Pengendapan

Penentuan lingkungan pengendapan daerah telitian mengacu pada konsep Kipas Bawah Laut oleh Walker (1984) (Gambar 16).

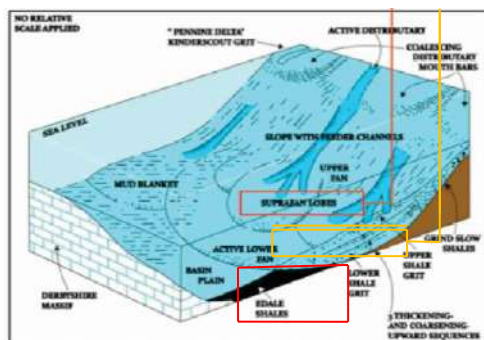


Gambar 16. CT1 untuk Formasi Sambipitu dan CT2, CT3 dan MS untuk Formasi Oyo

Formasi Sambipitu dengan litologi berupa napal berada pada *Lower Fan* yang diindikasikan oleh kehadiran struktur laminasi, perlapisan tanpa adanya endapan *channel*. Sedangkan Formasi Oyo yang berada di atasnya berada pada *Suprafan Lobes on Mid Fan* dengan kehadiran struktur massif, berlapis dan *slumpyang* menunjukkan bahwa aliran semakin berjalan ke arah yang lebih *smooth* dan lebih jauh dari suplai sedimen (Gambar 17, Gambar 18).



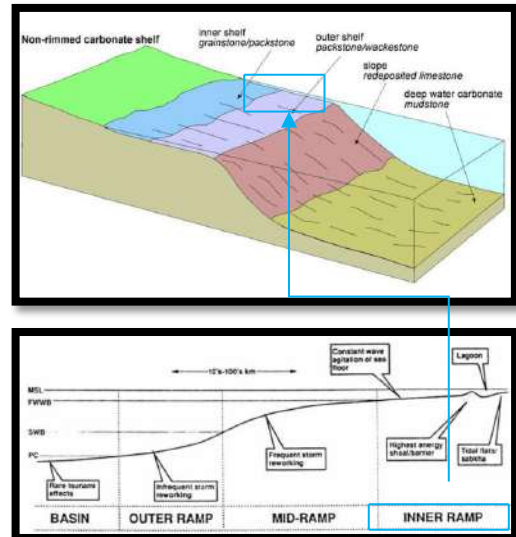
Gambar 17. Lingkungan *Lower Fan* untuk Formasi Sambipitu dan *Supra Fan Lobe on Mid Fan* untuk Formasi Oyo (Walker, 1984)



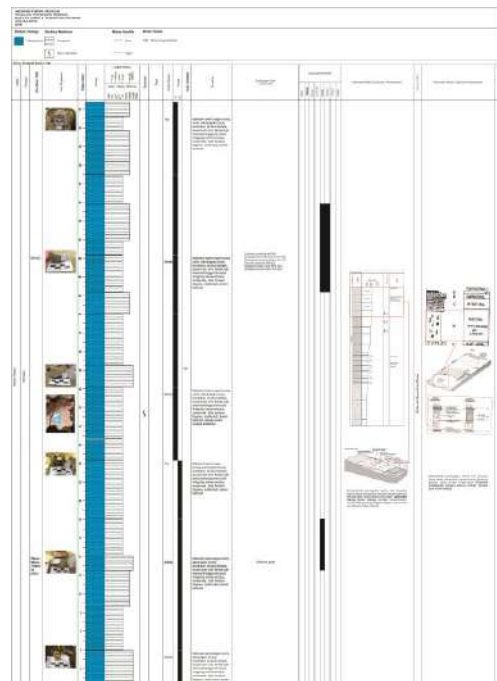
Gambar 18. Peralihan lingkungan pengendapan telitian dari *Lower Fan* ke *Suprafan Lobes* dari Formasi Sambipitu ke Formasi Oyo

Formasi Wonosari yang dominan batuan karbonat berada pada lingkungan Inner Ramp (Buchette dan Wright, 1992) dengan kenampakan butiran halus dan kasar yang seragam yakni batugamping kalsirudit dan kalkarenit (Gambar 19).

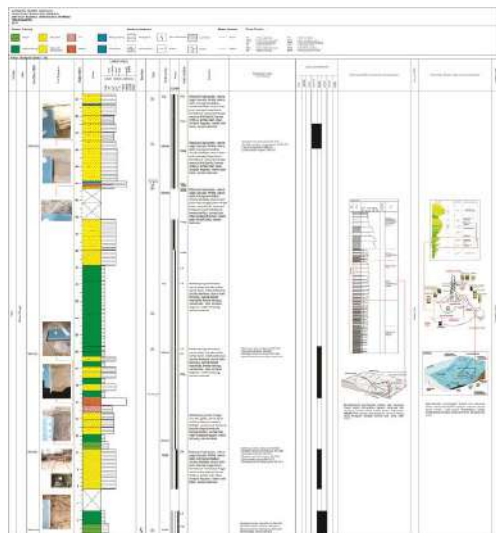
Gambar 20 adalah penampang stratigrafi terukur Formasi Wonosari, sedangkan Gambar 21 untuk Formasi Oyo, dan Gambar 22 untuk Formasi Sambipitu.



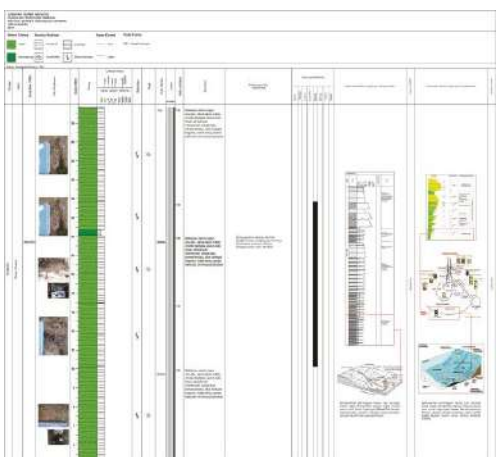
Gambar 19. Lingkungan pengendapan Formasi Wonosari berada pada *Inner Ramp* Buchette dan Wright (1992)



Gambar 20. Penampang stratigrafi terukur Formasi Wonosari



Gambar 21. Penampang stratigrafi terukur Formasi Oyo



Gambar 22. Penampang stratigrafi terukur Formasi Sambipitu

KESIMPULAN

Dusun Beji, Desa Jelok, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta saat Miosen Tengah hingga Pliosen mengalami perubahan lingkungan pengendapan.

Berdasarkan analisa penampang stratigrafi terukur dan analisa fosil mikro bentonik, daerah telitian terdiri dari 3 (tiga) formasi dari tua ke muda berupa Formasi Sambipitu, Formasi Oyo dan Formasi Wonosari. Hasil analisa fosil mikro bentonik menunjukkan bahwa Formasi Sambipitu diendapkan pada lingkungan Neritik Tengah dan berubah

menjadi Neritik Dalam hingga Bathial Bawah pada Formasi Oyo dan berubah menjadi lebih dangkal pada Formasi Wonosari yakni Neritik Dalam hingga Neritik Luar selama Miosen Tengah hingga Pliosen. Formasi Sambipitu dan Formasi Oyo mengalami perubahan lingkungan pengendapan dari *Lower Fan* ke *Supra Fan Lobes on Mid Fan* (Walker, 1984) dengan perubahan litologi dari napal dengan struktur bioturbasi menjadi litologi breksi pumis, tuff, batupasir dan batulempung dengan struktur *slump*, perlapisan, laminasi dan massif. Sedangkan Formasi Wonosari berada pada Inner Ramp (Buchette dan Wright, 1992) dengan litologi didominasi oleh batugamping klastik berupa kalsirudit dan kalkarenit.

DAFTAR PUSTAKA

- Gould, H. R., 1972, Environment Indicator: A Key To The Stratigraphic Record (dalam Rigby, J. K. & Hamblin, W. K., (eds.), Recognition of Ancient Sedimentary Environments, Soc. Econ. Paleontologist and Mineralogist Spec. Pub. 16, pp. 1-3.
- Pandita H., 2008. *Lingkungan Pengendapan Formasi Sambipitu berdasarkan Fosil Jejak di Daerah Nglipar*, JTM, ITB, Vol 15 No. 2, Hal. 85-94.
- Pandita, H., Pambudi, S., dan Winarti, 2009, *Analisis Model Fasies Formasi Sentolo dan Formasi Wonosari sebagai Identifikasi Awal Dasar Cekungan Yogyakarta*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing STTNas Yogyakarta.
- Pringgoprawiro, H., Kapid, R., 1999, *Foraminifera, Pengenalan Mikrofosil dan Aplikasi Biostratigrafi*, ITB- Bandung, Seri Mikrofosil.
- Raharjo, W., Sukandarrumiddi dan Rosidi H.M.D., 1995, *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*, Pusat Penelitian dan Pengembangan, Bandung.
- Surono, Toha, B., Sudarno, I., Wirosujono, S., 1992, *Stratigrafi Pengunungan Selatan, Jawa Tengah*, P3G-Ditjen GSM, Dept. Pertamben, Bandung.
- Tipsword, H. L., Setzer, F. M., and Smith, F. L. Jr., 1966. *Interpretation of Depositional Environment in Gulf Coast*

Petroleum Exploration from Paleoecology and Related Stratigraphy, Transaction G.C., Assoc. Geol. Soc.

Van Bemmelen, R. W., 1949. *The Geology of Indonesia*. The Goge. Martinus.

Walker, R. A., 1984. *Facies Models*, Geological Association of Canada Publication, Business and Economic Service, Canada.

Wright V.P. & Burchette T.P., 1998, Carbonate Ramps: An Introduction, Geological Society, London, Special Publications, Vol. 149, No. 1, pp. 1-5, doi:10.1144/gsl.sp.1999.149.01.01.

BIODATA PENULIS

Dina Tania, S.T., M.T., lahir di Bangka tanggal 18 Mei 1982, menyelesaikan pendidikan S1 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2006 pada Jurusan Teknik Geologi dan pendidikan S2 dari Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta tahun 2013 pada Magister Teknik Geologi. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Geologi di IST AKPRIND Yogyakarta dengan bidang minat paleontologi.

KARAKTERISTIK MEKANIK KOMPOSIT SERAT CANTULA (AGAVE CANTULA ROXB) SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PENGUAT TERHADAP PARTISI RUMAH

Lidi Wilaha¹

¹Program Studi Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Surakarta (UNSA)
Email: attaufik@gmail.com

Masuk: 05 Januari 2019, Revisi masuk: 15 Januari 2019, Diterima: 20 Januari 2019

ABSTRACT

Using of natural fiber as ingredients of particle board products, still have to various studies to gain the character of the product's standard. Study of Cantula fiber utilization with matrix of Yukalac 157 BQTN-EX unsaturated polyester as the design of composite manufacturing partition (simplicity wall) of housing is professionally researched and potential, it's important to do immediately investigation potential of characteristic Cantula's fiber as alternative composite material to partition housing.

Cantula fiber that has been cleaned, then soaked with a solution of NaOH 10% for 4 hours, then recleaned back, and let it dry naturally in the room without stright sunlight for 3 days until moisture content ranged from 8-10%. The composite samples are made with combination method hand laying and press shape with the fractional volume of 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%. For matrix and hardener, using the Polyester Yukalac Type 157 BQTN-EX and MEXPO, the formal press is made by steel. To tool test impact standard is JIS K-7113, the spesimen test use ASTM D-5941, with microphoto, and SEM cross analysis used to for failure or errors (broken) analysis.

The results have overall due to the fiber volume fraction Cantula-polyester compound against mechanical characteristics is grow up experienced of toughness impact with consecutive average volume fraction 10%, 20%, 30%, 40% therefore 6831.5 J/M², 7464.5 J/M², 8549 J/M² and 10151.5 J/M². But on the fraction of the fiber volume 50% started to droppen the value until 9515 J/M². The increasing of absorby energy is caused by adding of fiber to compound, therefore be able to increase traits of toughness or properties and reversal. The fracturing of test impact on composite V_f 10%, 20%, 30% are failure is due to the outcome of matric failure increasingly, but at V_f 40% has a strengthening of fiber that is marked with the broken fiber and matrix tend to be simultaneously. in V_f 50%. The failure of the dominant due to the composition of the matrix that is less, the reinforcement of apparent comes only from the fiber, like sawn by the cross-section, that shows the debt phenomenon of the as much as number of fibre pulled out.

Keywords: *Cantula-Polyester Composite, Impact, Partition.*

INTISARI

Penggunaan serat alam sebagai bahan baku produk papan partikel, masih membutuhkan berbagai penelitian untuk mendapatkan sifat produk yang memenuhi standar. Kajian pemanfaatan serat Cantula dengan matrik unsaturated polyester yukalac 157 BQTN-EX sebagai rancangan pembuatan komposit partisi (dinding sekat) perumahan berpotensi diteliti secara profesional dan menjadi penting untuk segera dilakukan. Penelitian ini menyelidiki potensi pemanfaatan serat cantula (Agave cantula roxb) sebagai alternatif bahan penguat komposit terhadap partisi rumah.

Serat Cantula yang sudah bersih kemudian direndam dengan larutan NaOH 10% selama 4 jam, lalu dicuci kembali dan dikeringkan secara alami di dalam ruangan tanpa sinar matahari berlangsung selama 3 hari hingga kadar air berkisar 8-10%. Spesimen komposit dibuat dengan metoda kombinasi *hand lay up* dan *press mold* dengan fraksi volume 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Matrik dan *hardener* yang dipakai adalah poliester yukalac tipe 157 BQTN-EX dan MEXPO, sedangkan cetakan yang digunakan

adalah cetakan baja. Pengujian memakai alat uji impact izot, spesimen uji dibuat menurut ASTM D-5941, foto mikro, dan SEM digunakan untuk analisis penampang patahan.

Hasil penelitian menunjukkan secara keseluruhan akibat fraksi volume serat komposit Cantula-poliester terhadap karakteristik mekanik mengalami peningkatan ketangguhan impact rata-rata berturut-turut fraksi volume 10%, 20%, 30%, 40% sebesar 6831.5 J/m^2 , 7464.5 J/m^2 , 8549 J/m^2 dan 10151.5 J/m^2 tetapi pada fraksi volume serat 50% mulai terjadi penurunan nilai yaitu sebesar 9515 J/m^2 . Meningkatnya energi serap tersebut diakibatkan penambahan serat sehingga komposit mampu meningkatkan sifat ketangguhan impactnya atau sebaliknya terjadinya *debonding* (serat semakin dominan), sehingga kegagalan terjadi pada tegangan rendah. Perilaku patahan uji impact pada komposit V_f 10%, 20%, 30%, kegagalan cenderung dikarenakan akibat kegagalan matrik terlebih dahulu, tetapi pada V_f 40% menunjukkan adanya penguatan serat yaitu ditandai dengan patahnya serat dan matrik cenderung bersamaan. Pada V_f 50%, kegagalan dominan akibat komposisi matrik yang kurang, sehingga penguatan seakan hanya berasal dari serat, jika dilihat dari penampang patahan menunjukkan fenomena semakin banyaknya *fiber pull out*.

Kata-kata kunci: Impact, Komposit cantula-poliester, Partisi.

PENDAHULUAN

Perkembangan material komposit di bidang rekayasa sangat pesat, seiring hasil riset komposit yang mampu bersaing dengan produk-produk berbahan logam atau produk lain. Keuntungan penggunaan material komposit antara lain tahan korosi, rasio antara kekuatan dan densitasnya cukup tinggi (ringan), murah, dan proses pembuatannya mudah (Gay, 2003).

Material komposit berpenguat serat alam merupakan salah satu material yang ramah lingkungan dibanding dengan material sintetis. Di samping ramah lingkungan komposit berpenguat serat alam mempunyai berbagai keunggulan diantaranya harga yang murah, mampu meredam suara, mempunyai densitas rendah, jumlahnya melimpah, dan kemampuan mekanik tinggi (Raharjo, 2002). Penelitian Raharjo (2002) menyatakan bahwa serat *Agave cantula roxb* adalah salah satu jenis serat alam yang mempunyai kemampuan mekanik tinggi. Material ini termasuk kuat, ringan, tahan lama, murah, serta ramah lingkungan. Berdasarkan hasil penelitian Badan Penelitian dan Pengembangan Industri Departemen Perindustrian Yogyakarta, serat *Agave cantula roxb* mempunyai kandungan selulose sekitar 64,3%, sehingga berpotensi sebagai bahan penguat komposit. Namun menurut Raharjo (2002) penambahan kadar air

akan menyebabkan penurunan kekuatan impact dan modulus impact cantula. Sementara Ariawan (2003) menyatakan bahwa perlakuan pemanasan terhadap serat *cantula* menghasilkan kekuatan impact tertinggi. Produk papan partikel dari serat Abaka dan Sisal masih memiliki kelemahan, yaitu sifat pengembangan tebal yang masih tinggi (Syamani dkk., 2006).

Matrik perekat yang biasa digunakan dalam rekayasa panel komposit adalah bahan polimer *thermosetting*. Pemilihan matrik *unsaturated polyester yukalac 157 BQTN-EX* karena banyak digunakan untuk aplikasi komposit pada dunia industri dengan pertimbangan harga relatif murah Rp 35.000,-/Kg, waktu *curing* cepat hanya 6 jam, warna jernih, kestabilan dimensional baik, dan mudah penanganannya.

Dari pemaparan tersebut di atas, maka dapat dikatakan bahwa kajian pemanfaatan serat *Cantula* dengan matrik *unsaturated polyester yukalac 157 BQTN-EX* sebagai rancangan pembuatan komposit partisi (dinding sekat) rumahan sangat berpotensi diteliti secara profesional dan menjadi penting untuk segera dilakukan. Variabel penting dalam penelitian ini berupa *treatment* serat *Cantula* dengan perendaman NaOH 10% selama 4 jam dan fraksi volume 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% serat pada komposit terhadap ketangguhan impact komposit serta interaksi

kekuatan ikatan serat *Cantula*-poliester pada foto makro/mikro penampang patahan partisi komposit.

METODOLOGI

Survei Data Penelitian Sebelumnya

Penggunaan bahan komposit serat sangat efisien dalam menerima beban dan gaya. Serat *cantula* itu bahan komposit serat sangat kuat dan kaku apabila dibebani searah serat, sebaliknya sangat lemah jika dibebani dalam arah tegak lurus serat (Hadi, 2000). Komposit serat pendek dengan orientasi yang benar akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar, apabila dibandingkan *continuous fiber*.

Faktor yang mempengaruhi variasi panjang serat *chopped fiber composites* adalah *critical length* (panjang kritis). Panjang kritis yaitu panjang minimum serat pada suatu diameter serat yang dibutuhkan terhadap tegangan, untuk mencapai tegangan saat patah yang tinggi (Schwartz, 1992).

Komposit Polyester 157 BQTN-serat rami dengan diberi perlakuan NaOH 5% selama 2 jam, memiliki kekuatan impact komposit menjadi lebih tinggi. Namun serat yang dikenai perlakuan alkali terlalu lama, dapat menyebabkan mengalami degradasi kekuatan yang signifikan yaitu memiliki kekuatan yang lebih rendah (Diharjo, 2006).

Komposit serat *cantula* dengan matrik resin BQTN EX menghasilkan kekuatan *bending* tertinggi (Ariawan, 2003). Pengujian *bending*, komposit yang dengan *mat* yang lebih tipis akan menghasilkan sifat lenturnya semakin tinggi. Selain alasan tersebut, jumlah fraksi volume serat pada *mat* yang lebih tipis juga semakin kecil (Yanuar dan Diharjo, 2003).

Pada komposit kenaf-PP, pada fraksi berat serat 60% (atau fraksi volume serat sekitar 49%), kekuatan komposit mencapai 74 Mpa. Harga modulus impact dan modulus flexural komposit kenaf-PP-MAPP dengan $W_f=50\%$ memiliki harga yang sama atau lebih besar daripada komposit serat gelas-PP-MAPP dengan $W_f=40\%$ (Sanadi dkk., 1986).

Penelitian Pramono dkk. (2007) pada komposit dari serat gelas orientasi serat 0/90, 45/-45, dan 30/60 matrik UP Yukalac type 157 BQTN-EX fraksi volume 40% memberikan hasil bahwa kekuatan impact tertinggi dan pada pengujian lentur komposit menunjukkan bahwa kekuatan tertinggi terjadi pada perlakuan 4 jam.

Pada penelitian Purboputro (2006), komposit yang diperkuat serat enceng gondok dengan variasi panjang 25 mm, 50 mm, dan 100 mm dengan fraksi volume 80% matrik polyester dan 20% serat enceng gondok. Dari hasil pengujian didapat harga impact tertinggi dimiliki oleh komposit dengan panjang serat 50 mm yaitu $0,002344 \text{ J/mm}^2$.

Penelitian yang dilakukan oleh Pramono dkk. (2007) pada material komposit berpenguat serat enceng gondok acak dengan perendaman NaOH 10% lama perendaman 2 jam dan variasi fraksi volume (10%, 20%, 30%, 40% dan 50%) diperoleh kekuatan impact tertinggi pada komposit enceng gondok fraksi volume 50% sebesar $0,0059 \text{ N/mm}^2$ dan energi serap yang terjadi sebesar sebesar 1,17 J.

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang dipakai adalah serat *cantula*, poliester tipe 157 BTQN, mexpo, *realeaser mirror glase wax*/FRP Wax, dan fluida uji (NaOH 10%). Peralatan yang digunakan adalah gergaji, ampelas, cetakan, timbangan digital, alat bantu uji, kamera digital, dan alat uji impact izot.

Pembuatan Spesimen Uji

Serat yang sudah kering, dibuat menjadi bentuk *mat* serat *cantula* acak. Pembuatan *mat* dilakukan dengan mengaduk serat di dalam bak air secara merata hingga homogen yang di bawahnya sudah diletakkan strimin. *Density* *mat* serat acak tersebut dirancang berdasarkan rancangan fraksi volume serat yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%.

Pengukuran Densitas

Pengukuran densitas digunakan untuk memprediksikan sifat mekanik

komposit, serta mengecek spesimen sesuai dengan standar deviasi, dengan mengacu pada ASTM D1037.

Pengujian ketangguhan Impak

Spesimen komposit dibuat dengan metoda kombinasi *hand lay up* dan *press mold* dengan fraksi volume 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Matrik dan hardener yang dipakai adalah *poliester yukalac* tipe 157 BQTN-EX dan MEXPO dari PT Justus Kimia Raya Semarang. Pengujian memakai alat uji impact izot, spesimen uji dibuat menurut ASTM D-5941, foto mikro dan SEM digunakan untuk analisis penampang patahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengukuran Densitas Komposit *Cantula-poliester*

Hasil pengukuran densitas komposit *Cantula-poliester* terhadap variasi fraksi volume dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Densitas komposit *Cantula-poliester*

No.	VF Serat	Dimensi (mm)			Berat (g)	Volume (mm ³)	Densitas (g/mm ³)	Densitas (kg/m ³)
		Panjang	Lebar	Tebal				
1	10%	194.03	50.15	6.18	23.86	60135.14	0.00039675	396.75
2	20%	194.04	50.15	6.17	22.97	60035.39	0.00038264	382.64
3	30%	194.04	50.15	6.19	20.55	60189.41	0.00034137	341.37
4	40%	194.03	50.15	6.19	18.87	60230.44	0.00031327	313.27
5	50%	194.01	50.14	6.19	17.03	60232.96	0.00028265	282.65

Hasil pengukuran densitas akibat variasi fraksi volume 10% hingga 50% menunjukkan bahwa komposit *Cantula-poliester* terjadi penurunan nilai yang signifikan. Nilai rata-rata densitas komposit *Cantula-poliester* tertinggi terjadi pada fraksi volume 10% sebesar 396,75 kg/m³ dan densitas terendah pada fraksi volume serat 50% sebesar 282,65 kg/m³. Hal ini menunjukkan meningkatnya jumlah serat berpotensi mengurangi kerapatan komposit atau sebaran matrik semakin sedikit (jumlah serat *cantula* lebih dominan) sehingga densitas komposit juga semakin rendah atau komposit akan lebih ringan.

2. Ketangguhan Impak Komposit *Cantula-poliester*

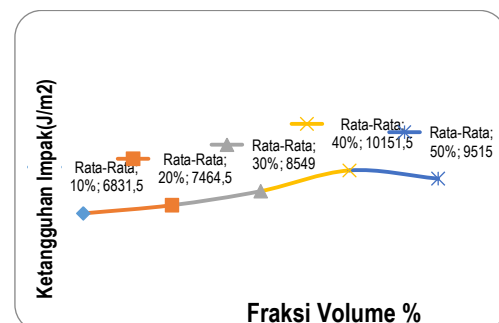
Tabel 2 menunjukkan karakteristik ketangguhan impact komposit serat *Cantula-poliester* dengan perlakuan

perendaman larutan NaOH 10% selama 4 jam dan fraksi volume 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%.

Tabel 2. Ketangguhan impact

No.	Variasi (VF) %	Ketangguhan Impact (J/m ²)		
		Minimal	Maksimal	Rata-Rata
1	10%	6673	6990	6831.5
2	20%	7095	7834	7464.5
3	30%	8157	8941	8549
4	40%	9916	10387	10151.5
5	50%	9188	9842	9515

Data hasil uji impact pada Gambar 1 menunjukkan ketangguhan impact komposit rata-rata berturut-turut fraksi volume 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% sebesar 6831.5 J/m², 7464.5 J/m², 8549 J/m², 10151.5 J/m² dan 9515 J/m². Dari data ketangguhan impact tersebut menunjukkan bahwa nilai ketangguhan impact semakin meningkat dari fraksi volume 10% dan paling tinggi 40%, tetapi pada fraksi volume 50% nilai ketangguhan impact menurun.



Gambar 1. Grafik ketangguhan impact

Meningkatnya energi serap tersebut sesuai dengan hukum ROM merupakan akibat penambahan serat sehingga komposit akan mampu meningkatkan sifat ketangguhan impactnya. Namun, setelah melampaui nilai optimal akan cenderung kembali menurun, hal ini dikarenakan ikatan antara matrik dengan serat semakin rendah, sehingga menurunkan energi serap dari impact tersebut. Ketangguhan impact yang paling optimum pada komposit *Cantula-poliester* diketahui pada fraksi volume serat 40%. Grafik ketangguhan impact komposit *Cantula-poliester* terhadap variasi fraksi volume dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penampang patahan komposit akibat uji impak

3. Penampang Patahan Hasil Pengujian Impak

Gambar 3 menampilkan penampang patahan komposit akibat uji impak dengan $V_f = 10\%$, 20% , 30% , 40% , dan 50% .



Gambar 3. Foto makro penampang patahan komposit akibat uji impak

Dari penampang patahan uji impak pada komposit V_f 10% , 20% , 30% kegagalan cenderung dikarenakan akibat kegagalan matrik terlebih dahulu, namun pada V_f 40% kegagalan menunjukkan adanya penguatan dari serat yaitu ditandai dengan patahnya serat dan matrik yang cenderung bersamaan. Sedangkan pada V_f 50% kegagalan dominan akibat komposisi matrik yang kurang sehingga penguatan seakan hanya berasal dari serat, jika dilihat dari penampang patahan menunjukkan fenomena yang semakin banyaknya *fiber pull out*. Perilaku patahan yang bersamaan antara matrik dan serat pada V_f 40% mengindikasikan bahwa serat dan matrik memiliki interaksi ikatan kuat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data, maka dapat disimpulkan sementara sebagai berikut:

1. Meningkatnya energi serap komposit *Cantula-poliester* merupakan akibat penambahan serat sehingga komposit akan mampu meningkatkan sifat ketangguhan impak.
2. Ketangguhan impak optimal terjadi pada fraksi volume serat 40% .
3. Perilaku patahan yang bersamaan pada V_f 40% antara matrik-serat mengindikasikan bahwa serat dan matrik memiliki interaksi ikatan yang kuat. sehingga memungkinkan dipakai sebagai bahan partisi rumah.

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan variasi panjang serat atau variasi perlakuan thermal pada serat cantula.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariawan, D., 2003, *Pengaruh Modifikasi Serat Terhadap Karakteristik Komposit UPRs-Cantula*, Jurnal Teknik Mesin Poros, Universitas Sebelas Maret, Vol. 9, No. 3, Hal. 200-206.
- Diharjo, K., 2006, *Kajian Pengaruh Teknik Pembuatan Lubang terhadap Kekuatan Impak Komposit Hibrid Serat Gelas dan Serat Karung Plastik*, TEKNOIN, Vol. 11, No. 1, Hal. 55-64.
- Gay, 2003, *Composite Material, Design and Applications*, Boca Raton: CRC Press.
- Gibson, O. F., 1994, *Principle of Composite Materials Mechanics*, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Hadi, K. B., 2000, *Mekanika Struktur Komposit*, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, Hal. 29-30.
- Maloney, T. M., 1993, *Modern Particle-board and Dry Process Fiberboard Manufacturing*, Miller Freeman Inc., New York.
- Pramono, C., Kusuma, D., dan Sudrajat, A., 2007, *Kajian Optimasi Kekuatan Bending dan Impak Panel Komposit Sandwich GFRP dengan Core Limbah Kayu Sengon Laut untuk Panel*

Struktur Car Body Otomotif, PKMP DIKTI, Jakarta.

Purboputro, I. P., 2006, *Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Impak Komposit Enceng Gondok Dengan Matriks Poliester*, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UMS, Surakarta

Raharjo, W. W., 2002, Pengaruh Waktu Perendaman Pada Sifat mekanik Komposit Unsaturated Polyester yang Diperkuat Serat Cantula, *Simposium Nasional I RAPI*, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Ray, D., Sarkar, B. K., Rana, A. K., dan Bose, N. R., 2001, Effect of Alkali Treated Jute Fibres on Compo-sites Properties, *Bulletin of Materi-als Science*, Vol. 24, No. 2, pp. 129-135, Indian Academy of Science.

Sanadi, A. R., Prasad, S. V., dan Rohatgi, P. K., 1986. *Sunhemp Fibre-Reinforced Polyester*, *Journal of Materials Science*, Vol. 21, pp. 4299-4304.

Schwartz, 1992, *Composite Materials Handbook*, New York: McGraw Hill Inc.

Shackelford, 1992, *Introduction to Materials Science for Engineer*, Third Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA.

Syamani, F. A., Prasetyo, K. W., Budiman, I., Subyakto, dan Subiyanto, B., 2008, *Sifat Fisis Mekanis Papan Partikel dari Serat Sisal atau Serat Abaka setelah Perlakuan Uap*, IPB, Bogor, *Jurnal Tropical Wood Science and Technology*, Vol. 6, No. 2 , Hal. 56-62.

Yanuar D., dan Diharjo K., 2003, *Karakteristik Mekanis Komposit Sandwich Serat Gelas Serat Chopped Strand Mat dengan Penambahan Lapisan Gel Coat*, Skripsi, Teknik Mesin FT UNS, Surakarta.

Wilaha, L. dan Anjarwulan, S.P., 2017, *Uji Kekuatan Tarik Pada Komposit Partisi Berbahan Baku Serat Cantula*, *Architecture Journal: Architecture Innovation*, No.1, vol.1, Universitas Podomoro.

BIODATA PENULIS

Lidi Wilaha, S.T., M.T., lahir di Cilacap tanggal 29 Desember 1974, menyelesaikan pendidikan S1 pada bidang Teknik Arsitektur dari Universitas Sebelas Maret tahun 1999, dan S2 pada bidang Teknik Arsitektur dari Universitas Gadjah Mada tahun 2005. Saat ini tercatat sebagai Dosen Tetap pada Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Surakarta (UNSA) dengan bidang minat struktur-konstruksi, material bahan, dan utilitas arsitektur.

ISSN 1979-8415



9 771979 841598