

Jurnal Ilmiah

Desain & Konstruksi

- PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK HIDROLOGI
DI DAS SAMPEAN KABUPATEN BONDOWOSO
Arif Darmawan Pribadi, Rita Dwi Kusumawati, Atika Audia Firdausi 84
- PENGEMBANGAN HIETOGRAF HUJAN RENCANA DI KOTA BEKASI
Segel Ginting 102
- PEMANFAATAN TEKNOLOGI PEMODELAN MATEMATIS DAN LIDAR DALAM PENGELOLAAN
RESIKO BANJIR DAS WAI RUHU AMBON
Anggun Etika Putriasri, Yandi Hermawan, Irene Jaya, Budhi Kosasih 114
- PENINGKATAN NILAI MANFAAT AIR MELALUI PEMDES DI DESA PENGALENGAN,
KECAMATAN PENGALENGAN, KABUPATEN BANDUNG
Joko Nugroho, Arif Susanto, Erwin Dasapta 126
- PENENTUAN PRIORITAS INFRASTRUKTUR JALAN DENGAN METODE ANALYTIC
HIERARCHY PROCESS (AHP) EXPERT CHOICE STUDI KASUS: JALAN RAYA DEMAK-
GODONG
Uppit Yuliani 132
- SURVEY TEKNIK PENGKLASIFIKASIAN GAYA ARSITEKTUR PADA FASAD BANGUNAN
MENGUNAKAN PENDEKATAN DEEP LEARNING CNN
Edi Sutomo 142
- HUBUNGAN SEJARAH DAN PENGARUH BUDAYA TERHADAP PROSES AKULTURASI
ARSITEKTUR MASJID-MASJID TUA ABAD XVI-XX DI JAKARTA
Sumaiyah Fitriandini 157

DEWAN REDAKSI JURNAL ILMIAH DESAIN DAN KONSTRUKSI

Penanggung Jawab

Prof. Dr. E.S. Margianti, S.E., M.M.

Prof. Suryadi Harmanto, SSI., M.M.S.I.

Drs. Agus Sumin, M.M.S.I.

Dewan Editor

Dr. Agus Dharma Tohjiwa, ST, MT., Universitas Gunadarma

Dr. Haryono Putro, ST, MT., Universitas Gunadarma

Dra. Riswanti H.S., MSn., Universitas Gunadarma

Raudina Qisthi Pramantha, ST, MURP., Universitas Gunadarma

Mitra Bebestari

Prof. Dr. Ir. Sugiono Soetomo, DEA., Universitas Diponegoro

Prof. Ir. Bambang Hari Wibisono, MUP, M.Sc, Ph.D., Universitas Gadjah Mada

Prof. Dr. Ir. Muhammad Saleh Pallu, M.Eng., Universitas Hasanuddin

Prof. Dr-Ing. Ir. Herman Parung, M.Eng., Universitas Hasanuddin

Prof. Ir. Iwan K. Hadihardaja, MSc, PhD., Institut Teknologi Bandung

Prof. Dr-Ing. Ir. Gagoek Wardiman., Universitas Diponegoro

Prof. Dr. Ir. Slamet Trisutomo, MS., Universitas Hasanuddin

Ir. Hendrajaya Isnaeni, MSc, Ph.D., Universitas Indonesia

Dr-Ing. Ir. Dalhar Susanto., Universitas Indonesia

Dr. Ir. Raziq Hasan, MT. Ars., Universitas Gunadarma

Sekretariat Redaksi

Universitas Gunadarma

Jalan Margonda Raya No. 100 Depok 16424

Phone : (021) 78881112 ext 516.

DAFTAR MATERI JURNAL DESAIN DAN KONSTRUKSI

VOLUME 19, NOMOR 2, DESEMBER 2020

NO	NAMA PENULIS	JUDUL ARTIKEL	HALAMAN
1	Arif Darmawan Pribadi, Rita Dwi Kusumawati, Atika Audia Firdausi	PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP KARAKTERISTIK HIDROLOGI DI DAS SAMPEAN KABUPATEN BONDOWOSO	84-101
2	Segel Ginting	PENGEMBANGAN HIETOGRAF HUJAN RENCANA DI KOTA BEKASI	102-113
3	Anggun Etika Putriasri, Yandi Hermawan, Irene Jaya, dan Budhi Kosasih	PEMANFAATAN TEKNOLOGI PEMODELAN MATEMATIS DAN LIDAR DALAM PENGELOLAAN RESIKO BANJIR DAS WAI RUHU AMBON	114-125
4	Joko Nugroho, Arif Susanto, dan Dasapta Erwin Irawan	PENINGKATAN NILAI MANFAAT AIR MELALUI PAMDES DI DESA PANGALENGAN, KECAMATAN PANGALENGAN, KABUPATEN BANDUNG	126-131
5	Uppit Yuliani	PENENTUAN PRIORITAS INFRASTRUKTUR JALAN DENGAN METODE	132-141
6	Edy Sutomo	SURVEY TEKNIK PENGKLASIFIKASIAN GAYA ARSITEKTUR PADA FASAD BANGUNAN MENGUNAKAN PENDEKATAN <i>DEEP LEARNING CNN</i>	142-156
7	Sumaiyah Fitriandini	HUBUNGAN SEJARAH DAN PENGARUH BUDAYA TERHADAP PROSES AKULTURASI ARSITEKTUR MASJID-MASJID TUA ABAD XVI-XX DI JAKARTA	157-168

**PENGARUH PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TERHADAP
KARAKTERISTIK HIDROLOGI DI DAS SAMPEAN
KABUPATEN BONDOWOSO**

***THE EFFECT OF LAND COVER CHANGES ON HYDROLOGICAL
CHARACTERISTICS IN SAMPEAN WATERSHED
BONDOWOSO DISTRICT***

¹Arif Darmawan Pribadi, ²Rita Dwi Kusumawati, ³Atika Audia Firdausi

^{1,2,3}Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian PUPR

¹arifdpteknik@gmail.com ²rita.dwikusuma@gmail.com ³atikaaudia@gmail.com

Abstrak

DAS Sampean di Kabupaten Bondowoso memiliki luas 1.248 km². Selama 20 tahun terakhir, perkembangan ekonomi yang pesat telah menyebabkan konversi lahan dari area hijau ke lahan pengembangan yang menyebabkan kemampuan infiltrasi tanah menurun. Data yang tercatat periode waktu tahun 2002-2017 terjadi kenaikan debit harian sebesar 4 m³/s dan debit maksimum tahunan harian sebesar 42 m³/s, sedangkan kondisi curah hujan yang tercatat pada wilayah DAS Sampean mengalami tren penurunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari perubahan tutupan lahan terhadap debit aliran sungai, disimulasikan menggunakan model SWAT (Soil and Water Assessment Tools). Perubahan tutupan lahan juga mengakibatkan penurunan aliran dasar sebesar 104,99 mm. Data debit pengamatan, curah hujan, dan tutupan lahan dari Tahun 2003 hingga 2016 digunakan untuk kalibrasi model dan verifikasi. Hasilnya menunjukkan perubahan tutupan lahan yang terjadi selama tiga belas tahun terakhir di DAS Sampean mengakibatkan peningkatan aliran permukaan (SUR_Q) 35.81 mm, total air sungai (WYLD) meningkat 114 mm, debit maksimum per bulan meningkat 15,93 m³/s. Studi ini menggarisbawahi pentingnya faktor tutupan lahan sebagai Daerah Resapan Air (DRA) dalam perencanaan dan pengelolaan infrastruktur kawasan di masa depan pada DAS Sampean, Kabupaten Bondowoso.

Kata kunci: DAS Sampean; Tutupan Lahan; Hidrologi; SWAT

Abstract

Sampean watershed in Bondowoso Regency has an area of 1,248 km². Over the past 20 years, rapid economic development has led to the conversion of land from green areas to development land causing the ability of soil infiltration to decline. Data recorded in 2002-2017 time period has increase in daily discharges of 4 m³/s and daily annual maximum discharges of 42 m³/s, while rainfall conditions recorded in the Sampean watershed region experienced a downward trend. Based on these conditions, it means that the absorption capacity in the Sampean watershed has decreased. The study aims to determine the impact of changes in land cover on river flow, simulated using SWAT model (Soil and Water Assessment Tool). The changes in land cover also cause a base flow decrease by 104,99 mm. Observation discharge, rainfall, and land cover from 2003 to 2016 were used for calibration model and verification. The results show changes in land cover that occurred during the last thirteen years in the Sampean watershed resulted in an increase in surface runoff (SUR_Q) of 35.81 mm, total river water (WYLD) increased 114 mm, maximum monthly discharge increased by 15.93 m³/s. Changes in land cover also resulted in a decrease in base flow by 291.57 mm. This study underscores the importance of land cover as a water catchment area in the future planning and management of infrastructure in the Sampean watershed, Bondowoso Regency.

Keywords: Sampean Watershed; Land Cover; Hydrology; SWAT

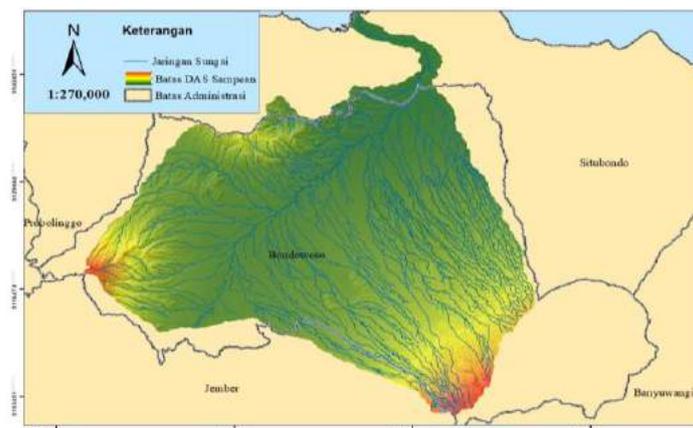
PENDAHULUAN

Jumlah penduduk di Kabupaten Bondowoso berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bondowoso mencapai 676.796 jiwa pada tahun 1998 dan 769.225 jiwa pada tahun 2017. Kenaikan jumlah penduduk di Kabupaten Bondowoso tersebut meningkat 13,66% selama kurun waktu 20 tahun. Data kependudukan yang dikeluarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Timur Tahun 2017 menunjukkan laju pertumbuhan penduduk di Kabupaten Bondowoso menempati urutan ke 17 dari 38 kabupaten/kota yang ada di Provinsi Jawa Timur. Peningkatan jumlah penduduk dapat merubah orientasi pemanfaatan lahan. Perubahan lahan berupa alih fungsi lahan pertanian menjadi permukiman. Lahan persawahan, kebun campuran dan tegalan serta hutan berubah fungsi menjadi permukiman. Peningkatan kawasan perumahan diikuti perubahan tutupan lahan lain seperti berkurangnya hutan, kebun campuran, lahan terbuka dan lahan pertanian (Setyowati, 2010). Adanya alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian maupun untuk kebutuhan hutan produksi, juga terjadi di hulu DAS Sampean. Hal ini tentunya dapat menurunkan fungsi hutan sebagai pengendali hidrologi Daerah Aliran Sungai Sampean yang dapat mengakibatkan meningkatnya aliran permukaan (*runoff*). Peningkatan aliran permukaan

dapat berdampak pada luapan sungai yang terjadi akibat beban aliran buangan yang tidak dapat diakomodasi oleh kapasitas saluran, yang diakibatkan oleh debit tinggi dari limpasan curah hujan di DAS. Luapan air sungai tersebut dapat membawa lumpur dan merusak properti yang membawa kerugian besar bagi warga kota (Kusuma et al., 2011). Analisis karakteristik hidrologi DAS yang dipengaruhi oleh perubahan tutupan lahan dapat dilakukan dengan menggunakan model hidrologi. Salah satu model hidrologi yang baik digunakan adalah model SWAT (*Soil and Water Assesment Tools*). Aplikasi model SWAT digunakan untuk menganalisa perubahan tutupan lahan terhadap kondisi debit aliran sungai (Winchell et al., 2013). Dengan demikian diharapkan dapat diketahui pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap debit aliran Sungai Sampean.

METODOLOGI PENELITIAN

Kajian ini dilakukan di DAS Sampean yang berada di Kabupaten Bondowoso, Provinsi Jawa Timur (Gambar 1). Pada Penelitian ini bahan yang digunakan yaitu berupa peta dan data sekunder yang dikumpulkan dari berbagai instansi terkait. Aplikasi yang digunakan yaitu ArcGIS, ArcSWAT, ArcView, *global mapper* dan GPS.



Gambar 1. Peta DAS Sampean

Tahapan dalam kajian pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap karakteristik hidrologi di DAS Sampean Kabupaten Bondowoso adalah sebagai berikut : Tahapan pertama adalah studi literatur dari berbagai sumber baik jurnal penelitian, maupun publikasi lainnya yang terkait dengan pembahasan penelitian. Kemudian pengumpulan data sekunder dari berbagai instansi terkait. Tahapan selanjutnya yaitu pemodelan hujan aliran, pembentukan konseptual model, menjalankan SWAT, kalibrasi dan validasi model. Penjelasan dari masing-masing tahapan sebagai berikut:

1. Pemodelan Hujan Aliran

Analisa curah hujan diperlukan untuk menentukan besarnya intensitas yang digunakan sebagai prediksi timbulnya curah hujan wilayah. Dalam penelitian ini data curah hujan yang digunakan yaitu berasal dari tiga puluh dua stasiun hujan yang berada di DAS Sampean.

2. Pembentukan Konseptual Model Sebagai Input

Sebelum melakukan pemodelan SWAT, beberapa data perlu diolah terlebih dahulu. Terdapat beberapa langkah dalam *pre-processing* data seperti pada Gambar 2

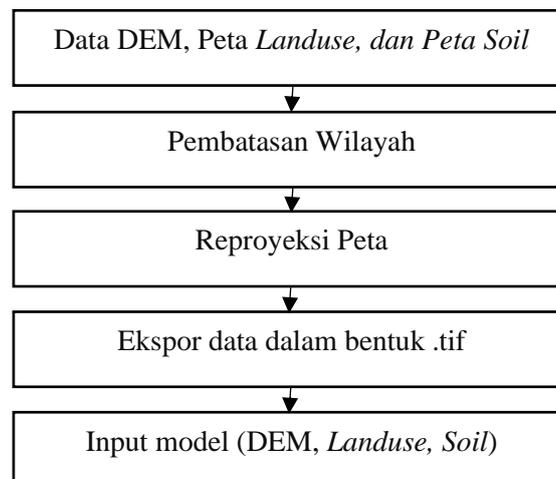
Setelah data awal diproses, data tersebut dapat digunakan dalam model. Berikut langkah-langkah dalam pengolahan dan tampilan konseptual untuk model SWAT. Adapun data-data yang menjadi data input pada model SWAT adalah:

- *Digital Elevation Model* (DEM)
- Data Tutupan Lahan
- Data Jenis Tanah
- Data Iklim

3. Menjalankan SWAT

Secara umum dalam menjalankan aplikasi SWAT terdapat beberapa langkah berikut ini.

- Delineasi daerah model, yang bertujuan untuk menghasilkan data model DAS, Sub DAS, dan jaringan sungai.
- Analisa HRU (*Hydrologic Response Unit*), merupakan unit analisis hidrologi yang dibentuk berdasarkan karakteristik tanah, tutupan lahan, dan kelas lereng yang spesifik.
- Pembuatan Basis Data Iklim, dilakukan masukan data iklim (*weather generator*), curah hujan (*rainfall*), temperatur, kelembaban (*relative humidity*), dan radiasi matahari (*solar radiation*), serta kecepatan angin (*wind speed*).
- Running Model



Gambar 2. Tampilan Konseptual untuk Model SWAT

4. Kalibrasi dan validasi Model

Data debit hasil observasi di DAS Sampean (Data debit dari UPT PSAWS Sampean), dan data debit hasil model (prediksi) dikalibrasikan dengan langkah – langkah:

- Menyandingkan data debit hasil model dengan data hasil observasi melihat pola kemiripannya.
- Menghitung nilai keakuratan model memprediksi debit dengan fungsi objektif. Salah satu fungsi objektif yang dapat digunakan adalah metode *Nash-sutcliffe*. Persamaan sebagai berikut :

$$NSE = \frac{\sum_{t=1}^n (O_t - \hat{O})^2 - \sum_{t=1}^n (P_t - O_t)^2}{\sum_{t=1}^n (O_t - \hat{O})^2}$$

Dimana O merupakan debit observasi / pengukuran (Data debit berasal dari UPT PSAWS Sampean, di Bondowoso) yang terukur (m3/detik), P adalah debit hasil simulasi (m3/detik). Menurut (D. N. Moriasi et al., 2007) dan (El-Sadek & Irvem, 2014), Efisiensi model Nash-Sutcliffe dikelompokkan menjadi empat kelas sebagai berikut :

- Sangat Baik, jika $0,75 \leq NSE$
- Baik, jika $0,65 \leq NSE \leq 0,75$
- Memuaskan, jika $0,50 \leq NSE \leq 0,65$
- Kurang memuaskan, jika $NSE \leq 0,50$

- Selain itu untuk melihat keakuratan pola hasil keluaran model dengan hasil obsevasi dilapangan digunakan Koefisien determinasi (R Square) atau persamaan linier (Ullrich & Volk, 2009):

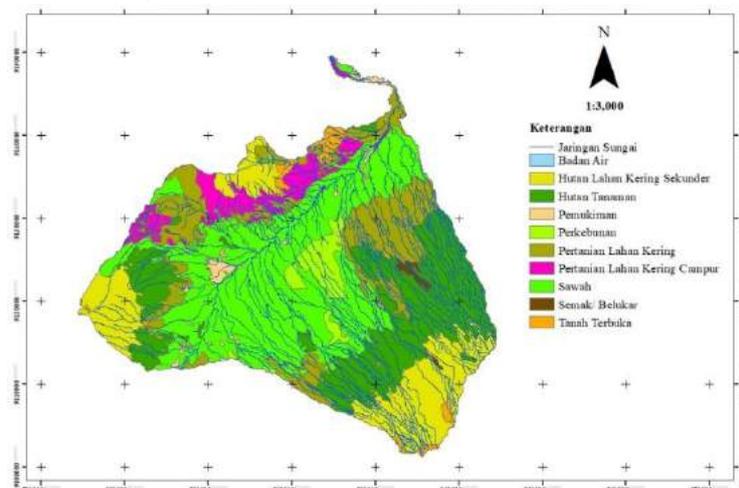
$$R^2 = \frac{\left[\sum_{t=1}^n (O_t - \hat{O}) - (P_t - \hat{P}) \right]^2}{\left[\sum_{t=1}^n (O_t - \hat{O})^2 \right] \left[\sum_{t=1}^n (P_t - \hat{P})^2 \right]}$$

Hasil perhitungan R^2 menunjukkan evaluasi kelayakan model tersebut, apabila R^2 mendekati 1 maka terdapat pola hubungan yang erat antara hasil prediksi model dengan hasil observasi lapangan.

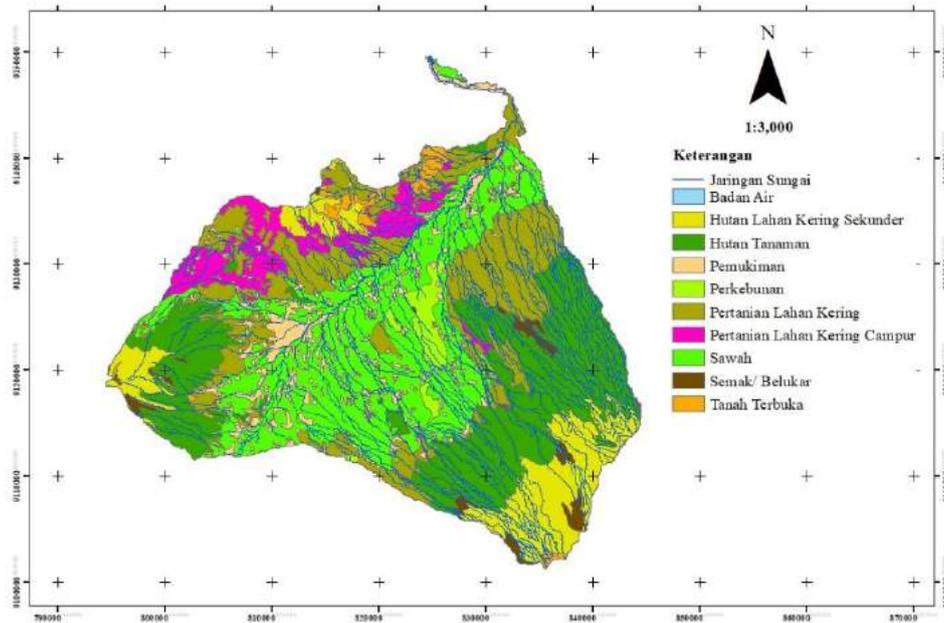
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data Tutupan Lahan

Jika melihat dari data kondisi tutupan lahan DAS Sampean di Tahun 2003 (Gambar 3), fungsi lahan yang digunakan sebagian besar digunakan untuk lahan sawah, pertanian lahan kering dan kawasan hutan. Fungsi lahan terbesar di Tahun 2016 (Gambar 4) juga masih didominasi sawah, pertanian lahan kering dan kawasan hutan. Namun ada pengurangan luasan yang terjadi. Adapun klasifikasi dan deskripsi tutupan lahan pada SNI 7645-2010 dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan DAS Sampean Tahun 2003

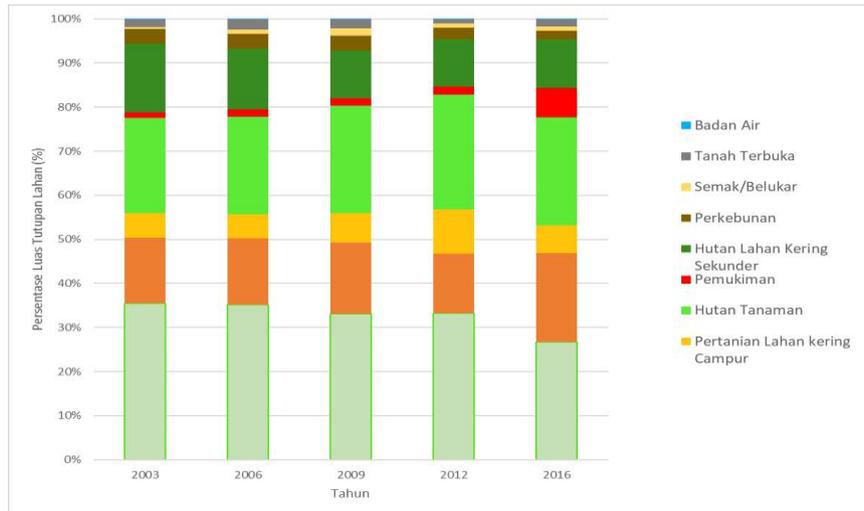


Gambar 4. Peta Tutupan Lahan DAS Sampean Tahun 2016

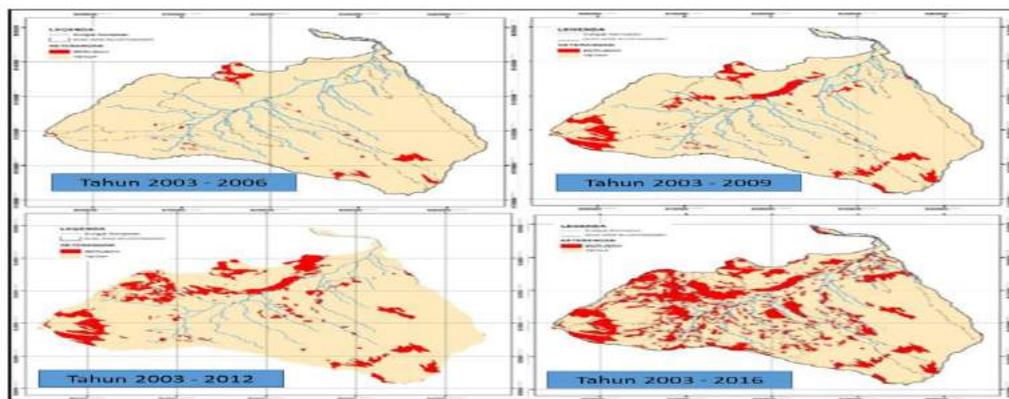
Tabel 1. Laju Perubahan Tutupan Lahan DAS Sampean Periode Tahun 2003-2016

No	Jenis Tutupan Lahan	Perubahan Tutupan Lahan			
		Thn. 2003 Ha	Thn. 2016 Ha	Total Perubahan Ha	%
1	Badan Air	12,02	12,02	0	0
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	19.211,53	13.510,42	-5.701,11	-29,68
3	Hutan Tanaman	26.662,63	30.320,14	3.657,51	13,72
4	Permukiman	1.627,99	8.229,57	6.601,58	405,50
5	Perkebunan	4.076,75	2.538,59	-1.538,16	-37,73
6	Pertanian Lahan Kering	18.581,00	24.944,60	6.363,60	34,25
7	Pertanian Lahan Kering Campur	6.838,88	7.869,22	1.030,34	15,07
8	Sawah	43.759,47	32.948,77	-10.810,71	-24,70
9	Semak Belukar	604,95	1.140,30	535,35	88,49
10	Tanah Terbuka	2.269,70	2.131,33	-138,37	-6,10

Sumber : Analisis Data BPDASHL Brantas-Sampean, 2020



Gambar 5. Tren Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2003, 2006, 2008, 2012, 2016 di DAS Sampean



Gambar 6. Tren Perubahan Tutupan Lahan di DAS Sampean Tahun 2003 – 2016

Pengolahan Data Hujan

Dalam penelitian ini menggunakan metode Rank Spearman untuk mengetahui apakah data hujan yang digunakan terdapat tren perubahan yang signifikan atau tidak. Apabila dalam data hujan yang digunakan selama 16 tahun menunjukkan adanya perubahan tren maka data tersebut tidak disarankan untuk digunakan dalam analisis hidrologi. Penggunaan metode Rank Spearman dalam perhitungan karena metode ini dapat digunakan untuk satu jenis variable hidrologi saja, dimana dalam hal ini yaitu hujan tahunan. Dibawah ini disajikan rekapitulasi hasil perhitungan Rank Spearman pada 32 stasiun hujan di DAS Sampean.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa data hujan periode Tahun 2002 – 2017 yang tercatat pada 32 Stasiun pencatatan curah hujan tidak terdapat trend, sehingga data hujan yang tersedia dapat digunakan untuk analisa hidrologi berikutnya. Selanjutnya yaitu melakukan perhitungan curah hujan wilayah menggunakan metode *polygon thiessen*. Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan disekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut.

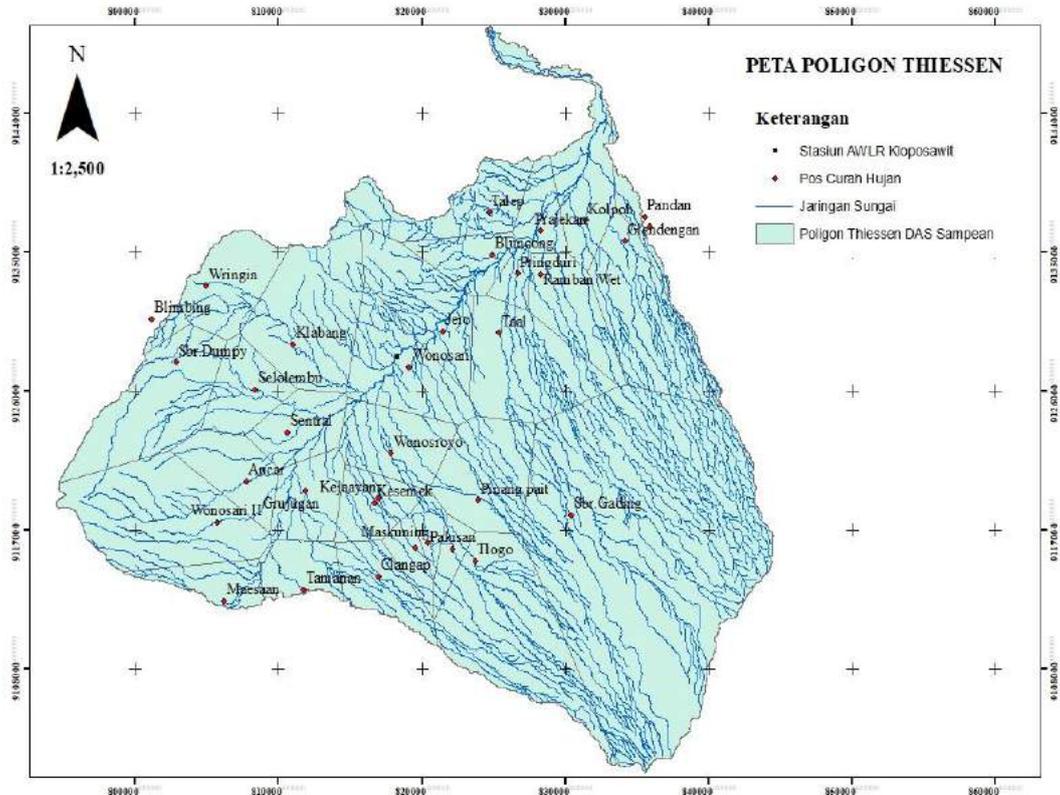
Pada Gambar 7 merupakan hasil penggambaran *polygon thiessen*, untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing stasiun hujan. Sehingga dapat dilakukan

pembobotan pengaruh stasiun hujan dan kemudian dikalikan dengan curah hujan harian pada stasiun hujan tersebut.

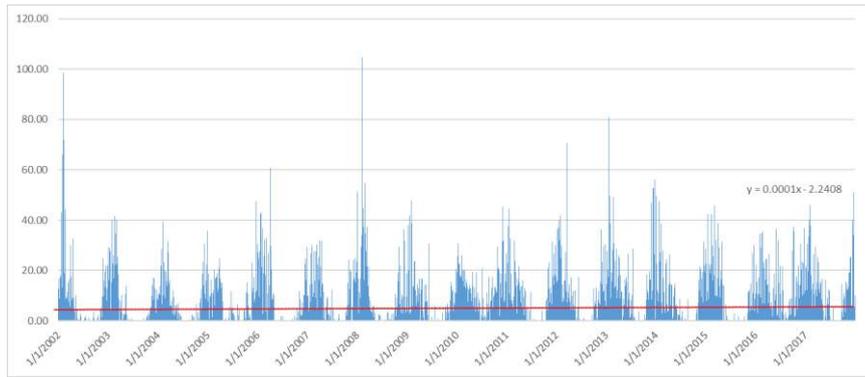
Tabel 2. Rekap perhitungan Rank Spearman pada 32 Stasiun Hujan di DAS Sampean

No	Stasiun Hujan	Nilai T		Kesimpulan	No	Stasiun Hujan	Nilai T		Kesimpulan
		Hitung	Tabel				Hitung	Tabel	
1	Maesan	-1,58	2,083	Diterima	17	Pakisan	-1,11	2,083	Diterima
2	Tamanan	-1,87	2,083	Diterima	18	Maskuning	-0,56	2,083	Diterima
3	Cilangap	-1,54	2,083	Diterima	19	Sbr. Dumpy	-1,87	2,083	Diterima
4	Wonosari II	-1,71	2,083	Diterima	20	Wringin	-0,69	2,083	Diterima
5	Ancar	-0,20	2,083	Diterima	21	Blimbing	0,02	2,083	Diterima
6	Grujugan	-0,62	2,083	Diterima	22	Taal	-1,84	2,083	Diterima
7	Kejayan	-1,67	2,083	Diterima	23	Jero	-1,87	2,083	Diterima
8	Sukokerto	-1,05	2,083	Diterima	24	Pandan	1,84	2,083	Diterima
9	Tlogo	-1,52	2,083	Diterima	25	Talep	1,35	2,083	Diterima
10	Wonosroyo	-1,20	2,083	Diterima	26	Prajejan	-0,25	2,083	Diterima
11	Sentral	-1,71	2,083	Diterima	27	Glendengan	0,37	2,083	Diterima
12	Selolembu	-1,39	2,083	Diterima	28	Ramban Wetan	1,53	2,083	Diterima
13	Klabang	-1,78	2,083	Diterima	29	Suling Wetan	1,65	2,083	Diterima
14	Pinang Pait	-1,03	2,083	Diterima	30	Bluncong	-0,46	2,083	Diterima
15	Sbr. Gading	-0,69	2,083	Diterima	31	Pringduri	0,38	2,083	Diterima
16	Kesemek	-1,78	2,083	Diterima	32	Kolpoh	1,55	2,083	Diterima

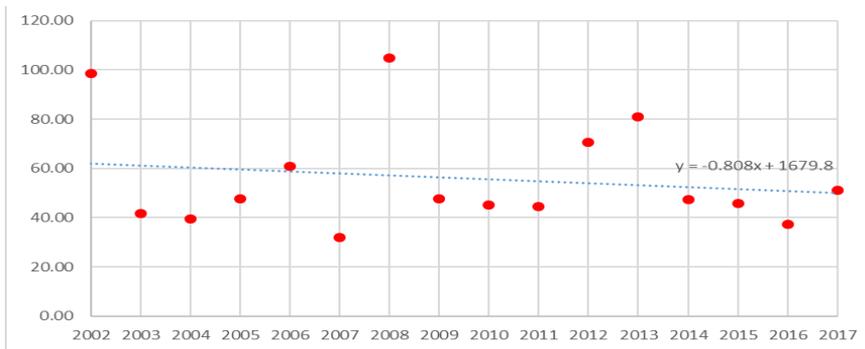
Sumber: Hasil Analisis, 2020



Gambar 7. Peta Pengaruh Sebaran Stasiun Hujan di DAS Sampean



Gambar 8. Grafik Curah Hujan Wilayah di DAS Sampean Tahun 2002 - 2016



Gambar 9. Curah hujan Wilayah Maksimum Tiap Tahun (2002 – 2017)

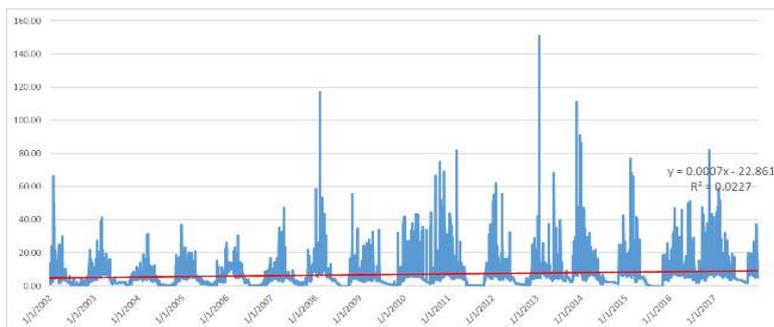
Berdasarkan data hasil analisis curah hujan wilayah selama 16 tahun data (tahun 2002 – 2017), diketahui curah hujan tertinggi terjadi pada Tahun 2002, 2008, 2012 dan 2013. Terjadi tren penurunan pada curah hujan maksimum tahunan wilayah pada DAS Sampean.

Pengolahan Data Debit

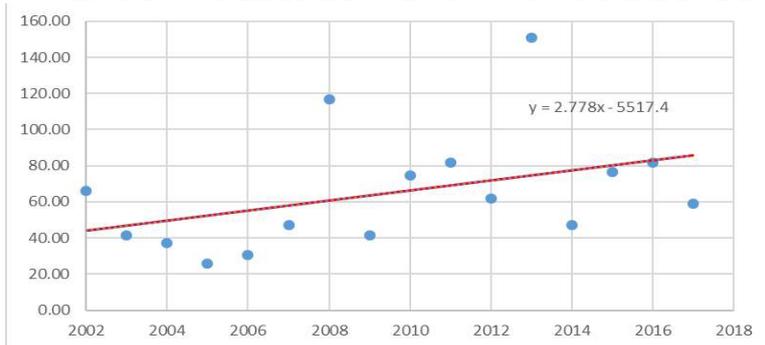
Data pengamatan debit ini bertujuan untuk mengetahui tren perubahan fluktuasi muka air sungai Sampean yang terjadi dalam kurun waktu data pencatatan selama enam belas tahun (Tahun 2002-2017), akibat adanya perubahan tutupan lahan yang terjadi pada DAS Sampean. Berdasarkan AWLR tercatat adanya perubahan aliran atau tinggi muka air sungai yang diakibatkan terjadinya perubahan tutupan lahan di wilayah DAS Sampean, khususnya hulu DAS Sampean yang menjadi *catchment area* AWLR.

Tren data debit pencatatan harian cenderung mengalami peningkatan dari Tahun 2002 -2017. Debit maksimum tahunan dari Tahun 2002- 2017 mengalami tren peningkatan dengan nilai debit maksimum tertinggi terjadi pada Tahun 2013 (150.85 m³/dt), Tahun 2008 (116.18 m³/dt), Tahun 2011 (81.85 m³/dt). Hasil kenaikan debit 16 (selama enam belas) tahun sebesar 4 m³/s, sedangkan berdasarkan data debit maksimum tahunan 16 (selama enam belas) tahun didapatkan kenaikan sebesar 42 m³/s. Berdasarkan penjelasan tersebut, dapat indikasi peningkatan debit di sungai Sampean benar terjadi.

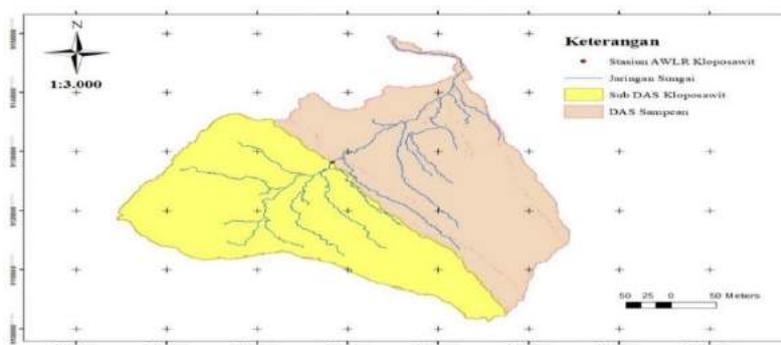
Pada Gambar 12 di bawah ini merupakan lokasi AWLR yang merupakan pos duga air yang data pengamatannya akan digunakan dalam proses kalibrasi pemodelan SWAT.



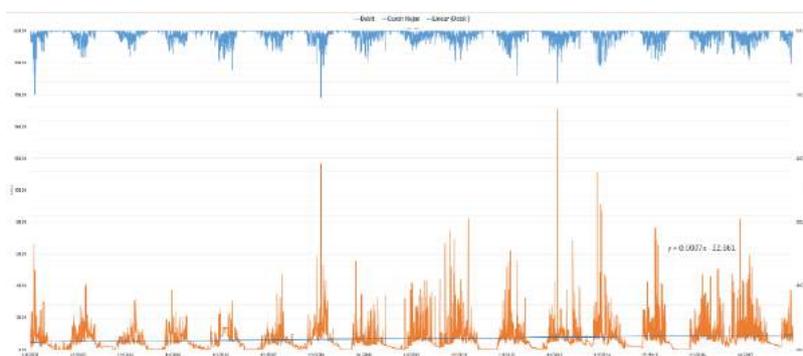
Gambar 10. Grafik Tren Data Debit Observasi Tahun 2002-2017



Gambar 11. Debit Maksimum Tahunan 2002-2017



Gambar 12. Lokasi AWLR dan SUB DAS



Gambar 13. Grafik Tren Data Curah Hujan dan Debit (Tahun 2002 – 2017)

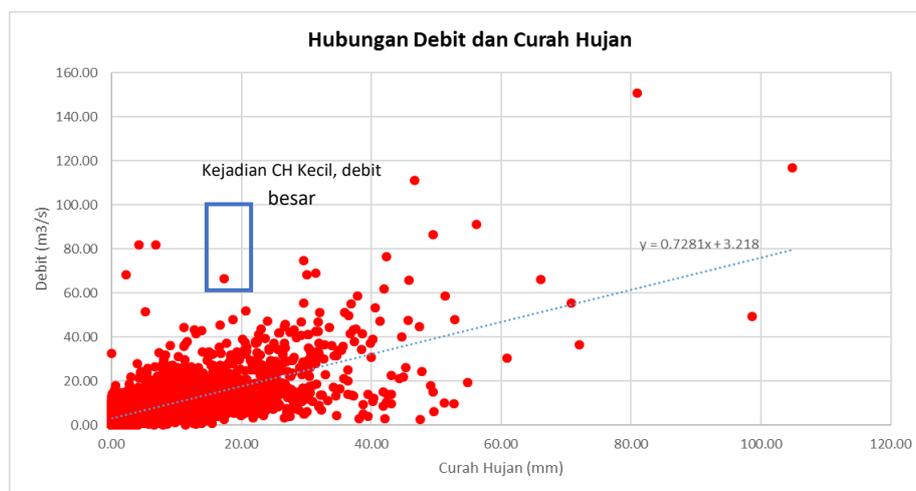
Hubungan Curah Hujan dan Debit

Hubungan hujan dan debit seharusnya memiliki hubungan yang berbanding lurus. Apabila nilai hujan yang turun di suatu wilayah meningkat tentu nilai debit yang dihasilkan akan meningkat, dengan catatan kondisi fisik daerah tangkapan sama. Saat nilai limpasan yang dihasilkan sama dengan nilai hujan yang turun (limpasan = hujan), ini berarti suatu wilayah tidak dapat meresapkan air dengan baik. Artinya semakin kecil limpasan yang dihasilkan dari suatu kejadian hujan semakin besar kapasitas resapan air suatu wilayah tangkapan. Diketahui Gambar 13 pada wilayah Sub DAS Sampean mengalami kecenderungan adanya peningkatan debit pada kondisi curah hujan maksimum dan curah hujan dengan intensitas sedang. Hal ini dapat diartikan wilayah DAS Sampean bagian hulu mengalami penurunan kemampuan untuk meresapkan air hujan. Berdasarkan Gambar 14 di bawah ini didapatkan hubungan antara debit dan curah hujan dengan persamaan $Y=0,7281X+3,218$ dimana nilai Y menunjukkan variabel debit dan X menunjukkan variabel curah hujan. Saat nilai konstanta di depan variabel hujan (X) semakin mengecil menunjukkan peningkatan hujan dan kapasitas resapan suatu daerah tangkapan, sedangkan saat nilai konstanta di depan

variabel semakin besar menunjukkan kapasitas resapan suatu daerah tangkapan menurun. Berdasarkan nilai konstanta di depan variabel hujan (x) pada persamaan yang didapatkan nilai sebesar 0,7281 yang berarti kapasitas resapan di DAS Sampean menurun. Didapati fenomena yang unik (Gambar 14) dimana terdapat kejadian debit besar dengan curah hujan wilayah yang kecil. Hal tersebut dapat diakibatkan adanya hujan lokal yang tidak tercatat oleh Pos Curah Hujan namun terjadi di DAS Sampean dan mengakibatkan debit yang tercatat meningkat. Hal ini dapat diindikasikan hujan terjadi tidak tersebar secara merata, sehingga tidak dapat dilakukan pembacaan curah hujan secara optimal.

Analisis Tren Perubahan Nilai Kurva Aliran (*Runoff Curve Number*)

Kondisi tutupan lahan Tahun 2016 diketahui nilai *Curve Number* (CN) lahan pemukiman merupakan nilai CN tertinggi yaitu 85, hal ini dikarenakan pada kondisi lahan pemukiman tidak mampu menginfiltrasi tanah, sehingga laju aliran permukaan pada area tersebut akan tinggi. Hasil perhitungan CN komposit pada kondisi tutupan lahan Tahun 2016 yaitu 70.01. Analisis perubahan nilai CN pada kondisi masing-masing data tutupan lahan di DAS Sampean pada Tabel 3.



Gambar 14. Grafik Hubungan Debit dan Curah Hujan

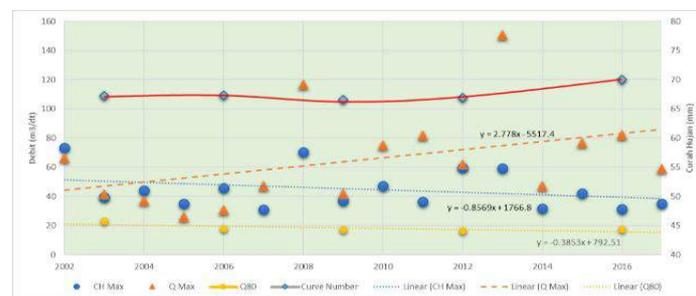
Tabel 3. Nilai CN Pada Masing-masing Jenis Tutupan Lahan di DAS Sampean

No	Jenis Tutupan Lahan	Tren Nilai CN				
		Th. 2003	Th. 2006	Th. 2009	Th. 2012	Th. 2016
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	58	59	55	55	55
2	Hutan Tanaman	60	60	61	62	67
3	Permukiman	78	78	78	78	85
4	Perkebunan	64	64	64	64	64
5	Pertanian Lahan Kering	83	83	83	79	81
6	Pertanian Lahan Kering Campur	75	75	64	74	75
7	Sawah	67	67	67	67	66
8	Semak Belukar	79	70	73	74	74
9	Tanah Terbuka	80	80	81	80	82

Sumber : Hasil Analisis, 2020



Gambar 15. Tren Nilai CN Komposit



Gambar 16. Hubungan CH Max, Debit Max, CN dan Q80

Pada Tahun 2009 terjadi penurunan nilai CN komposit, hal ini dikarenakan adanya program reboisasi lahan pada kawasan hutan lahan kering sekunder, sehingga menambah luasan lahan kawasan hutan.

Peningkatan kebutuhan pemukiman berdampak pada kemampuan tanah untuk menyerap air (infiltrasi) menjadi sangat rendah, dan mengakibatkan nilai CN berubah lebih tinggi. Hal ini terbukti pada tren nilai CN komposit di Tahun 2016. Nilai CN pada Tabel 3 akan digunakan dalam proses kalibrasi pada pemodelan SWAT.

Hubungan Curah Hujan, Debit Observasi, Curve Number dan Debit Andalan (Q80)

Dilihat dari data tutupan lahan yang terjadi selama kurun waktu Tahun 2003-2016 telah mengalami perubahan tutupan lahan pada DAS Sampean.

Perubahan tutupan lahan mampu mempengaruhi keadaan hidrologi pada DAS Sampean, hal ini teridentifikasi dari data pengamatan curah hujan dan debit yang mengalami perlawanan tren data pada masing-masing data pencatatan maksimum dalam satu

tahun. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 16 di bawah ini.

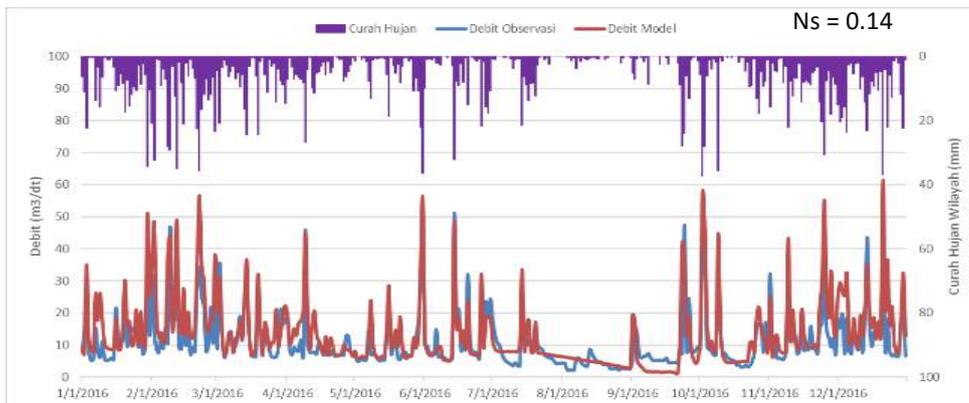
Grafik diatas, mengidentifikasi besarnya debit maksimum tahunan yang terjadi cenderung meningkat. Namun disini lain curah hujan maksimum tahunan terjadi penurunan tren data. Hal ini dapat dijadikan hipotesa bahwa, peningkatan debit yang terjadi akan sejalan dengan perubahan tutupan lahan pada suatu wilayah, yang ditandai dengan adanya peningkatan nilai kurva aliran (curve number) dan terjadi penurunan terhadap debit andalan Q80 pada tahun data tutupan lahan.

Perubahan tutupan lahan yang terjadi pada peningkatan luasan tutupan lahan yang kurang mampu bahkan tidak menyerap air hujan, dapat mengakibatkan meningkatnya limpasan permukaan pada suatu DAS. Limpasan yang terjadi akan berpengaruh terhadap debit aliran sungai. Limpasan yang

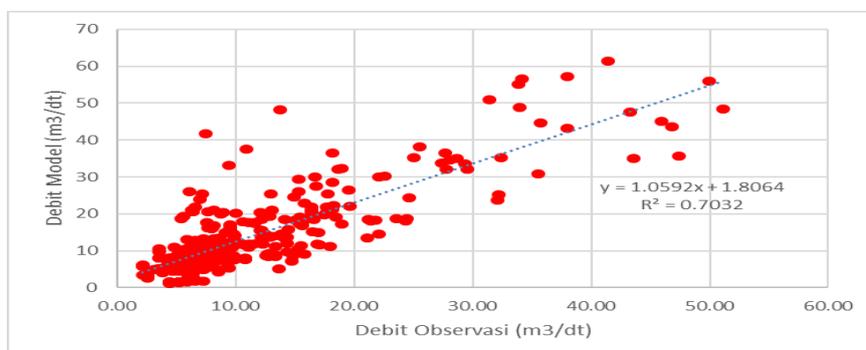
tinggi akan memperbesar debit aliran sungai. Meskipun disini lain peningkatan curah hujan juga sangat berpengaruh terhadap besarnya debit limpasan yang terjadi (Maward, 2010).

Hasil Pemodelan SWAT

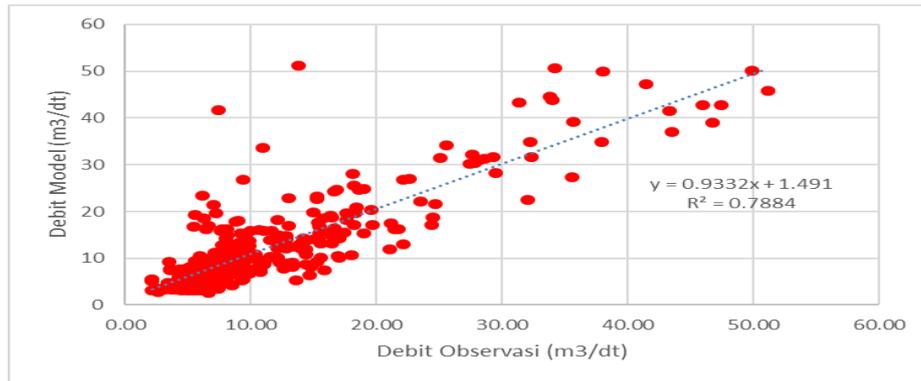
Hasil analisis model SWAT diperoleh data debit air sungai di lokasi outlet pengukuran yang telah ditetapkan dalam pemodelan SWAT. Hubungan antara debit hasil model SWAT dengan hasil pengukuran (observasi) ditunjukkan dengan nilai efisiensi *Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)*, dan koefisien determinasi (R^2). Pemodelan dilakukan dengan pemodelan debit harian pada Tahun 2016. Perbandingan debit model (simulasi) dengan debit pengukuran (observasi) sebelum dilakukan kalibrasi berdasarkan hasil analisa model SWAT disajikan pada Gambar 17 berikut ini.



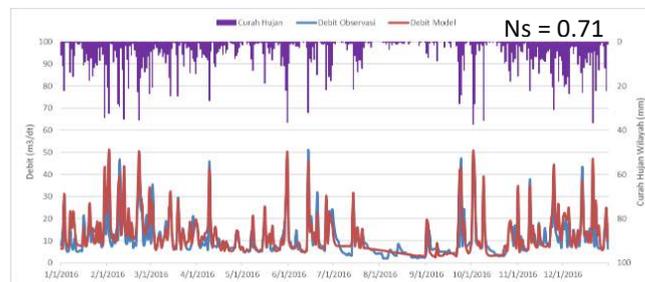
Gambar 17. Grafik Sebelum Kalibrasi (Hasil Analisa ArcSWAT) Kondisi Tutupan Lahan Tahun 2016



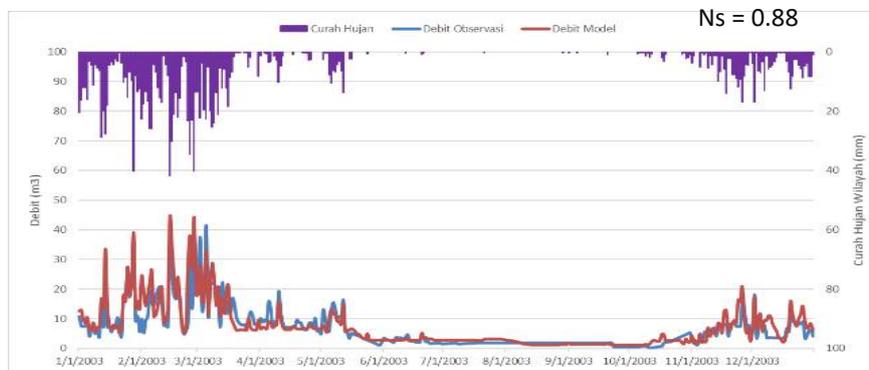
Gambar 18. Scatter plot Sebelum Kalibrasi (Model Kondisi Tutupan Lahan Tahun 2016)



Gambar 19. Kalibrasi Model Tutupan Lahan Kondisi Tahun 2016



Gambar 20. Grafik Setelah Kalibrasi Model Tutupan Lahan Kondisi Tahun 2016



Gambar 21. Grafik Setelah Validasi Model Tutupan Lahan Kondisi Tahun 2016

Data peta tutupan lahan Tahun 2016, data curah hujan dan klimatologi Tahun 2014 – 2017 yang telah dianalisis sesuai kebutuhan pemodelan SWAT. Pada Gambar 17 di atas terlihat pola garis hasil model yang dihasilkan belum memiliki kesamaan dengan pola garis hasil pengukuran lapangan (observasi). Hasil simulasi model sebelum dikalibrasi menunjukkan nilai NS = 0.14 yang artinya

kurang memuaskan dan hubungan Koefisien deterministik atau *R square* antara debit model hasil simulasi dengan debit pengukuran.

Nilai koefisien deterministik $R^2=0,7032$, seperti ditunjukkan pada Gambar 18. Hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa hasil simulasi model masih jauh dari kondisi yang sebenarnya di lapangan sehingga perlu dilakukan proses kalibrasi.

Kalibrasi dilakukan dengan tujuan agar keluaran model sesuai dengan yang ada di lapangan.

Kalibrasi Model

Kalibrasi merupakan proses pemilihan kombinasi parameter guna meningkatkan koherensi antara respon hidrologi yang diamati dengan hasil simulasi. Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi suatu model dapat berbeda antar suatu DAS, karena setiap DAS memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Menurut Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial (Bina & Das, 2015) pada umumnya parameter sensitif terhadap debit aliran pada program ArcSWAT terdiri dari CN2, ESCO, GWQMN, ALPHA_BF, GWDELAY, CH_N2, dan CH_K2. Pada penelitian ini dilakukan kalibrasi manual atau penyesuaian nilai parameter menggunakan metode *trial and error*. Nilai koefisien deterministik R^2 (0,788) mendekati 1 artinya hubungan antara debit hasil model (prediksi) dengan debit hasil pengukuran (observasi) sangat erat. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan diperoleh nilai efisiensi (NSE) menunjukkan nilai 0,71. termasuk kriteria sangat baik.

Hasil kalibrasi tersebut nilai NSE menunjukkan tingkat performa sangat baik, maka nilai parameter optimal tersebut dapat digunakan untuk proses validasi pada tahun lainnya.

Validasi Model

Validasi model merupakan proses yang dilakukan untuk menilai tingkat ketidakpastian suatu model. Validasi dilakukan dengan menjalankan model menggunakan parameter optimum yang digunakan dalam kalibrasi dan membandingkannya dengan data observasi. Validasi dilakukan pada data tutupan lahan Tahun 2003. Hal tersebut dilakukan untuk melihat keakuratan model SWAT pada tahun lainnya. Proses validasi menghasilkan nilai (NSE) dan koefisien determinasi (R^2). Hasil

tersebut menunjukkan hubungan antara debit model dengan debit observasi yang erat, sehingga model dapat dikatakan valid.

Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Sungai Sampean

Perubahan tutupan lahan yang terjadi pada suatu DAS dapat merubah respon hidrologi DAS tersebut (Nugroho et al., 2018). Perubahan tutupan lahan DAS Sampean pada Tahun 2003 sampai tahun 2016 berpengaruh terhadap total air (WYLD), aliran dasar (GW_Q), dan aliran permukaan (SUR_Q) serta Qmax dan Qmin. Selain itu juga berpengaruh terhadap fluktuasi debit DAS Sampean antara lain debit maksimum dan debit minimum. Tabel 4 di bawah ini menunjukkan pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap debit di Sungai Sampean dalam periode Tahun 2003-2016. Penurunan lahan sawah, diikuti dengan peningkatan lahan pertanian lahan kering, dan pemukiman selama Tahun 2003-2016 telah berpengaruh terhadap kondisi debit Sungai Sampean. Aliran permukaan (SUR_Q) Tahun 2003 menunjukkan 582.60 mm meningkat menjadi 618.24 mm. Aliran permukaan meningkat sebesar 35.81 mm (6.12%). Peningkatan juga terjadi pada total air sungai (WYLD) sebesar 114 mm (8.08%). Penurunan terjadi pada aliran dasar sebesar 104.99 mm (26.46%), semula aliran dasar pada Tahun 2003 sebesar 396.50 mm menurun menjadi sebesar 291.57 mm pada Tahun 2016. Perubahan tutupan lahan juga berpengaruh terhadap fluktuasi debit aliran DAS Sampean. Perubahan penggunaan lahan sawah menjadi lahan pertanian kering, dan pemukiman berpengaruh terhadap peningkatan debit maksimum dan peningkatan sedikit debit minimum. Pada dasarnya dapat disimpulkan bahwa bentuk penggunaan lahan pada suatu daerah sangat mempengaruhi besaran debit sungai. Namun debit bukan satu-satunya ukuran dalam menentukan pola penggunaan lahan optimum pada suatu DAS (Setyowati, 2010). Parameter

lain yang menjadi pertimbangan antara lain nilai erosi, kualitas air, beban sedimen, pertimbangan ekonomi, sosial budaya, politik dan lain sebagainya (Mubarak et al., 2014)

Hubungan Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Aliran Hasil korelasi pearson menggunakan aplikasi SPSS (Statistical Product and Service Solutions) yang bertujuan bertujuan untuk mengetahui hubungan antara perubahan tutupan lahan yang terjadi terhadap debit aliran. menunjukkan pada jenis tutupan lahan yang memiliki hubungan dengan perubahan debit yang terjadi di DAS Sampean.

Korelasi Pearson antara debit (Y) dengan variabel hutan lahan kering sekunder, hutan tanaman, perkebunan, pertanian lahan kering campuran dan sawah berkorelasi negatif. Artinya, setiap adanya peningkatan luas lahan tersebut akan menyebabkan penurunan debit aliran. Sebaliknya pemukiman, pertanian lahan kering, semak/belukar dan tanah terbuka berkorelasi

positif terhadap besarnya debit aliran sehingga bila terjadi peningkatan luas tutupan lahan tersebut akan meningkatkan pula terjadinya debit aliran. \

Arahan Peta Rencana Pola Ruang Kabupaten Bondowoso Peta Rencana Pola Ruang yang dituangkan didalam RTRW Kabupaten Bondowoso Tahun 2011-2031 (Bappeda Kabupaten Bondowoso, 2011). Bagian hulu DAS Sampean, dilakukan pengecekan kesesuaian lahan eksisting terhadap rencana tata ruang wilayah yang telah ditetapkan berdasarkan peta pola ruang rencana.

Hal ini bertujuan agar dapat dilakukan pengendalian apabila kondisi lahan eksisting telah mengalami perubahan atau tidak sesuai dengan rencana tata ruang. Kondisi hidrologi pada kondisi peta rencana pola ruang RTRW Kabupaten Bondosowo dapat diketahui dengan analisis SWAT pada Tabel 7.

Tabel 4. Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Aliran Sungai Sampean

Tahun	Curah Hujan (mm)	Aliran Permukaan (SUR_Q)	Aliran Dasar (GW_Q)	Total Air Sungai (WYLD)	Q Max (m ³ /dt)	Q Min (m ³ /dt)
2003	1.539,45	582,43	396,56	1.412,47	44,27	1,00
2016	2.357,29	618,24	291,57	1.526,47	60,20	1,14

Sumber: Hasil Analisis SWAT, 2020

Tabel 5. Output Korelasi Pearson menggunakan SPSS

	Debit	Hutan Lahan Kering Sekunder	Hutan Tanaman	Pemukimar	Perkebunan	Pertanian Lahan Kering	Pertanian Lahan Kering Campuran	Sawah	Semak/ Belukar	Tanah Terbuka
Debit Pearson Correlator	1	-.148	-.152	.750	-.301	.951 [*]	-.613	-.702	.155	.410
Sig.(2-taile		.812	.812	.144	.622	.013	.272	.187	.803	.493
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Sumber: Hasil Analisis menggunakan SPSS, 2020

Tabel 6. Perbedaan Luas Jenis Tutupan Lahan Rencana Pola Ruang dan Kondisi Tahun 2016

No	Jenis Tutupan Lahan	Luas Tutupan Lahan (Ha)	Perbedaan Luas
----	---------------------	-------------------------	----------------

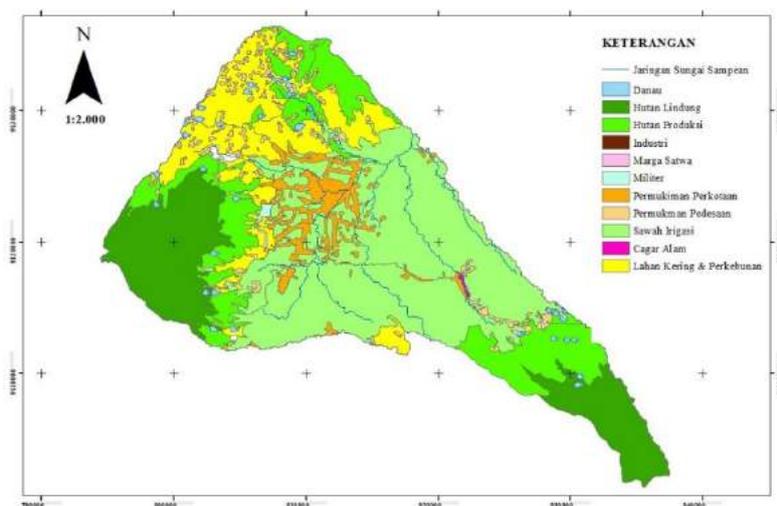
	Pola Ruang	Tutupan Lahan	Pola Ruang	Tahun 2016	Luas (Ha)	Luas (%)
1	Danau					
2	Hutan Sekunder	Hutan Lahan Kering Sekunder				
3	Marga Satwa			5660,73	-6220,28	-52,35
4	Cagar Alam			41,42		
5	Hutan Produksi	Hutan Tanaman				
6	Industri			281,06		
7	Militer			93,88		
8	Permukiman Perkotaan	Permukiman		3091,35	5877,01	-1175,26
9	Permukiman Perdesaan			3585,98		16,66
10	Sawah			415,18		
11	Sawah Irigasi	Sawah		25926,39	20359,5	-5982,4
		Pertanian				
12	Lahan Kering & Perkebunan	Lahan Kering, Campuran Perkebunan				
				9712,29	13829,7	4117,47
13	-	Semak/belukar		791,21	-	-
14	-	Tanah Terbuka		274,82	-	-
	Total			67988,48	67988,4	

Sumber: Hasil Analisis, 2020

Tabel 7 Kondisi Hidrologi Berdasarkan Rencana Pola Ruang di Hulu DAS Sampean

Tahun	Curah Hujan (mm)	Aliran Permukaan (SUR_Q)	Aliran Dasar (GW_Q)	Total Air Sungai (WYLD)	Q Max (m ³ /dt)	Q Min (m ³ /dt)	Nilai CN Komp osit
Rencana Pola Ruang	2357,29	534,56	545,41	1452,39	54,74	1,49	68,98

Sumber: Analisis Data, 2019



Gambar 21 Peta Rencana Pola Ruang Lingkup Hulu DAS Sampean

Berdasarkan hasil Analisa diatas, dapat diketahui adanya penurunan nilai CN komposit pada hulu DAS Sampean menjadi 68.98, sedangkan pada kondisi eksisting di tahun 2016 sebesar 70.01.

Hal ini berarti kondisi tutupan lahan di DAS Sampean pada kondisi eksisting tahun 2016, telah tidak sesuai dengan arahan peta rencana pola ruang yang telah ditetapkan.

SIMPULAN

Perubahan tutupan lahan DAS Sampean periode tahun 2003 – 2016, telah terjadi alih fungsi lahan di berbagai jenis tutupan lahan. Perubahan yang cukup signifikan terjadi pada lahan sawah, di mana terjadi penurunan sebesar 10.810,71 hektar. Hal ini mengindikasikan terjadinya peningkatan pada jenis tutupan lahan lain. Perubahan terbesar kedua terjadi pada lahan permukiman di mana terjadi penambahan luas sebesar 6.601,58 hektar. Penambahan luas pada lahan permukiman menunjukkan adanya peningkatan jumlah penduduk di wilayah DAS Sampean. Perubahan terbesar ketiga adalah jenis tutupan pertanian lahan kering yang mengalami peningkatan sebesar 6.363,60 hektar. Didapatkan hasil kenaikan debit 16 (selama enam belas tahun) sebesar 4 m³/s. Sedangkan berdasarkan data debit maksimum tahunan selama enam belas tahun didapatkan kenaikan sebesar 42 m³/s, sedangkan kondisi curah hujan yang tercatat dari tahun 2002 - 2017 pada wilayah DAS Sampean mengalami tren penurunan. Selama periode tahun 2003 - 2016 terjadi peningkatan aliran permukaan (SUR_Q) sebesar 35.81 mm (6.12%). Peningkatan juga terjadi pada total air sungai (WYLD) sebesar 114 mm (8.08%). Penurunan terjadi pada aliran dasar sebesar 104.99 mm (26.46%). Penurunan aliran dasar diindikasikan karena kemampuan infiltrasi lahan yang menurun sehingga lahan tidak mampu menyerap air secara maksimal pada musim hujan dan mengeluarkan sebagai aliran dasar (*baseflow*) pada musim kemarau.

Adanya penurunan nilai CN komposit pada hulu DAS Sampean menjadi 68.98 pada kondisi pola ruang RTRW Kabupaten Bondowoso, sedangkan pada kondisi eksisting di tahun 2016 sebesar 70.01. Hal ini berarti kondisi tutupan lahan di DAS Sampean pada kondisi eksisting tahun 2016, telah tidak sesuai dengan arahan peta rencana pola ruang yang telah ditetapkan. Penurunan nilai CN komposit juga mengakibatkan perubahan pada parameter karakteristik hidrologi lainnya di DAS Sampean seperti aliran permukaan, total air sungai Q max yang menurun, sedangkan aliran dasar dan Q min mengalami peningkatan DAS Sampean berperan dalam pemenuhan kebutuhan air masyarakat Kabupaten Bondowoso, terutama dalam pemenuhan air untuk kebutuhan irigasi. sehingga dalam pengelolaan daerah hulu DAS Sampean perlu diantisipasi terhadap perubahan tutupan lahan yang masif, yang dapat mempengaruhi fluktuasi debit aliran sungai Sampean.

DAFTAR PUSTAKA

- Altman, D. G., & Crc, H. (2007). Medical research. In *Public Health* (Vol. 51, Issue C, pp. 199–200). [https://doi.org/10.1016/S0033-3506\(37\)80071-2](https://doi.org/10.1016/S0033-3506(37)80071-2)
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai [Hydrology and Watershed Management]* (5th ed.). UGM Press.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). *Klasifikasi Penutup Lahan. Sni 7654, 2010*, 1–28.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. (2020). *Data jumlah Penduduk Kabupaten Bondowoso 1998-2019*. Surabaya.
- Bappeda Kabupaten Bondowoso, (2011). *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bondowoso 2011-2031*. Bondowoso.
- Bina, D. J., & Das, A. P. (2015). *Pemanfaatan*

- Model Hidrologi dalam Pengelolaan DAS.*
- D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, & T. L. Veith. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- El-Sadek, A., & Irvem, A. (2014). Evaluating the impact of land use uncertainty on the simulated streamflow and sediment yield of the Seyhan River basin using the SWAT model. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(4), 515–530. <https://doi.org/10.3906/tar-1309-89>
- Halik, G., Wahyuni, S., Sipil, J. T., Jember, U., Sipil, J. T., Jember, U., Sipil, J. T., & Jember, U. (2010). 2 . *TINJUAN PUSTAKA Teknologi Penginderaan Jauh*. 4(KoNTekS 4), 2–3.
- Kusuma, M. S. B., Kuntoro, A. A., & Silasari, R. (2011). Preparedness Effort toward Climate Change Adaptation in Upper Citarum River Basin, West Java, Indonesia. *Society for Social Management Systems Internet Journal*, 7(1). <https://core.ac.uk/download/pdf/59110673.pdf>
- Maward, I. (2010). Daya Dukung Sumber Daya Air di Pulau Jawa. 5(2), 1–11.
- Mubarok, Z., Anwar, S., Murtiaksono, K., & Wahjunie, E. D. (2014). Skenario Perubahan Penggunaan Lahan Di Das Way Betung Sebuah Simulasi Karakteristik Hidrologi Menggunakan Model SWAT. In *Pengelolaan DAS Terpadu Untuk Kesejahteraan Masyarakat*.
- Nugroho, S. P., Tarigan, S. D., & Hidayat, Y. (2018). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Dan Debit Aliran Di Sub Das Cicitih. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2), 258–263. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.2.258-263>
- Setyowati, D. L. (2010). Hubungan Hujan dan Limpasan Pada Sub DAS Kecil Penggunaan Lahan Hutan, Sawah, Kebun Campuran di DAS Kreo. *Forum Geografi*, 24(1), 39. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v24i1.5014>
- Ullrich, A., & Volk, M. (2009). Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity. *Agricultural Water Management*, 96(8), 1207–1217. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.010>
- Winchell, M., Srinivasan, R., Di Luzio, M., & Arnold, J. (2013). ArcSWAT Interface For SWAT2012: User’s Guide. *Texas Agricultural Experiment Station and United States Department of Agriculture, Temple, TX*.

PENGEMBANGAN HIETOGRAF HUJAN RENCANA DI KOTA BEKASI

THE DEVELOPMENT OF PLANNING RAINFALL HYETOGRAPH IN BEKASI CITY

Segel Ginting

Balai Teknik Irigasi, Direktorat Irigasi dan Rawa, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air
gintingsegel@gmail.com

Abstrak

Hietograf hujan rencana memiliki pengaruh signifikan dalam menentukan besarnya puncak dan volume banjir. Umumnya, prediksi banjir berdasarkan hujan rencana dibutuhkan hietograf hujan, dan biasanya dipenuhi dengan menggunakan pola yang dihasilkan dari wilayah lain, sehingga memberikan hasil yang kurang tepat. Untuk itu, maka dibutuhkan pola hietograf yang sesuai dengan kondisi setempat, khususnya di Kota Bekasi. Kajian ini bertujuan untuk mengembangkan pola hietograf hujan rencana di Kota Bekasi, supaya membantu perencana dalam merencanakan dimensi saluran drainase yang tepat. Berbagai variasi tipe data hujan dibutuhkan untuk kajian. Data hujan durasi pendek dengan interval pencatatan 5 menit berhasil dikumpulkan. Data tersebut diolah menjadi data hujan durasi 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 1 jam sampai dengan 3 jam. Metode menggunakan analisis statistik terhadap data historis dengan membentuk grafik yang menghubungkan antara persentase akumulasi hujan ($\frac{P}{P_x}$) dengan persentase durasi hujan ($\frac{t}{t_d}$). Hasilnya, telah terbentuk pola hietograf di Kota Bekasi untuk durasi 60 menit sampai 180 menit. Pola hietograf yang dihasilkan memiliki bentuk early peak dan berbeda dengan pola distribusi hujan yang telah banyak digunakan seperti metode Mononobe, metode Chicago, metode SCS dan metode Huff.

Kata Kunci: *hietograf hujan rencana, distribusi waktu hujan, drainase perkotaan, lengkung intensitas*

Abstract

The design storm hyetograph has a significant influence in determining the peak and volume of floods. Generally, time distribution (synthetic hyetograph) is necessary for flood and it is usually fulfilled using patterns generated from other areas, thus giving imprecise results. For this reason, a hyetograph pattern is needed that is in accordance with local conditions, especially in Bekasi City. This study aims to develop a design storm hyetograph pattern in Bekasi City, to help planners in planning the proper drainage dimensions. Various types of rainfall data are required for the study. Short duration rainfall data with a recording interval of 5 minutes were collected. The data is processed into rainfall data for 5 minutes, 10 minutes, 15 minutes, 30 minutes, and 1 to 3 hours in duration. The method uses statistical analysis of historical data by created graphical that connects the percentage of accumulated rainfall (P/P_x) with the percentage of rainfall duration (t/t_d). As a result, a hyetograph pattern has been formed in Bekasi City for 60 to 180 minutes in duration. The resulting hyetograph pattern has an early peak shape and is different from the rainfall distribution patterns that have been widely used such as the Mononobe method, Chicago method, SCS method and Huff method.

Keywords: *design storm hyetograph, time distribution, urban drainage, intensity duration frequency*

PENDAHULUAN

Distribusi waktu hujan (hietograf) memiliki pengaruh signifikan terhadap proses hidrologi dalam menentukan besarnya puncak banjir dan volume banjir. Umumnya, dalam rangka untuk melakukan prediksi debit banjir berdasarkan hujan rencana, diterapkan distribusi waktu hujan yang dihasilkan dari wilayah lain. Genovez (2003) dan Mello, *et.al.* (2003) dalam Back (2011) menyatakan bahwa distribusi waktu hujan rencana harus diperoleh dari data yang diamati di lokasi setempat.

Masalah umum yang terkait dengan pemilihan distribusi waktu hujan rencana adalah rangkaian data observasi yang tersedia terbatas untuk menurunkan lengkung intensitas (Back, 2011). Oleh karena hal tersebut, maka sering menggunakan pendekatan dari daerah lain. Seperti yang didiskusikan oleh Pilgrim dan Cordery (1975) bahwa pendekatan untuk menurunkan pola distribusi waktu hujan dapat dibagi dalam 3 kategori yaitu (i) pola distribusi yang sewenang-wenang (*arbitrary temporal patterns*), (ii) berdasarkan kurva lengkung intensitas (IDF) dan (iii) berdasarkan data historis kejadian hujan ekstrim.

Pendekatan berdasarkan kurva IDF telah banyak dikritisi oleh para investigator investigator karena pola yang dihasilkan tersebut tidak realistis dan tidak menggambarkan karakteristik kejadian hujan yang sebenarnya. Pendekatan yang lebih rasional dan salah satu yang diistimewakan oleh para investigator adalah mendefinisikan pola distribusi waktu hujan berdasarkan kejadian hujan historis, namun prosedur untuk menentukan informasi yang relevan dari kejadian hujan historis belum dapat ditentukan secara baik. Menurut Marsalek and Watt (1984) terdapat 11 pendekatan yang dapat digunakan untuk menurunkan distribusi hujan rencana dan mengusulkan untuk perencanaan drainase di Kanada dengan menggunakan 2 tipe yaitu: pendekatan *uniform intensity storm* yang digunakan dalam metode rasional dan

variasi intensitas hujan (*varying rainfall intensity*).

Di daerah Slovenia, Dolšak, *et.al* (2016) telah melakukan analisis berdasarkan pada kurva Huff (1967) dan menunjukkan hasilnya bahwa variabilitas kurva Huff (1967) menurun seiring dengan meningkatnya durasi curah hujan. Sementara, Back (2011) melakukan kajian terhadap hujan ekstrim di Urussanga, Santa Catarina dan menunjukkan hasil dimana tipe distribusi hujan (berhubungan dengan kurva Huff) yang terjadi lebih sering Tipe I sekitar 42 % dan selanjutnya diikuti tipe II sekitar 31,1 %, tipe III sekitar 18% dan tipe IV sekitar 17,6%. Kejadian hujan ekstrim untuk tipe I dan tipe II lebih sering terjadi pada musim panas dan tipe III dan tipe IV terjadi sepanjang tahun.

Melihat kondisi di atas, maka pola distribusi waktu hujan rencana (hietograf) lebih baik menggunakan data kejadian hujan historis. Oleh karena itu, maka dilakukan pengembangan pola hietograf hujan rencana di Kota Bekasi, supaya dapat membantu para perencana dalam menentukan dimensi drainase perkotaan.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan dan Pengolahan Data

Kajian ini memerlukan berbagai variasi tipe data hujan agar dapat memberikan gambaran terkait dengan pola hietograf di Kota Bekasi. Data hujan yang dikumpulkan adalah data hujan durasi pendek dengan periode pencatatan 5 menit yang bersumber dari pos hujan otomatis. Kejadian hujan ekstrim yang dipilih tidak mengikuti kriteria yang didefinisikan oleh Huff (1967) yaitu suatu kejadian hujan ekstrem yang idenpenden memiliki distribusi hujan yang kontinu dan dipisahkan dengan minimal 6 jam sebelum dan sesudah kejadian hujan yang lainnya. Definisi yang dikemukakan oleh Huff ini belum dapat diadopsi dalam kajian ini karena pola distribusi waktu hujan yang dikembangkan hanya maksimal sampai dengan 3 jam. Dengan

demikian, maka kejadian hujan ekstrim yang didefinisikan dalam kajian ini adalah kejadian hujan yang terpisah minimal 60 menit sebelum dan sesudah kejadian hujan lainnya. Sementara total kedalaman hujan minimal yang dipilih menggunakan persamaan berikut (Back., 2011):

$$P_{min} = 8.9914D^{0.2466} \quad (1)$$

dengan keterangan:

P_{min} : curah hujan minimal (mm)

D : durasi hujan (menit)

Desain Hietograf Hujan Rencana

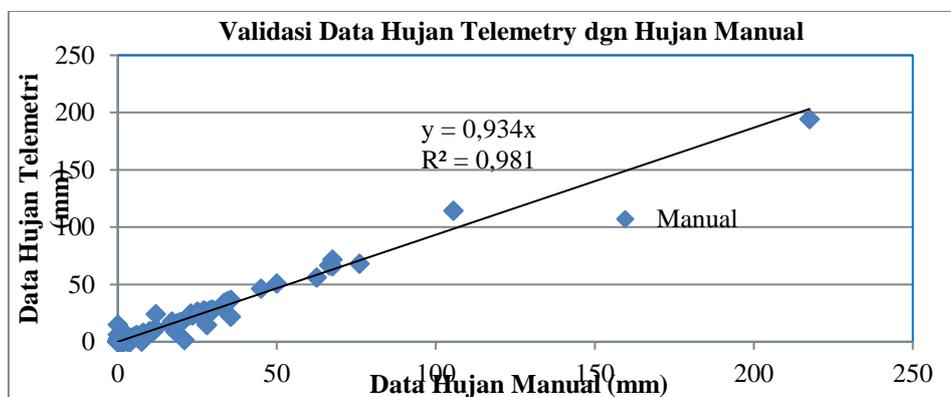
Distribusi waktu hujan atau desain hietograf dapat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu diturunkan dari Kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) dan dari analisis data kejadian hujan historis. Distribusi Waktu Hujan atau Desain Hietograf berdasarkan IDF dapat menggunakan metode ABM (*Alternating Block Method*). Metode ini banyak digunakan di Indonesia karena keterbatasan data. Metode IDF yang sering digunakan adalah Metode Mononobe karena penggunaannya lebih praktis dan kebutuhan data yang mudah tersedia. Desain hietograf berdasarkan analisis data kejadian hujan historis jarang digunakan karena membutuhkan data kejadian hujan interval kecil (minimum jam-jaman). Metode ini lebih sesuai karena berdasarkan data yang diamati. Hasil Studi Hershfield (1962) dan Huff (1967)

merupakan salah satu hasil pendekatan yang dilakukan berdasarkan kejadian data hujan historis. Dalam rangka untuk mendesain hietograf hujan atau distribusi waktu kejadian hujan, maka akan dikonstruksi berdasarkan data historis kejadian hujan ekstrim dan selanjutnya akan dikomparasi dengan metode-metode yang telah tersedia yang bersumber dari kajian dari daerah lain. **Distribusi waktu hujan** atau **hietograf** dinyatakan dalam bentuk grafik yang menghubungkan antara *persentase akumulasi hujan* ($\frac{P}{P_{max}}$) dengan *persentase durasi hujan* ($\frac{t}{t_d}$) sehingga penggunaannya dapat lebih luas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketersediaan dan *Screening* Data

Data hujan yang dikumpulkan adalah data hujan durasi pendek dengan periode pencatatan 5 menit yang bersumber dari pos hujan otomatis. Data hujan otomatis dengan periode pencatatan 5 menit dikumpulkan dari pos hujan di Kantor Balai Litbang Irigasi, Bekasi dari tahun 2008 s/d 2020. Sebelum data otomatis tersebut diolah, terlebih dahulu dipilih (*screening*) untuk mendapatkan data hujan dengan kualitas yang baik. *Screening* data dilakukan dengan membandingkan data hujan otomatis harian dengan pengamatan data hujan manual. Hasil perbandingan kedua data tersebut menunjukkan hasil seperti pada Gambar 1.

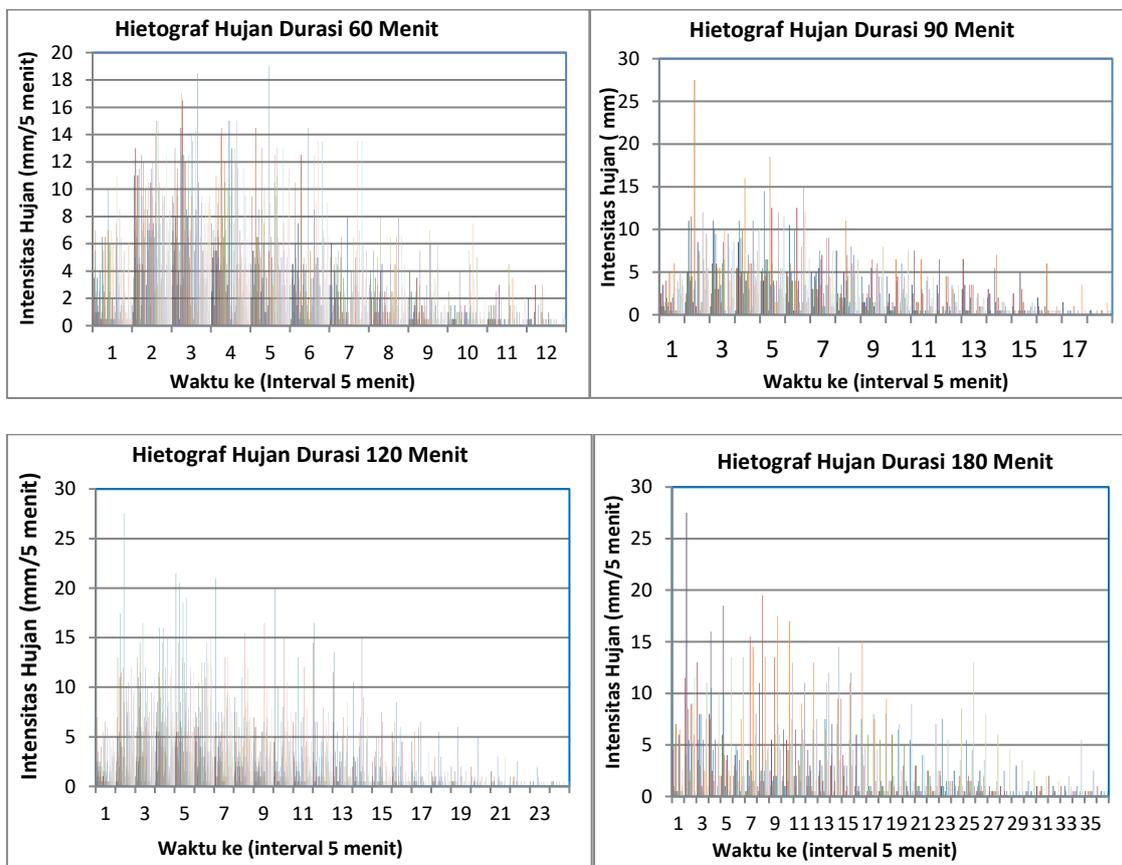


Gambar 1. Hasil validasi data antara hujan manual dengan hujan otomatis (telemetri).

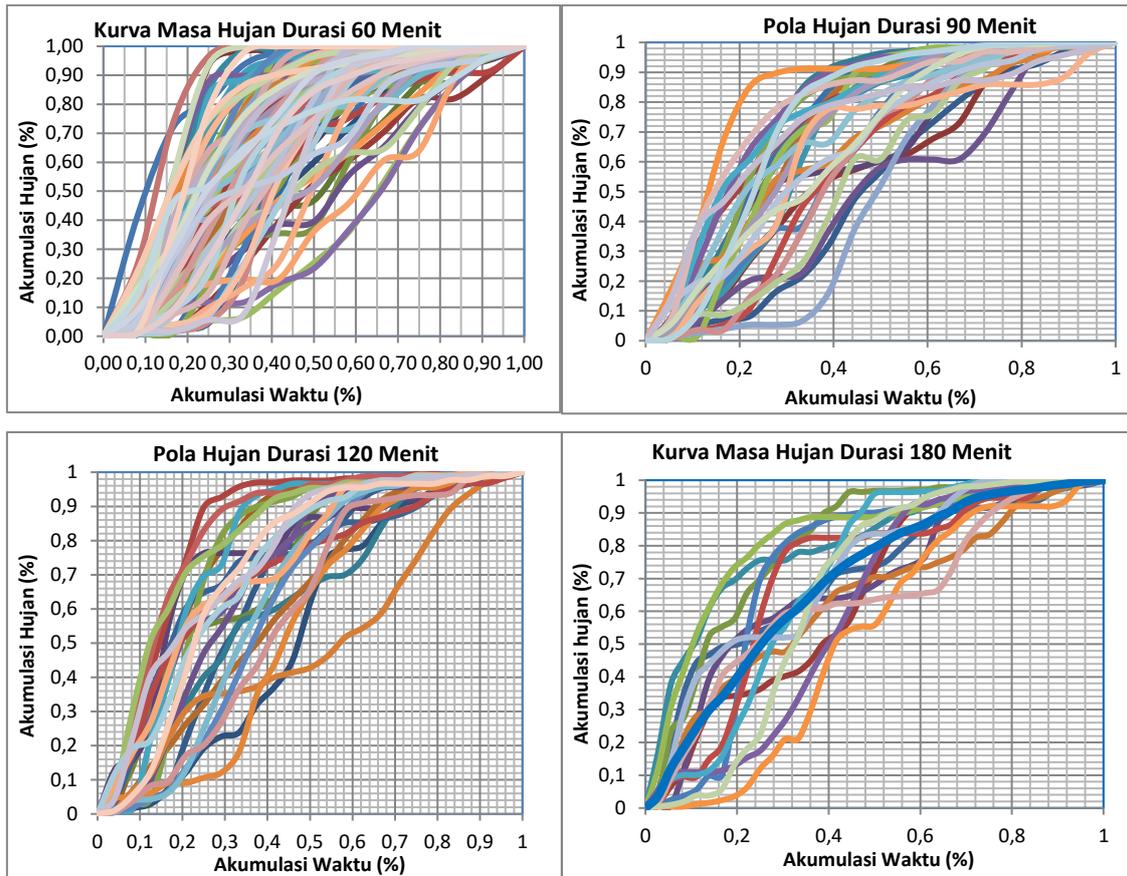
Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi data hujan otomatis tersebut memiliki kualitas yang baik karena memiliki grafik lurus dengan korelasi yang baik. Dari data hujan tersebut, selanjutnya diolah untuk mendapatkan data hujan periode 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 1 jam sampai dengan 3 jam. Rentang waktu periode 5 menit sampai dengan 3 jam menggunakan sistem *floating time*, yaitu mencari jumlah hujan termaksimum untuk lama waktu 5 menit sampai 3 jam. Sebagai contoh, curah hujan maksimum 3 jam, dapat dihasilkan dari akumulasi hujan mulai dari jam 1 s/d jam 3 atau jam 2 s/d jam 4, dan seterusnya. Kejadian hujan yang dipilih adalah kejadian hujan yang terpisah minimal 60 menit sebelum dan sesudah kejadian hujan lainnya dengan total hujan selama 1 jam (60 menit) sekitar 20 mm dan atau 50 mm per hari. Berdasarkan kriteria tersebut, maka diperoleh sekitar 147 data

kejadian hujan dengan durasi hujan mulai 60 menit sampai dengan 180 menit.

Kejadian hujan durasi 60 menit diperoleh sekitar 78 kejadian yang selanjutnya digunakan untuk membentuk pola hietograf hujan rencana dengan durasi 60 menit. Data kejadian hujan yang telah dikumpulkan dapat dilihat pada Gambar 2. Kejadian hujan dengan durasi 60 menit merupakan yang paling dominan terjadi di Kota Bekasi yaitu hampir sekitar 53 % dari seluruh kejadian hujan ekstrim. Kejadian hujan durasi 90 menit diperoleh sekitar 29 kejadian atau hampir sekitar 20 % dari seluruh kejadian hujan ekstrim. Kejadian hujan durasi 120 menit diperoleh sekitar 25 kejadian atau hampir sekitar 17 % dari seluruh kejadian hujan ekstrim. Kejadian hujan durasi 180 menit diperoleh sekitar 15 kejadian atau hampir sekitar 10 % dari seluruh kejadian hujan ekstrim.



Gambar 2. Data kejadian hujan dengan durasi 60 menit



Gambar 3. Normalisasi data kejadian hujan untuk durasi 60 s/d 180 menit

Hietograf Hujan Rencana

Hietograf hujan desain atau distribusi waktu hujan rencana seringkali memiliki pengaruh signifikan terhadap proses hidrologi dalam menentukan besarnya puncak banjir dan volume banjir. Umumnya, dalam rangka untuk melakukan prediksi debit banjir berdasarkan hujan rencana, dibutuhkan distribusi waktu hujan dan biasanya dipenuhi dengan menggunakan pola yang dihasilkan dari wilayah lain. Padahal distribusi waktu hujan harus diperoleh dari data yang diamati di lokasi yang bersangkutan (Genovez, 2003 dan Mello, *et.al.*, 2003 dalam Back, 2011). Untuk itu, di wilayah Kota Bekasi dikembangkan pola distribusi waktu hujan berdasarkan data yang ada di Kota Bekasi. Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, maka selanjutnya diolah dengan melakukan normalisasi semua kejadian hujan mulai dari durasi 60 menit sampai dengan durasi 180 menit. Hasil

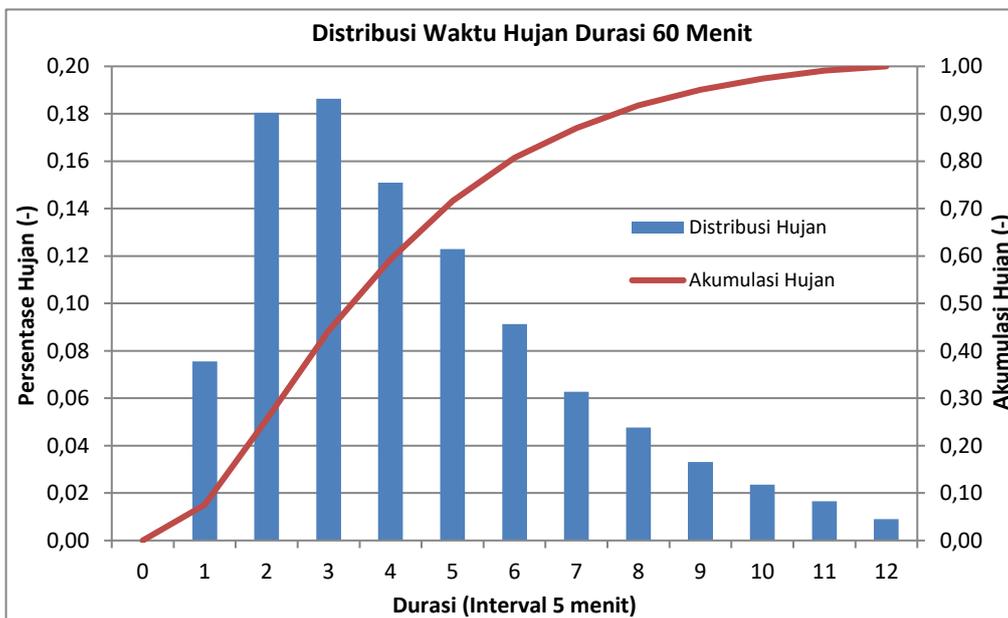
normalisasi semua kejadian hujan tersebut, dibentuk dalam bentuk grafik persentase antara akumulasi hujan dengan durasi hujannya. Bentuk normalisasi kejadian hujan tanpa dimensi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Grafik normalisasi kejadian hujan pada Gambar 3 selanjutnya diolah untuk mendapatkan pola dengan melakukan rata-rata dari seluruh kejadian untuk masing-masing durasi hujan. Pola hietograf hujan durasi 60 menit diperoleh dari rata-rata kejadian hujan durasi 60 menit kemudian dilakukan disagregasi untuk mendapatkan nilai bobot untuk masing-masing interval waktu, seperti yang terdapat pada Gambar 4. Pola distribusi kejadian hujan yang dihasilkan untuk durasi 60 menit memiliki bentuk kurva yang condong ke kiri (*early peak*) yang berarti bahwa kejadian hujan akan langsung lebat pada kuartal awal durasi 60 menit. Pola hietograf hujan untuk

durasi 60 menit memiliki bentuk yang serupa dengan yang dihasilkan oleh Watt *et.al.* (1985) untuk durasi 1 jam di Canada. Pola hietograf hujan untuk durasi 60 menit dengan interval waktu 5 menit dapat dilihat pada Tabel 1.

Durasi hujan 90 menit di Kota Bekasi cukup sering terjadi yaitu sekitar 20 % dari total kejadian hujan yang terseleksi. Durasi 90 menit ini masih dalam kategori Tipe I dalam kriteria metode Huff (1967) atau sering disebut sebagai kuartil 1. Meskipun masuk dalam

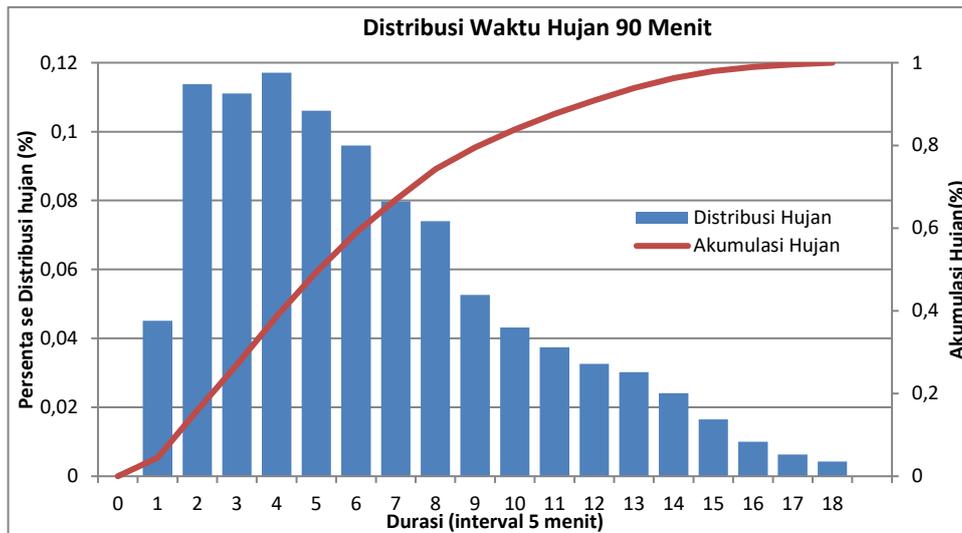
kategori kuartil 1, namun pola hietograf yang dihasilkan di Kota Bekasi berbeda dengan yang dihasilkan oleh Huff (1967). Pola hietograf yang dihasilkan di Kota Bekasi untuk durasi 90 menit dapat dilihat pada Gambar 5 dan secara tabularis pada Tabel 2. Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pola hietograf yang dihasilkan memiliki pola distribusi normal yang miring ke kiri atau memiliki puncak lebih awal (*early peak*). Interval waktu yang digunakan adalah 5 menitan.



Gambar 4. Pola distribusi waktu hujan durasi 60 menit

Tabel 1. Distribusi waktu hujan untuk durasi 60 menit

No	t/td	P/Px	Distribusi (%)
0	0.000	0.000	0.00
1	0.083	0.075	7.55
2	0.167	0.256	18.04
3	0.250	0.442	18.63
4	0.333	0.593	15.09
5	0.417	0.716	12.29
6	0.500	0.807	9.12
7	0.583	0.870	6.27
8	0.667	0.918	4.76
9	0.750	0.951	3.31
10	0.833	0.974	2.35
11	0.917	0.991	1.66
12	1.000	1.000	0.91



Gambar 5. Pola distribusi waktu hujan durasi 90 menit

Tabel 2. Distribusi waktu hujan untuk durasi 90 menit

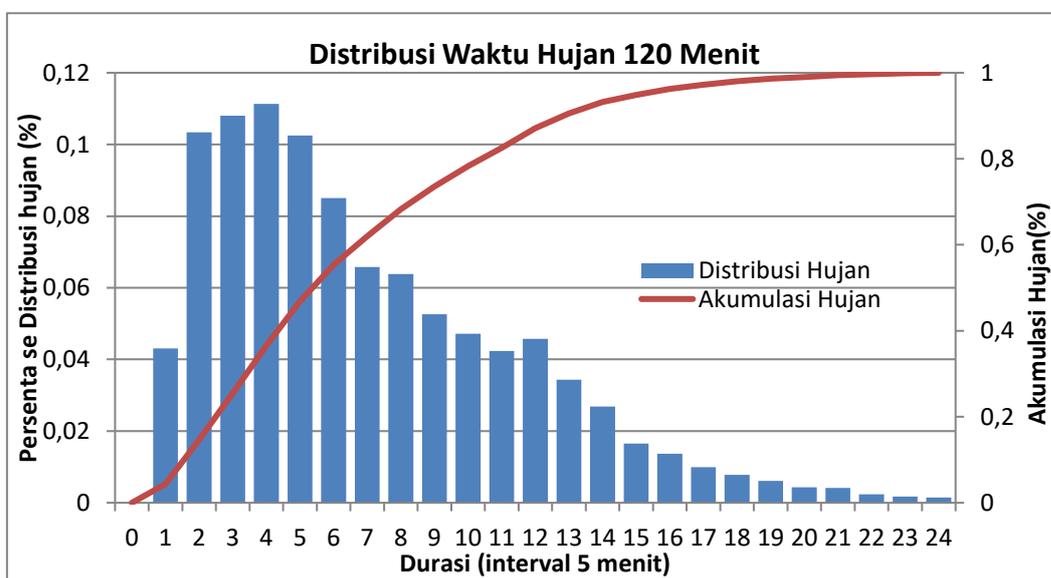
No	t/td	P/Px	Distribusi (%)
0	0.000	0.000	0.00
1	0.056	0.045	4.51
2	0.111	0.159	11.37
3	0.167	0.270	11.11
4	0.222	0.387	11.71
5	0.278	0.493	10.60
6	0.333	0.589	9.60
7	0.389	0.669	7.98
8	0.444	0.743	7.41
9	0.500	0.796	5.26
10	0.556	0.839	4.31
11	0.611	0.876	3.74
12	0.667	0.909	3.26
13	0.722	0.939	3.02
14	0.778	0.963	2.41
15	0.833	0.979	1.65
16	0.889	0.989	1.00
17	0.944	0.996	0.63
18	1.000	1.000	0.42

Durasi hujan 120 menit di Kota Bekasi memiliki urutan ke 3 dalam frekuensi kejadian hujan atau sekitar 17 % dari total kejadian hujan yang terseleksi. Durasi 120 menit ini masih dalam kategori Tipe I dalam kriteria metode Huff (1967) atau sering disebut sebagai quartile 1. Meskipun masuk dalam

kategori kuartil 1, namun pola hietograf yang dihasilkan di Kota Bekasi berbeda dengan yang dihasilkan oleh Huff (1967). Pola hietograf yang dihasilkan di Kota Bekasi untuk durasi 120 menit dapat dilihat pada Gambar 6 dan secara tabularis pada Tabel 3. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa pola

hietograf yang dihasilkan memiliki pola distribusi normal yang miring ke kiri atau memiliki puncak lebih awal (*early peak*). Interval waktu yang digunakan adalah 5 menit. Durasi hujan 180 menit di Kota Bekasi memiliki urutan ke 4 dari segi frekuensi kejadian hujan atau sekitar 10 % dari total kejadian hujan yang terseleksi. Durasi 180 menit ini masih dalam kategori Tipe I dalam kriteria metode Huff (1967) atau sering disebut sebagai quartile 1. Meskipun masuk dalam kategori quartil 1, namun pola hietograf

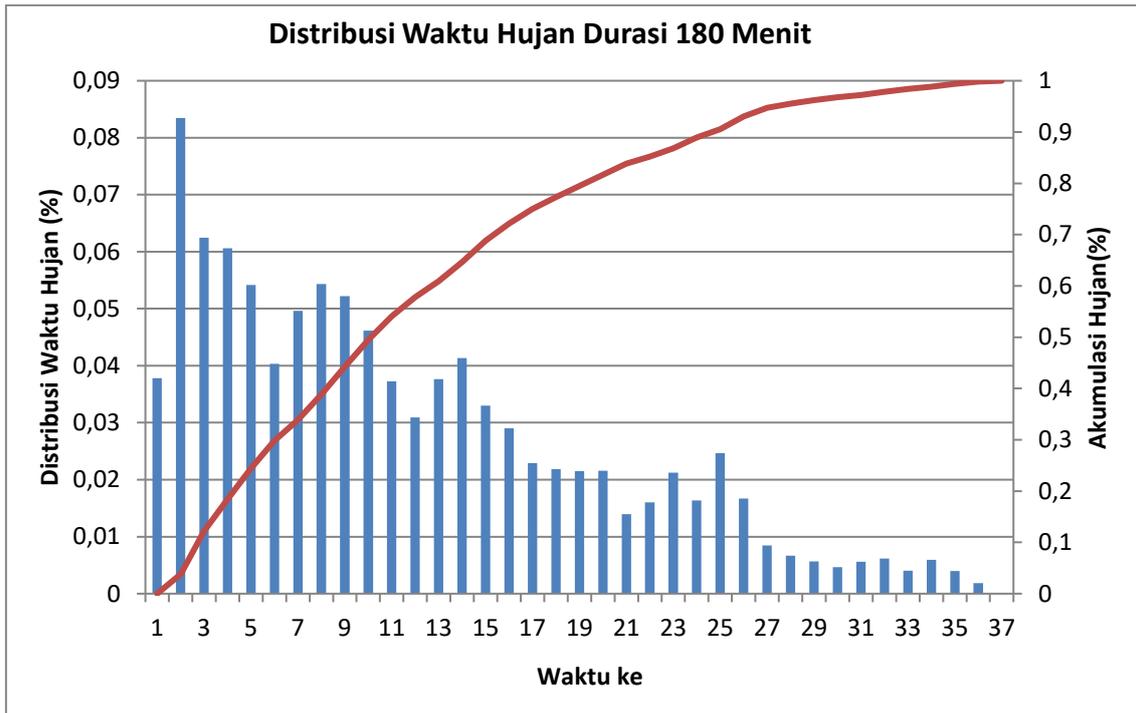
yang dihasilkan di Kota Bekasi berbeda dengan yang dihasilkan oleh Huff (1967). Pola hietograf yang dihasilkan di Kota Bekasi untuk durasi 180 menit dapat dilihat pada Gambar 7 dan secara tabularis pada Tabel 4. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa pola hietograf yang dihasilkan memiliki pola distribusi *pattern 3* (Ball, 1994) dimana memiliki pola hujan diawali dengan intensitas tinggi dan selanjutnya menurun sampai dengan akhir menit ke 180. Interval waktu yang digunakan adalah 5 menit.



Gambar 6. Pola distribusi waktu hujan durasi 120 menit

Tabel 3. Distribusi waktu hujan untuk durasi 120 menit

No	t/td	P/Px	Distribusi (%)	No	t/td	P/Px	Distribusi (%)
0	0.000	0.000	0.00	13	0.542	0.879	3.04
1	0.042	0.034	3.37	14	0.583	0.899	2.02
2	0.083	0.115	8.11	15	0.625	0.913	1.41
3	0.125	0.232	11.68	16	0.667	0.931	1.85
4	0.167	0.344	11.24	17	0.708	0.943	1.19
5	0.208	0.444	10.00	18	0.750	0.956	1.28
6	0.250	0.531	8.65	19	0.792	0.967	1.13
7	0.292	0.591	6.05	20	0.833	0.975	0.78
8	0.333	0.656	6.48	21	0.875	0.981	0.55
9	0.375	0.707	5.14	22	0.917	0.986	0.58
10	0.417	0.749	4.15	23	0.958	0.990	0.31
11	0.458	0.800	5.07	24	1.000	1.000	1.05
12	0.500	0.848	4.86				



Gambar 7. Pola distribusi waktu hujan durasi 180 menit

Tabel 4. Distribusi waktu hujan untuk durasi 180 menit

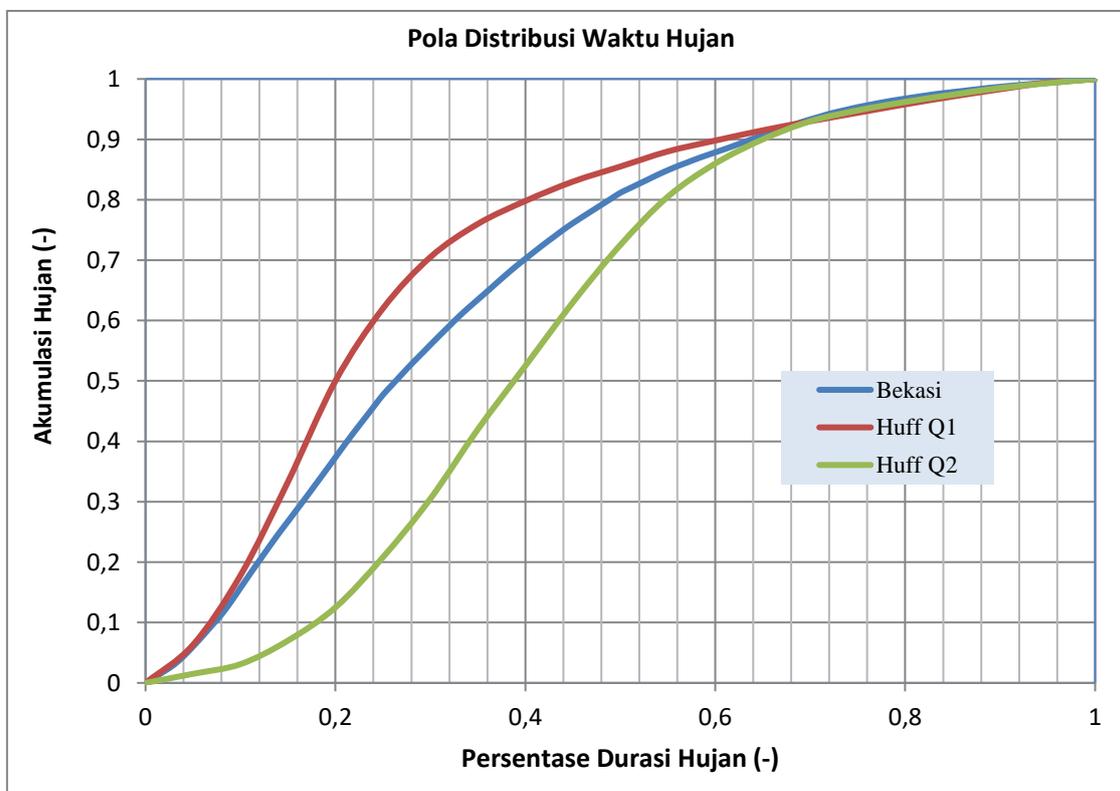
No	t/td	P/Px	Distribusi (%)	No	t/td	P/Px	Distribusi (%)
0	0.000	0.000	0.00	19	0.528	0.817	2.15
1	0.028	0.038	3.78	20	0.556	0.838	2.16
2	0.056	0.121	8.35	21	0.583	0.852	1.40
3	0.083	0.184	6.24	22	0.611	0.868	1.61
4	0.111	0.244	6.06	23	0.639	0.889	2.12
5	0.139	0.298	5.41	24	0.667	0.906	1.64
6	0.167	0.339	4.03	25	0.694	0.930	2.46
7	0.194	0.388	4.96	26	0.722	0.947	1.67
8	0.222	0.443	5.43	27	0.750	0.955	0.85
9	0.250	0.495	5.22	28	0.778	0.962	0.67
10	0.278	0.541	4.62	29	0.806	0.968	0.56
11	0.306	0.578	3.72	30	0.833	0.972	0.47
12	0.333	0.609	3.09	31	0.861	0.978	0.56
13	0.361	0.647	3.77	32	0.889	0.984	0.61
14	0.389	0.688	4.13	33	0.917	0.988	0.40
15	0.417	0.721	3.30	34	0.944	0.994	0.59
16	0.444	0.750	2.90	35	0.972	0.998	0.40
17	0.472	0.773	2.29	36	1.000	1.000	0.19
18	0.500	0.795	2.19				2.15

Perbandingan Pola Hietograf Hujan Rencana

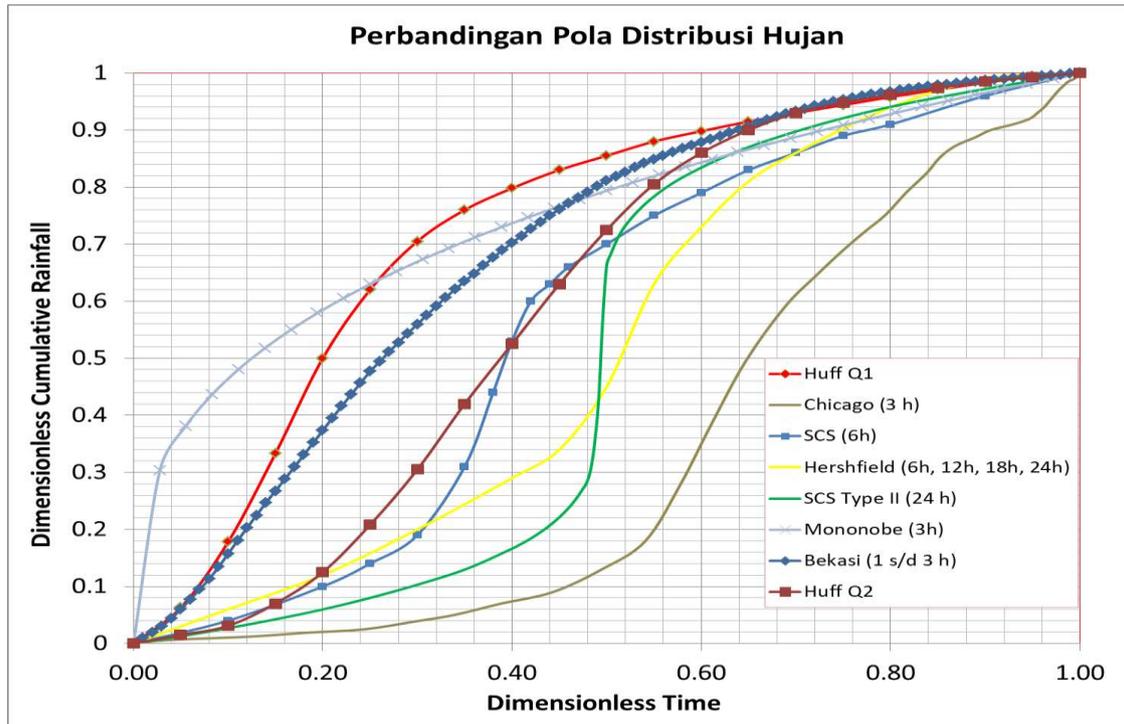
Pola hietograf untuk masing-masing durasi di Kota Bekasi yang telah dihasilkan selanjutnya diregionalisasi untuk menghasilkan satu pola yang dapat mewakili semua durasi hujan mulai 60 menit sampai dengan 180 menit. Bentuk pola hietograf yang dihasilkan seperti yang terlihat pada Gambar 8. Pola hietograf yang dihasilkan tersebut selanjutnya dikomparasi dengan pola hietograf yang dihasilkan oleh Huff (1967). Pola hietograf Huff yang dibandingkan hanya untuk kuartil 1 dan kuartil 2. Mengapa hanya untuk kedua tipe tersebut? Karena pola hietograf di Kota Bekasi masuk dalam kategori yang pertama (kuartil 1) yaitu hujan terjadi pada jam 1 dari seluruh kejadian hujan. Namun pola hietograf yang dihasilkan di Kota Bekasi berbeda dengan yang dihasilkan oleh Huff (1967) kuartil 1, sehingga dicoba dibandingkan juga dengan kuartil 2 seperti yang terlihat pada Gambar 8. Berdasarkan

Gambar 8, dapat dilihat bahwa pola hietograf di Kota Bekasi berada diantara pola hietograf metode Huff kuartil 1 dan kuartil 2, sehingga pola hietograf metode Huff di Kota Bekasi kurang tepat untuk digunakan. Selain membandingkan dengan metode Huff, beberapa pendekatan yang umum digunakan dalam membuat pola hietograf hujan rencana juga dilakukan.

Beberapa metode yang dibandingkan adalah metode Chicago (Keifer and Chu., 1957), metode SCS (*Soil Conservation Service*, 1972), metode Hershfield (Hershfield., 1962) dan metode yang sering digunakan di Indonesia yaitu metode Mononobe. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada grafik seperti pada Gambar 9. Dari grafik yang dihasilkan, bahwa pola hietograf hujan di Kota Bekasi tidak ada yang memiliki bentuk yang sama, oleh karena itu, maka penggunaan pola hietograf di Kota Bekasi sudah harus menggunakan yang dihasilkan dalam kajian ini



Gambar 8. Pola distribusi waktu hujan di Kota Bekasi



Gambar 9. Perbandingan pola hietograf dengan beberapa metode

SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian ini maka dapat disimpulkan:

1. Pola distribusi waktu hujan untuk durasi pendek (1 jam, 1.5 jam, 2 jam dan 3 jam) di Kota Bekasi telah dihasilkan
2. Pola distribusi waktu hujan yang dihasilkan memiliki pola *early peak* dan hasilnya berada di antara pola metode Huff Quartile 1 dan Quartile 2.
3. Pola distribusi waktu hujan yang dihasilkan di Kota Bekasi memiliki pola yang berbeda dengan beberapa metode yang umum digunakan yaitu metode Huff, metode Chicago, metode Hershfield, metode SCS dan metode Mononobe (metode yang banyak digunakan di Indonesia)
4. Pola distribusi waktu wujan yang dihasilkan dapat membantu perencana untuk mendesain volume limpasan dalam rangka mendesain kolam retensi atau detensi

DAFTAR PUSTAKA

- Back, A.J., 2011. Time distribution of heavy rainfall events in Urussanga, Santa Catarina State, Brazil. *Maringá*, v. 33, n. 4, p. 583-588, 2011. doi:10.4025/actasciagron. v33i4.6664
- Dolšak, D., Bezak, N and Šraj, M., 2016. Temporal characteristics of rainfall events under three climate types in Slovenia. *Journal of Hydrology* 541 (2016) 1395–1405. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.047>
- Hershfield, D., 1962. Extreme rainfall relationships. *Journal of the Hydraulics Division* 88 (11), 73–92.
- Huff, F. A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, 3(4), pp. 1007- 1019.
- Keifer, C.J., Chu, H.H., 1957. Synthetic storm pattern for drainage design. *Journal of*

- the Hydraulics Division*, ASCE 83, 1e25.
- Marsalek, J. and Watt, W.E., 1984. Design storms for urban drainage design. *Canadian Journal Civil Engineering no 11*, 574-584.
- Pilgrim, D., Cardery, I., 1975. Rainfall temporal patterns for design floods. *Journal of the Hydraulics Division* 101 (HY1), 81-95.
- Soil Conservation Service. 1972. Hydrology. *SCS National Engineering Handbook*, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, 110

PEMANFAATAN TEKNOLOGI PEMODELAN MATEMATIS DAN LIDAR DALAM PENGELOLAAN RESIKO BANJIR DAS WAI RUHU AMBON

UTILIZATION OF MATHEMATIC AND LIDAR MODELING TECHNOLOGY IN WAI RUHU AMBON FLOOD RISK MANAGEMENT

¹Anggun Etika Putriasri, ²Yandi Hermawan, ³Irene Jaya, dan ⁴Budhi Kosasih

¹Direktorat Sungai dan Pantai, Ditjen Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; anggun.etika@gmail.com

²PT. Indra Karya (Persero); yandiher@yahoo.com

³PT. Indra Karya (Persero); irenejaya1@gmail.com

⁴PT. Indra Karya (Persero); budhikosasih@gmail.com

Abstrak

Daerah aliran sungai Wai Ruhuh merupakan kawasan memprihatinkan terkait fenomena banjir di Ambon. Pada tahun 2012 dan 2013, kota Ambon mengalami banjir akibat sungai Wai Ruhuh yang menyebabkan kerugian ekonomi dan sosial yang sangat besar. Memasuki era digital, penyajian analisa hidrologi dan hidraulik menggunakan aplikasi komputer sudah menjadi suatu kebutuhan dalam perencanaan pengendalian banjir. Dalam analisa ini, aplikasi HEC-HMS dan HEC-RAS digunakan untuk simulasi limpasan air dan area genangan banjir. Dalam penggunaannya, penyajian model HEC-RAS 2D mewajibkan adanya DEM (Digital Elevation Model). DEM LIDAR yang digunakan mempunyai ketelitian vertikal 0.25 m dengan interval kontur 0.5 m. Data lain yang digunakan adalah data curah hujan dan informasi kejadian serta lamanya banjir aktual yang didapat dari hasil survei lapangan. Parameter dari model HEC-HMS dan HEC-RAS secara terintegrasi dikalibrasikan dengan survei lapangan genangan banjir pada kejadian bencana. Hasil dari kalibrasi parameter model sungai Wai Ruhuh mencapai 89%. Melalui simulasi hidraulik menggunakan beberapa parameter seperti penempatan sejumlah checkdam, pemilihan kedalaman pengerukan dan tinggi tanggul sungai dapat dihasilkan rancangan optimal pengendalian debris dan luas genangan banjir. Pemodelan dengan rencana penanganan menempatkan 4 checkdam, pengerukan sungai sedalam 1 m, penempatan tanggul setinggi 2 m menghasilkan pengurangan genangan 94% dan pengendalian debris sebesar 97%. Rencana bangunan diuji kembali dengan pemodelan HEC-RAS untuk mengetahui bahwa bangunan air yang direncanakan telah efektif mengendalikan banjir.

Kata kunci : Banjir, HEC-HMS, HEC-RAS, LIDAR

Abstract

The watershed of the Wai Ruhuh river is an area of concern related to the flood phenomenon in Ambon. In 2012 and 2013, Ambon city experienced flooding due to the Wai Ruhuh river which caused enormous economic and social losses. By entering the digital era, hydrological and hydraulic analysis using computer applications has become a necessity in flood control planning. In this analysis, the HEC-HMS and HEC-RAS applications are used to simulate water runoff and flood inundation areas. In its use, the presentation of the 2D HEC-RAS model requires a DEM (Digital Elevation Model). The DEM LIDAR used has a vertical accuracy of 0.25 m with a contour interval of 0.5 m. Other data used are rainfall data, information on the incidence and duration of actual flooding obtained from field survey results. Parameters from the HEC-HMS and HEC-RAS models are calibrated with a flood inundation field survey in the event of disaster. The result of the parameter calibration of the Wai Ruhuh river model reaches 89%. Optimal design of debris control and flood inundation can be produced through hydraulic simulation using several parameters such as the placement number of checkdams, selection of dredging depth and

river embankment height. Modeling with the handling plan of placing 4 checkdams, river dredging 1 m deep, placing embankments as high as 2 m resulted in a 94% reduction in inundation and 97% debris control. The building plan was retested with the HEC-RAS modeling to determine that the planned water structure had effectively controlled floods.

Keywords: Flood, HEC-HMS, HEC-RAS, LIDAR

PENDAHULUAN

Wai Ruhu adalah salah satu sungai yang kerap menimbulkan banjir di kota Ambon dan sekitarnya. DAS Wai Ruhu memiliki luas DAS sebesar 18,58 km² dan panjang sungai utama 13,08 km. DAS ini memiliki karakteristik morfologi sungai yang beraliran pendek dan curam disertai debris berupa batu, pasir dan kayu.

Pada tahun 2012 dan 2013, kota Ambon mengalami banjir bandang akibat luapan beberapa sungai yang menyebabkan kerugian ekonomi dan sosial yang cukup besar. Kerusakan akibat fenomena banjir bandang yang terjadi di DAS Wai Ruhu disebabkan oleh infrastruktur yang tidak memadai untuk pengelolaan banjir dan debris. Berdasarkan data yang didapat, aspek utama terjadinya banjir adalah banyaknya sedimentasi yang menghasilkan endapan sedimen dalam jumlah besar setiap tahunnya. Hal ini menyebabkan pendangkalan sungai dan peningkatan debit puncak banjir selama terjadi hujan. Maka dari itu, diperlukan adanya pengelolaan banjir dan sedimen dalam menangani banjir bandang di Wai Ruhu.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode-metode yang digunakan dalam pengerjaan studi ini adalah sebagai berikut.

1. Studi literatur

Tahapan mempelajari materi terkait tata cara mengatasi permasalahan banjir dan tahap mempelajari studi terdahulu terkait perencanaan pengendalian banjir di DAS Wai Ruhu.

2. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data berupa data hidrologi, data batimetri sungai dan DEM (*Digital Elevation Model*) dari survei

LIDAR, data geoteknik, dan data tata guna lahan.

3. Analisis Hidrologi

Melakukan analisis hidrologi dari pengolahan data curah hujan harian sampai intensitas curah hujan rencana dan membuat model DAS Wai Ruhu menggunakan program HEC-HMS untuk menghasilkan debit banjir rencana.

4. Perhitungan Debris Sekali Banjir

Melakukan analisis perhitungan debris sekali banjir dengan rumus Mizuyama (1988) dengan kala ulang 100 tahun serta membuat skema bangunan pengendali debris. Kemudian setelah itu, melakukan perhitungan volume total tampungan sedimen dan menghitung keseimbangan sedimen.

5. Kalibrasi Parameter Debit dan Parameter Pemodelan Hidraulik

Melakukan kalibrasi untuk parameter debit banjir rencana dan parameter pemodelan hidraulik sebelum merencanakan desain bangunan pengendali banjir.

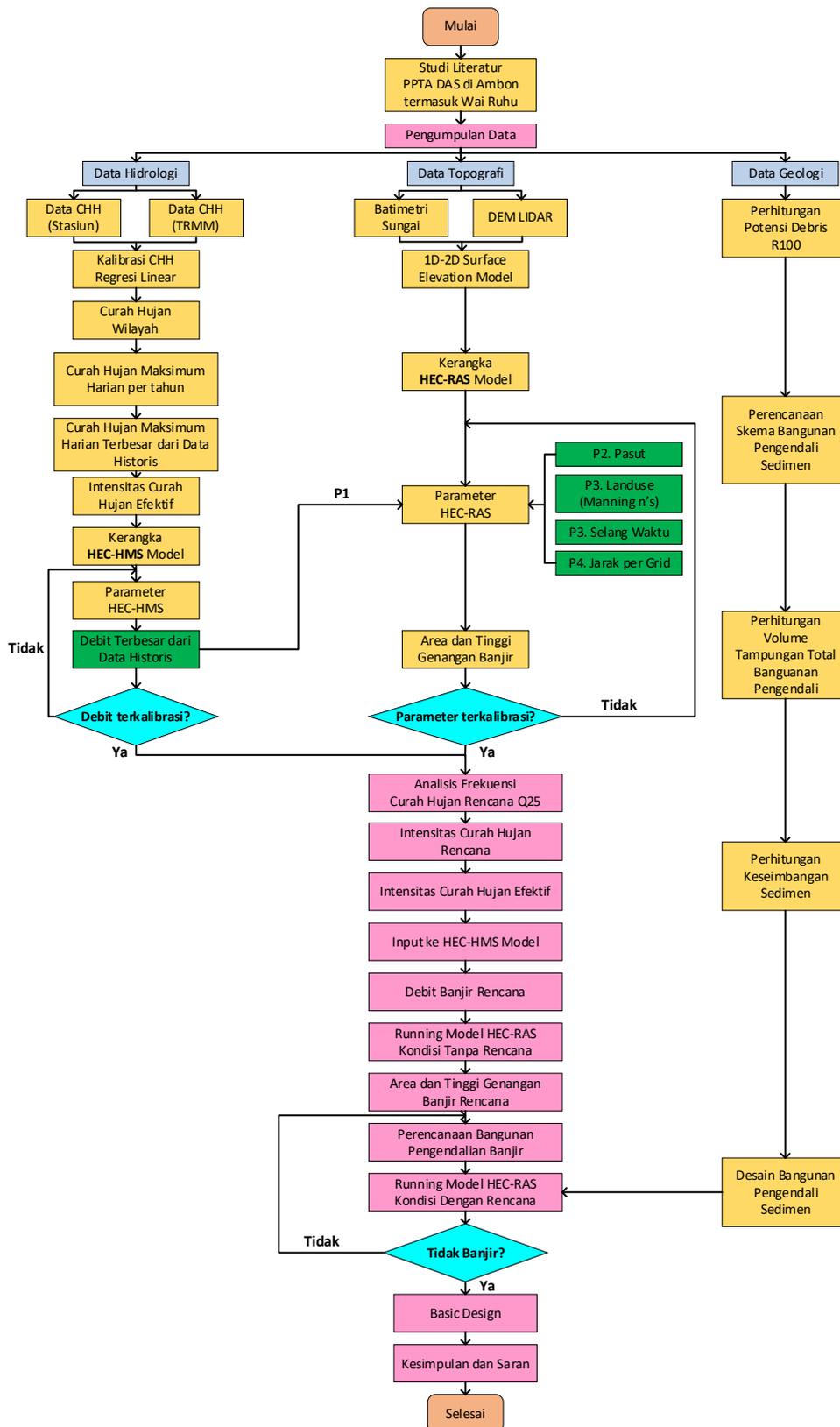
6. Analisis Pemodelan Hidraulik

Menghitung dimensi bangunan pengendali banjir yang diperlukan untuk mengurangi banjir dengan menggunakan program HEC-RAS.

7. Desain Bangunan Pengendali Banjir dan Bangunan Pengendali Debris

Hasil *basic design* dari analisis pemodelan hidraulik dilanjutkan ke analisis selanjutnya yaitu analisis stabilitas bangunan agar dapat mengeluarkan gambar desain atau DED (*Detailed Engineering Design*).

Gambar 1 adalah bagan alir metodologi kerja yang dilakukan.



Gambar 1. Bagan Alir Metodologi Kerja

HASIL DAN PEMBAHASAN

Curah Hujan Harian Maksimum

Curah hujan harian maksimum didapatkan dari hasil olahan data curah hujan harian dari Pos Curah Hujan Karang Panjang, Pos Curah Hujan Kayu Tiga dan TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) dimana data yang diperoleh dari tahun 2004 s/d 2017. Curah hujan harian maksimum yang digunakan adalah curah hujan harian maksimum setiap tahun yang akan diolah untuk memperoleh curah hujan rencana. Curah hujan harian maksimum tersebut kemudian

dikalikan dengan faktor perubahan iklim yang didapat dari BMKG.

Curah Hujan Rencana dan Uji Derajat Kepercayaan

Curah hujan rencana untuk periode ulang tertentu secara statistik dapat diperkirakan berdasarkan seri data curah hujan harian maksimum setiap tahun (*Maximum Daily Rainfall Annual Series*) dengan analisis distribusi frekuensi. Sebelum ditentukan metode distribusi yang digunakan akan dilakukan pengujian kesesuaian distribusi yaitu Chi-Kuadrat (*Chi-Square*) dan Smirnov-Kolmogorov.

Tabel 1. Curah Hujan Harian Maksimum

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum x Faktor Perubahan Iklim
2004	44,09
2005	128,24
2006	154,35
2007	106,76
2008	150,76
2009	63,40
2010	176,73
2011	169,84
2012	234,35
2013	280,10
2014	68,65
2015	89,01
2016	203,33
2017	133,98

Sumber: Hasil Pengolahan Data Pos Curah Hujan, 2020

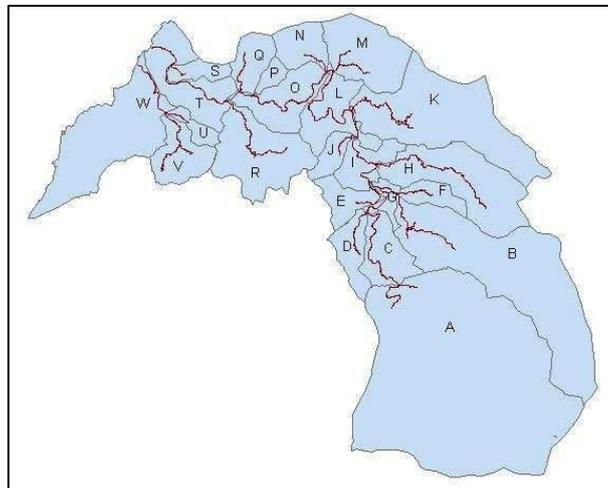
Tabel 2. Curah Hujan Rencana

Periode Ulang	Normal	Log Pearson III	Gumbel
100	299,9	349,3	354,5
50	281,5	319,6	317,8
25	261,1	287,6	280,9
10	229,5	240,5	231,0
5	199,8	199,9	191,6
2	143,1	133,7	132,0

Uji Chi-Square			
Kondisi	Normal	Log Pearson III	Gumbel
X2	2,50	1,55	3,05
X2Cr	5,99	5,99	5,99
D. Signifikansi	0,05	0,05	0,05
HIPOTESA	DITERIMA	DITERIMA	DITERIMA

Uji Smirnov-Kolmogorov			
Kondisi	Normal	Log Pearson III	Gumbel
Dmax	0,1	0,09	0,1
Dkritis	0,35	0,35	0,35
D. Signifikansi	0,05	0,05	0,05
HIPOTESA	DITERIMA	DITERIMA	DITERIMA

Sumber: Hasil Perhitungan Analisa Curah Hujan Rencana, 2020



Gambar 2. Kerangka Model DAS Wai Ruhu pada program HEC-HMS

Sumber: Hasil Penyusunan Kerangka Model HEC-HMS, 2020

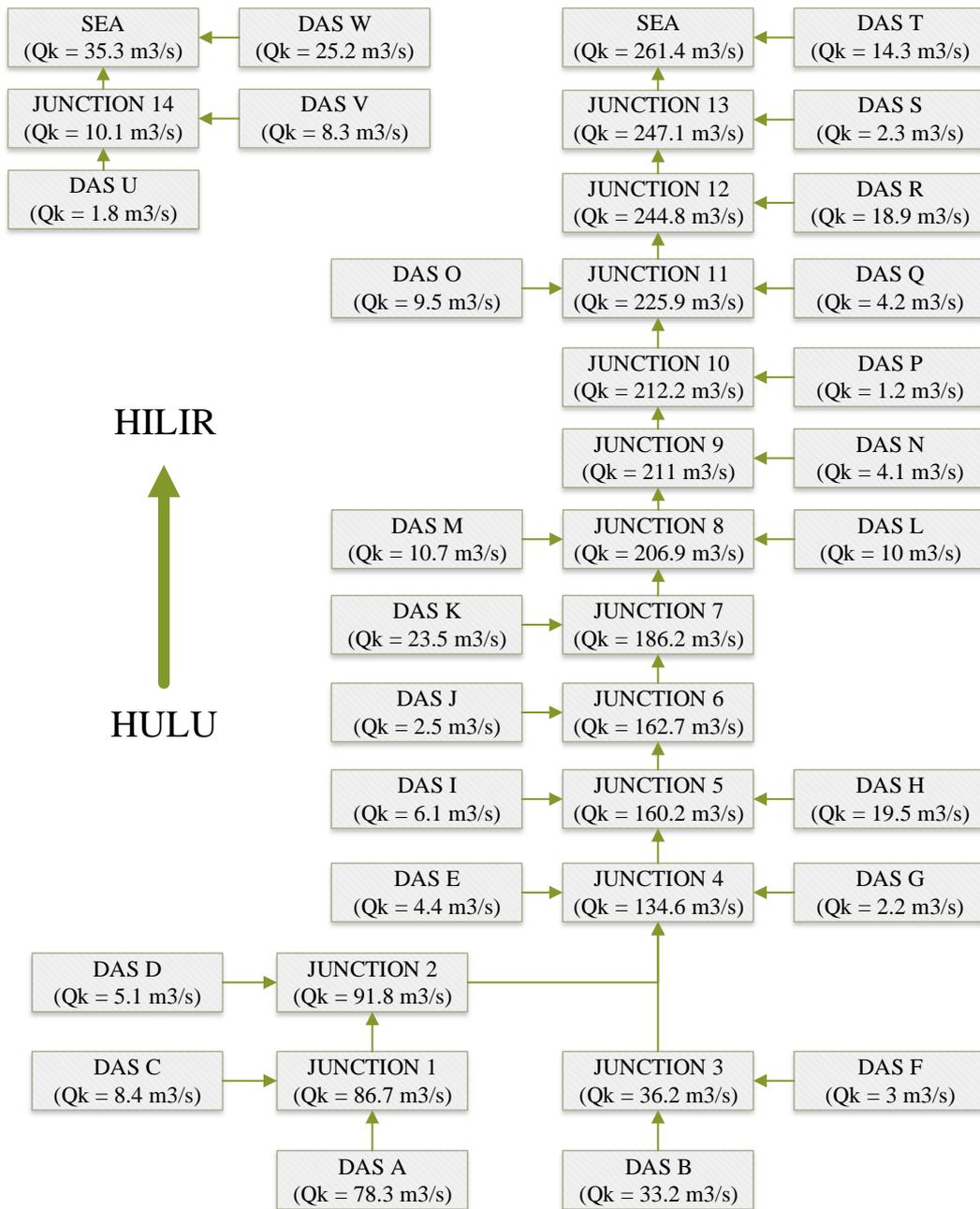
Dari hasil kedua uji, metode distribusi yang dipilih adalah Log Pearson III karena memiliki nilai error terkecil dibandingkan metode lainnya.

Perhitungan Debit Banjir Terbesar Historis

Intensitas hujan terbesar historis yang didapatkan, dimasukkan kedalam model HEC-HMS yang sudah dirancang pada program

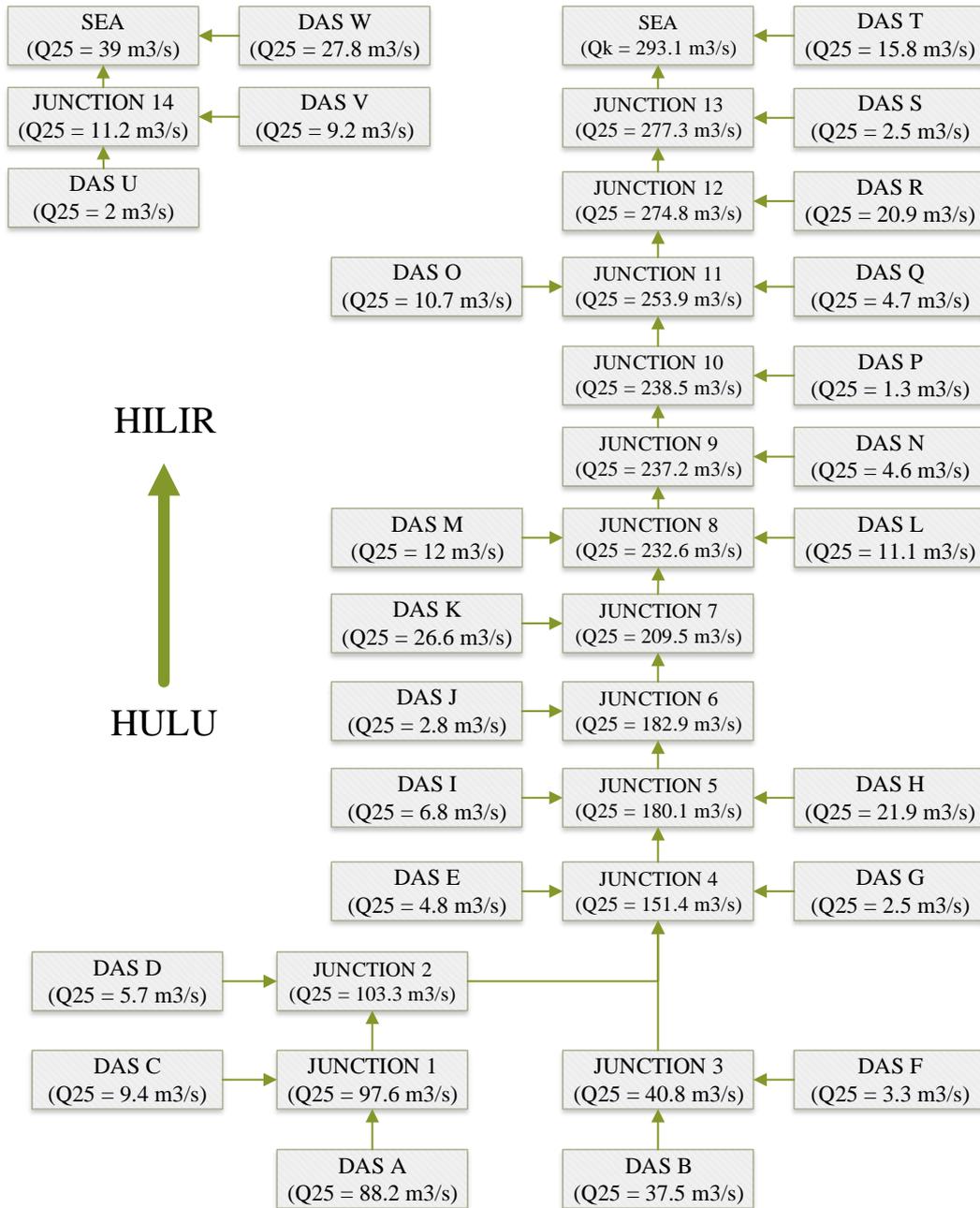
seperti gambar dibawah. Pembagian sub-DAS dilakukan dengan menggunakan geospasial analisis DEM LIDAR menggunakan program QGIS.

Berikut adalah bagan alir skema debit untuk kejadian tahun 2013 ($R = 280,1 \text{ mm}$) yang digunakan dalam kalibrasi dengan survei baseline.



Gambar 3. Skema Debit R = 280,1 mm

Sumber: Hasil Pemodelan Debit R = 280,1 mm pada HEC-HMS, 2020



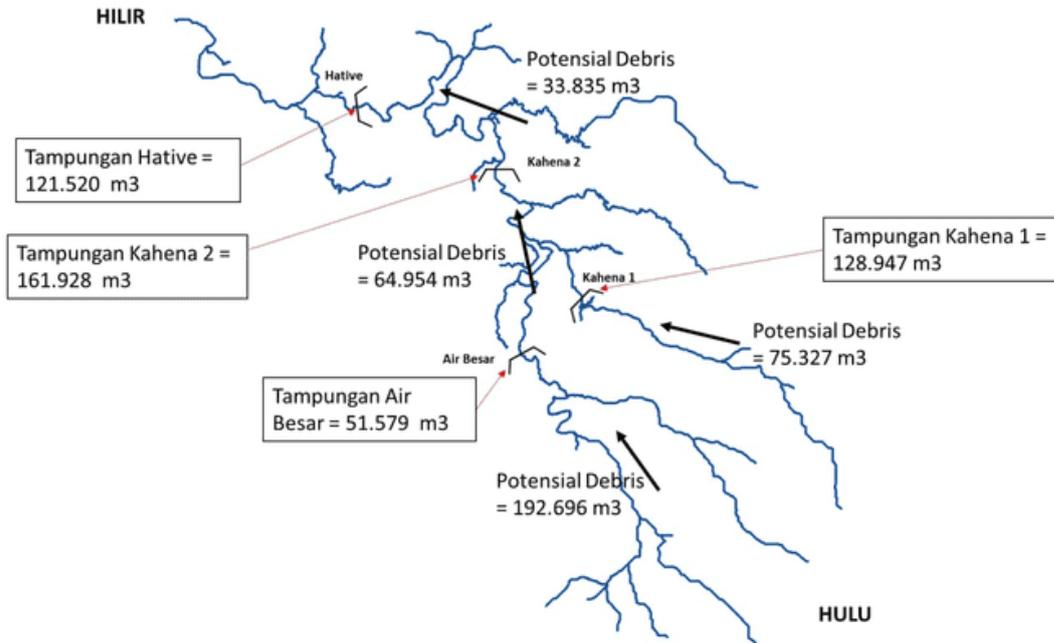
Gambar 4. Skema Debit R₂₅

Sumber: Hasil Pemodelan Debit R₂₅ pada HEC-HMS, 2020

Perhitungan Debris

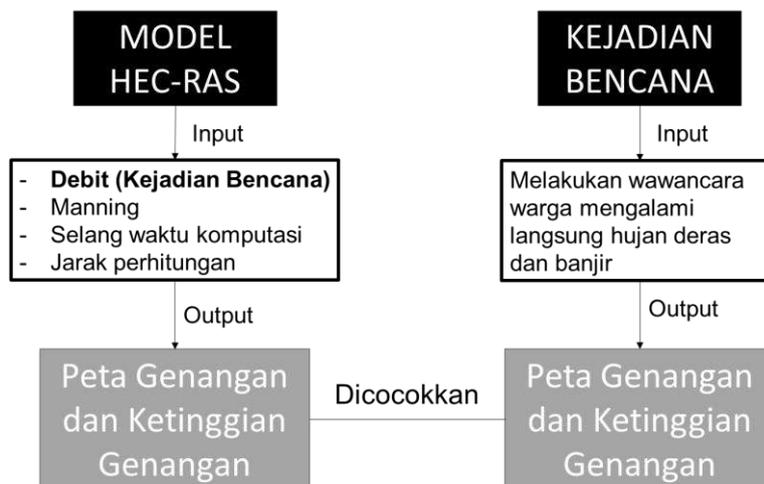
Perhitungan volume sedimen sekali banjir *Debris Flow* menggunakan rumus Mizuyama (1988). Potensial debris dihitung berdasarkan masing-masing sub-DAS.

Berdasarkan 4 titik cek dam tersebut dengan potensial debris untuk masing-masing cek dam maka didapatkan volume potensial debris yang dikendalikan sampai titik apek terakhir (Hative) adalah sebesar 366.814 m³

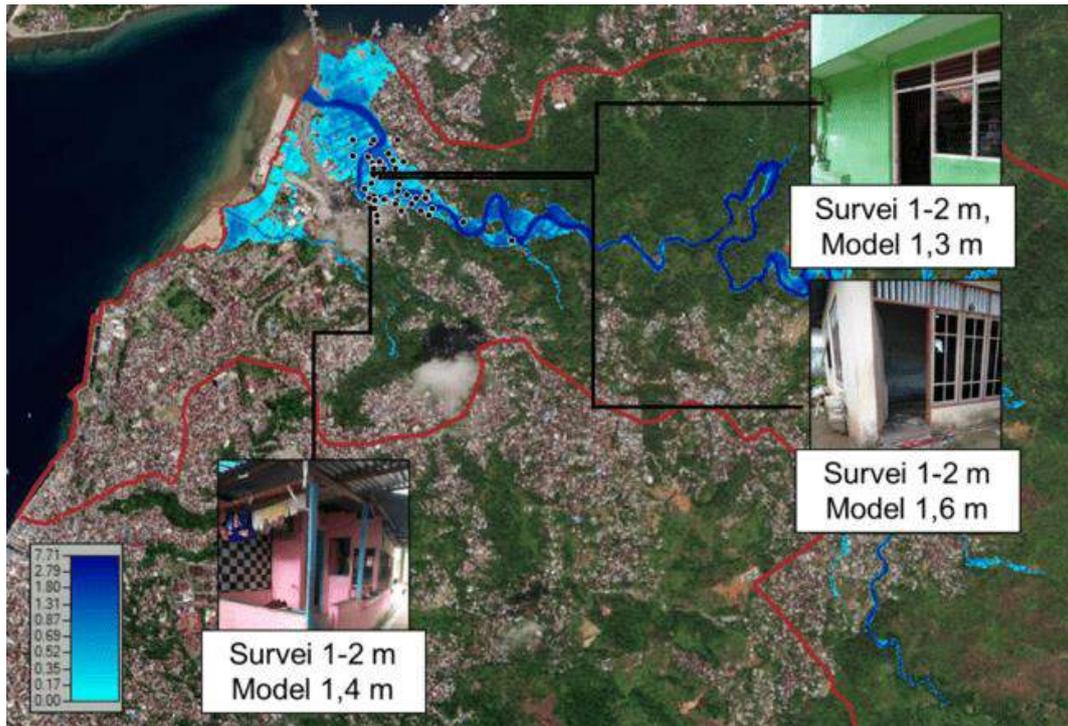


Gambar 5. Lokasi Cek Dam dan Keseimbangannya

Sumber: Hasil Analisa Titik Apek Cek Dam Wai Ruhu, 2020



Gambar 6. Bagan Alir Kalibrasi Model Hidraulik Wai Ruhu



Gambar 7. Contoh Beberapa Hasil Analisa Kalibrasi Wai Ruhu

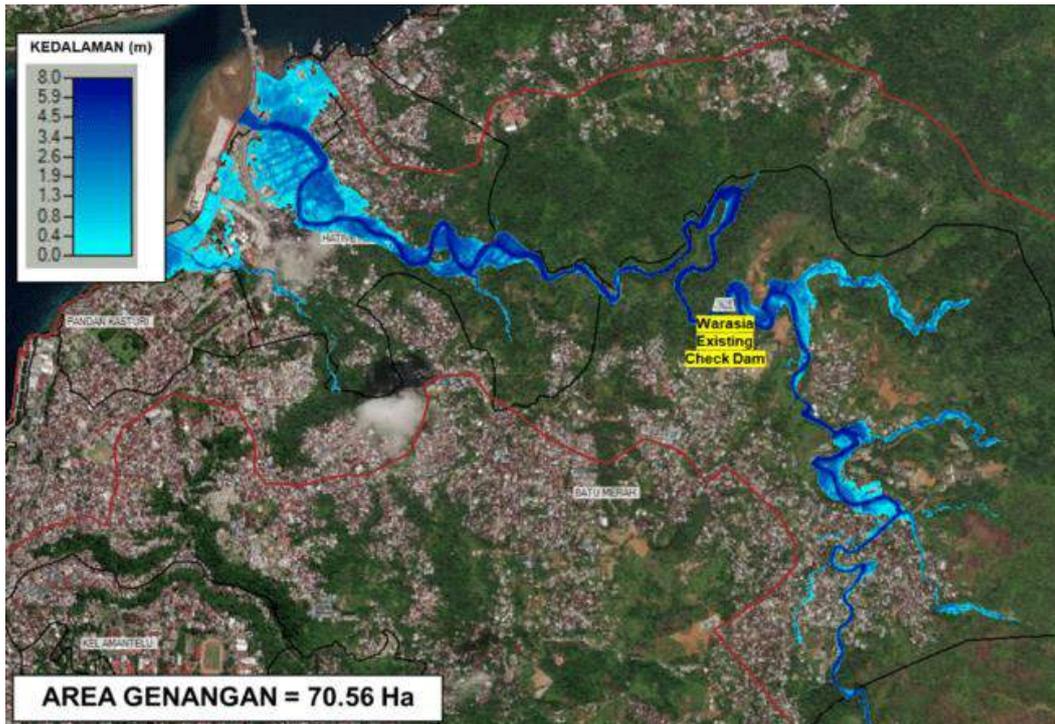
Sumber: Contoh Beberapa Hasil Analisa Kalibrasi Wai Ruhu, 2020

Beberapa parameter yang diubah yaitu debit (kejadian bencana tahun 2013 dengan $R = 280,1$); nilai manning spasial; selang waktu komputasi; dan jarak perhitungan (*grid size 2D mesh model*). Parameter di atas akan dimasukkan ke program HEC-RAS dan dikalibrasikan hasil area dan tinggi genangan banjirnya dengan survei baseline. Survei baseline memuat informasi seperti koordinat geografis, nama desa, prediksi kedalaman genangan, sumber banjir dan foto model banjir. Perbandingan hasil model dengan survei baseline sesuai dengan kejadian banjir dapat dilihat pada gambar 7. Berdasarkan Gambar 7, didapatkan persentase kecocokan sebesar 90% sehingga disimpulkan bahwa parameter HEC-HMS dan HEC-RAS yang

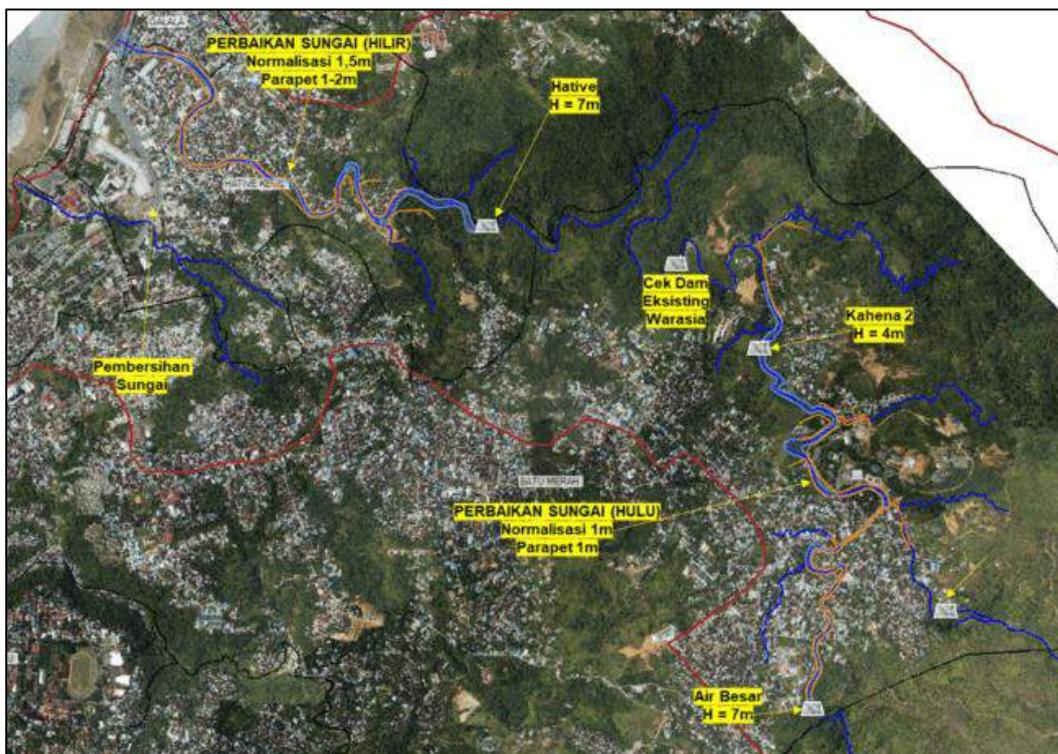
digunakan sudah dapat merepresentasikan banjir yang terjadi di Wai Ruhu. Setelah model terkalibrasi, maka dapat dimodelkan beberapa model banjir sesuai dengan desain kala ulang. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, desain banjir yang digunakan adalah banjir kala ulang 25 tahun untuk kemudian diatasi dengan beberapa penanganan baik secara struktural maupun non struktural.

Pemodelan Banjir Kala Ulang 25 Tahun dan Penanggulangannya

Pemodelan banjir kala ulang 25 tahun menggunakan debit pada skema Gambar 3 menggunakan parameter HEC-HMS dan HEC-RAS yang telah dikalibrasi dapat dilihat pada gambar dibawah 8.



Gambar 8. Peta Area dan Tinggi Genangan Kondisi Tanpa Penanganan Q_{25}



Gambar 9. Rencana Penanganan Banjir Wai Ruhu

Dengan banjir yang terjadi seperti pada Gambar 8, maka ditentukan perlu adanya bangunan pengendali banjir yaitu tanggul banjir berjenis parapet dan normalisasi sungai.

Gambar rencana secara umum dapat dilihat pada gambar 9. Detail rencana penanganan banjir, dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Detail Rencana Penanganan Banjir Wai Ruhu

JENIS PENANGANAN		Banjir Rencana	
		25 Tahun	
Perbaikan Sungai (Hulu)	Normalisasi	Kedalaman (m)	1,5
		Panjang (m)	2.500
	Tanggul Banjir (Parapet)	Kedalaman (m)	1 sampai 2
		Panjang (m)	Kiri = 2.336 Kanan = 1.939
Cek Dam Air Besar	Tinggi (m)	7	
	Lebar (m)	23	
	Volume (m ³)	51.578	
Cek Dam Kahena 1	Tinggi (m)	7	
	Lebar (m)	125	
	Volume (m ³)	128.947	
Cek Dam Kahena 2	Tinggi (m)	4	
	Lebar (m)	42	
	Volume (m ³)	161.928	
Cek Dam Hative	Tinggi (m)	7	
	Lebar (m)	31	
	Volume (m ³)	121.520	
Perbaikan Sungai (Hilir)	Normalisasi	Kedalaman (m)	1
		Panjang (m)	2.900
	Tanggul Banjir (Parapet)	Kedalaman (m)	1
		Panjang (m)	Kiri = 2.754 Kanan = 2.600
Pembersihan Sungai		-	



Gambar 10. Peta Area dan Tinggi Genangan Kondisi Setelah Penanganan Q₂₅

Dengan rencana yang disebutkan pada Tabel 3, model 2D HEC-RAS disimulasikan mendapatkan hasil seperti pada gambar 10.

SIMPULAN

Kesimpulan dalam pengerjaan studi ini adalah sebagai berikut.

1. Debit kala ulang yang digunakan dalam desain adalah Q₂₅ yaitu sebesar 293 m³/s.
2. Bangunan pengendali banjir yang direncanakan adalah Parapet dan Normalisasi sungai sepanjang Sta +500 s/d +3300 (Hulu) dan Sta +6900 s/d 9000

(Hilir) seperti yang tergambar pada potongan memanjang.

3. Efektivitas bangunan parapet dan normalisasi sungai dalam mengurangi banjir adalah terjadinya pengurangan area genangan banjir sebesar 66,45 ha (94,18%) dan kapasitas sungai bertambah dari $\pm 100 \text{ m}^3/\text{s}$ menjadi $\pm 293 \text{ m}^3/\text{s}$.

Adapun saran yang diberikan adalah sebagai berikut.

1. Studi ini dapat mendukung pelaksanaan sebagian dari Rencana Strategis Sumber Daya Air (SPWR) dan keamanan air yang merupakan pilar utama dari Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) Indonesia dimana dalam hal ini mendorong program *Flood Risk Management* (FRM) untuk mengurangi daya rusak banjir.
2. Pemodelan hidrologis dan hidraulik suatu Daerah Aliran Sungai sangat membantu

dalam menunjang perancangan *Detail Engineering Design* dengan tingkat akurasi cukup tinggi. Diantara banyak perangkat lunak yang beredar, LIDAR, HEC-HMS dan HEC-RAS merupakan pilihan yang dapat cepat diaplikasikan dan relatif mudah penggunaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *SNI 2415:2016 tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. Bandung : Badan Standarisasi Nasional.
- Brunner, Gary W., 2016. *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*, US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC), United States.
- Chow, Ven Te., 1959. *Open Channel Hydraulic*, United States: McGraw-Hill Book Company, Singapore.

PENINGKATAN NILAI MANFAAT AIR MELALUI PAMDES DI DESA PANGALENGAN, KECAMATAN PANGALENGAN, KABUPATEN BANDUNG

IMPROVEMENT OF WATER BENEFIT VALUE THROUGH PAMDES IN PANGALENGAN VILLAGE, PANGALENGAN SUB- DISTRICT, BANDUNG DISTRICT

¹Joko Nugroho, ²Arif Susanto, dan ³Dasapta Erwin Irawan

¹Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung; joko@si.itb.ac.id

²Kelompok Keahlian Petrologi, Volkanologi dan Geokimia, Fakultas Ilmu dan
Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung

³Kelompok Keahlian Geologi Terapan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut
Teknologi Bandung

Abstrak

Di Daerah Pangalengan terdapat banyak mata air yang telah dimanfaatkan untuk kegiatan perkebunan dan pemenuhan kebutuhan domestik. Dari penelitian terdahulu, diketahui ada beberapa mata air yang telah dimanfaatkan penduduk dan layak untuk digunakan sebagai air baku, diantaranya adalah mata air Cidurugdung. Di daerah studi terdapat sekitar 300 KK yang memanfaatkan air dari sumber mata air. Namun demikian kondisi distribusi yang ada secara teknis memiliki banyak kekurangan, antara lain memiliki kehilangan energi yang cukup tinggi. Karena debit aliran yang menuju ke pengguna sangat kecil maka pengguna cenderung membuka secara menerus sambungan mereka. Hal ini mengakibatkan kehilangan air yang relatif besar. Debit yang tersedia berdasarkan hasil pengamatan lapangan adalah 2 l/s. Tujuan penelitian adalah untuk memperoleh sistem distribusi air secara gravitasi yang sesuai dengan topografi serta sebaran populasi, sehingga dapat mencukupi kebutuhan masyarakat. Selain itu pemanfaatan air bisa lebih efektif dan tidak banyak air yang terbuang, serta sistem ini dapat dikelola secara berkelanjutan. Metodologi dalam pelaksanaan studi ini adalah dengan melakukan pengumpulan data, survei lapangan, analisis kebutuhan air domestik, evaluasi kondisi eksisting, dan pemodelan sistim distribusi dengan menggunakan perangkat lunak EPANET. Dari data dan hasil pemodelan diperoleh sistem yang ideal, untuk kemudian akan disesuaikan dengan kondisi lapangan dalam hal penerapannya. Hasil dari penelitian ini berupa skema jaringan transmisi dan distribusi air baku yang saat ini telah diterapkan di kawasan penelitian (RW 13 dan 14, Desa Pangalengan). Dengan adanya jaringan distribusi melalui Pengelolaan Air Minum Pedesaan (PAMDES) maka nilai manfaat air di Desa Pangalengan dapat ditingkatkan secara merata dan berkelanjutan.

Kata kunci: mata air, jaringan distribusi air baku, manfaat air, PAMDES.

Abstract

In the Pangalengan area there are many springs that have been used for plantation activities and meeting domestic needs. From previous research, it is known that there are several springs that have been used by residents and are suitable for use as raw water, including the Cidurugdung spring. In the study area, there are around 300 households that utilize water from springs. However, the existing distribution conditions technically have many shortcomings, including high energy losses. Because the flow rate to the user is very small, users tend to open their connection continuously. This results in relatively large water losses. The available discharge based on field observation is 2 l/s. The research objective is to obtain a water distribution system based on gravity that is in accordance with the topography and population distribution, so that it can meet

the needs of the community. In addition, water use can be more effective and less water is wasted, and this system can be managed in a sustainable manner. The methodology in implementing this study is to collect data, survey the field, analyze domestic water demand, evaluate existing conditions, and model the distribution system using the EPANET software. From the data and modeling results, an ideal system is obtained, which will then be adjusted to the field conditions in terms of its application. The results of this study are in the form of a raw water transmission and distribution network scheme that has currently been implemented in the research area (RW 13 and 14, Pangalengan Village). With the distribution network through Rural Drinking Water Management (PAMDES), the value of water benefits in Pangalengan Village can be increased evenly and sustainably.

Keywords: *springs, raw water distribution network, benefits of water, PAMDES.*

PENDAHULUAN

Di daerah Pangalengan terdapat banyak mata air yang pada umumnya dimanfaatkan untuk kegiatan perkebunan dan pemenuhan kebutuhan domestik. Terdapat beberapa mata air yang cukup besar dan telah dimanfaatkan oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), misalnya mata air Citere dengan kapasitas 30 l/s. Namun demikian jangkauan pelayanan masih bertahap dikembangkan, sesuai dengan ketersediaan sumber air.

Desa Pangalengan merupakan salah satu desa di Kecamatan Pangalengan, Kabupaten Bandung. Desa Pangalengan memiliki jumlah penduduk 24.211 jiwa. Salah satu RW yang belum memiliki pelayanan air minum yang memadai adalah RW 14 yang memiliki jumlah penduduk 1096 jiwa. RW 14 ini telah menggunakan salah satu sumber mata air, yaitu mata air Cidurugdug yang memiliki kapasitas sekitar 2 l/s.

Namun demikian kondisi distribusi yang ada secara teknis memiliki banyak kekurangan, antara lain memiliki kehilangan energi yang cukup tinggi. Dengan demikian

debit aliran yang menuju ke pengguna sangat kecil, dan pengguna cenderung membuka secara menerus sambungan mereka, sehingga kehilangan air diperkirakan sangat tinggi. Kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Untuk meningkatkan nilai kemanfaatan air dan mengurangi kehilangan air, sekaligus mengurangi kontaminasi terhadap air bersih, maka diperlukan suatu sistem distribusi yang baku. Dengan adanya jaringan distribusi yang baku, serta terukur maka ke depan dapat diharapkan bahwa sistem distribusi ini dapat dipelihara dengan baik dan memiliki manfaat berkelanjutan dalam jangka panjang.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam studi ini dilakukan dalam beberapa tahap, antara lain pengumpulan data, penentuan kebutuhan air, penentuan ketersediaan air, penentuan trase jaringan dan sistem distribusi, penentuan pola kebutuhan, pemodelan sistem dengan EPANET dan penyempurnaan jaringan jika diperlukan. EPANET yang digunakan pada pemodelan adalah versi 2.2.



Gambar 1. Keadaan jaringan air minum eksisting (Sumber: dokumentasi penulis).

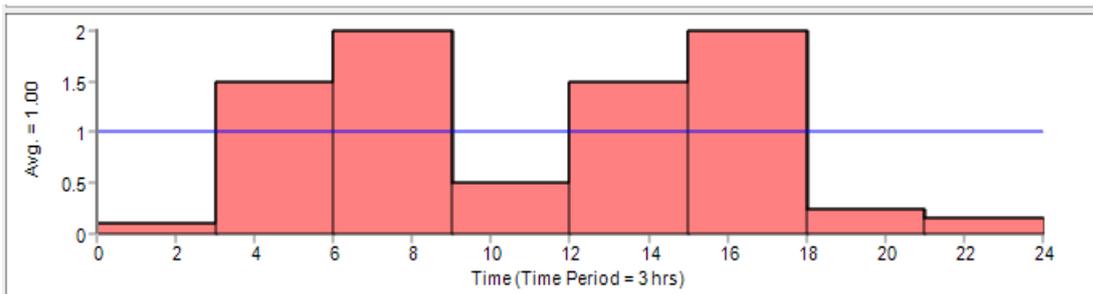
Untuk menghitung kebutuhan air domestik untuk pedesaan, maka digunakan nilai 60 l/orang/hari (SNI 6278:2015). Jumlah penduduk yang akan dilayani adalah 1.164 jiwa, sehingga dengan mengasumsikan kebocoran adalah 20% dan kebutuhan 60 l/orang/hari maka kebutuhan air rata-rata adalah 0,97 l/s.

Kebutuhan rata-rata di atas selanjutnya didistribusikan dalam pola pemakaian harian. Pola pemakaian harian diasumsikan mengikuti pola sebagaimana pada Gambar 1. Pola ini berdasarkan pola pemanfaatan air rumah tangga pada daerah studi yang umumnya mengalami puncak pada pagi dan sore hari, sesuai dengan kegiatan sehari-hari.

Jaringan yang dimodelkan adalah jaringan eksisting, yang terdiri dari pipa 2"

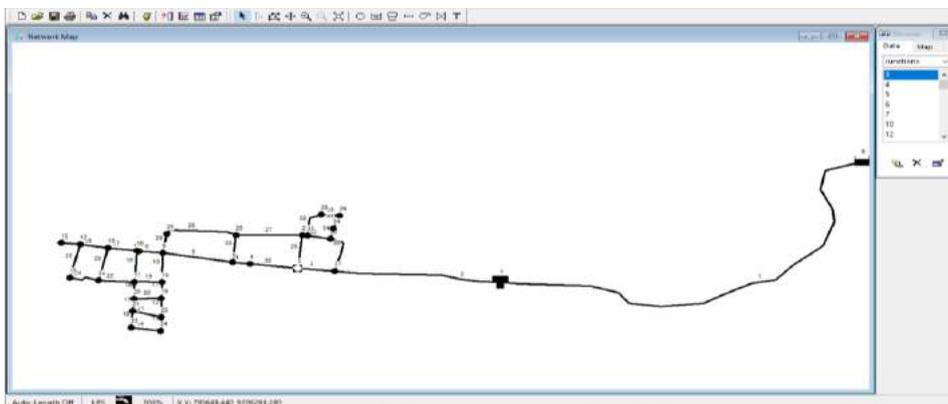
pada saluran primer, dan pipa 1" untuk jalur sekunder. Diasumsikan pengambilan beberapa rumah akan terkumpul kolektif pada tiap node. Jaringan yang dimodelkan adalah sebagaimana pada Gambar 3.

Perencanaan jaringan distribusi air minum dapat mengacu pada SNI 7509:2011. Komponen yang dimodelkan dalam studi ini melalui EPANET terdiri dari reservoir, bak penampung/distribusi, pipa (*link*) dan titik hubung (*junction*). Kebutuhan air dan elevasi merupakan properti dari *junction* (Rossman, 2000). Sedangkan properti utama pada *link* adalah diameter pipa dan kekasaran pipa. Kekasaran Hazen William yang digunakan pada model ini adalah 150, sesuai dengan kekasaran pipa yang digunakan yaitu jenis PVC.



Gambar 2. Pola kebutuhan harian per 3 jam.

Sumber: hasil pemodelan EPANET oleh penulis



Gambar 3. Pemodelan jaringan distribusi dengan EPANET 2.2.

Sumber: hasil pemodelan EPANET oleh penulis

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pemodelan diketahui bahwa secara gravitasi, pipa dari reservoir mampu mengalirkan hingga 6,12 l/s. Namun demikian dari pengamatan pada sumber, yang tersedia adalah sekitar 2 l/s. Dari standar untuk sistim distribusi air baku dibutuhkan reservoir dengan kapasitas minimum 20% dari kebutuhan total harian, yaitu sebesar 14 m³. Pada gambar 3 dapat dilihat kondisi tekanan pada *junction* dan debit aliran pada *link* (pipa). Dapat dilihat bahwa tekanan masih dalam keadaan positif, serta apabila dilihat pada realisasi pengaliran, kebutuhan untuk seluruh *junction* dapat terpenuhi (Gambar 4). Tekanan

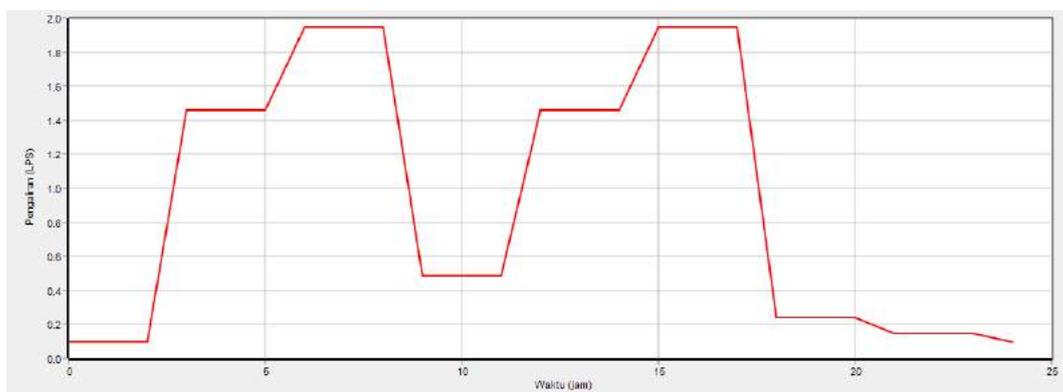
pada sistem distribusi memiliki perbedaan antara kondisi permintaan rendah dan kondisi permintaan puncak.

Tekanan yang rendah pada saat permintaan tinggi terjadi pada titik-titik pada jaringan yang memiliki banyak pengambilan. Besarnya tekanan pada waktu permintaan tinggi masih di atas 10 m (Gambar 6 dan 7). Pada Gambar 7 ditunjukkan tekanan dari reservoir hingga titik terakhir untuk jalur utama, dimana tekanan yang terjadi masih cukup bagus yaitu diatas 10 m. Tekanan di bawah 10 meter terjadi pada elevasi-elevasi tinggi, dimana belum terdapat titik-titik pengambilan/sambungan rumah.



Gambar 4. Tekanan pada *junction* dan aliran pada ruas, saat kondisi *peak demand*.

Sumber: Peta Google Earth

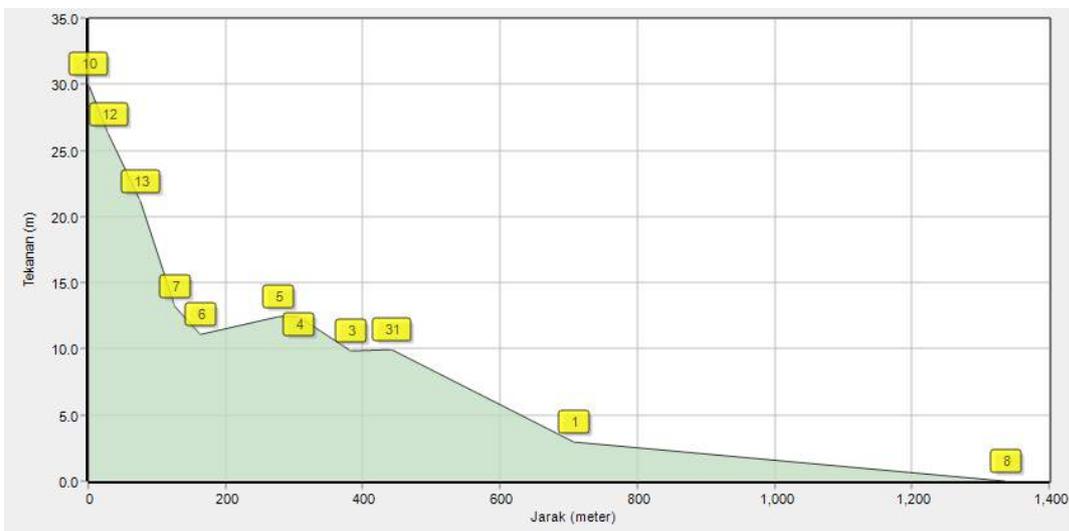


Gambar 5. Aliran total pada pipa primer hulu.

Sumber: hasil pemodelan EPANET oleh penulis



Gambar 6. Tekanan pada saat *demand* puncak.
 Sumber: pemodelan EPANET oleh penulis



Gambar 7. Tekanan sepanjang jalur primer saat *demand* puncak.
 Sumber: hasil pemodelan EPANET oleh penulis



Gambar 8. Keadaan jaringan air minum setelah diperbaiki.
 Sumber: dokumentasi penulis.

Dari hasil pengamatan lapangan diketahui bahwa distribusi air setelah dilakukan perbaikan dengan sistem mengikuti sebagaimana model distribusi eksisting yang

disempurnakan menunjukkan tekanan air dan jumlah yang mencukupi. Hal ini dapat ditunjukkan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah dilakukan pengem-

bangun pengelolaan air minum pedesaan (PAMDES) sebagaimana dilihat pada Gambar 8.

SIMPULAN

Sistem distribusi air di Wilayah RW 14 Desa Pangalengan dapat ditingkatkan kualitas layanannya dengan memanfaatkan hasil studi pemodelan jaringan distribusi air minum. Peningkatan manfaat ini dalam bentuk pemerataan dan berkurangnya kebocoran dengan pipanisasi. Jumlah sambungan yang disediakan adalah 300 sambungan dilengkapi meter air pelanggan. Tekanan yang tersedia pada jaringan bervariasi antara 10 hingga 30 m. Sistem ini juga mampu memenuhi pola harian penggunaan air pada saat puncak kebutuhan (2 l/s), dengan rata-rata 0,97 l/s. Saat ini sistem telah dibangun dan beroperasi dengan baik. Perlu dilakukan studi inventarisasi mata air, terutama di daerah Pangalengan, agar pemanfaatannya dapat dioptimalkan. Dengan integrasi terhadap Bagian 1: Sumber Daya Air. Badan Standarisasi Nasional.

sumber-sumber mata air yang ada diharapkan pemanfaatannya akan lebih merata dan kehilangan air dapat ditekan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kementerian Rristek-BRIN melalui program Program Pemberdayaan Masyarakat Unggulan Perguruan Tinggi (PPMUPT), LPPM Institut Teknologi Bandung, BUMDES dan Pemerintah Desa Pangalengan.

DAFTAR PUSTAKA

Rossmann, L.A., 2000, EPANET 2 User Manual, United States Environmental Protection Agency SNI 7509:2011, Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum SNI 6728.1:2015, Penyusunan Neraca Spasial Sumber Daya Alam

**PENENTUAN PRIORITAS INFRASTRUKTUR JALAN DENGAN
METODE
ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) EXPERT CHOICE
Studi Kasus: Jalan Raya Demak-Godong**

***DETERMINATION OF ROAD INFRASTRUCTURE PRIORITY
USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) METHOD
Case Study: Demak-Godong Roadway***

Uppit Yuliani
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma
uppitney@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Proses penentuan proyek jalan pada pembangunan infrastruktur jalan, disusun berdasarkan skala kebutuhan dan kemendesakan seperti yang ada dalam Daftar Usulan Rencana Proyek (DURP). Pada penerapannya di lapangan ditemukan perbedaan antara DURP dengan rencana proyek yang telah disetujui seperti pada Daftar Isian Proyek (DIP). Studi penelitian menggunakan kasus jalan raya Demak – Godong Jawa Tengah yang dibangun oleh Dinas Bina Marga. Pendekatan ilmiah perlu dilakukan sebagai bahan untuk memutuskan penanganan proyek jalan sehingga dapat mengurangi unsur subyektivitas para pembuat kebijakan. Metode ilmiah yang digunakan adalah metode Analytic Hierarchy Process (AHP), metode yang cukup dikenal dan banyak digunakan dalam pengambilan keputusan dan manajemen. Melalui studi ini dapat dibuktikan bahwa metode AHP cukup handal dalam membantu para pembuat kebijakan dalam proses pengambilan keputusan yang obyektif. Metode AHP yang digunakan adalah Expert Choice untuk menentukan manakah prioritas jalan yang tepat, apakah beton atau aspal melihat dari beberapa faktor seperti daya tahan konstruksi serta dari segi penilaian kualitatif berupa perbandingan tingkat kenyamanan, dampak lingkungan, dampak sosial, ketersediaan bahan & peralatan dilokasi, serta metode & teknologi pelaksanaan. Dari hasil penelitian dapat diketahui faktor teknis yang mempunyai bobot tertinggi adalah faktor daya tahan terhadap cuaca sebagai prioritas dengan nilai 0,493, faktor non teknis yang mempunyai bobot tertinggi adalah faktor ketersediaan sumber daya dengan nilai prioritas 0,298 terhadap cuaca, 0,356 terhadap pergerakan tanah dan 0,363 terhadap perubahan lalu lintas. Konstruksi jalan beton unggul pada empat faktor yaitu daya tahan terhadap cuaca, daya tahan terhadap pergerakan tanah, daya tahan terhadap lalu lintas dan jangka waktu perawatan dengan tingkat keunggulan rata-rata enam kali dibanding konstruksi aspal. Keunggulan konstruksi aspal terdapat pada faktor-faktor kenyamanan permukaan jalan, kemudahan pelaksanaan pembangunan, ketersediaan sumber daya dan teknologi serta biaya dengan yang perbandingan keunggulannya dengan konstruksi beton adalah rata-rata empat kali. Dari berbagai aspek tersebut menunjukkan jalan beton rata-rata lebih unggul dibanding dengan jalan aspal.

Kata Kunci: Analytic Hierarchy Process (AHP), Proyek Jalan, Expert Choice

Abstract

Road infrastructure development, especially in the process of determining road projects, generally arranged according to the scale of need and urgency as stated in the List of Proposed Project Plans (DURP). In its application in the field, it was found that there were many discrepancies between the DURP and the approved project plans such as the Project Entry List (DIP). The study takes the case of the Demak - Godong highway, Central Java, which was built by the Bina Marga Office. There needs to be a scientific approach that can be used as material for deciding the handling of road projects so it can reduce the element of subjectivity of policy

makers. One of the scientific methods referred to is the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, a method that is well known and widely used in decision making and management. Through this study, it can be proven that the AHP method is quite reliable in assisting policy makers in an objective decision-making process. The AHP method used is Expert Choice to determine which road priority is right, whether concrete or asphalt see from several factors such as construction durability and from a qualitative assessment point like comparing comfort levels, social and environmental impact, availability of materials and tools on site, and implementation methods and technologies. From the research results, can be seen that the technical factor that have the highest weight is the weather resistance factor as a priority with a value of 0.493, the non-technical factor that has the highest weight is the resource availability factor with a priority value of 0.298 to weather, 0.356 to ground movement and 0.363 to traffic changes. Concrete roads excel in four factors, including weather resistance, resistance to soil movement, resistance to traffic and maintenance periods with an average superiority level of 6 times compared to asphalt construction. The advantages of asphalt construction are found in the factors of road surface comfort, ease of construction implementation, availability of resources and technology as well as costs with the ratio of advantages to concrete construction is an average of four times. From these various aspects, it shows that concrete roads are on average superior to asphalt roads.

Keywords: Analytic Hierarchy Process (AHP), Road Projects, Expert Choice

PENDAHULUAN

Ketidaksesuaian antara DURP dengan rencana proyek yang sudah disetujui seperti pada Daftar Isian Proyek (DIP) menjadi latar belakang masalah prioritas jalan yang tepat untuk penelitian. Faktor yang berpengaruh besar diduga akibat terlalu dominannya para pembuat kebijakan dalam menetapkan penanganan proyek jalan tanpa memperhatikan unsur kebutuhan. Akibatnya, banyak proyek yang seharusnya menggunakan sistem tertentu atau dalam skala prioritas tertentu dapat berubah ke sistem yang lain. Pada ruas jalan Pantura Semarang – Demak untuk pondasi dipakai perkerasan kaku dan permukaan memakai perkerasan lentur, sedangkan Kabupaten Grobogan ruas jalan Godong-Purwodadi yang merupakan tanah ekspansif menggunakan perkerasan kaku dengan beton siap pakai. Dapat dilihat untuk ruas jalan Pantura Semarang-Demak ada kombinasi perkerasan yaitu beton siap pakai dan juga aspal.

Konstruksi beton mempunyai tingkat kekakuan yang tinggi, yang digambarkan oleh nilai modulus elastisitas yang cukup tinggi yaitu sekitar 40.000 Mpa. Lapisan atas adalah

tempat bertumpunya kuat tekan.. Konstruksi beton memiliki kuat tarik sekitar FS 45 kg/cm² dan lapisan dengan tebal sekitar 21 cm. Tingkat ketahanan terhadap pelapukan sangat tinggi baik yang diakibatkan oleh air maupun cuaca. Tingkat pemeliharaan yang relatif jarang selama umur ekonomis konstruksi. Biaya investasi lebih murah dibandingkan dengan biaya investasi konstruksi aspal. Konstruksi aspal yang dipakai pada penelitian ini diantaranya adalah perkerasan lentur konvensional (*conventional flexible pavement*) terdiri atas lapisan dasar, lapisan pondasi atas dan lapisan permukaan. Dari segi kualitas material lapisan atas lebih tinggi dari lapisan bawah AHP adalah suatu pendekatan pengambilan keputusan yang dirancang untuk memberikan solusi dari berbagai permasalahan yang memiliki banyak kriteria kompleks pada bidang aplikasi (Saaty, 2000). Terdapat tiga langkah dalam pengambilan keputusan dengan AHP, yaitu membangun hirarki, penilaian dan sintesis prioritas. Analisa AHP yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan *Expert Choice* (EC). Penilaian prioritas elemen-elemen pada tiap level. Untuk itu dibutuhkan suatu matriks perbandingan

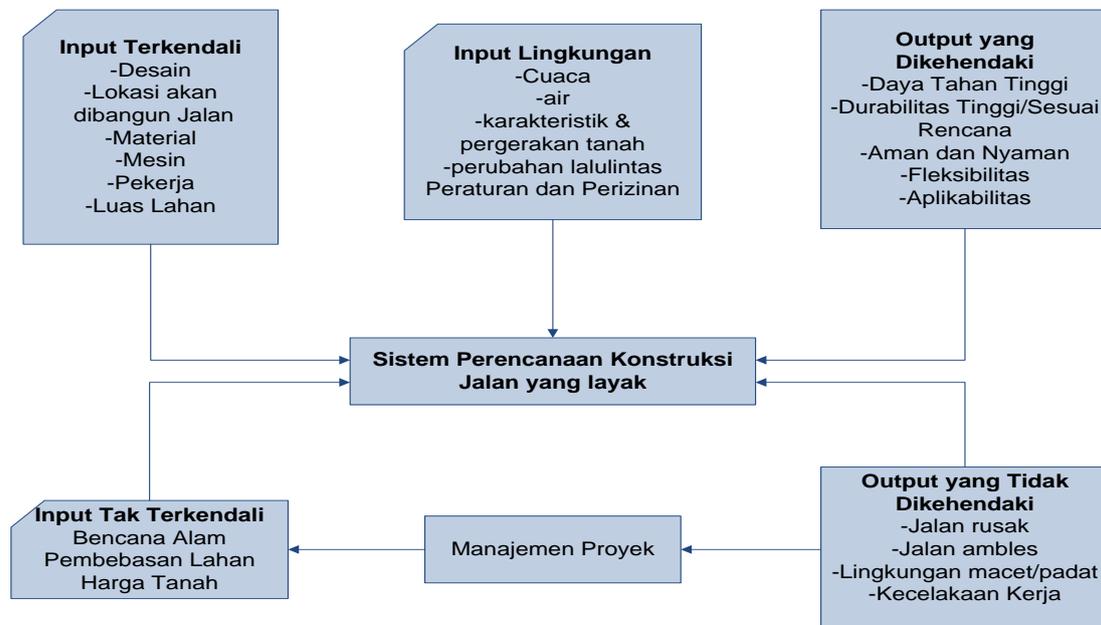
yang berisi tentang kondisi tiap elemen yang digambarkan dalam bentuk kuantitatif berupa angka-angka yang menunjukkan skala penilaian (1 – 9). Tiap angka skala mempunyai arti tersendiri. Skala lainnya adalah nilai eigen maksimum yang merupakan nilai parameter validasi yang sangat penting dalam teori AHP. Nilai ini digunakan sebagai melalui perhitungan rasio konsistensi (Consistency Ratio (CR)) dari matriks estimasi dengan tujuan untuk memvalidasi apakah matriks perbandingan sudah konsisten atau belum dalam memberikan penilaian.

Dari perkerasan jalan yang dipakai dalam penelitian maka dapat ditentukan manakah prioritas yang lebih baik apakah beton atau aspal melihat dari beberapa faktor seperti daya tahan konstruksi serta dari segi penilaian kualitatif berupa perbandingan tingkat kenyamanan, dampak lingkungan, dampak sosial, ketersediaan bahan & peralatan dilokasi, serta metode & teknologi pelaksanaan. Melalui studi ini diharapkan AHP dapat menilai prioritas antara konstruksi jalan beton dengan aspal untuk studi kasus

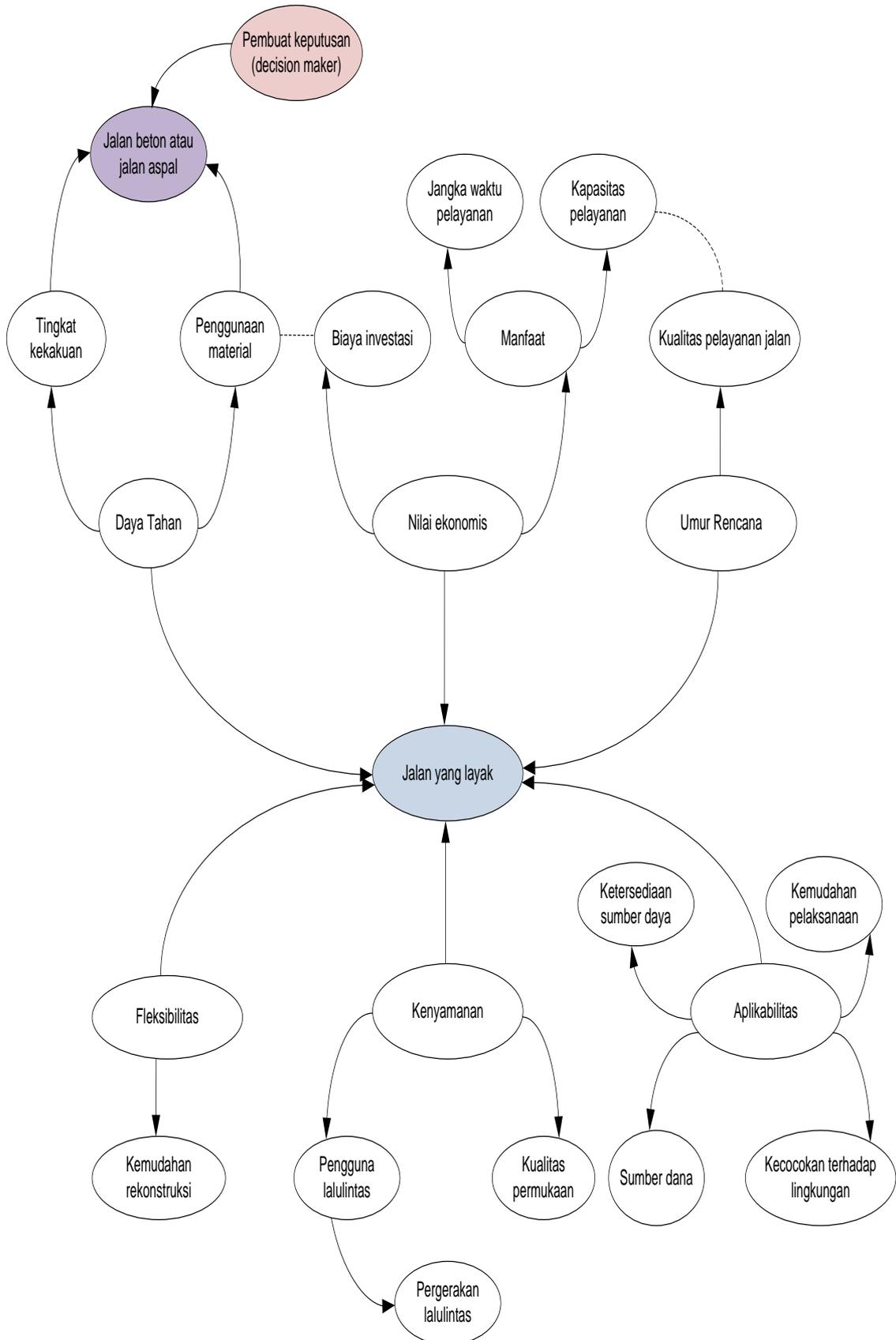
jalan Demak-Godong, sehingga pemeliharannya tepat.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada ruas jalan Demak-Godong yang pembangunannya dilakukan oleh Dinas Bina Marga Propinsi Jawa Tengah. Kuisisioner dilakukan kepada responden secara acak yang jumlahnya kurang lebih 30 orang dari berbagai golongan seperti Dinas Bina Marga, konsultan, dosen, kontraktor dan masyarakat umum sekitar lokasi penelitian. Hasil kuisisioner kemudian diolah dan ditentukan hasil prioritasnya sesuai kebutuhan penelitian. Diagram *causal loop* & diagram IO disusun untuk mengetahui hubungan antara "pernyataan kebutuhan" dan "pernyataan masalah". Variabel yang digunakan untuk mempelajari sistem tata ruang perkotaan adalah dari aspek lingkungan, aspek ekonomi dan aspek sosial. Diagram Input Output (IO) dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan untuk Diagram *causal loop* hubungan penataan ruang dengan aspek-aspeknya dapat dilihat pada Gambar 2 .



Gambar 1. Diagram Input Output



Gambar 2. Causal Loop Penilaian konstruksi Jalan yang Layak

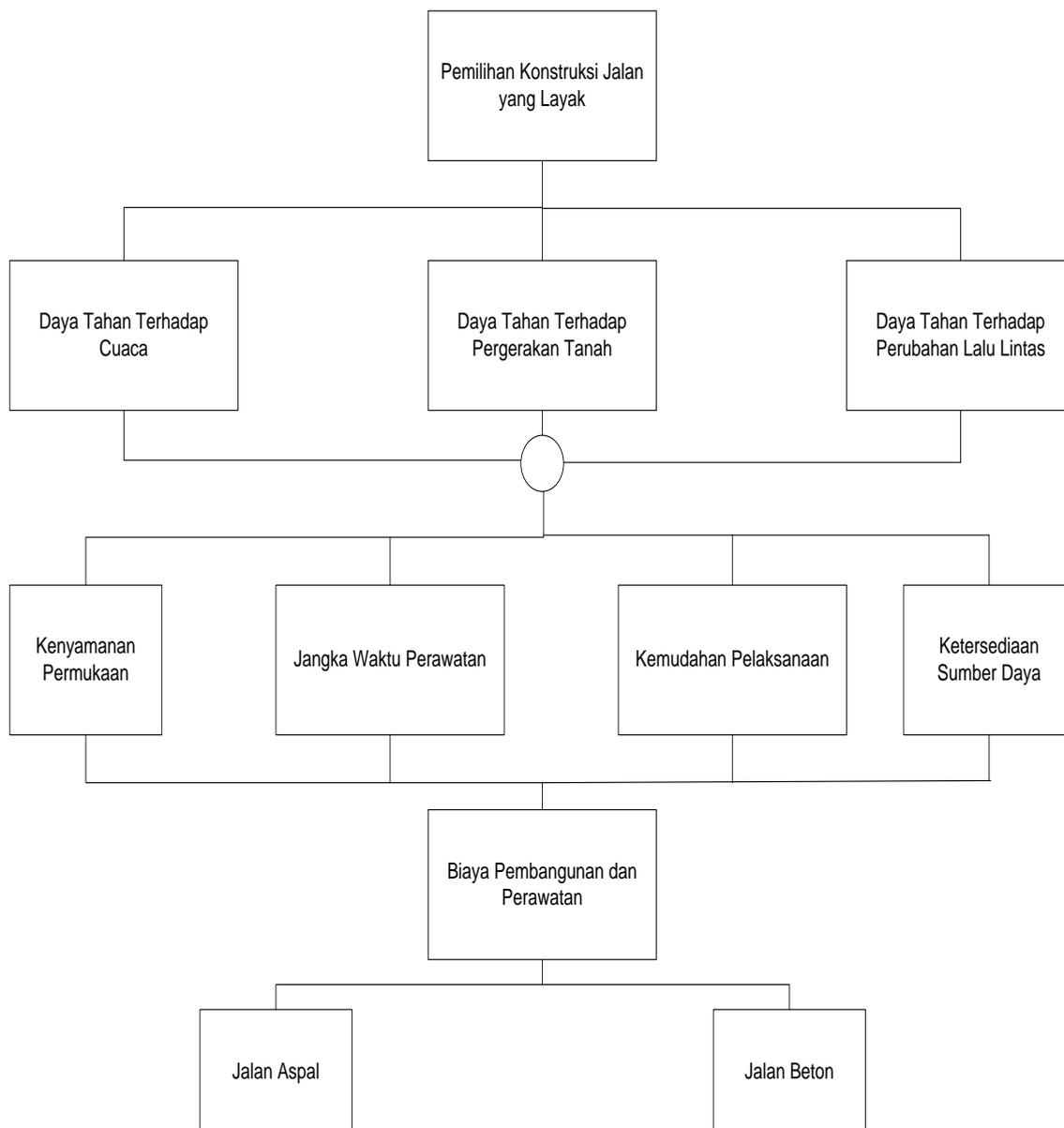
Narasi dari sistem pada Gambar 2 adalah dimulai dari keluarnya kebijakan dari pembuat keputusan akan pemilihan material pembuatan konstruksi jalan apakah jalan beton atau aspal. Jalan beton atau aspal ini berhubungan dengan tingkat kekakuan dari masing-masing material yang berhubungan juga dengan daya tahan. Daya tahan merupakan salah satu faktor penentu untuk menentukan performa dari suatu jalan yang layak. Selain daya tahan faktor lainnya yaitu nilai ekonomis yaitu berupa biaya investasi dan manfaat. Penggunaan material mempunyai keterkaitan dengan biaya investasi, karena masing-masing material memiliki biaya yang berbeda, baik dari segi biaya pembuatan maupun perawatan.

Sedangkan manfaat berhubungan dengan jangka waktu pelayanan dan kapasitas pelayanan yang memiliki keterkaitan dengan kualitas pelayanan. Kualitas pelayanan ada hubungannya dengan umur rencana suatu jalan yang merupakan faktor lain penentu suatu jalan yang layak. Faktor lain untuk menentukan kelayakan jalan adalah fleksibilitas yang berhubungan dengan kemudahan reconstruksi. Konstruksi jalan dikatakan fleksibel jika mudah dalam memperbaikinya atau menggantinya tanpa melakukan perubahan secara mendasar dari konstruksi yang sudah ada. Sebaliknya jalan kurang fleksibel jika sedikit perbaikan atau penggantian harus diikuti dengan perubahan mendasar terhadap konstruksi dasarnya. Selain itu ada faktor kenyamanan yaitu ukuran performansi yang dirasakan langsung oleh pengguna lalu lintas selama menggunakan jalan tersebut. Umumnya faktor kenyamanan berkaitan dengan kualitas permukaan, karena kendaraan bersentuhan langsung dengan

permukaan jalan. Semakin baik, halus atau rata permukaan, akan memberikan tingkat kenyamanan berkendara yang tinggi. Faktor terakhir yang menentukan jalan layak atau tidak adalah aplikabilitas. Aplikabilitas adalah mudah tidaknya penerapan konstruksi jalan pada suatu tempat. Suatu konstruksi dikatakan memiliki tingkat aplikabilitas tinggi jika konstruksi bersangkutan dapat diterapkan dengan mudah di suatu lokasi. Penerapan ini berhubungan dengan kemudahan pelaksanaan, ketersediaan sumber daya manusia, sumber dana, dan kesesuaian dengan lingkungan sekitar. Maka kebijakan kritis dari masalah ini adalah dari penggunaan material apakah beton atau aspal yang kebijakannya dibuat oleh seorang decision maker.

Program Expert Choice dapat menghitung semua data yang ada dan memberikan panduan dalam melakukan perbandingan berpasangan. Analisa AHP dengan *Expert Choice* (EC) memerlukan pemodelan masalah (mencakup tujuan, kriteria, subkriteria, dan alternatif) dilengkapi rasio perbandingan berpasangannya. *Expert Choice* akan memudahkan proses sintesa dan menghasilkan prioritas masing-masing elemen.

Langkah penghitungannya adalah dengan mulai menetapkan goal/tujuan dari permasalahan, lalu menetapkan kriteria, menetapkan subkriteria yang berhubungan dengan kriteria, menetapkan alternatif, mempairwise data sehingga didapat prioritas dari kriteria dan subkriteria serta alternatif. Setelah itu dapat ditampilkan hasil analisis berupa gambar. Gambar 3 menunjukkan struktur hirarki AHP analisis pemilihan kelayakan konstruksi jalan.



Gambar 3. Struktur Hirarki AHP Untuk Analisis Pemilihan Kelayakan Konstruksi Jalan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal dengan metode AHP expert choice adalah pemodelan masalah dilengkapi rasio perbandingan berpasangannya. Langkah penghitungan yaitu menetapkan goal atau tujuan dari permasalahan, menetapkan kriteria, menetapkan subkriteria yang berhubungan dengan kriteria, menetapkan alternatif, mempairwise data sehingga didapat prioritas dari kriteria dan subkriteria serta alternatif.

Setelah itu dapat ditampilkan hasil analisis berupa gambar kerja. Gambar 4. menunjukkan goal, kriteria dan subkriteria. Goal atau tujuannya adalah pemilihan konstruksi jalan yang layak apakah beton atau aspal. Kriteria pertama adalah daya tahan terhadap cuaca, kedua adalah daya tahan terhadap pergerakan tanah, dan ketiga adalah daya tahan terhadap perubahan lalu lintas. Subkriteria terdiri dari kenyamanan permukaan, jangka waktu perawatan, kemudahan

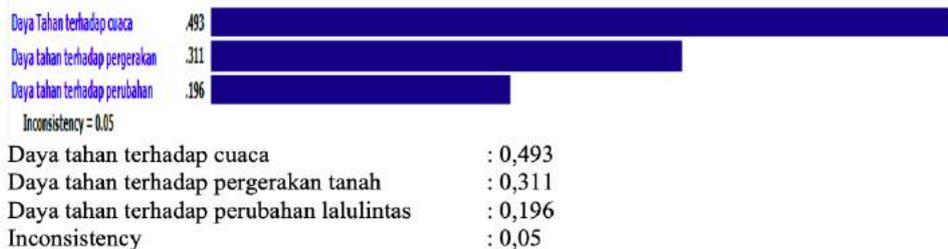
pelaksanaan, ketersediaan sumber daya, pergerakan tanah dan perubahan lalu lintas.

Dari hasil output untuk kriteria tersebut dapat dilihat daya tahan terhadap cuaca menjadi prioritas dengan hasil 0,493. Menunjukkan bahwa faktor daya tahan terhadap cuaca menjadi faktor teknis yang utama dalam menilai prioritas infrastruktur jalan. Campuran yang mengandung aspal akan memberikan ikatan lambat pada kelembaban yang tinggi. Ini dikarenakan udara telah mengandung uap air, sehingga menghalangi air atau larutan yang akan menguap. Pada musim penghujan tahanan gesek permukaan jalan akan berkurang, atau dapat pula berkurang akibat tertutup lumpur, salju, es, atau bahan lainnya, namun pada musim kering

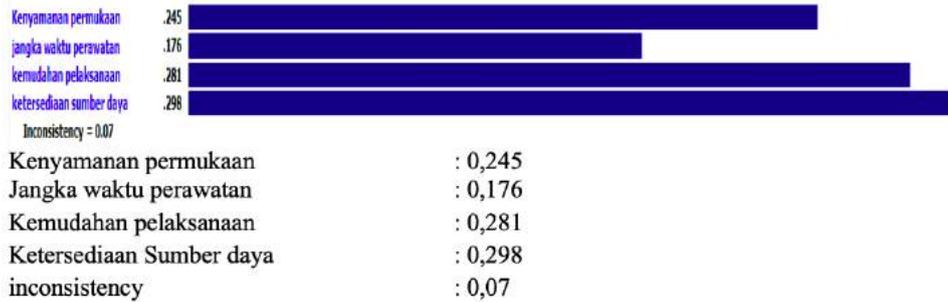
semua jalan memiliki tahanan gesek yang besar. Daya tahan terhadap pergerakan tanah menjadi prioritas kedua setelah cuaca, umumnya sebelum melaksanakan konstruksi jalan ada data tanah proyek yang dapat diidentifikasi terlebih dahulu sehingga jika tanahnya sesuai untuk konstruksi jalan maka pergerakan tanah dapat diminimalisir. Daya tahan terhadap perubahan lalu lintas menjadi paling rendah prioritasnya, karena keadaan lalu lintas cenderung berubah-ubah sehingga sangat minim terjadi kerusakan akibatnya. Kriteria mendapat *inconsistency* kurang dari 1 yaitu 0,05 maka dapat dikatakan konsisten. Setelah itu mempairwise data hingga didapat hasil output seperti pada Gambar 5.



Gambar 4. Goal , Kriteria dan Sub kriteria



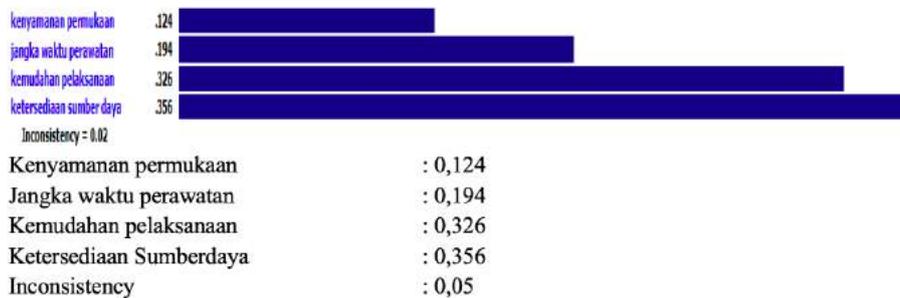
Gambar 5. Hasil Output



Gambar 6. Subkriteria dari Daya Tahan Terhadap Cuaca

Subkriteria dari daya tahan terhadap cuaca didapat output seperti pada gambar 6. Dari analisis subkriteria untuk kriteria daya tahan terhadap cuaca dapat dilihat faktor ketersediaan sumber daya menjadi subkriteria prioritas dengan nilai 0,298. Ketersediaan sumber daya erat kaitannya dengan dana yang selalu menjadi kendala terutama ditengah anggaran pembangunan jalan yang terbatas di Indonesia. Faktor ini penentu apakah konstruksi jalan ini dilanjutkan atau tidak. Sedangkan jangka waktu perawatan dengan

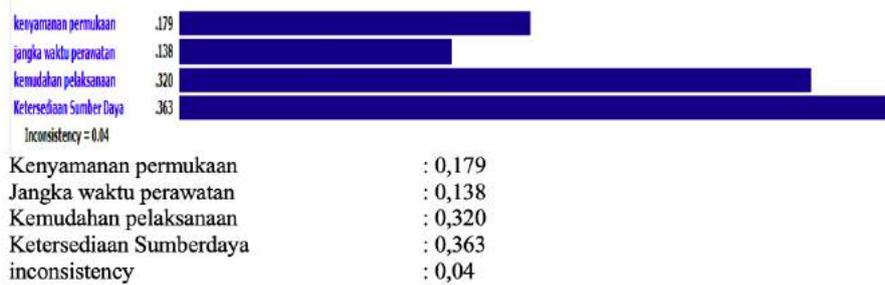
nilai 0,176 menjadi paling rendah prioritasnya karena berkaitan cepat atau lamanya perbaikan sutau proyek konstruksi. Terutama yang rusak akibat cuaca buruk, badai dan lainnya. Semakin minimal perawatan dan perbaikannya maka konstruksi itu dinilai baik. Subkriteria mendapat *inconsistency* kurang dari 1 yaitu 0,07 maka dapat dikatakan konsisten. Untuk subkriteria dari daya tahan terhadap pergerakan tanah didapat output seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Subkriteria dari Daya Tahan terhadap Pergerakan Tanah

Dari analisis subkriteria untuk kriteria daya tahan terhadap pergerakan tanah dapat dilihat faktor ketersediaan sumber daya menjadi subkriteria prioritas dengan nilai 0,356. Ketersediaan sumber daya menjadi faktor penentu apakah konstruksi jalan tersebut dilanjutkan atau tidak, sumber daya juga menentukan untuk menguji kekuatan tanah yang ada baik dengan uji N-SPT atau uji

dengan software, memerlukan ahli geoteknik untuk mengujinya. Sedangkan kenyamanan permukaan paling rendah prioritasnya dengan nilai 0,124 karena berkaitan dengan kasar atau tidaknya perkerasan jalan dan kenyamanan pengguna jalan ketika melewati jalan tersebut. Subkriteria mendapat *inconsistency* kurang dari 1 yaitu 0,05 maka dapat dikatakan konsisten.



Gambar 8. Subkriteria dari Daya Tahan Terhadap Perubahan Lalu Lintas

Subkriteria dari daya tahan terhadap perubahan lalu lintas didapat output seperti pada gambar 8. Dari analisis subkriteria untuk kriteria daya tahan terhadap perubahan lalu lintas dapat dilihat faktor ketersediaan sumber daya masih menjadi subkriteria prioritas dengan nilai 0,363. Ketersediaan sumber daya menjadi faktor penentu apakah konstruksi jalan tersebut dilanjutkan atau tidak, sumber daya juga menentukan untuk melihat perubahan lalu lintas yang ada, baik pada saat arus lalu lintas padat ataupun pada saat arus lancar. Sedangkan jangka waktu perawatan paling rendah prioritasnya dengan nilai 0,138 karena berkaitan dengan waktu cepat atau

lamanya perbaikan suatu proyek konstruksi. Terutama yang rusak akibat arus lalu lintas padat maka banyak juga beban yang harus diampu oleh material jalan. Semakin minimal perawatan dan perbaikannya maka konstruksi itu dinilai baik. lama tidaknya perubahan lalu lintas yang terjadi.. Subkriteria mendapat *inconsistency* kurang dari 1 yaitu 0,04 maka dapat dikatakan konsisten. Alternatif secara umum jalan beton lebih unggul dari jalan aspal dengan output seperti pada gambar 9. Dari analisis secara keseluruhan yang melibatkan faktor-faktor dalam skala prioritas maka jalan beton lebih unggul dua kali lipat dibandingkan dengan aspal.



Gambar 9. Alternatif Secara Umum Jalan Beton Lebih Unggul dari Jalan Aspal

SIMPULAN

Analisis dengan AHP metode Expert Choice menunjukkan bobot tertinggi pada faktor teknis adalah faktor daya tahan terhadap cuaca sebagai prioritas dengan nilai 0,493. Hasil ini mengindikasikan bahwa faktor daya tahan terhadap cuaca dianggap faktor teknis yang paling penting dalam menilai layak atau tidaknya suatu konstruksi jalan. Setelah itu, bobot tertinggi pada faktor non teknis adalah

faktor ketersediaan sumber daya dengan nilai prioritas 0,298 terhadap cuaca, 0,356 terhadap pergerakan tanah dan 0,363 terhadap perubahan lalu lintas. Analisis tersebut menunjukkan bahwa faktor non teknis yang paling dipertimbangkan dalam pemilihan kelayakan jalan terhadap cuaca adalah faktor ketersediaan sumber daya merupakan. Terdapat empat faktor yang menunjukkan keunggulan dari jalan beton, yaitu daya tahan

terhadap cuaca, daya tahan terhadap pergerakan tanah, daya tahan terhadap lalu lintas dan jangka waktu perawatan yang perbandingan keunggulannya dengan konstruksi aspal adalah rata-rata enam kali. Keunggulan konstruksi aspal terdapat pada faktor-faktor kenyamanan permukaan jalan, kemudahan pelaksanaan pembangunan, ketersediaan sumber daya dan teknologi serta biaya dengan yang perbandingan keunggulannya dengan konstruksi beton adalah rata-rata empat kali. Semua kriteria mendapat *inconsistency* kurang dari 1 maka dapat dikatakan konsisten. Hasil analisis dari seluruh faktor yang telah ditinjau, dapat disimpulkan bahwa jalan dengan konstruksi beton lebih unggul jika dibandingkan jalan dengan konstruksi aspal.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanto., A. (2008). “*Perbandingan Kelayakan Jalan Beton dan Aspal dengan Metode Analytic Hierarchy Process (Ahp) (Studi Kasus Jalan Raya Demak – Godong)*” Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Dinariana, Dwi. (2013). “*Analysis Feasibility Asphalt Pavement And Concrete Pavement With Analytical Hierarchy Prrocess (AHP) Method*” Universitas Muhammadiyah Surakarta, Solo
- Ignasius, Gerardus., Djakfar, Ludfi & Anwar, Ruslin.(2014). “*Studi Penentuan Prioritas Pengembangan Jaringan Jalan Di Kabupaten Lembata – Provinsi NTT*”, Jurnal Rekayasa Sipil, Vol.8, No.1.
- Irawan, Hafit., Ismiyati & Pudjianto, B. (2016). “*Penentuan Skala Prioritas Penanganan Jalan Kabupaten di Kabupaten Kudus Dengan Metode Analytical Hierarchy Process*” Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Kurnia Putri, Puji. (2019). “*Implementasi Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Dalam Sistem Pendukung Keputusan Pembelian Rumah di Kota Tangerang*”, TEKNOINFO, Vol. 13 No 1, 2019
- Mulyani, Sri Yeni & Widayat , Djoko. (2013). “*Pengembangan Model Analitik Perhitungan Temperatur Perkerasan Jalan Untuk Penentuan Kelas Kinerja Aspal*”, Puslitbang Jurnal Jalan dan Jembatan, Vol.30, No.1, hal 16-21.
- Rulan. (2013). “*Prioritas Pemeliharaan Jalan Non Lingkungan di Kota Surakarta Dengan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process)*” Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Sjahanurliwan, M. (2003). “*Karakteristik Aspal yang Diperlukan Sebagai Bahan Jalan*”, Jurnal Litbang Jalan, Vol.20, No.4, hal 1-4, Desember.
- Sjahanurliwan, M. (2008). “*Kelebihan Serta Kekurangan Perkerasan Beraspal dan Beton*”, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Vol.25, No.1, hal 1-11.
- Yusuf., A.(2006). “*Kinerja Sistem Drainase yang Berkelanjutan Berbasis Partisipasi Masyarakat*” Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang

**SURVEY TEKNIK PENGKLASIFIKASIAN GAYA
ARSITEKTUR
PADA FASAD BANGUNAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN
DEEP LEARNING CNN**

***SURVEY TECHNIQUE OF CLASSIFICATION OF
ARCHITECTURAL STYLE ON BUILDING FACILITIES USING
APPROACH DEEP LEARNING CNN***

Edy Sutomo
Program Studi Teknik Arsitektur, Universitas Gunadarma
edysutomo@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Teknik pengklasifikasian gaya arsitektur pada fasad bangunan menjadi bagian penting pada dunia perancangan, guna mempercepat proses dalam melakukan kajian tipologinya. Dewasa ini dengan semakin berkembangnya teknologi informasi, sangat memungkinkan bila seiring waktu dengan berbagai kemajuan metode dalam mengekstraksi obyek bangunan utamanya fasad bangunan. Penelitian dalam pengklasifikasian fasad bangunan banyak dilakukan untuk menelusuri jenis bangunan maupun aspek estetika lainnya. Demi tujuan tersebut studi survey ini dimaksudkan untuk mengetahui teknik komputasi Deep Learning (DL) yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi fasad bangunan secara lebih akurat dengan membedakan dan mengelompokkannya agar lebih mudah dikenali tipe bangunannya. Metode yang digunakan dalam melakukan penelitian ini menggunakan teknik seleksi dan eliminasi, berasal dari penelitian di berbagai jurnal yang relevan terhadap pengklasifikasian gaya arsitektur bangunan. Hasil survey literatur menunjukkan bahwa terdapat kesenjangan, hasil akurasi dari yang tertinggi ke terendah sebesar 48,19 % sehingga diperlukan adanya inovasi pada perangkat sistemnya. Teknik DL paling banyak digunakan dengan pendekatan Convolutional Neural Network (CNN) yang dikombinasikan dengan sistem perangkat lain, daripada fitur sendiri guna meningkatkan nilai akurasi.

Kata kunci: Gaya Arsitektur, Fasad, Deep Learning.

Abstract

The technique of classifying architectural styles on building facades is an important part of the design world, in order to speed up the process of conducting typological studies. Nowadays, with the development of information technology, it is possible that over time with various advances in methods of extracting building objects, especially building facades. Research in the classification of building facades is carried out to explore the types of buildings and other aesthetic aspects. For this purpose, this survey study is intended to identify Deep Learning (DL) computational techniques that can be used to identify building facades more accurately by differentiating and grouping them to make it easier to identify the building type. The method used in conducting this research uses selection and elimination techniques, derived from research in various journals that are relevant to the classification of building architectural styles. The results of the literature survey show that there is a gap, the accuracy results from the highest to the lowest are 48,19% so that innovation is needed in the system equipment. The DL technique is most widely used with the Convolutional Neural Network (CNN) approach in combination with other device systems, rather than its own features to increase the accuracy value.

Keywords: Architecture style, Facades, Deep Learning.

PENDAHULUAN

Tipologi menurut kamus *webster* adalah studi atau analisis atau klasifikasi berdasarkan jenis atau kategori, dalam perjalannya studi tentang tipologi menjadi berkembang meliputi semua aspek dalam ilmu pengetahuan. Penelitian yang berhubungan dengan pengenalan bentuk visual tidak akan terlepas dari aspek-aspek yang berkaitan erat dengan teknik pengklasifikasian suatu obyek yang dapat dicerap oleh panca indera. Namun dalam perjalannya mengingat keterbatasan memori manusia sering kita jumpai bahwa kepastian dalam mengenali obyek visual dapat berubah-ubah atau tidak konsisten seiring kemampuan seseorang dalam mengingatnya. Demi tujuan tersebut maka arsitek dalam melaksanakan studi tipologi dapat menggunakan serta memanfaatkan teknologi komputasi yang semakin maju.

Pengklasifikasian merupakan salah satu aspek terpenting dalam dunia Arsitektur dalam rangka untuk menemukan atau melacak jenis atau tipe apakah yang digunakan dalam mendesain suatu bangunan. Fasad merupakan elemen utama dalam arsitektur yang dapat menyuarakan fungsi serta makna dari sebuah bangunan. Hal ini lebih mudah diidentifikasi melalui elemen penyusunannya, fasad secara implisit memberitahukan kondisi budaya ketika bangunan itu dibuat, fasad juga mengungkapkan parameter tatanan dan penataan, dan berjasa memberikan ruang kreatifitas dalam hal ornamentasi dan dekorasi. Kondisi fasad dari suatu gedung dapat menceritakan keadaan penghuninya serta merupakan wujud identitas kolektif dalam komunitas masyarakat tertentu (Sastra, 2016).

Sejarah pengklasifikasian gaya dan jenis arsitektur dapat ditinjau dari berbagai perspektif. Gaya arsitektur (mis., *Renaissance*, *Baroque*) menyediakan format dasar untuk mendesain bangunan individu di wilayah geografis pada zaman tertentu. Ornamen yang berkaitan dengan gaya tertentu dianggap

sebagai ekspresi keindahan untuk setiap zaman, fitur/ornamen ini kemudian mengubah bangunan biasa menjadi struktur dan arsitektur secara signifikan. Dengan demikian elemen visual seperti jendela, pilar, dan tatanan arsitektur dapat memberikan petunjuk untuk mengidentifikasi atau mengklasifikasikan arsitekturnya menjadi gaya tertentu.

Klasifikasi berbasis elemen pada arsitektur cagar budaya, sejumlah besar arsitektur modern dan kontemporer yang bertipologi fungsi, perubahan ini sebagian besar disebabkan oleh adanya perubahan konsep desain gaya Internasional yang bertujuan untuk mengekspresikan fungsi bangunan melalui "estetika mesin", menghasilkan pembentukan arsitektur modern menjadi *white box*. Ornamen dan dekorasi bersejarah ditolak dan "mesin" menjadi model arsitektur modern. Dengan demikian, kaum modernis cenderung mereduksi segala bentuk menjadi abstraksi. Selain itu, ruang dan pengalamannya menjadi salah satu topik terpenting dalam desain arsitektur modern dan kontemporer.

Kompleksitas pengklasifikasian karena ruang tidak dapat diidentifikasi oleh elemen, melainkan muncul ketika dikelilingi oleh kombinasi beberapa elemen spasial bersama dengan cahaya. DCNN secara teknis menurut cakupannya dapat berkontribusi terhadap klasifikasi gaya desain maupun klasifikasi yang berbasiskan elemen. Penggunaan teknik *Deep Learning* terbaru dapat dikembangkan dalam memproses gambar visual dalam mengklasifikasikan dataset yang diambil melalui sampel, kemudian dikelompokkan menurut kesamaan visual yang diukur oleh algoritma. Hasil akhir dapat dibandingkan dengan klasifikasi yang dibuat oleh sejarawan dan ahli teori arsitektur. Dengan demikian dapat ditunjukkan kemampuan kecerdasan buatan untuk mengklasifikasikan desain arsitektur modern dan kontemporer. Klasifikasi yang dihasilkan oleh komputer vision memberikan wawasan untuk mening-

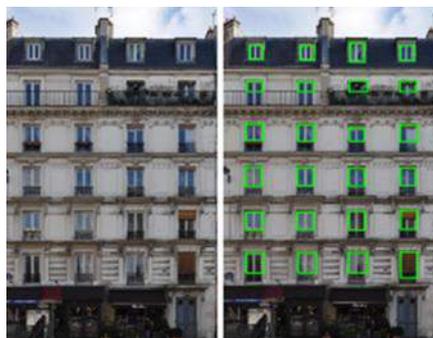
katkan pemahaman tentang desain arsitektur (Yoshimura et al., 2018).

Fasad disusun dari elemen tunggal, suatu kesatuan tersendiri yang mampu mengekspresikan diri mereka sendiri. Kata fasad berasal dari literatur bahasa Latin yaitu “*facies*” sinonim dari kata “*face*” (wajah) dan selanjutnya disebut “*appearance*” (penampilan). Fasad dapat dimaknai sebagai muka utama yang menghadap eksterior dari bangunan, berada pada sisi utama yang pada umumnya menghadap ke arah jalan utama. Fasad utama merupakan sisi bangunan yang mempunyai pintu masuk utama/entrance yang biasanya mempunyai detail yang menarik.(Sastra, 2016). Unsur pembentuk fasad meliputi pagar, ornamen dan semua atribut yang melekat pada muka bangunan.

Melalui tipologi suatu obyek arsitektur/bangunan bisa dianalisis/dijelaskan perubahannya yang terkait dengan bentuk/bangun dasar, sifat dasar, dan juga proses perkembangan maupun perubahan bangun dasar tersebut. Pengetahuan tipologi berikutnya akan berorientasi pada usaha dalam mengelaskan, mengklasifikasikan atau mengelompokkan melalui aspek atau aturan tertentu antara lain: (1) fungsi (terdiri dari struktural, simbolis, ruang dan lain sebagainya); (2) geometrik (terdiri dari prinsip tatanan, bentuk dan lain sebagainya); (3) langgam (terdiri dari periode, etnik, budaya, lokasi atau geografi, politik atau kekuasaan dan lain sebagainya). (Ramadanta,

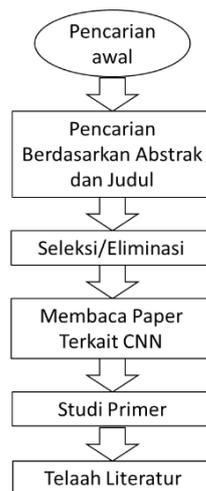
2010) Dalam kaitan ini langgam diusulkan menjadi *gaya/style* agar mudah dipahami untuk tujuan penelitian ini.

Pemanfaatan *Deep Learning* (DL) untuk *computer vision* (CV) memungkinkan sifat-sifat penglihatan manusia diterapkan pada komputer. Dapat berbentuk *smartphone*, *drone*, CCTV, pemindai MRI, dan sebagainya. Melalui berbagai sensor untuk penginderaan. Klasifikasi gambar merupakan pemberian label seluruh gambar dengan objek atau konsep. Aplikasi ini termasuk klasifikasi gender yang diambil dari gambar wajah seseorang, mengidentifikasi jenis hewan peliharaan, menandai foto, dan sebagainya. Keluaran klasifikasi dari fitur ini adalah deteksi, segmentasi, uji kemiripan, pelabelan gambar, generatif model dan analisis video. *Convolutional neural networks* (CNN) mirip dengan jaringan saraf yang di dalamnya memiliki bobot, bias, dan keluaran melalui aktivasi non linier. Jaringan saraf reguler mengambil input dan neuron yang terhubung sampai ke lapisan berikutnya. Neuron dalam lapisan yang sama tidak berbagi koneksi apa pun. Jika menggunakan jaringan saraf biasa untuk gambar, akan sangat besar ukurannya karena sejumlah besar neuron yang mengakibatkan *overfitting*. Tambah ukuran model (*resize model*) karena membutuhkan sejumlah besar *neuron*. Suatu gambar dapat dianggap sebagai volume dengan dimensi tinggi, lebar, dan kedalaman. (Sarkar et al., 2018)



Gambar 1. Fasad Bangunan

Sumber: Pesto,2016



Gambar 2. Tahapan Survey Literatur

Sumber: Penulis, 2020

Makalah ini bertujuan untuk melakukan survey penelitian tentang teknik pengklasifikasian fasad bangunan melalui teknik visi komputer, berdasarkan penampilan visual maupun elemen penyusunannya. Teknik *Deep Learning* CNN dapat mengidentifikasi fitur desain pada fasad bangunan dengan membedakan produk perancangannya dan mengelompokkannya menjadi tipologi arsitektur tertentu. Sehingga hasil akhir penelitian ini dapat menjadi referensi sebagai pengetahuan baru dalam bidang yang relevan.

METODE PENELITIAN

Penelitian berfokus pada pencarian database ilmiah elektronik yang berasal dari berbagai pengelola jurnal ilmiah. Tahapan penelitian secara garis besar mengikuti kriteria inklusi antara lain terkait tentang studi pada penerapan CNN untuk teknik klasifikasi gaya arsitektur pada fasad bangunan dengan publikasi tahun 2010 sampai 2020, kemudian kriteria eliminasi berfokus pada studi yang berasal dari buku serta laporan penelitian ditahun yang sama.

Tahapan survey literatur dapat diuraikan sebagai berikut diawali dengan proses pencarian literatur serta proses yang mendasari CNN. Terdapat beberapa proses

dalam menyusun sebuah survey literatur, diantaranya yaitu proses pencarian awal, proses seleksi dan eliminasi, kemudian identifikasi studi primer dan yang terakhir telaah literatur. Mengingat keterbatasan pada penelitian maka dilakukan modifikasi dalam tahapan disesuaikan keperluannya. Secara umum proses survey literatur pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan merekonstruksi pemodelan kota melalui pendekatan struktur buatan merubahnya menjadi label semantik secara otomatis, baik melalui gambar 2D maupun gambar 3D, selanjutnya klasifikasi dari dataset yang digunakan terdiri dari 4 kelas yaitu atap, dinding, bukaan (termasuk jendela dan pintu) dan balkon. Hasil menunjukkan bahwa fitur 3D dapat memperbaiki kesalahan dalam pengklasifikasian dengan piksel serta dapat memberikan informasi tambahan terkait spasial. Terdapat perbaikan kinerja dalam pengklasifikasian kelas balkon menggunakan FC-DenseNet yang terlatih dengan informasi 2D yang dikombinasikan dengan fitur 3D. Kinerja FC-DenseNet dan DeepLabV3 plus semuanya membaik dengan menambahkan fitur 3D. Di FC-DenseNet, IoU meningkat dari 59,28% menjadi 64,41%; Di DeepLab, IoU

meningkat dari 62,09% menjadi 62,16%. Akurasi keseluruhan juga semuanya meningkat dalam dua model: dari 88,42% menjadi 91,30% di FC-DenseNet dan dari 89,08% menjadi 91,10% masing-masing di DeepLab. FC-DenseNet yang terlatih dengan fitur 3D gabungan 3D mendapatkan hasil terbaik dengan akurasi 91,30% dan 64,41% IoU. Dalam beberapa tahapan terbukti bahwa fitur 3D dapat meningkatkan kinerja segmentasi, terjadi kebingungan membedakan antara atap dan dinding pada tahapan ini. Dibandingkan kedua model ini, DeepLabV3 plus memiliki kinerja yang lebih baik pada eksperimen 2D, dan FC-DenseNet mencapai kinerja terbaik dengan akurasi 91,30% dan 64,41% IoU saat menambahkan fitur 3D (Huang, 2019).

Dalam makalah ini menggunakan elemen jalur pipa untuk segmentasi semantik bangunan yang berasal dari gambar yang diperoleh melalui drone atau UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) dengan pendekatan CNN. Simulasi berbagai gambar tampilan udara dari gambar terrestrial berdasarkan perkiraan homografi, melalui data pelatihan yang banyak tanpa memberi anotasi gambar UAV secara manual. Eksperimen ini menunjukkan bahwa jaringan terlatih dapat mencapai kinerja segmentasi yang wajar untuk gambar yang dihasilkan oleh UAV. Selain itu tampilan yang disimulasikan juga dapat ditingkatkan nilai akurasi segmentasinya secara signifikan. Gambar yang dihasilkan oleh UAV untuk pengujian dipilih data yang berasal dari dataset UAV yang tersedia, yaitu dataset ISPRS "Zeche Zollern" dan "Stadthaus", yang merupakan representasi bangunan bergaya modern dan tradisional. Kemudian dikumpulkan gambar fasad rumah yang berasal dari tempat yang terpisah di Morschenich, Jerman, menggunakan UAV rotari. Perbedaan dari dataset ISPRS di mana jendela ditampilkan dengan kaca transparan, beberapa jendela rumah ini ditutupi dengan tirai dan tampak buram. Untuk mengevaluasi

akurasi segmentasi, pelabelan gambar uji dilakukan secara manual digunakan sebagai data dasar. Hasil segmentasi piksel adalah sebagai berikut dengan perbandingan dari data asal meliputi obyek bangunan 84,92%, pintu 37,70%, jendela 80,39%, vegetasi 91,83% dan ground 83,11%. Data simulasi menunjukkan peningkatan nilai akurasi yaitu obyek bangunan 87,66%, pintu 41,87%, jendela 84,01%, vegetasi 92,60% dan ground 84,34% (Zhuo et al., 2019).

Obyek penelitian ini adalah pengklasifikasian gambar fasad bangunan yang memiliki elemen tangga dari jalan raya untuk dijadikan kelas utilitas yang berbeda, dengan tingkat kerumitan yang cukup tinggi sangat tergantung pada properti gambar, properti objek dan faktor lingkungan (variasi skala objek dan orientasi, perubahan jumlah bangunan per gambar, dipangkas fasad dalam gambar, oklusi, mengubah pencahayaan. Usulan penelitian ini melalui pendekatan *end to end* untuk mengklasifikasikan gambar tangga pada fasad bangunan melalui tingkat abstraksi yang tinggi hingga mencapai hasil yang sesuai untuk pengayaan model semantik perkotaan dalam 3D secara otomatis. Untuk memberikan penilaian yang wajar atas kinerja CNN. Selanjutnya melalui penggunaan dataset untuk mendapatkan data kinerja manusia sebagai perbandingan. Kebutuhan untuk studi seperti itu sangat jelas karena penampilan fasad tidak selalu sesuai dengan penggunaan aktual bangunan atau alih fungsi. Asumsi bahwa perbedaan ini tidak dapat diselesaikan dalam ruang visual, maka dengan adanya batas alami untuk mendapatkan nilai akurasi secara keseluruhan. Demikian tingkat kesalahan klasifikasi gambar 36% (kasus 5 kelas) diperlukan perbaikan lanjutan. Penelitian ini mencoba dengan merubah metode pendekatan, melalui peningkatan partisi kelas/klasifikasi dan mengurangi variansi intra kelas. Perlunya penggunaan model mutakhir (VGG16, VGG19, ResNet50) karena cukup kompleks tingkat kesulitannya, maka hasilnya kinerja

sistemnya menjadi sedikit lebih buruk. Perbaikannya digunakan data pratraining yang berasal dari ImageNet. Hasil data pratraining meningkatkan kinerja sebesar 8-10% meskipun gambar yang berasal dari ImageNet sangat berbeda dengan dataset. Jaringan yang dirancang sendiri dapat mencapai akurasi secara keseluruhan 52,29% sekaligus mengurangi jumlah parameter sekitar 72% (Laupheimer & Haala, 2018).

Kontribusi penelitian ini bermaksud untuk penyediaan set data pelatihan dengan menghubungkan informasi semantik yang sudah ada pada database yang disediakan dari badan pemetaan nasional atau administrasi kota ke gambar fasad bangunan terkait gambar yang diambil dari SV (*street view*). Konsep penelitian ini menggunakan CNN dan classifier sebagai alternatif. Data untuk pelatihan dan pengujian CNN yang sama dengan sebelumnya, jumlah dataset pelatihan terdiri dari 8000 gambar (4 kelas, masing-masing 2.000 gambar) dan dataset validasi berisi berjumlah 70 gambar per kelas. Adapun data latih sejumlah 2.200 gambar dengan distribusi untuk bangunan komersial 19%, hibrid/campuran 22%, perumahan 43% dan penggunaan khusus 16%. Data simulasi menunjukkan hasil peningkatan nilai akurasi berdasarkan klasifikasi fungsi bangunan sebelumnya recall yaitu obyek komersial 71,62% campuran/hibrid 76,80%, perumahan 75,89% dan peruntukan khusus 78,48 %. Setelah dievaluasi akurasi dapat ditingkatkan untuk obyek komersial 72,60%, campuran/hibrid 80,67%, perumahan 85,00% dan peruntukan khusus 63,27% (Tutzauer & Haala, 2017).

Studi ini adalah membuat dataset baru dengan cara memasukkan gambar struktur asitektonik bangunan yang berasal dari Mexico terbagi menjadi 3 kategori yaitu prahispanik, kolonial dan modern. Gambar berasal dari lembaga budaya Meksiko berupa video yang diekstraksi. Dataset berisi berbagai jenis gambar dalam format perspektif

bangunan yang di dalamnya termasuk keempat kategori dalam klasifikasi tersebut dan gambar non-arsitektur. Agar dapat meningkatkan jumlah gambar dalam dataset dapat diperoleh melalui transformasi. Kemudian matriks yang tidak konsisten (*class confusion*) kelas dari pelatihan dengan kinerja terbaik, hal ini sangat berguna untuk mendeteksi evolusi pembelajaran di kelas selama fase pelatihan. Pada diagonal utama, persentase prediksi yang benar dari setiap klasifikasi dapat dilihat secara individual. Setiap klasifikasi berupa besaran prosentase ketidakkonsistenan dengan yang lain disebabkan adanya kesamaan antar kelas pada gambar yang terdapat pada database. Dalam gambar *prehispanic*, terdapat banyak konten alam, langit, atau tumbuhan seperti di klasifikasi lain dan sebaliknya terdapat konten sejenis pada gambar kelas lain namun tanpa arsitektur *prehispanic*. Hal ini menyebabkan kebingungan dengan kelas lain, perilaku ideal pengklasifikasian harus terdapat diskriminasi gaya arsitektur dari kelas lain. Hasil ringkasan perbandingan antara dataset dengan label prediksi dengan 4 kelas untuk data set yaitu Prahispanik 89,16%, Kolonial 87,95%, Modern 83,39% dan lainnya 91,96% (Obeso et al., 2016).

Penelitian ini bertujuan membuat klasifikasi gambar dan pemulihan gambar berbasis konten (CBIR) menggunakan *convolutional neural networks* (CNN). Dalam hal ini dengan mengusulkan representasi tingkat menengah berupa pembaharuan/novelty menggunakan CNN pra terlatih, untuk mengekstraksi fitur dan menggunakannya dalam menyelesaikan pengklasifikasian, serta pengambilan pada dataset gambar bangunan dengan gaya arsitektur yang berbeda. Dataset berupa gambar warna bangunan dari 25 gaya arsitektur yang berbeda berisikan 4.794 foto. Gambar ini diunduh dari koleksi Wikimedia dan menampilkan banyak pilihan dari era yang berbeda. Klasifikasi terdiri dari kelas gaya arsitektur Mesir kuno, *American craftsman*,

American square styles, Romawi, Gotik dan selebihnya adalah gaya campuran. Dalam hal ini obyek penelitiannya adalah komparasi metode lain dengan CNN yang sudah dimodifikasi dengan menggunakan 25 kelas gaya arsitektur. Hasilnya dapat dijelaskan sebagai berikut GIST 17.39%, SP 44.52%, OB-Partless 42.50%, OB-Part 45.41%, DPM-LSVM 37.69%, DPM-MLLR 42.55%, MLLR+SP 46.21% dan diperbaiki dengan CNN layer 16 Raw+EFM 63.90% (Meltser et al., 2018).

Pengklasifikasian gambar dalam penelitian ini menggunakan *Convolutional Neural Networks* (CNN) dan segmentasi gambar berdasarkan piksel, menunjukkan fleksibilitas ketika mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai jenis objek, bahkan dalam situasi di mana manusia gagal memahami perbedaan dalam skenario kota. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengeksplorasi dan bereksperimen dengan teknik pelabelan semantik pada model perkotaan dalam format 3D. Tahapan penelitian dibagi menjadi dua jalur pemrosesan utama: pertama, cara memberi label pada fitur fasad dalam domain 2D, di mana CNN *supervised* digunakan untuk mengelompokkan gambar fasad berbasis darat menjadi enam kelas fitur yaitu, atap, jendela, dinding, pintu, balkon dan toko; kedua, alur kerja *Structure-from-Motion* (SfM) dan *Multi-View-Stereo* (MVS) digunakan untuk mengekstraksi elemen geometri pada fasad bangunan, di mana gambar tersegmentasi pada tahap sebelumnya kemudian digunakan label mesh yang dihasilkan dari "inverse" teknik penelusuran sinar. Kumpulan data SJC merupakan bangunan perumahan di São José dos Campos, São Paulo, Brasil. Gaya arsitektur yang terdapat di seluruh kota ini tidak unik (campuran), sering menyimpang atau tidak jelas antara gaya bebas dan gaya modern. Dataset sebanyak 175 gambar secara berurutan serta tumpang tindih diambil pada saat yang sama. Makalah ini menunjukkan

bahwa metodologi yang diusulkan cukup memadai dalam skenario yang kompleks. Kesimpulan fitur fasad telah mencapai akurasi hingga 93% atas sebagian besar dataset yang digunakan (Lotte et al., 2018).

Dalam penelitian ini dilakukan eksplorasi dalam pembelajaran mengkategorikan gambar ke dalam kelas abstrak dimungkinkan karena tidak adanya batas visual yang jelas antara kategori dan gambar, misalnya mengidentifikasi citra dengan suasana hati senang, sedih dan netral. Algoritma diusulkan melalui menggabungkan CNN dan prior ontologi untuk menyimpulkan pola abstrak dalam gambar menara pada bangunan yang menyerupai masjid di India. Pendekatan yang digunakan berbasis pembelajaran transfer di mana, pengetahuan (*knowledge*) sebagai domain ditransfer ke CNN saat pelatihan (*transfer top-down*) dan inferensi dibuat menggunakan prediksi CNN serta pohon ontologi / prior (*transfer bottom-up*). Kemudian dengan mengklasifikasikan gambar ke dalam kategori seperti Makam, Benteng dan Masjid. Melalui pendekatan metode tersebut terjadi peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan pengelompokan logistik menggunakan pendekatan pembelajaran transfer lainnya. Hasilnya dengan menggunakan 3 *classifier* yaitu Logistik 54.62%, Obyektif 1 63.55%, Obyektif 2 71.43% diperbaiki melalui pendekatan *leaf node accuracy* menjadi Obyektif 1 21.51%, Obyektif 2 75.59% (Gupta & Chaudhury, 2016).

Penelitian ini mengeksplorasi algoritma yang menyediakan fasilitas klasifikasi piksel untuk fasad bangunan, dikarenakan fasad bangunan terdapat lingkungan yang kaya elemen untuk menguji teknik segmentasi semantik. Fasad bangunan dengan berbagai gaya akan mencerminkan karakteristik visual dan tata letak, selain itu juga menunjukkan tingkat stabilitas dalam pengaturan pola struktur material. Alasan tersebut menjadikan sebab untuk mengintegrasikan tampilan visual

dan petunjuk tata letak dalam satu kerangka. Pelabelan yang paling memungkinkan yaitu berdasarkan penampilan visual diperoleh melalui penerapan *Convolutional Neural Networks* (CNN) yang telah dimodifikasi dan dioptimasi dengan *Restricted Boltzmann Machines* (RBM) selanjutnya diterapkan pada scanlines vertikal dan horizontal dari fasad bangunan. Tahapan berikutnya menguji algoritma pada dataset ECP-Monge dan dataset CMP. ECP-Monge berisi 104 gambar yang diperbaiki dari fasad dalam gaya Hausmannian. Terdapat 8 struktur yang ditentukan dalam peta *groundtruth*. Dataset CMP berisi sejumlah 378 sampel dengan 12 struktur dari berbagai gaya (seringkali sulit untuk model). Selanjutnya dalam percobaan, sy dan sx disatukan pada semua gambar serta diatur masing-masing menjadi 300 dan 200. Hasil untuk dataset ECPMonge 90,49% dan dataset CMP adalah 65,54% (Fathalla & Vogiatzis, 2017).

Pemetaan gaya arsitektur terhadap rumah dari blok perumahan di Amerika Serikat yang memiliki gaya arsitektur khas daerah diantaranya gaya Ranch dan Craftsman. Obyek yang diteliti meliputi bagian fasad bangunan termasuk elemen unsur pembentuknya. Dataset model yang digunakan berasal dari ResNet-18 dan ResNet-34, terdiri dari 2500 gambar yang didistribusikan ke dalam 5 kelas sehingga masing-masing menggunakan 500 gambar. Kelas dibuat berdasarkan gaya arsitektur yang berbeda pada wilayah perumahan tersebut. Metode pengklasifikasian menggunakan kerangka *Deep Learning* Pytorch untuk model *baseline* pelatihan *end to end* dan bobot model pratraining. Hasil menunjukkan bahwa sangat memungkinkan untuk mengklasifikasikan gaya arsitektur rumah di AS. dengan CNN. Akurasi mencapai tingkat klasifikasi hingga 79,8%, dan nilai skor lokalisasi deviasi 0,710 pada dataset tes dengan menggunakan ResNet-34 sebagai ekstraktor fitur (Pesto, 2016).

Ekstraksi fasad bangunan merupakan

komponen kunci dalam merekonstruksi *street scene* dalam bentuk 3D. Penelitian ini mengusulkan metode *Deep Learning* untuk segmentasi fasad ke dalam klasifikasi semantik. Struktur buatan manusia sering menghadirkan karakteristik yang simetri, terkait pada masalah ini mengusulkan adanya regulator/pengatur simetris untuk melatih CNN. Metode yang diusulkan dapat memanfaatkan kekuatan jaringan saraf yang terdapat pada struktur arsitektur buatan manusia, melalui perbaikan hasil segmentasi dengan menggunakan kotak partisi yang dihasilkan oleh *Region Proposal Network* melalui cara melatih jaringan FCN-8 dengan *function loss* baru. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode yang diusulkan melampaui metode sebelumnya secara signifikan pada dataset ECP maupun dataset eTRIMS. Aturan buatan dimasukkan ke dalam sistem *end-to-end* dari *Deep Convolutional Neural Networks* (DCNN), perlunya penggunaan istilah baru yaitu kerugian (*loss*) berdasarkan simetri yang biasanya ditemukan dalam struktur seperti bukaan pada jendela, dinding, dan pintu. Teknik segmentasi juga ditemukan deteksi berbasis *Deep Learning* (DL) sangat membantu dalam prosedur parsing di samping segmentasi pipa ujung ke ujung bangunan. Hasil dengan menggunakan klasifikasi terdiri dari Bangunan 96.03%, Mobil 94.20%, Pintu 80.66%, Perkerasan 84.81%, Jalan 90.58%, Langit 98.06%, Vegetasi 94.16%, Jendela 90.91%, dan total akumulasi 91.18% (Liu et al., 2017).

Parsing fasad menjadi masalah mendasar dalam pemodelan perkotaan yang merupakan tulang punggung dari masalah pemodelan berbasis prosedur, analisis arsitektur, dan rekonstruksi perkotaan, hal ini sangat bergantung pada segmentasi semantik. Dengan beralih ke pendekatan berbasis *Deep Learning*, dataset skala kecil yang ada menjadi hambatan untuk membuat kemajuan lebih lanjut dalam segmentasi fasad yang berdampak pada fasad parsing. Dalam tesis ini

mengusulkan dataset gambar fasad baru dalam segmentasi semantik yang disebut sebagai PSV-22, yang merupakan dataset terbesar serta memungkinkan adanya perbaikan hasil dari semantik fasad dari dataset yang ada. Di samping itu melalui tiga modifikasi segmentasi semantik berbasis *Deep Learning* menunjukkan bahwa modifikasi ini meningkatkan kinerja pada dataset perbaikan dan dataset yang sudah ada. Pada bagian ini dengan mengevaluasi dataset PSV baru untuk menunjukkan bahwa hal itu mengarah ke model yang lebih umum. Selain itu dengan menggunakan dataset eTRIMS, ECP, dan CMP, guna membandingkan teknik pendekatan sebelumnya pada set data yang telah ditetapkan. Dengan menggunakan kombinasi data PSV dan CMP untuk studi ablasi karena menggunakan serangkaian label yang umum, sehingga hasilnya yang didasarkan pada 1200 gambar yang dipilih acak. Secara kuantitatif untuk pelabelan pada PSV (dikombinasikan dengan CMP) data menggunakan DLV3 + MES. Hasil penelitian menunjukkan akurasi dengan klasifikasi fasad berdasarkan elemen berikut: Fasad 95%, Jendela 93%, Pintu 79%, Cornice 87%, Ambang 81%, Balkon 89%, Blind 90%, dekorasi 69%, kolom 92%, Toko 88% dan kumulatif rerata 96,74% (Para, 2019).

Dalam tulisan ini mengusulkan pendekatan *end-to-end* untuk mengklasifikasikan gambar terestrial dari fasad bangunan menjadi lima kelas utilitas yang berbeda (komersial, hibrida, perumahan, penggunaan khusus, dalam konstruksi) dengan menggunakan *Convolutional Neural Networks* (CNN). Dengan menggunakan gambar yang disediakan oleh *Google Street View* gambar tersebut secara otomatis ditautkan ke model kota kasar, termasuk garis sempadan bangunan serta kelas penggunaan masing-masing sesuai fungsinya. Dengan dataset yang tersedia untuk pelatihan dan evaluasi pipa menggunakan *Deep Learning*. Makalah ini menjelaskan pendekatan ujung ke ujung yang

diimplementasikan untuk mengklasifikasikan gambar jalan tangga dari fasad bangunan serta membahas eksperimen dengan berbagai metode pendekatan CNN. Selain hasil klasifikasi, yang disebut *Class Activation Maps* (CAM) dievaluasi. Kemudian peta akan menunjukkan bagian fasad yang telah ditentukan serta digunakan sebagai fitur selama proses pelatihan. Selanjutnya peta dapat digunakan untuk meneruskan presentasi abstrak dengan difasilitasi pemahaman berkonten gambar semantik. Representasi yang abstrak merupakan hasil dari metode penetapan, rendering gambar berbasis kegunaan/fungsi. Melalui bantuan dengan penambahan data priori (*flipping horizontal, warping, cropping, jittering*, dan modifikasi *saturation*) dengan membuat dataset yang terdistribusi secara merata menggunakan jumlah sampel yang sama untuk setiap kelas. Dataset pelatihan terakhir menggunakan dataset yang seimbang terdiri dari 75.000 gambar berlabel secara total (15.000 gambar per kelas/klasifikasi). Perangkat validasi dan perangkat uji masing-masing terdiri dari 350 gambar berlabel (70 gambar per kelas). Ukuran uji dan validasi yang relatif kecil ini disebabkan oleh pemisahan dataset sebelum augmentasi data. Semua paket yang disediakan dibagi menjadi tiga bagian: gambar untuk pelatihan (*training set*), gambar untuk memvalidasi kinerja jaringan selama proses pelatihan (*validation set*) dan gambar untuk mengevaluasi kinerja jaringan setelah proses pelatihan (*sample set*). Hasilnya akhir sebagai berikut yaitu VGG 16 63.43%, VGG19 63.14%, ResNet 50 55.43% dan Interception V3 64.00% rerata sebesar 60,25 % (D. Laupheimer et al., 2018)

Makalah ini meneliti guna mengenali elemen berbagai bangunan untuk mengambil serta mengenali spesifikasi teknis dari literatur perdagangan kontemporer. Metode mengambil studi kasus Perpustakaan Umum Carnegie di Inggris. Dalam hal probabilitas Pengenalan obyek mencapai nilai di atas ambang batas

arbitrer, dengan kotak terikat secara spesifik dianggap mengandung obyek yang sesuai. Area algoritma menghasilkan ribuan kotak yang berbeda, prosesnya terikat sehingga menghasilkan deteksi yang tumpang. Karena itu, sebagai langkah terakhir, penumpukan tidak maksimal harus diterapkan untuk membersihkan deteksi. Kinerja *benchmark Traditional Machine Learning* (TML), *Convolutional Neural Networks* (CNN) dan *Feature Pyramid Neural* (FPN) dapat dilihat pada bagian akhir paragraf. Jika kita melatih ulang perbandingannya dimungkinkan untuk melihat bahwa arsitektur FPN yang lebih maju tampil, seperti yang diharapkan, sedikit lebih baik daripada arsitektur CNN klasik. Hasil akhir akurasi perbandingan dengan menggunakan 5 klasifikasi adalah sebagai berikut: TML 56%, CNN 78%, dan FPN 82% (Pezzica et al., 2019).

Penelitian ini menerapkan teknik *Deep Learning* (DL) dan visi komputer untuk mengukur kesamaan visual antara desain arsitektur bangunan oleh arsitek yang berbeda. Melalui pemeriksaan bobot dalam model DCNN yang terlatih, dapat diukur secara kuantitatif kesamaan visual antara karya arsitek yang secara implisit dipelajari oleh model DCNN. Penggunaan ukuran ini melalui mengelompokkan arsitek yang diidentifikasi serupa dan membandingkan hasil temuan dengan klasifikasi konvensional yang dibuat oleh sejarawan dan ahli teori arsitektur. Pengelompokan desain arsitektur bangunan dengan hasil sangat menguatkan pandangan konvensional dalam sejarah arsitektur, dan fitur arsitektur yang dipelajari juga sejalan dengan pemahaman tradisional tentang DL. Dengan menggunakan dataset yang terdiri dari gambar yang dikikis dari web serta koleksi yang asli yang berasal dari gambar karya arsitektur sejumlah 19.568 bersumber dari berbagai web, pertama dengan melatih model *neural network* (DCNN) konvensional yang mampu mencapai akurasi 73% dalam mengklasifikasikan karya-karya milik 34

arsitek yang berbeda (Yoshimura et al., 2018)

Riset ini merupakan laporan akhir proyek yang dilakukan pada tahun terakhir sarjana Ilmu Komputer. Informasi ini terkait tentang masalah yang diusulkan oleh De Energie bespaarders, sebuah perusahaan start-up di Amsterdam yang berkonsentrasi pada penghematan energi. Laporan tersebut menjelaskan gambar rumah dengan pendekatan penerapan pembelajaran mesin (DL) dalam bentuk jaringan saraf (CNN) untuk mengenali jendela, pintu, dan dinding. Tujuan awal dari jaringan saraf adalah pengklasifikasian setiap fitur yang ditemukan melalui segmentasi berupa bukaan jendela atau pintu. Klasifikasi akan terdokumentasi dengan baik menggunakan jaringan saraf konvolusional (CNN), mencapai akurasi setinggi 93,72% untuk kumpulan data standar seperti CIFAR-10 (Kolenbrander et al., 2017)

Melalui media *Google Earth imagery* terdapat 1005 gambar spasial yang terbagi menjadi 19 kelas beresolusi tinggi dengan 600×600 piksel. Terdapat setidaknya 50 gambar mewakili setiap kelas yang diperoleh melalui pemandangan udara. Sejauh ini, dataset WHU-RS digunakan secara ekstensif untuk penelitian metode klasifikasi yang berasal dari pemandangan udara. Seting percobaan melalui simulasi dengan pengklasifikasian berdasarkan karakteristik yang berasal dari lapisan jaringan kerja (*networks*). Hasil yang diperoleh melalui 80% dataset UC-Merced digunakan untuk set pelatihan dan dataset WHU-RS dengan rasio pelatihan 60%. (Petrovska et al., 2020)

NetVLAD merupakan lapisan VLAD terinspirasi oleh tampilan "*Vector of Locally Aggregated Descriptors*" yang digunakan dalam pengambilan gambar. Layer tersebut dihubungkan ke dalam arsitektur CNN dengan pelatihan melalui propagasi mundur. Terjadi penurunan kinerja peringkat dari *unsupervised* dataset, memungkinkan pembelajaran menyeluruh dari parameter arsitektur dari gambar, tempat yang sama pada saat diunduh

dari *Time Machine Google Street View*. Melalui Layer *Full Convolutional (FC)* yang terhubung penuh terdapat beberapa masalah yaitu: (i) tidak dapat berubah atau tidak dapat diubah ukuran layernya, (ii) ukurannya menjadi sangat besar pada fokus utamanya, (iii) terjemahan menjadi tidak invarian pada skala atau oklusi parsial karena memaksakan ketetapan tata letak spasial. Eksperimen di Tokyo diketahui bahwa penggabungan diperlukan, karena *baseline "no pool"* yang terlatih capaian terbaik pada *recall @ 5* dari 63,5%, berbanding dengan 82,5% pada NetVLAD.. (Arandjelovic et al., 2018)

Fokus penelitian pada bangunan di perkotaan dengan mengklasifikasikan menjadi 10 kategori yaitu gereja, masjid, sinagoge, wihara, apartemen, mal, gudang, restoran, dan bangunan perkantoran menggunakan multi hirarki label CNN yaitu *Branch Convolutional Neural Network (B-CNN)*. Menggunakan 2 dataset dengan gaya arsitektur yang berbeda untuk 284 gambar, selanjutnya terdapat 4 kelas kategori dengan 2000 gambar namun hanya 1028 yang dapat dikenali dengan gaya arsitekturnya, berikutnya ditingkatkan

menggunakan gaya arsitektur dengan 6 kelas meliputi Gotik, Bisantium, Baroq, Modern, Islam dan kolonial akurasinya 92,65 % menggunakan 21.190.606 jenis parameter, total Loss 0,89. (Taoufiq et al., 2020)

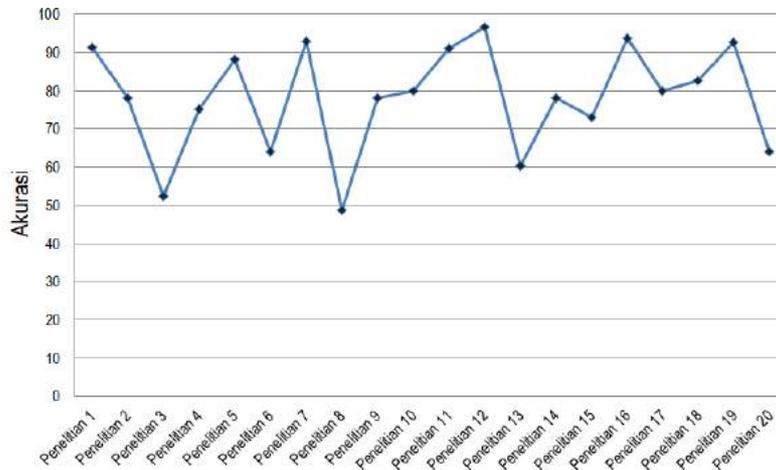
CBIR merupakan teknik klasifikasi dan pengambilan gambar berbasis konten di mana terdapat permasalahan kompleks pada bidang visi komputernya. Jaringan saraf konvolusional (CNN) menjadi pilihan untuk membangun sistem pengklasifikasian gambar. Dataset ini terdiri dari gambar bangunan berwarna terdapat 25 gaya arsitektur berbeda, yang berisi 4794 foto. Gambar diunduh dari Wikimedia dengan menampilkan banyak pilihan dari era yang berbeda. Nama kategori berikut jumlah gambar masing-masing dataset. Percobaan menggunakan metode kation klasifikasi dengan menggunakan 30 gambar dari setiap kelas untuk pelatihan klasifikasi. Fitur CNN pada lapisan perantara (lapisan 9-16) mengungguli lapisan bawah dan atas. Akurasi klasifikasi tertinggi yang didapatkan dengan klasifikasi gaya arsitektur adalah 63,9% lebih besar 17% peningkatannya dari metode MLLR + SP. (Meltser et al., 2018)

Tabel 1. Deep Learning Untuk Jenis Kategori dan Akurasi

Rujukan	Jenis obyek data	Jumlah Kategori	Akurasi
Penelitian 1	Gambar	4	91,30 %
Penelitian 2	Gambar	10	78,10 %
Penelitian 3	Gambar	5	52,29 %
Penelitian 4	Gambar	4	75,14 %
Penelitian 5	Video	4	88,12 %
Penelitian 6	Gambar	25	63,90 %
Penelitian 7	Gambar	3	93,00 %
Penelitian 8	Gambar	3	48,55 %
Penelitian 9	Gambar	12	78,02 %
Penelitian 10	Gambar	5	79,80 %
Penelitian 11	Gambar	8	91,18 %
Penelitian 12	Gambar	10	96,74 %
Penelitian 13	Gambar	5	60,25 %
Penelitian 14	Gambar	5	78,00%
Penelitian 15	Gambar	34	73,00 %
Penelitian 16	Gambar	3	93,72 %

Penelitian 17	Gambar	19	80,00 %
Penelitian 18	Gambar	-	82,50 %
Penelitian 19	Gambar	6	92,65 %
Penelitian 20	Gambar	25	63,90 %

Sumber: Penulis,2021



Grafik 1. Deep Learning untuk Akurasi

Sumber: Penulis,2021

Setelah meninjau berbagai paper di atas dapat dijelaskan sebagai berikut bahwa penggunaan *Convolutional Neural Network* (CNN) banyak digunakan secara murni dengan semua fitur yang terdapat pada metode tersebut, namun pada beberapa penelitian CNN dimodifikasi sesuai kebutuhan, diantaranya dengan mengembangkan algoritma serta *Restricted Boltzmann Machines* (RBM). Fenomena yang dapat dipahami dalam survey literatur ini adalah adanya keinginan untuk meningkatkan kinerja dari CNN dalam melakukan pengklasifikasian

fasad bangunan. Hasil dari masing-masing penelitian tingkat akurasinya paling rendah yaitu penelitian 8 sebesar 48.55% dan yang paling tinggi nilai akurasinya dilakukan oleh penelitian 12 sebesar 96,74%. Komparasi hasil akurasi tiap penelitian dapat dilihat pada grafik 1 dan Tabel 1. Nilai akurasi yang rendah tersebut dikarenakan metode deteksi gambar sebanyak 1200 data. Sebaliknya nilai akurasi dapat capai dengan prosentase yang besar salah satunya disebabkan segmentasi fasad menggunakan klasifikasi dalam *framework* semantik.

Tabel 2. Deep Learning Untuk Teknik Pengklasifikasian

Teknik Pendekatan Terkait	Jumlah Paper
Klasifikasi gambar	20 paper
Deteksi,lokalisasi, Segmentasi	20 paper
Kemiripan	20 paper
Diskripsi gambar	3 paper
Generatif model	2 paper
Analisis video	1 paper

Sumber: Penulis,2021

Pada tabel 2 berisikan ringkasan yang memuat tentang teknik pendekatan yang digunakan terhadap obyek risetnya. Hal ini didapatkan melalui hasil studi dari *state of the arts* pada penelitian sebelumnya, terkait penggunaan *Deep Learning Convolutional Neural Networks* (DLCNN) baik yang murni dari fitur aslinya, maupun dengan modifikasi dalam sistem perangkatnya.

Berdasarkan tabel 2 dalam melakukan penelitian menggunakan pendekatan *deep learning CNN* menunjukkan trend bahwa klasifikasi gambar menjadi pilihan paling banyak digunakan dalam melakukan analisis terhadap obyek gambar. Terbukti bahwa teknik pendeteksian digunakan untuk klasifikasi gambar digunakan dalam 20 paper, deteksi lokasi dan segmentasi dipakai dalam penelitian sebanyak 20 paper, berikutnya kemiripan juga digunakan dalam penelitian terdapat pada paper sebanyak 20 paper, selanjutnya diskripsi gambar digunakan oleh peneliti dalam 3 paper, berikutnya fitur generatif model digunakan penelitian dalam 2 paper dan yang terakhir adalah fitur analisis video hanya 1 yang menggunakannya. Hal ini dikarenakan peneliti pada umumnya menggunakan pendekatan yang memiliki akurasi tinggi namun tidak terlalu kompleks peralatannya.

SIMPULAN

Secara umum penelitian yang disurvei pada penggunaan *Deep Learning* dengan metode *Convolutional Neural Networks*, dalam melakukan pengklasifikasian gaya arsitektur pada fasad bangunan dapat memberikan hasil yang cukup memuaskan, didukung dengan dataset training yang memadai. Hasil akurasi yang rendah dan sangat tinggi terjadi dikarenakan beberapa faktor antara lain terlalu banyaknya dataset yang ditraining, fungsi kerugian (*loss function*), optimisasi, regularisasi, algoritma pembelajaran, dan inovasi dalam perangkat sistemnya.

Penerapan *Deep Learning* dengan metode *Convolutional Neural Networks* di dalam klasifikasi pada fasad bangunan menunjukkan terdapat bermacam variasi baik berupa teknik murni, maupun dengan cara memodifikasi untuk berbagai tujuan dan fungsi. Kontribusi rekayasa tersebut juga tersebar ke dalam berbagai bidang penelitian. Penelitian ini merekomendasikan beberapa arah penelitian yang dipandang perlu untuk diteliti dimasa depan dalam lingkup *Deep Learning* dengan metode *Convolutional Neural Networks* dalam proses perancangan Arsitektur bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arandjelovic, R., Gronat, P., Torii, A., Pajdla, T., & Sivic, J. (2018). *NetVLAD: CNN Architecture for Weakly Supervised Place Recognition*. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(6), 1437–1451. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2017.2711011> [viewed on 01/02/2021]
- Fathalla, R., & Vogiatzis, G. (2017). *A deep learning pipeline for semantic facade segmentation*. *British Machine Vision Conference 2017, BMVC 2017*, 1–13. <https://doi.org/10.5244/c.31.120> [viewed on 17/04/2020]
- Gupta, U., & Chaudhury, S. (2016). *Deep transfer learning with ontology for image classification*. *2015 5th National Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics, NCVPRIPG 2015*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/NCVPRIPG.2015.7490037> [viewed on 17/04/2020]
- Huang, S. (2019). *Building segmentation in oblique aerial imagery*. 58 [viewed on 17/04/2020].
- Kolenbrander, T., Ruiters, F. De, & Yue, T. (2017). *Facade labelling using neural networks*. *Delft University of Technology*. [viewed on 01/02/2021]

- Laupheimer, D., Tutzauer, P., Haala, N., & Spicker, M. (2018). *NEURAL NETWORKS for the CLASSIFICATION of BUILDING USE from STREET-VIEW IMAGERY. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-177-2018> [viewed on 17/04/2020]
- Laupheimer, Dominik, & Haala, N. (2018). *Deep Learning for the Classification of Building Facades*. 38. *Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung Der DGPF Und PFGK18 Tagung in München, 19, 701–709*. [viewed on 17/04/2020]
- Liu, H., Zhang, J., Zhu, J., & Hoi, S. C. H. (2017). *Deepfacade: A deep learning approach to facade parsing. IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2301–2307*. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2017/320> [viewed on 17/04/2020]
- Lotte, R. G., Haala, N., Karpina, M., de Aragão, L. E. O. e. C., & Shimabukuro, Y. E. (2018). *3D façade labeling over complex scenarios: A case study using convolutional neural network and structure-from-motion. Remote Sensing, 10(9)*. <https://doi.org/10.3390/rs10091435> [viewed on 17/04/2020]
- Meltser, R. D., Banerji, S., & Sinha, A. (2018). *What's that Style? A CNN-based Approach for Classification and Retrieval of Building Images. 2017 9th International Conference on Advances in Pattern Recognition, ICAPR 2017, 9–14*. <https://doi.org/10.1109/ICAPR.2017.8593206> [viewed on 17/04/2020]
- Obeso, A. M., Benois-Pineau, J., Acosta, A. Á. R., & Vázquez, M. S. G. (2016). *Architectural style classification of Mexican historical buildings using deep convolutional neural networks and sparse features. Journal of Electronic Imaging, 26(1), 011016*. <https://doi.org/10.1117/1.jei.26.1.011016> [viewed on 17/04/2020]
- Para, W. (2019). *Facade Segmentation in the Wild*. King Abdullah University of Science and Technology Thuwal, Kingdom of Saudi Arabia. [viewed on 17/04/2020]
- Pesto, C. (2016). *Classifying U.S. Houses by Architectural Style Using Convolutional Neural Networks. 1–9*. <http://cs231n.stanford.edu/reports/2017/pdfs/126.pdf> [viewed on 17/04/2020]
- Petrovska, B., Zdravevski, E., Lameski, P., Corizzo, R., Štajduhar, I., & Lerga, J. (2020). *Deep learning for feature extraction in remote sensing: A case-study of aerial scene classification. Sensors (Switzerland), 20(14), 1–22*. <https://doi.org/10.3390/s20143906> [viewed on 01/02/2021]
- Pezzica, C., Schroeter, J., Prizeman, O. E., Jones, C. B., & Rosin, P. L. (2019). *Between images and built form: Automating the recognition of standardised building components using deep learning. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4(2/W6), 123–132*. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W6-123-2019> [viewed on 17/04/2020]
- Ramadanta, A. (2010). *KAJIAN TIPOLOGI DALAM PEMBENTUKAN KARAKTER VISUAL DAN STRUKTUR KAWASAN (Studi kasus: Kawasan Ijen, Malang). Jurnal SMARTEK, Vol. 8, No, 130–142*. [viewed on 17/04/2020]
- Sarkar, D., Bali, R., Sharma, T., Sarkar, D., Bali, R., & Sharma, T. (2018). *Deep Learning for Computer Vision. In Practical Machine Learning with*

- Python*. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3207-1_12 [viewed on 17/04/2020]
- Sastra, S. (2016). Kajian Estetika Bentuk Pada Fasade Perumahan Real Estate Di Yogyakarta. *Inersia*, 12(1), 78–84. <https://doi.org/10.21831/inersia.v12i1.10355> [viewed on 17/04/2020]
- Taoufiq, S., Nagy, B., & Benedek, C. (2020). *Hierarchynet: Hierarchical CNN-based urban building classification*. *Remote Sensing*, 12(22), 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs12223794> [viewed on 01/02/2021]
- Tutzauer, P., & Haala, N. (2017). *Processing of crawled urban imagery for building use classification*. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(1W1), 143–149. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-1-W1-143-2017> [viewed on 17/04/2020]
- Yoshimura, Y., Cai, B., Wang, Z., & Ratti, C. (2018). *Deep learning architect: Classification for architectural design through the eye of artificial intelligence*. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 249–265. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19424-6_14 [viewed on 17/04/2020]
- Zhuo, X., Monks, M., Esch, T., & Reinartz, P. (2019). *Facade segmentation from oblique UAV imagery*. *2019 Joint Urban Remote Sensing Event, JURSE 2019*. <https://doi.org/10.1109/JURSE.2019.8809024> [viewed on 17/04/2020]

HUBUNGAN SEJARAH DAN PENGARUH BUDAYA TERHADAP PROSES AKULTURASI ARSITEKTUR MASJID-MASJID TUA ABAD XVI-XX DI JAKARTA

HISTORICAL RELATIONSHIP AND CULTURAL INFLUENCE PROCESS ON ARCHITECTURE ACCULTURATION OLD MOSQUES OF THE XVI-XX CENTURY IN JAKARTA

Sumaiyah Fitriandini
Program Studi Teknik Arsitektur, Universitas Gunadarma,
sumaiyah@staff.gunadarma.ac.id,

Abstrak

Masjid-masjid tua di Jakarta, diketahui telah mengalami proses akulturasi arsitektur yang berasal dari kelompok masyarakat yang ada, atau datang ke Jakarta. Maksud dari penelitian ini adalah menganalisis sebaran masjid-masjid tua abad XVI-XX di Jakarta berdasarkan abad berdiri, lokasi, proses akulturasinya, dan menemukan hubungannya terhadap sejarah dan pengaruh budaya yang berkembang di Jakarta pada masa tersebut, melalui pendekatan kuantitatif, dengan teknik analisis deskriptif. Penyebaran agama islam yang sudah masuk ke Jakarta (Jayakarta-Batavia) mulai abad XVI, diiringi dengan keberadaan Suku Jawa di Jakarta pada abad XVI, menjadi simbol kuatnya pengaruh budaya Jawa pada bentuk arsitektur masjid di Jakarta. Masjid-masjid tua yang mengalami proses akulturasi arsitektur adaptasi Jawa paling banyak ditemukan pada abad XVIII-XIX. Terbentuknya komunitas muslim dan pemukiman warga pendatang di Jakarta pada abad XVIII-XIX telah menjadikan kawasan Jakarta Barat dan Jakarta Pusat sebagai kawasan yang paling banyak memiliki peninggalan bangunan masjid-masjid tua di Jakarta. Terbukanya pintu perdagangan maritim yang sedemikian luas, telah membuka peluang besar terjadinya akulturasi budaya di Jakarta pada abad XVIII-XIX. Masjid- masjid tua yang memiliki akulturasi bentuk arsitektur Jawa sebagian besar berada di Kawasan Jakarta Barat dan Jakarta Pusat. Proses akulturasi arsitektur yang mengadopsi bentuk arsitektur non lokal (Timur Tengah, Modern, dan Kolonial Belanda), juga mulai banyak muncul di abad XVIII-XIX, keberadaan masjid-masjid tua yang mengadopsi bentuk arsitektur Timur Tengah-Modern, juga ditemukan sebagian besar berlokasi di kawasan Jakarta Barat. Eksistensi masjid-masjid tua tersebut merepresentasikan simbol sejarah Islam yang tumbuh, berkembang dari masa ke masa sesuai dengan konteks ruang dan waktunya.

Kata Kunci: Akulturasi, Arsitektur, Jakarta, Masjid tua

Abstract

Old mosques in Jakarta are known to have undergone a process of acculturation of architecture from existing community groups, or coming to Jakarta. The purpose of this research is to analyze the distribution of old mosques in the XVI-XX centuries in Jakarta based on the century of existence, location, acculturation process, and to find their relationship to the history and cultural influences that developed in Jakarta at that time, through a quantitative approach, with descriptive analysis techniques. . The spread of Islam that had entered Jakarta (Jayakarta-Batavia) starting from the XVI century, accompanied by the existence of the Javanese tribe in Jakarta in the XVI century, became a symbol of the strong influence of Javanese culture on the architectural form of mosques in Jakarta. Old mosques that experienced the acculturation process of Javanese adaptation architecture were mostly found in the XVIII-XIX centuries. The formation of the Muslim community and settlements of immigrant residents in Jakarta in the XVIII-XIX centuries has made West Jakarta and Central Jakarta the areas that have the most legacy of old mosques in Jakarta. The opening of such a vast maritime trade door has opened up

great opportunities for cultural acculturation in Jakarta in the XVIII-XIX centuries. Most of the old mosques that have acculturation of Javanese architectural forms are located in West Jakarta and Central Jakarta. The process of acculturation of architecture that adopted non-local architectural forms (Middle East, Modern, and Dutch Colonial), also began to appear in the XVIII-XIX centuries, the existence of old mosques that adopted the Middle Eastern-Modern architectural form, which were also found mostly located in West Jakarta area. The existence of these old mosques represents a symbol of Islamic history that grows, develops from time to time according to the context of space and time.

Keywords: *Acculturation, Architecture, Jakarta, Old Mosque*

PENDAHULUAN

Jakarta (Jayakarta-Batavia) dikenal sebagai kota pelabuhan internasional, melalui pelabuhan Sunda Kelapa sejak abad ke-12. Pelabuhan ini menjadi saksi kedatangan bangsa asing dan beberapa suku asli Nusantara ke Jakarta. Kedatangan mereka secara langsung telah memberikan warna pada kehidupan ekonomi, sosial dan budaya pada masyarakatnya, dari dahulu hingga saat ini. Kedatangan bangsa asing dan suku lain dari Nusantara ke Jakarta, turut serta memberi pengaruh social dan budaya tidak hanya pada sendi-sendi kehidupan masyarakat, tapi juga dijumpai akulturasi budaya pada arsitektur bangunan di Jakarta. Kodiran, (1998) menyebutkan bahwa akulturasi akan terjadi apabila terdapat dua kebudayaan atau lebih yang berbeda sama sekali (asing dan asli) berpadu sehingga proses-proses ataupun penebaran unsur-unsur kebudayaan asing secara lambat laun diolah sedemikian rupa ke dalam kebudayaan asli dengan tidak menghilangkan identitas maupun keasliannya.

Sebagai bangunan arsitektur peninggalan sejarah di Jakarta, bangunan masjid tua merupakan salah satu peninggalan arsitektur lama yang dapat kita temui keberadaannya hingga saat ini. Fungsi masjid menduduki posisi sentral dalam Islam dan kehidupan kaum muslimin, tidak hanya dalam ibadah, tetapi juga mempengaruhi dalam berbagai aspek kehidupan mereka. Masjid bukan hanya sekedar tempat kegiatan ritual-sosial tetapi juga merupakan simbol yang tampak bangkitnya sebuah peradaban di dunia muslim

(Ghofur, 2015; 69). Kajian mengenai masjid-masjid tua di Jakarta sudah banyak dilakukan oleh para peneliti, salah satunya adalah buku karangan Ashadi yang berjudul “*Akulturasinya Arsitektur Masjid-Masjid Tua di Jakarta*”. Dalam kajiannya dapat diketahui bahwa bahwa proses akulturasi arsitektur pada masjid-masjid tua di Jakarta terjadi melalui proses adaptasi, adopsi, dan sinergi. Proses adaptasi terjadi, apabila bentuk arsitektur lokal dominan terhadap bentuk arsitektur non lokal, jika yang terjadi sebaliknya maka prosesnya adalah adopsi, namun jika keduanya dalam keadaan seimbang maka yang terjadi adalah sinergi (Ashadi, 2018;35).

Melalui kajian tersebut, diketahui masjid-masjid tua di Jakarta, mengalami proses akulturasi arsitektur yang berasal dari kelompok masyarakat yang ada atau datang di Jakarta (Jayakarta-Batavia) seperti Bangsa Cina (Tionghoa), Arab (Timur Tengah), Belanda, dan masyarakat pribumi seperti masyarakat Jawa dan Betawi. Penelusuran percampuran budaya pada bangunan masjid-masjid tua di Jakarta, dalam kajiannya difokuskan dalam kurun waktu empat abad dimulai dari abad XVI-XX. Dari hasil penelitian Ashadi (2018), penulis bermaksud menggali lebih dalam tentang hubungan sejarah dan pengaruh budaya terhadap proses akulturasi masjid-masjid tua tersebut, dengan menganalisis sebaran masjid-masjid tua di Jakarta berdasarkan abad berdiri, lokasi, dan proses akulturasinya, melalui pendekatan kuantitatif, dan teknik analisis deskriptif. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui masa

dimana pembangunan masjid paling banyak dilakukan, wilayah mana saja yang paling banyak memiliki peninggalan masjid-masjid tua, dan proses akulturasi yang dominan pada bentuk arsitektur masjid-masjid tua pada abad XVI-XX, serta menemukan hubungannya terhadap pengaruh budaya dan sejarah islam di Jakarta.

METODOLGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan teknik analisis deskriptif. *Quantitative research is an approach for testing objective theories by examining the relationship among variables. These variables, in turn, can be measured, typically on instruments, so that numbered data can be analyzed using statistical procedures* (Creswell, 2014:32; Wahidmurni, 2017). Analisis deskriptif dalam penelitian ini dilakukan untuk menilai karakteristik dari sebuah data. Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap sebaran masjid-masjid tua di Jakarta berdasarkan abad berdiri, lokasi, proses akulturasinya, dan hubungannya dengan dengan sejarah Islam di Jakarta. Bentuk dataset adalah masjid-masjid tua di Jakarta pada abad XVI-XX yang dikumpulkan dari buku karangan Ashadi yang berjudul “*Akulturasinya Arsitektur Masjid-Masjid Tua di Jakarta*”.

Tahap awal penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengumpulan informasi masjid-masjid tua abad XVI-XX di Jakarta, dari hasil penelitian Ashadi, (2018). Kemudian informasi tersebut dirubah menjadi data, dikelompokkan berdasarkan nama masjid, lokasi masjid, abad didirikannya, pengaruh budayanya, dan proses akulturasinya. Selanjutnya merubah dataset yang berbentuk teks dan nominal menjadi data numerik dengan bantuan program excel untuk perhitungan jumlah data, di repretasikan dalam bentuk grafik, kemudian menganalisis karakteristik yang muncul dan menemukan hubungannya terhadap sejarah dan pengaruh

budaya yang berkembang di Jakarta pada abad XVI-XX.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Masjid-Masjid Tua Abad XVI-XX di Jakarta

Lima ratus tahun yang lalu, Kota Sunda Kelapa merupakan Bandar terbesar di daerah Sunda, wilayah barat Pulau Jawa. Sunda Kelapa mulai menarik perhatian orang Eropa lain melalui Jan Huygen van Linschoten, seorang pelaut Belanda yang menemukan rahasia-rahasia perdagangan dan navigasi bangsa Portugis (Prasetyo, 2020).

Masyarakat Arab mulai datang secara massal ke Nusantara pada tahun-tahun terakhir abad XVIII. Sejak, permulaan abad XIX masyarakat Arab sudah bermukim di kota-kota Maritim di Indonesia khususnya di Batavia yang saat ini disebut Jakarta, umumnya mereka adalah para pedagang. Hubungan sosial antara masyarakat Arab dengan penduduk setempat melalui hubungan perkawinan, dan jalan lain yang dilakukan adalah dengan membangun masjid sebagai media dakwah seperti yang dilakukan oleh Habib Husein bin Abu Bakar Alaydrus membangun masjid, yang kini tersebut dikenal dengan Masjid Luar Batang (Zulkarnen, 2018;138-139).

Kemunculan dan perkembangan Islam di Nusantara khususnya Jakarta, dapat ditandai dengan banyaknya peninggalan bangunan masjid-masjid tua yang masih dapat di jumpai keberadaanya hingga saat ini. Masjid-masjid tua tersebut lokasinya tersebar di seluruh wilayah Jakarta. Masjid-masjid tua abad XVI-XX di Jakarta, diketahui telah mengalami proses akulturasi arsitektur yang berasal dari kelompok masyarakat asli atau pendatang.

Arsitektur lokal adalah bentuk arsitektur yang merupakan bentuk asli dari kreasi turun-temurun suku bangsa di Indonesia, yakni bentuk arsitektur tradisional. Berdasarkan sejarahnya, bentuk arsitektur lokal dapat dikaitkan dengan orang-orang pribumi (non

asing), seperti Betawi, Jawa, Bali, Sumbawa, Sulawesi Selatan, dan yang lainnya yang pernah dan berkontribusi dalam pembangunan awal masjid-masjid tua di Jakarta. Sementara bentuk arsitektur non lokal adalah bentuk arsitektur yang merupakan bentuk bukan asli alias bentuk-bentuk arsitektur yang dihasilkan oleh orang-orang yang datang dari luar (asing), seperti orang-orang Belanda (bentuk arsitektur Kolonial Belanda), Arab (bentuk arsitektur Timur Tengah), India (bentuk arsitektur Moor,

Tionghoa (bentuk arsitektur Tionghoa), dan orang-orang Barat (bentuk arsitektur Modern) (Ashadi, 2018; 41).

Tahap awal dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data masjid-masjid tua abad XVI-XX di Jakarta menjadi dataset. Dataset ini berjumlah 30 masjid-masjid tua di Jakarta yang telah dikelompokkan berdasarkan nama masjid lokasi keberadaan masjid, abad berdiri, pengaruh budaya dan proses akulturasi seperti yang tertera pada tabel 1

Tabel 1. Masjid Tua pada Abad XVI-XX di Jakarta

Nama Masjid	Lokasi	Abad Berdiri	Proses Akulturasi Arsitektur	Bentuk Arsitektur
Masjid Al Alam Cilincing	Jakarta Utara	16	Adaptasi	Jawa
Masjid Al Mubarak Kuningan	Jakarta Selatan	16	Adaptasi	Jawa
Masjid Jami' As Salafiyah Jatinegara Kaum	Jakarta Timur	17	Adopsi	Modern
Masjid Al Alam Marunda	Jakarta Utara	17	Adaptasi	Jawa, Betawi
Masjid Al Atiq	Jakarta Selatan	17	Sinergi	Jawa, Modern
Masjid Al Anshor Pekojan	Jakarta Barat	17	Sinergi	Jawa, Betawi, Modern
Masjid Al Arif Jagal Senen	Jakarta Pusat	17	Adaptasi	Jawa
Masjid Al Ma'mur Tanah Abang	Jakarta Pusat	18	Adopsi	Kolonial, Timur Tengah
Masjid Al Mansyur Jembatan Lima	Jakarta Barat	18	Adopsi	Timur Tengah
Masjid Luar Batang	Jakarta Utara	18	Adopsi	Timur Tengah, Modern
Masjid Kampung Baru	Jakarta Barat	18	Adaptasi	Jawa
Masjid An Nawier Pekojan	Jakarta Barat	18	Adopsi	Kolonial, Timur Tengah
Masjid Angke	Jakarta Barat	18	Adaptasi	Jawa
Masjid Jami' Tambora	Jakarta Barat	18	Adaptasi	Jawa
Masjid Krukut	Jakarta Barat	18	Adopsi	Timur Tengah, Modern
Masjid Jami' Kebon Jeruk	Jakarta Barat	18	Sinergi	Jawa, Kolonial, Timur Tengah

Masjid Al Mukarromah Kampung Bandan	Jakarta Barat	18	Sinergi	Jawa ,Timur Tengah
Masjid Al Islam Tanah Abang	Jakarta Barat	18	Adaptasi	Jawa
Masjid Jami' At Taibin Senen	Jakarta Barat	19	Adaptasi	Jawa
Masjid Az Zawiyah Pekojan	Jakarta Barat	19	Adopsi	Timur Tengah, Modern
Masjid Langgar Tinggi Pekojan	Jakarta Barat	19	Adopsi	Tionghoa
Masjid Jami' Matraman	Jakarta Pusat	19	Adopsi	Timur Tengah
Masjid Nurushobah Bidaracina	Jakarta Timur	19	Adopsi	Timur Tengah
Masjid Tangkuban Perahu Setiabudi	Jakarta Selatan	19	Adopsi	Modern
Masjid Al Ma'mur Cikini	Jakarta Pusat	19	Adaptasi	Jawa
Masjid Ar Raudah Pekojan	Jakarta Barat	19	Adaptasi	Betawi
Masjid Nurul Abrar Mangga Dua	Jakarta Pusat	19	Adaptasi	Jawa
Masjid Hidayatullah Setiabudi	Jakarta Selatan	20	Adopsi	Tionghoa
Masjid Maulana Hasanudin Cikoko	Jakarta Selatan	20	Adopsi	Timur Tengah
Masjid Baitul Mughni	Jakarta Selatan	20	Adopsi	Timur Tengah

Sumber: Ashadi, 2018.

Sebaran Masjid-Masjid Tua Abad XVI-XX di Jakarta

Penelusuran sebaran masjid-masjid tua pada abad XVI-XX di Jakarta dimulai dengan menggali berapa banyak masjid yang berdiri pada abad tersebut dan lokasi keberadaannya. Tahap ini dilakukan dengan mengolah dataset yang masih berupa campuran data teks dan nominal, perlu diringkas dan diubah menjadi data numerik melalui excel, dengan melakukan perhitungan jumlah masjid berdasarkan abad berdiri dan lokasinya, kemudian di representasikan menjadi sebuah grafik statistik (Gambar 1). Hasil statistik tersebut menunjukkan bahwa pembangunan masjid di Jakarta telah dimulai pada abad XVI, selaras dengan sejarah masuknya agama Islam di Jakarta, sejak kemenangan Fatahillah ketika

melakukan penyerbuan ke Sunda Kelapa pada abad XVI (Slamet Muljana, 1980:58; Lasmiyati, 2009:78).

Pembangunan masjid semakin meningkat pada masa penguasaan Pangeran Jayakarta pada abad XVII, dimana dia telah mengatur pola kota Jakarta seperti kota islam lainnya di Jawa untuk kegiatan keagamaan, pembangunan masjid berada di tengah kota, dan dijadikan tempat syiar agama Islam (M. Dien Majid, 1995: 84; Lasmiyati, 2009:79). Adanya orang Moor yang menyebarkan agama Islam di abad XVII yang tidak hanya syiar dakwah, tetapi juga mendirikan masjid di pertengahan abad XVIII dengan nama masjid Luar Batang (1738), Pekojan (1760), dan Kebon Jeruk (1786), serta seiring dengan masuknya orang-orang Arab dari Gujarat ke

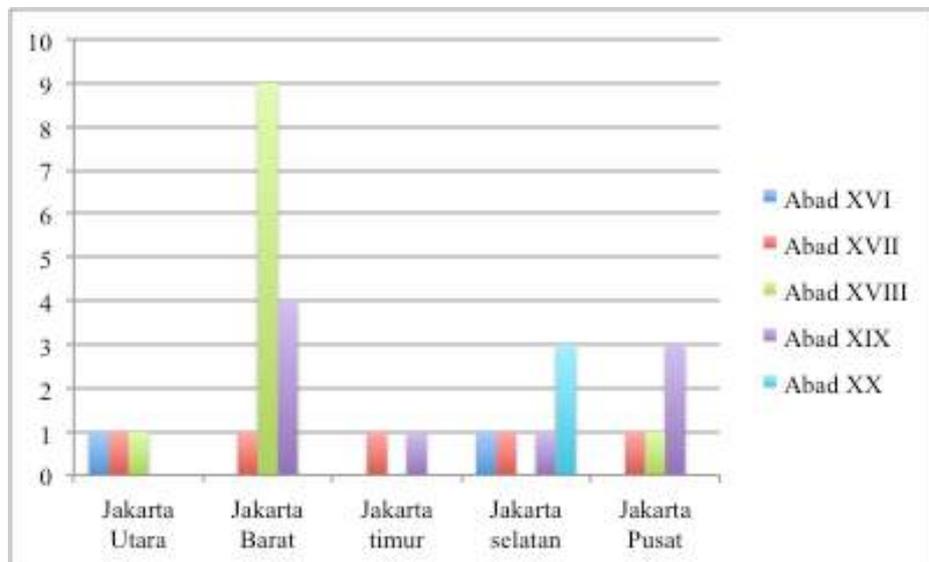
Jakarta yang yang menetap di Betawi mulai abad XVII-XVIII, ikut mewarnai penyebaran agama islam, dan telah mempengaruhi adanya peningkatan pembangunan masjid di Jakarta pada abad XVIII (Heuken SJ, 1678; Lasmiyati;79).

Dari hasil statisistik ini ditemukan informasi bahwa pembangunan masjid terbanyak dilakukan pada abad XVIII-XIX. Statistik diatas juga menunjukkan bahwa sebaran masjid-masjid tua pada abad XVIII paling banyak ditemukan lokasinya berada di Kawasan Jakarta Barat, sedangkan pada abad XIX, sebaran masjid-masjid tua ini paling banyak berada di Kawasan Jakarta Pusat.

Saat menunggu musim pelayaran kembali ke negaranya, para pedagang muslim yang datang ke pusat Jakarta (Batavia), biasanya tinggal di perkampungan dekat pelabuhan kota. Perkampungan jenis ini dinamai dengan “Pekojan”, yang berarati

sebuah kampong pedangan yang datang dari Arab, Persia, India Tamil dan lain sebagainya (Ridwiyanto, 2011;140).

Sejarah menyebutkan bahwa daerah Pekojan (Jakarta Barat) yang berperan sebagai wilayah permukiman pedagang Arab yang telah datang ke Jakarta sejak abad XVI. Sunda Kelapa merupakan pelabuhan yang dituju pedangan muslim dari Arab, sehingga orang Arab diberikan tempat pemukiman di Pekojan. Menurut Van Den Berg, migrasi orang Arab Hadramaut dalam skala besar dimulai akhir abad XVIII. Orang-orang Arab muncul sebagai kelompok yang hidup di Batavia terutama di pertengahan abad XIX, namun pengaruh mereka sangat besar dalam ekonomi-budaya Betawi. Mereka tersebar luas di wilayah Krukut, Pekojan, Tanah Abang, Kwitang Cawang dan Jatinegara (Ridwiyanto, 2011;132-145).



Gambar 1. Sebaran masjid-masjid tua abad ke 16-20 di Jakarta

Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Hasil statistik tersebut menunjukkan bahwa awal pembangunan masjid di Jakarta, sesuai dengan penyebaran agama islam yang berawal dari kawasan pelabuhan Sunda Kelapa diwilayah Jakarta Utara, kemudian menyebar

di lokasi yang berdekatan dengan pelabuhan yaitu wilayah Jakarta Barat, dan Jakarta Pusat, seiring dengan makin meluasnya penyebaran islam dan pemukiman orang Arab di Jakarta.

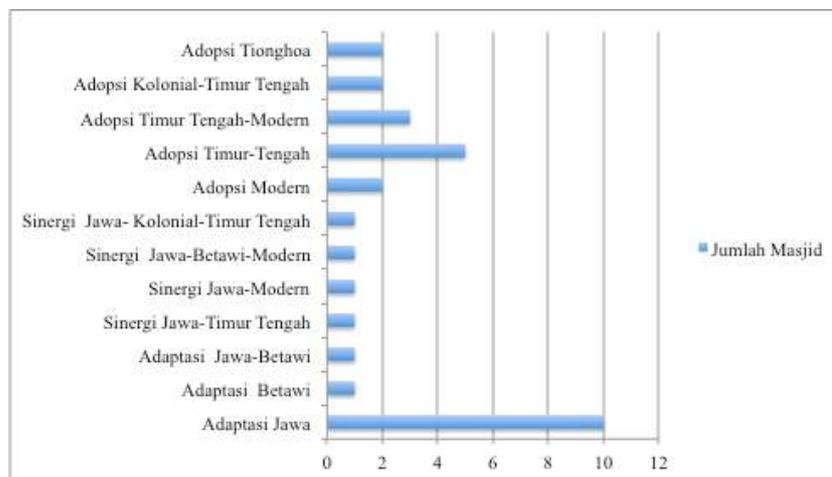
Proses Akulturasi Arsitektur Masjid-Masjid Tua Abad XVI-XX di Jakarta Berdasarkan Abad Berdiri dan Lokasi

Selanjutnya, kami melakukan pemetaan masjid-masjid tua abad XVI-XX di Jakarta berdasarkan proses akulturasi. Tahap ini dilakukan dengan dengan mengolah dataset pada tabel 1, menjadi data baru yang dengan melakukan perhitungan jumlah masjid berdasarkan proses akulturasi.

Hasil statistik proses akulturasi arsitektur pada masjid-masjid tua di Jakarta pada abad XVI-XX, menunjukkan bahwa terdapat sepuluh (10) masjid yang mengalami proses akulturasi arsitektur adaptasi budaya Jawa, kemudian terdapat enam (5) masjid yang memiliki akulturasi arsitektur adopsi budaya Timur Tengah, tiga (3) masjid yang mengalami proses akulturasi adopsi Timur Tengah-Modern.

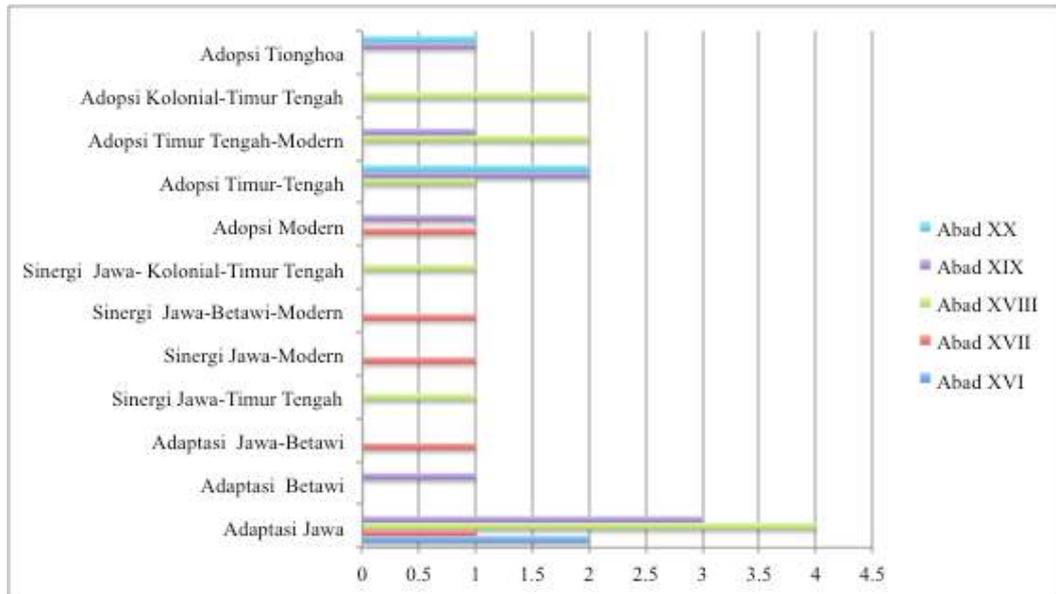
Selanjutnya, jumlah masjid yang mengadopsi bentuk arsitektur Kolonial-Timur Tengah, Modern, serta Tionghoa, masing-masing berjumlah dua (2), masjid yang mengadaptasi bentuk arsitektur Betawi, Jawa-Betawi berjumlah masing-masing satu (1), dan terdapat 4 masjid yang mengalami proses akulturasi arsitektur sinergi antara bentuk arsitektur lokal (Jawa dan Betawi) dan non lokal (Modern, Kolonial, Timur Tengah) (Gambar 2).

Penelusuran hubungan proses akulturasi arsitektur masjid-masjid tua abad XVI-XX di Jakarta dengan sejarah islam di Jakarta dilakukan dengan pengelompokan masjid-masjid tua berdasarkan proses akulturasi arsitektur, abad berdiri dan lokasi. Hasil statistik pada gambar 3 menunjukkan bahwa masjid tua abad XVI-XIX mengalami proses akulturasi adaptasi arsitektur Jawa.



Gambar 2. Jumlah Masjid berdasarkan Proses Akulturasi Arsitektur

Sumber: Analisis Penulis, 2020.



Gambar 3. Proses Akulturasi Arsitektur Masjid-masjid Tua di Jakarta berdasarkan Abad

Sumber: Analisis Penulis, 2020.

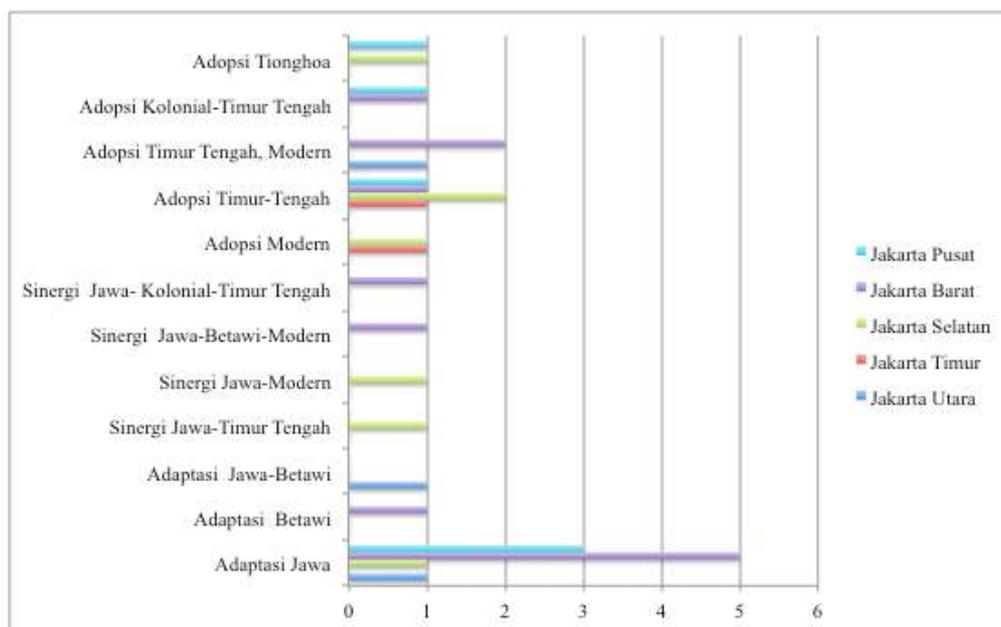
Orang-orang Jawa banyak datang untuk bekerja atau berdagang setelah direbutnya Sunda Kelapa oleh Fatahillah pada Abad XVI. Sementara itu, orang-orang Sunda di Sunda Kelapa banyak keluar dari Sunda Kelapa setelah Jayakarta muncul. Heuken (2003:23), menyebutkan bahwa masjid pertama yang dibangun di Jakarta yaitu Masjid Kasultanan Jayakarta menggunakan konstruksi kayu dan bergaya Jawa. Letaknya beberapa puluh meter di sebelah selatan Hotel Omni Batavia, yakni di antara Jalan Kali Besar Barat dan Jalan Roa Malaka Utara, di daerah Jakarta Kota, (Ashadi, 2018:18).

Sejarah diatas menunjukkan bahwa penyebaran agama islam yang sudah masuk ke Jakarta (Jayakarta-Batavia) mulai abad XV, diiringi dengan keberadaan Suku Jawa di Jakarta pada abad XVI, telah menjadi tonggak kuatnya pengaruh budaya Jawa pada bentuk arsitektur masjid di Jakarta. Masjid-masjid tua yang mengalami proses akulturasi arsitektur adaptasi Jawa paling banyak ditemukan pada abad XVIII.

Kemudian adanya pengaruh budaya betawi dalam proses akulturasi arsitektur

masjid tua yang mulai ditemukan di abad XVII, hal ini sesuai dengan sejarah yang menyebutkan bahwa islam awalnya mengikat orang-orangnya dengan perkawinan campur dan peleburan tempat tinggal, kemudian terjadi pula percampuran bahasa dan budaya di masyarakat yang saling mempengaruhi, sehingga membentuk sebuah etnis baru di Batavia, yaitu Betawi. Kehadiran etnis 'baru' Betawi ini setidaknya sudah ada sejak sebelum abad XIX (Ashadi, 2018:24).

Masjid- masjid tua yang memiliki akulturasi bentuk arsitektur Jawa sebagian besar berada di Kawasan Jakarta Barat dan Jakarta Pusat. dan Hasil berikutnya menunjukkan bahwa walaupun pada abad XVIII-XIX proses akulturasi adaptasi bentuk arsitektur Jawa lebih mendominasi, namun proses akulturasi arsitektur yang mengadopsi bentuk arsitektur non lokal (Timur Tengah, Modern dan Kolonial Belanda), juga mulai banyak muncul di abad ini, dan keberadaan masjid-masjid tua yang mengadopsi bentuk arsitektur Timur Tengah-Modern ditemukan pada abad XVIII-XX, sebagian besar berlokasi di Kawasan Jakarta Barat (Gambar 4).



Gambar 4. Proses Akulturasi Arsitektur Masjid-masjid Tua di Jakarta berdasarkan Lokasi

Sumber: Analisis Penulis, 2020.

Pangeran Jayakarta selama memerintah Jakarta pada abad XVII membuka luas pintu perdagangan maritim bagi berbagai bangsa seperti Negeri Keling, Bombay, Cina, Belanda, Inggris, Gujarat, Abesina, Persia, Arab serta bangsa-bangsa dari Asia Tenggara. Demikian juga kawasan dari Nusantara seperti pedagang dari Aceh, Tidore, Ternate, Hitu, Kepulauan Maluku, Tuban, Demak, Cirebon dan Banten (Ahmad 2008, Ridwiyanto 2011;43).

Saat dibawah kekuasaan Pangeran Jayakarta inilah, orang-orang Belanda diizinkan membangun pusat perdagangan. Pada abad XVII Jan pieterszonn Coen, mengubah nama Jayakarta menjadi Batavia. Pada masa itu, Batavia dijadikan sebagai pusat perdagangan atas kekuasaan Belanda di Nusantara. Batavia terbujur satu sampai dua kilometer diatas potongan tanah sempit yang berdekatan dengan sungai ciliwung yang terletak di teluk Batavia. Orang-orang batavia berhasil membangun balai kota yang anggun yang menjadi pusat pemerintahan dan menjadi pusat perdagangan batavia yang saat ini lebih di kenal denga sebutan kota tua (Heuken SJ;

Ridwiyanto, 2011;49). Wilayah Kota Tua memiliki luas sekitar 1,3 meter yang melintasi Jakarta Utara dan Jakarta Barat.

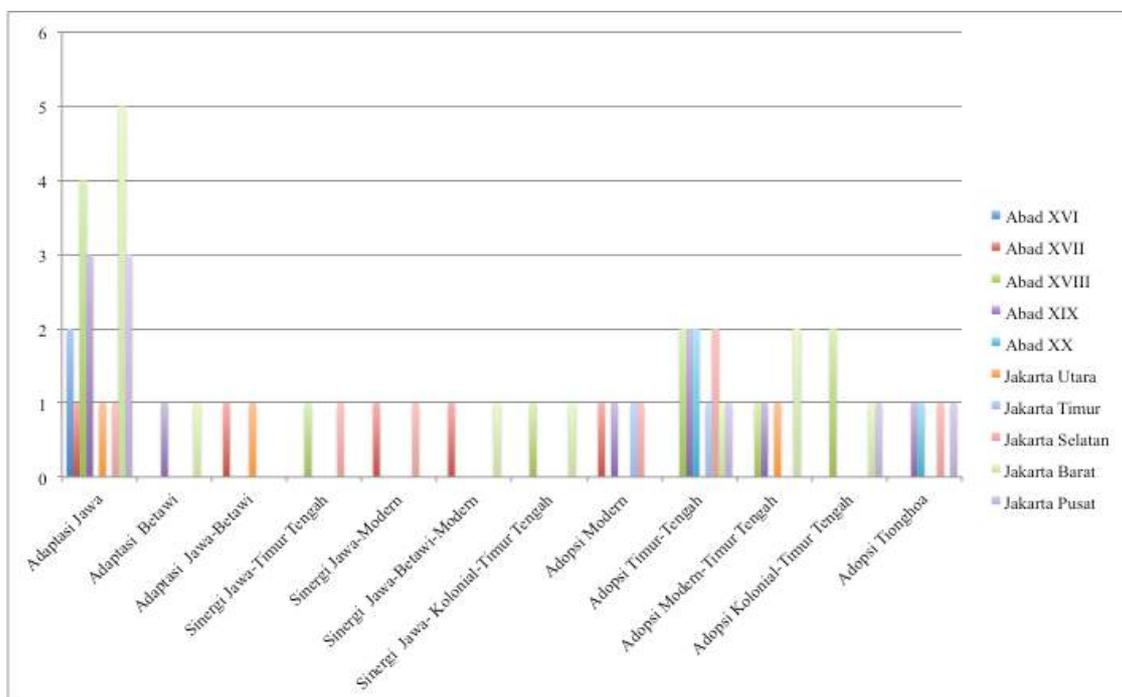
Terbukanya pintu perdagangan maritim di Batavia yang sedemikian luas, dan berkembangnya Batavia sebagai kota dagang telah mengundang banyak pedagang dari Nusantara maupun asing untuk datang ke Batavia (Jakarta), yang juga membuka peluang terjadinya transfer dan akulturasi budaya non lokal secara besar pada abad XVII-XX. Hal ini ditunjukkan dengan adanya pengaruh budaya Modern, Timur Tengah, Kolonial Belanda dan Tionghoa pada bentuk arsitektur masjid-masjid tua di Jakarta.

Terdapat 2 bangunan masjid tua yang mendapatkan pengaruh arsitektur Kolonial Belanda juga ditemukan berada di Jakarta Barat dan Jakarta Pusat. Hal ini menunjukkan bahwa, bentuk arsitektur Kolonial Belanda yang diterapkan dalam bangunan balai kota, dan kantor-kantor dagang di pusat kota Batavia yaitu di wilayah utara dan barat Jakarta (Kota Tua) pada abad XVII, telah memberikan pengaruh juga terhadap bentuk arsitektur bangunan masjid di kawasan ini

(Gambar 5). Hasil statistik pada gambar 5, juga menunjukkan bahwa pengaruh bentuk arsitektur Tionghoa pada masjid-masjid mulai ditemukan pada abad XIX-XX yang berlokasi di Kawasan Jakarta Barat dan Jakarta Selatan. Berdasarkan sejarahnya, keberadaan orang-orang Tionghoa diketahui pada tahun 1619 telah menetap di wilayah Banten, namun adanya peningkatan jumlah masyarakat Tionghoa di Hindia Belanda baru terjadi pada pertengahan abad XIX, ketika diperkenalkannya Sistem Tanam Paksa. Setelah akhir abad XIX, semakin banyak imigran Tionghoa yang datang ke Indonesia. Sebelum akhir abad XIX, Masyarakat Tionghoa yang datang ke Indonesia didominasi oleh kaum pria, kemudian mereka mengawini wanita setempat dan menyebabkan percampuran antara kebudayaan Tionghoa dan kebudayaan lokal (Dahana, 2000; 55-57). Yuwono (1996) menyebutkan bahwa keragaman bentuk masjid-masjid tua di Nusantara merupakan cerminan dari keragaman budaya dan realitas

sejarah yang disebabkan oleh kemampuan masyarakat ketika menangkap dan merealisasikan nilai-nilai Islam yang muncul di suatu kawasan dan merupakan refleksi dari potensi kearifan lokal dalam mengaktualisasikan nilai-nilai Islam (Ghofur, 2015;77).

Keberadaan masjid-masjid tua yang banyak ditemukan wilayah barat Jakarta, menunjukkan bahwa sebagai kawasan yang dekat dengan pelabuhan, sebuah pusat kota dan perdagangan, kawasan komunitas muslim, serta pemukiman warga pendatang, maka Kawasan Jakarta Barat dan Jakarta Pusat merupakan kawasan vital dan sentral penyebaran dakwah agama islam pada abad XVI-XX di Jakarta. Proses akulturasi arsitektur yang terjadi pada masjid-masjid tua tersebut, juga membuktikan bahwa bentuk arsitektur masjid-masjid tua di Jakarta, merupakan cerminan dari sejarah dan pengaruh budaya lokal dan non-lokal yang ikut hadir dalam ruang kehidupan masyarakat serta bentuk arsitekturnya.



Gambar 5. Proses Akulturasi Arsitektur Masjid-masjid Tua di Jakarta berdasarkan Abad dan Lokasi

Sumber: Analisis Penulis, 2020.

SIMPULAN

Jakarta (Jayakarta-Batavia) sebagai kota perdagangan mendapat pengaruh besar dari budaya yang dibawa oleh para pedagang Nusantara dan pedagang asing. Adanya migrasi orang Arab dalam skala besar di akhir abad XVIII, dan terbentuknya pemukiman arab di Batavia (Jakarta) pada abad XIX, telah memberikan pengaruh besar ekonomi ekonomi budaya, sekaligus merupakan masa dakwah penyebaran islam dengan jalan pembangunan masjid secara masif di Jakarta. Kawasan Kota Tua yang merupakan kawasan pusat perdagangan dan pemerintahan Batavia pada abad XVII, dan terbentuknya komunitas muslim dan pemukiman orang Arab di Jakarta pada abad XVIII-XIX, telah menjadikan Kawasan Jakarta Barat dan Jakarta Pusat sebagai kawasan yang paling banyak memiliki peninggalan bangunan masjid-masjid tua di Jakarta.

Kedatangan orang-orang Jawa dalam skala besar untuk bekerja atau berdagang setelah direbutnya Sunda Kelapa oleh Fatahillah abad XVI, dan adanya adopsi Jawa dalam pembentukan pola ruang Kota Jakarta pada masa pemerintahan pangeran Jayakarta abad XVII, telah berperan dalam memberikan pengaruh yang kuat adanya akulturasi budaya Jawa pada bentuk arsitektur masjid-masjid tua abad XVI-XIX. Terbukanya pintu perdagangan maritim di Batavia yang sedemikian luas, dan berkembangnya Batavia sebagai kota dagang telah mengundang banyak pedagang dari Nusantara maupun asing untuk datang ke Batavia (Jakarta), yang juga membuka peluang terjadinya akulturasi budaya non lokal secara besar pada abad XVII-XX. Masjid-masjid yang mengalami proses akulturasi arsitektur adaptasi Jawa paling banyak ditemukan pada abad XVIII dan berada di Kawasan Jakarta Barat dan Jakarta Pusat Sedangkan, masjid-masjid yang mengadopsi akulturasi bentuk arsitektur Timur Tengah-Modern ditemukan pada abad XVIII-

XIX, sebagian besar juga berada di Kawasan Jakarta Barat.

Keberadaan masjid-masjid tua di Jakarta, telah menjadi bukti sejarah penyebaran dan dakwah agama Islam di Jakarta. Bentuk arsitektur pada masjid-masjid tersebut, di pengaruhi oleh beragam budaya dan telah mengalami proses akulturasi arsitektur adaptasi terhadap bentuk arsitektur lokal Jawa dan Betawi, serta adopsi bentuk arsitektur non-lokal (Timur Tengah, Modern, Kolonial, dan Tionghoa). Keberadaan masjid-masjid tua tersebut merupakan simbol historis Islam yang tumbuh, berkembang dari masa ke masa sesuai dengan konteks ruang dan waktunya. Bentuk arsitektur masjid-masjid tua abad XVI-XX di Jakarta, juga menunjukkan adanya akulturasi budaya dalam sendiri-sendiri kehidupan masyarakat yang terwujud dalam arsitektur bangunannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashadi (2018) *Akulturasi Arsitektur Masjid_Masjid Tua di Jakarta*, Arsitektur UMJ Press [didownload dari: <https://www.researchgate.net/publication/n/330275740>] [diakses 04/01/2020].
- Dahana, A. (2000) *Kegiatan Awal Masyarakat Tionghoa di Indonesia*. Vol.2 No.1. Wacana. Hal 55-57 [online version dari [media.neliti](http://media.neliti.com/media/publications/100000-dahana-2000-kegiatan-awal-masyarakat-tionghoa-di-indonesia)] [viewed on 10/02/2020]
- Ghofur, Abd. (2015) *Perspektif Historis Arkeologis Tentang Keragaman Bentuk Bentuk Masjid Tua Di Nusantara*, Media Komunikasi Ilmu-Ilmu Sosial dan Budaya, Vol.2 No.1. p.69-77 [online version dari ejournal.uin-suska.ac.id] [viewed on 08/02/2020]
- Khodiran. (1998) *Akulturasi sebagai Mekanisme Pengaruh Kebudayaan*. Humaniora No.8. p.87 [online version dari jurnal.ugm.ac.id] [viewed on 4/02/20]
- Lasmiyati. (2009) *Penyebaran Agama Islam di Jakarta Abad XVII-XIX*. Vol 1 No.1.

- Balai Pelestarian Sejarah dan Nilai Tradisional Bandung. pp.78-79 [online version dari researchget.net] [viewed on 08/02/2020]
- Prasetyo, Yudi. Dari Oud Batavia sampai Nieuwe Batavia: Sejarah Kota Batavia 1596-1900 [online version dari lppm.stkipgri-sidoarjo.ac.id] [viewed on 10/02/2020]
- Ridwiyanto, Agus. (2010) *Batavia Sebagai Kota Dagang Pada Abad XVII Sampai Abad XVIII*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Hidayatullah
- Wahidmurni (2017) Pemaparan Metode Penelitian Kuantitatif, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. p.3 [online version dari repository.uin-malang.ac.id] [viewed on 04/02/2021]
- Zulkarnen (2018) Diaspora Masyarakat Keturunan Arab di Jakarta, *Jurnal AL-AZHAR INDONESIA SERI HUMANIORA*, Vol. 4 No.3, pp.138-139 [online version dari jurnal.uai.ac.id] [viewed on 10/02/2020]