

Jurnal Ilmiah

Desain & Konstruksi

EVALUASI ESTIMASI KOEFISIEN KEKASARAN PADA EKSPERIMEN MODEL FISIK Miskar Maini, Djoko Legono, Agatha Padma Laksitaningtyas	1
APLIKASI NERACA AIR UNTUK MENENTUKAN BULAN BASAH DAN KERING DI KOTA PALEMBANG Ari Sugiarto, Yuli Suhartono, Allen Kurniawan	10
PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK MODEL HUJAN-ALIRAN METODE GIUH Rachmad Jayadi, Akhmad Aminullah, Christopher Triyoso	18
TEKNOLOGI SIRKULASI AIR PERMUKAAN (SIAP) UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN ALGA Aditya Iwan Putro, Syarifah Saitun, Yuliya Mahdalena Hidayat	28
PENGARUH OVERLAPPING RUTE TERHADAP TINGKAT PENGISIAN ANGKUTAN DI KOTA BANDUNG Muhammad Iqbal N	43
KAJIAN POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE PENETRATION TEST DAN INDEKS KEANDALAN. STUDI KASUS: BANDARA MINANGKABAU, PADANG, SUMATERA BARAT Zaenudin, Sri Wulandari	54
PERBANDINGAN DAYA DUKUNG TIANG TUNGGAL BERDASARKAN BENTUK PONDASI MENGGUNAKAN DATA SPT DAN SONDIR Ega Julia Fajarsari	64
ANALISIS PENGOPERASIAN TOWER CRANE UNTUK PEKERJAAN PENGECORAN STRUKTUR KOLOM Andi Asnur Pranata MH	75

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 1, JUNI 2020

NO	NAMA PENULIS	JUDUL ARTIKEL	HALAMAN
1	Miskar Maini, Djoko Legono, Agatha Padma Laksitaningtyas	Evaluasi Estimasi Koefisien Kekasaran Pada Eksperimen Model Fisik	1-9
2	Ari Sugiarto, Yuli Suharnoto, Allen Kurniawan	Aplikasi Neraca Air Untuk Menentukan Bulan Basah dan Kering di Kota Palembang	10-17
3	Rachmad Jayadi, Akhmad Aminullah, Christopher Triyoso	Pengembangan Perangkat Lunak Model Hujan-Aliran Metode GIUH	18-27
4	Aditya Iwan Putro, Syarifah Saitun, Yuliya Mahdalena Hidayat	Teknologi Sirkulasi Air Permukaan (SiAP) untuk Menghambat Pertumbuhan Alga	28-42
5	Muhammad Iqbal N	Pengaruh Overlapping Rute Terhadap Tingkat Pengisian Angkutan Kota Di Kota Bandung	43-53
6	Zaenudin, Sri Wulandari	Kajian Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode Penetration Test Dan Indeks Keandalan. “Studi Kasus: Bandara Minangkabau, Padang, Sumatera Barat”	54-63
7	Ega Julia Fajarsari	Perbandingan Daya Dukung Tiang Tunggal Berdasarkan Bentuk Pondasi Menggunakan Data SPT dan Sondir	64-74
8	Andi Asnur Pranata MH	Analisis Pengoperasian Tower Crane Untuk Pekerjaan Pengecoran Struktur Kolom	75-83

EVALUASI ESTIMASI KOEFISIEN KEKASARAN PADA EKSPERIMEN MODEL FISIK

THE EVALUATION OF ROUGHNESS COEFFICIENT ESTIMATION ON EXPERIMENTS OF PHYSICAL MODEL

¹Miskar Maini, ²Djoko Legono, ³Agatha Padma Laksitaningtyas

^{1,3}Program Studi Doktor Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

¹miskar.maini@mail.ugm.ac.id, ²djokolegono@ugm.ac.id, ³agathapadma@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Pengaliran air pada saluran terbuka sangat dipengaruhi pada bentuk permukaan saluran. Bentuk permukaan yang kasar akan memberikan kehilangan energi yang besar karena mempunyai nilai tahanan yang besar dan sebaliknya dengan bentuk permukaan yang halus kehilangan energi cukup kecil. Banyak peneliti yang telah melakukan eksperimen dengan model fisik terkait pengaruh koefisien kekasaran terhadap aliran. Semuanya menjelaskan resistensi dengan koefisien kekasaran tunggal, dan masalah utama adalah perbedaan koefisien kekasaran yang diprediksi dengan hasil pengukuran eksperimen pada model fisik tentu akan memberikan nilai koefisien kekasaran yang berbeda antara pengukuran dan estimasi, sehingga diperlukan analisa persentase tingkat kesalahan antara data pengukuran pada uji model fisik dengan data hasil estimasi khusus koefisien kekasaran. Studi ini dilakukan dengan metode uji statistik besarnya tingkat error pada data koefisien kekasaran terukur di model fisik dengan analisa data koefisien kekasaran dari hasil pendekatan estimasi koefisien kekasaran dari literatur-literatur yang melakukan eksperimen dalam penggunaan elemen kekasaran dasar saluran di model fisik. Hasil analisis dari eksperimen koefisien kekasaran pada model fisik dengan hasil estimasi terjadi error rata-rata dari *running* 4 literatur mencapai 22,1%, secara garis besar semua analisis menunjukkan error di *range* $\pm 20\%$ sampai $\pm 30\%$, selain itu Fr dan U/U^* juga memiliki pengaruh terhadap penurunan koefisien kekasaran pada saluran terbuka.

Kata kunci: Koefisien kekasaran, Manning, model fisik, saluran terbuka

Abstract

The flow of water in an open channel is greatly influenced by the surface shape of the channel. A rough surface will give a large energy loss because it has a large resistance value and with a smooth surface shape, the energy loss is quite small. Many researchers have conducted experiments with physical models regarding the effect of the roughness coefficient on flow. All of them explain resistance with a single roughness coefficient, and the main problem is that the difference between the predicted roughness coefficient and the experimental measurement results on the physical model will certainly give a different roughness coefficient value between measurement and estimate, so an analysis of the percentage error rate between the measurement data on the physical model test is required. with data resulting from a special estimate of the roughness coefficient. This study was conducted using a statistical test method of the magnitude of the error rate in the measured roughness coefficient in the physical model with the coefficient analysis of the roughness coefficient estimation approach from the literature that conducted experiments in the use of the channel bed roughness elements in the physical model. The results of the analysis of the roughness coefficient experiment on the physical model with the estimation results that the average error of running 4 literature reaches 22.1%, in general all analyzes show errors in the range $\pm 20\%$ to $\pm 30\%$, besides Fr and U / U^ also has the effect of decreasing the roughness coefficient in the open channel.*

Keywords: *Roughness coefficient, Manning, physical model, open channel*

PENDAHULUAN

Manajemen pengelolaan sumber daya air baik itu di saluran terbuka ataupun sungai membutuhkan pemahaman tentang proses dan fenomena yang mendasari perilakunya, termasuk hubungan antara debit dan karakteristik hidrolis.

Prediksi kecepatan aliran di saluran maupun di sungai menjadi perhatian banyak ilmuwan dan insinyur. Kedalaman dan kecepatan aliran ditentukan oleh hambatan aliran ataupun nilai koefisien kekasaran, yang secara konvensional dijelaskan dengan persamaan empiris, dalam hal sifat saluran dan karakteristik aliran yang menginduksi gaya hambatan aliran atau kehilangan energi pada aliran pada saluran terbuka. Namun, persamaan-persamaan empiris ini belum tentu akurat dalam memperkirakan koefisien kekasaran untuk beberapa kondisi khususnya kekasaran skala model fisik di laboratorium. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengkarakterisasi skala hambatan aliran dalam kaitannya dengan kedalaman aliran relatif (rasio kedalaman aliran terhadap tinggi elemen kekasaran), y/D_s (y = kedalaman aliran rata-rata, D_s = ukuran karakteristik material dasar saluran) . kedalaman relatif sungai diklasifikasikan ke dalam skala kecil, skala menengah dan skala besar tergantung pada ukuran material dasar D_s dan kondisi aliran (Bathurst, 1978; Thorne dan Zevenbergen, 1985; French, 1985). Kekasaran skala kecil adalah jika rasio kedalaman aliran relatif tenggelam terhadap tinggi elemen kekasaran melebihi rasio 4 (Jordanova dkk, 2004). Kekasaran skala menengah adalah jika rasio kedalaman aliran relatif tenggelam terhadap tinggi elemen kekasaran, terletak antara rasio 1 dan 4 (Jordanova, dkk, 2004). Rezim aliran ini mewakili keadaan aliran di mana pengaruh elemen kekasaran pada hambatan aliran dimanifestasikan sebagai kombinasi dari

kedua elemen gaya gesek. Kekasaran skala besar adalah jika rasio kedalaman aliran dan tinggi elemen kekasaran kurang dari rasio 1 (Jordanova, dkk, 2004). Ketinggian elemen kekasaran berskala besar dikaitkan dengan interaksi yang sangat kompleks antara elemen hambatan kekasaran, pusaran dan loncat hidraulik lokal (Jordanova, dkk, 2004). Dasar sungai alami terdiri dari unsur-unsur kekasaran dengan berbagai ukuran, dan dasar kekasaran harus diwakili oleh ukuran karakteristik tunggal, seperti D_{50} atau D_{84} , dan masalah utama adalah perbedaan koefisien kekasaran yang diprediksi dengan hasil pengukuran eksperimen pada model fisik tentu akan memberikan nilai koefisien kekasaran yang berbeda antara pengukuran dan perhitungan, sehingga diperlukan analisa persentase tingkat kesalahan antara data pengukuran pada uji model fisik dengan data hasil perhitungan khusus koefisien kekasaran.

Studi ini dilakukan dengan metode uji statistik besarnya tingkat eror pada data koefisien kekasaran terukur di model fisik dengan analisa data koefisien kekasaran dari hasil pendekatan estimasi koefisien kekasaran dari literatur-literatur yang melakukan eksperimen dalam penggunaan elemen kekasaran dasar saluran di model fisik yang berbeda-beda yang digunakan dari literatur yaitu antara koefisien kekasaran observasi (*no*) dengan koefisien kekasaran perhitungan (*nc*) dan parameter-parameter yang diuji pada model fisik yang tidak memerlukan efek penskalaan dalam mempengaruhi koefisien kekasaran serta pengaruh rasio kecepatan rata-rata dengan kecepatan gesek juga ditinjau terkait tren korelasinya.

Besarnya hambatan aliran pada saluran dari rumus-rumus aliran seragam. Bentuk persamaan yang mendasari rumus tahanan pada aliran seragam banyak dikembangkan dalam perhitungan koefisien kekasaran,

kecepatan aliran dan debit aliran. Untuk menghitung koefisien kekasaran Manning yang diamati dari persamaan empiris yang paling umum pada saluran terbuka disajikan pada Persamaan (1).

$$Q = \frac{1}{n_c} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (1)$$

Dalam hubungan ini, Q adalah debit (m^3/s), n_c adalah koefisien kekasaran Manning, R adalah jari-jari hidrolis (m) dan A adalah luas penampang basah (m^2). Nilai yang diamati dari n_{co} dengan menggunakan debit yang sesuai dan kemiringan saluran (S), estimasi nilai Manning dapat di analisis dari parameter hidrolis pada Persamaan (2), sedangkan untuk estimasi koefisien kekasaran Manning berdasarkan parameter ketinggian kekasaran (k_s) diberikan pada Persamaan (3) dan estimasi koefisien kekasaran Manning berdasarkan elemen kerapatan vegetasi dapat di hitung dengan Persamaan (4).

$$n_c = \frac{A^{5/3} S^{1/2}}{QP^{2/3}} \quad (2)$$

$$n_c = \frac{k_s^{1/6}}{7,7g^{1/2}} \quad (3)$$

$$n_c = 0,006Fr^{-0,234} \left(\frac{U}{U^*}\right) S^{-0,717} D^{0,035} \quad (4)$$

Dimana P adalah keliling basah (m), Fr adalah Froude Number, $Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}}$, U adalah kecepatan rata-rata aliran (m/s), $U^* = \sqrt{gRS}$ adalah kecepatan gesek (m/s) dan D adalah persentase kerapatan vegetasi. Selanjutnya estimasi koefisien Manning yang dihitung berdasarkan pada persamaan (2) sampai Persamaan (4) dianalisis dari *software excel* atau dan juga untuk analisis statistik serta manajemen data. Dalam perhitungan ini koefisien kekasaran Manning sebagai fungsi dari parameter yang efektif dalam setiap percobaan ditetapkan. Proses perhitungan tingkat eror pada koefisien kekasaran yang diamati dan yang diperkirakan pada model

fisik dapat di evaluasi akurasi pada model fisik dan menghitung nilai eror digunakan uji statistik *Mean Error Relative* (MER) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) masing-masing menggunakan Persamaan. (5) dan (6),

$$MER = \frac{\sum_i^n \frac{|O-C|}{O}}{n} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (C_i^2 - O_i^2)^2}{n}} \quad (6)$$

dimana C dan O mewakili data yang dihitung dan diamati masing-masing, $i = 1, 2, 3, \dots$ dan n adalah jumlah data.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini melakukan evaluasi estimasi nilai koefisien kekasaran Manning dengan menggunakan Persamaan (2) sampai Persamaan (4) sesuai dengan karakteristik parameter pada eksperimen model fisik dari literatur, kemudian dilakukan evaluasi tingkat penyimpangan data (eror) hasil estimasi koefisien kekasaran dengan data hasil pengukuran koefisien kekasaran pada model fisik dilaboratorium dengan menggunakan Persamaan (5) dan Persamaan (6). Data literatur model fisik menggunakan *flume* dari data penelitian Mashau (2006) Percobaan dilakukan di laboratorium hidrolika di Universitas Witwatersrand. Sebuah *flume* ber dinding kaca persegi panjang dengan panjang 10 m dan lebar 0,38 m digunakan untuk membuat model saluran dengan Kemiringan *flume* adalah 0,0047. Variabel lain dipertahankan secara konstan dalam percobaan laboratorium untuk menentukan pengaruh satu variabel. Kekasaran dari *flume* (kekasaran lapisan), bentuk penampang, dan kemiringan dari *flume* dijaga konstan untuk serangkaian percobaan tertentu. Elemen kekasaran (*hemispherical*) dengan bentuk yang sama dengan ukuran berbeda dipilih untuk mewakili batuan di sungai (prototip).

Elemen kekasaran ini terbuat dari beton dengan diameter 112 mm, 72 mm dan 46 mm.

Data penelitian Recking, dkk (2008) pengaturan eksperimental terdiri dari *flume* miring sepanjang 10 m, lebar 0,05 hingga 0,25 m dengan kemiringan bervariasi dari 0 hingga 10% . Laju aliran di saluran masuk diukur dengan dua pengukur aliran elektromagnetik: yang pertama memberikan pengukuran aliran antara 0,3 dan 2,5 liter/s dengan akurasi 0,5% dan yang kedua memberikan pengukuran aliran antara 2 dan 80 liter/s dengan akurasi 0,5%. Sistem pengumpulan sedimen dikembangkan secara khusus dengan menggunakan tangki pengumpan dan ban berjalan yang kecepatannya memungkinkan untuk mengontrol debit masukan sedimen perangkat takometer, khusus memastikan kecepatan yang konstan. Perangkat ini telah diuji dan memberikan debit sedimen yang stabil bahkan untuk nilai yang sangat rendah Recking, dkk (2004)

Data penelitian Webb, dkk (2010) menggunakan dua model dasar saluran tetap, dibuat di laboratorium dengan ukuran yang berbeda untuk mengevaluasi penskalaan kekasaran hidrolis. Sebuah *flume* selebar

1,219 m digunakan untuk *prototipe* dan *flume* 0,305 m digunakan untuk model. Kesamaan geometri dipertahankan dari *prototipe* ke model. Ini termasuk dimensi elemen kekasaran serta jarak antar elemen. Jarak dimasukkan karena menunjukkan bagaimana koefisien kekasaran hidrolis berubah jika jarak antar strip kekasaran buatan divariasikan (Knight,1979). Hasil percobaan tersebut menunjukkan validitas dan ketidakpastian. Eksperimen ini juga menyediakan metode untuk menentukan koefisien kekasaran versus bilangan Reynolds untuk bahan laboratorium yang akan digunakan dalam model .

Data penelitian Shafaei, dkk (2019) pembuatan model fisik dalam *flume* dengan panjang 7 m, lebar 0,25 m dan tinggi 0,25 m. Dasar *flume* diisi menggunakan sedimen seragam dengan median butiran diameter 1,9 mm, koefisien variasi 1,4 mm dan tebal 0,4 m, koefisien kekasaran variasi kemiringan 0,2% , 0,4% & 0,6% Running debit 4 Ltr/s, 6 Ltr/s dan 8 Ltr/s persentase kerapatan vegetasi yang diteliti 0%, 12%, 25% dan 50% dan simulasi penutup streambed menggunakan vegetasi semak belukar buatan. Data-data dari literatur di sajikan pada Tabel 1.

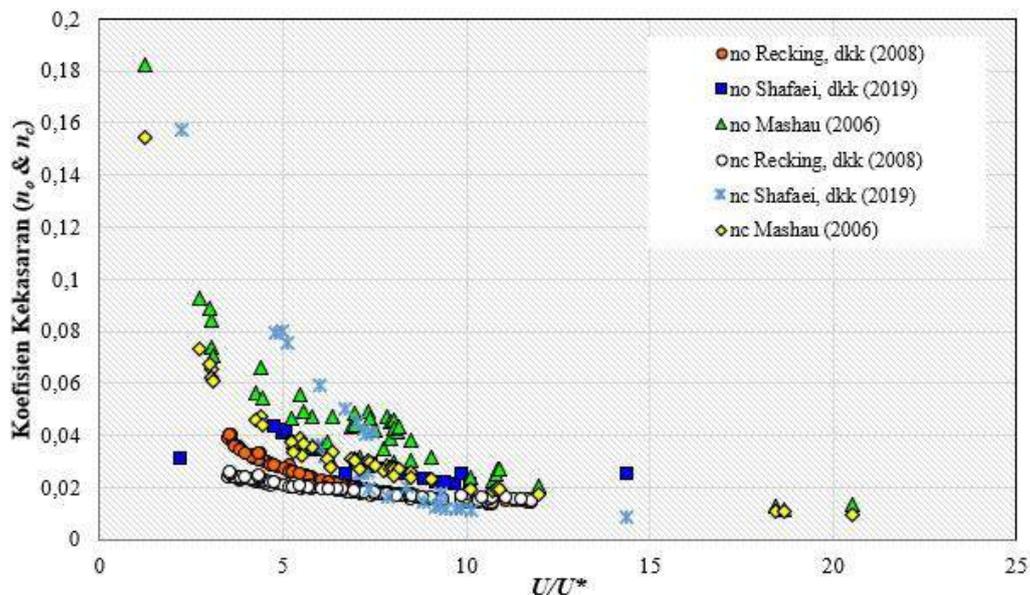
Tabel 1. Data Eksperimen dari Literatur dalam Analisis Penelitian Ini.

No	Sumber	Konsep	S	D ₅₀ (m)	Q (m ³ /s)	n _o	n _c	Jumlah Data
1	Penelitian ini Running data Recking, dkk (2008)	No bedload & bedload	0,01- 0,09	0,0023 - 0,0125	0,0003 - 0,08	0,013 - 0,040	0,014 - 0,026	143
2	Penelitian ini Running data Mashau (2006)	No bedload & drag of hemispheres	0,0012 - 0,0050	0,046 - 0,112	> 0,0243	0,012 - 0,183	0,010 - 0,155	46
3	Shafaei, dkk (2019)	Kerapatan Vegetasi	0,002	0,0019	0,004 - 0,008	0,019 - 0,043	0,009 - 0,157	27
4	Webb, dkk (2010)	No bedload	0,0358 - 0,0515	tak teridentifikasi	0,0142 - 0,637	0,010 - 0,074	0,025 - 0,066	17

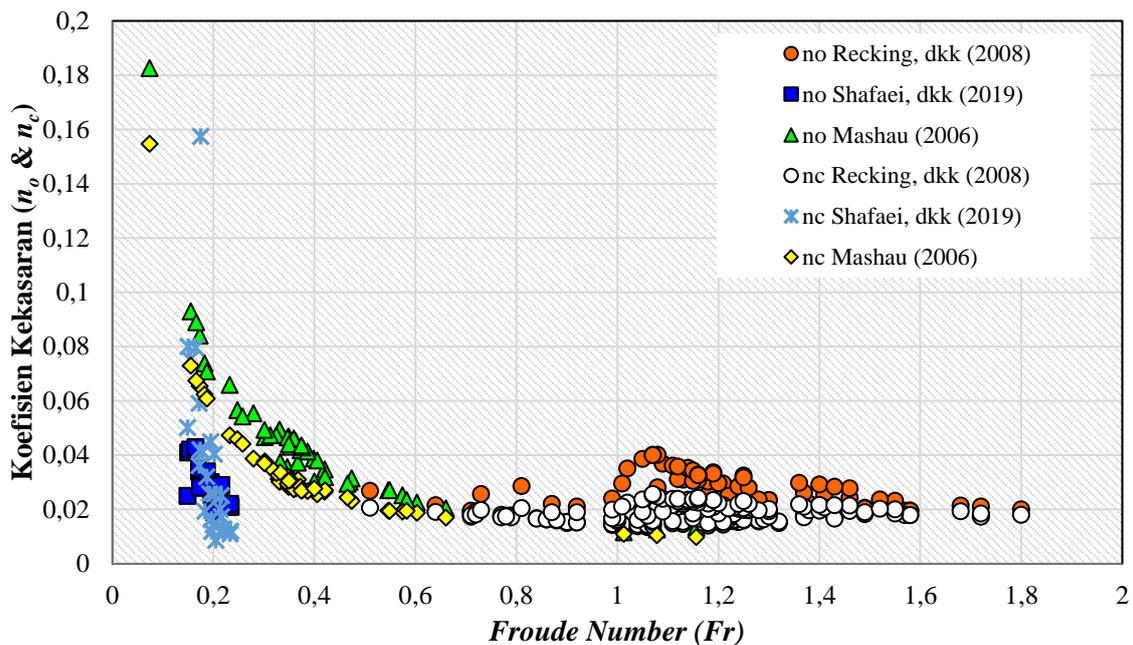
HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter hidrolis sangat berpengaruh terhadap sensitivitas nilai koefisien kekasaran, tinjauan untuk mengetahui tren ketergantungan koefisien kekasaran terhadap variabel yang berbeda, tinjauan dalam analisis sensitivitas dilakukan dengan menggunakan data hasil eksperimen model fisik yang dilakukan oleh Recking, dkk (2008), Masahau (2006) dan Shafaei, dkk (2019). Contoh hasil analisis disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Gambar 1 menunjukkan koefisien kekasaran Manning versus kecepatan rata-rata terhadap kecepatan geser dalam kondisi yang berbeda dan variasi koefisien kekasaran dengan nilai Fr ditampilkan di Gambar 2. Gambar 1 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya rasio U/U^* maka nilai koefisien kekasaran memiliki tren menurun. Penurunan ini menurun dengan meningkatnya nilai kekasaran dasar saluran dari eksperimen Recking, dkk (2008) baik dengan adanya *bedload* dan tanpa *bedload*, sedangkan eksperimen Masahau (2006) dengan dasar saluran tetap (tidak bergerak) menunjukkan

tren yang sama antara koefisien kekasaran observasi dengan koefisien kekasaran perhitungan, sedangkan seiring meningkatnya kerapatan vegetasi dalam eksperimen Shafaei, dkk (2019) juga akan meningkatkan kekasaran dasar saluran. Variasi terbesar ada di kondisi non-vegetasi dan seperti yang diharapkan, koefisien Manning meningkat dengan meningkatnya kerapatan vegetasi. Faktanya, Variasi koefisien Manning dengan keberadaan vegetasi lebih rapat dari kondisi non-vegetasi memberikan hasil yang berbeda terkait peningkatan kekasaran Hasil eksperimen model fisik koefisien kekasaran dengan rasio pada kecepatan rata-rata dengan kecepatan gesek memiliki tren yang sama bahwa pengaruh rasio U/U^* semakin besar maka nilai koefisien kekasaran semakin menurun dan sebaliknya, rasio U/U^* atau kecepatan bilangan tak berdimensi cukup memberikan tren hasil yang respentatif tidak adanya pengaruh data secara acak akibat dari efek eksperimen model fisik maupun lapangan yang telah banyak dipublikasikan dalam literatur-literatur jurnal dan buku.



Gambar 1. Variasi Koefisien Kekasaran dengan Rasio Kecepatan Rata-Rata terhadap Kecepatan Geser.



Gambar 2. Variasi Koefisien Kekasaran dengan *Froude Number*

Gambar 2 mendeskripsikan hasil *running* dari 4 penelitian model fisik baik data dari nilai koefisien kekasaran hasil eksperimen maupun hasil estimasi menunjukkan jika nilai $Fr > 1$ pada kondisi aliran superkritis peningkatan nilai koefisien kekasaran tidak begitu signifikan, sedangkan jika nilai $Fr < 1$ pada kondisi aliran subkritis nilai koefisien kekasaran meningkat tajam, hasil analisis tersebut pengaruh nilai *Froude Number* (Fr) memiliki pengaruh terhadap nilai koefisien kekasaran dan pada Gambar 2 juga menunjukkan bahwa dengan bertambahnya Fr maka koefisien kekasaran berkurang, pada data eksperimen Shafaei, dkk (2019) menunjukkan penurunan ini merupakan penurunan karena pada eksperimen Shafaei, (2019) memiliki tren yang sama antara pengujian pada model fisik (n_o) dan perhitungan koefisien kekasaran (n_c) dengan meninjau kerapatan vegetasi yang meningkat sehingga variasi koefisien kekasaran juga meningkat sebaliknya mencapai nilai minimumnya di kondisi tanpa vegetasi, hasil percobaan model fisik dengan perhitungan memiliki tren yang sama dalam meresepentasikan koefisien kekasaran dengan

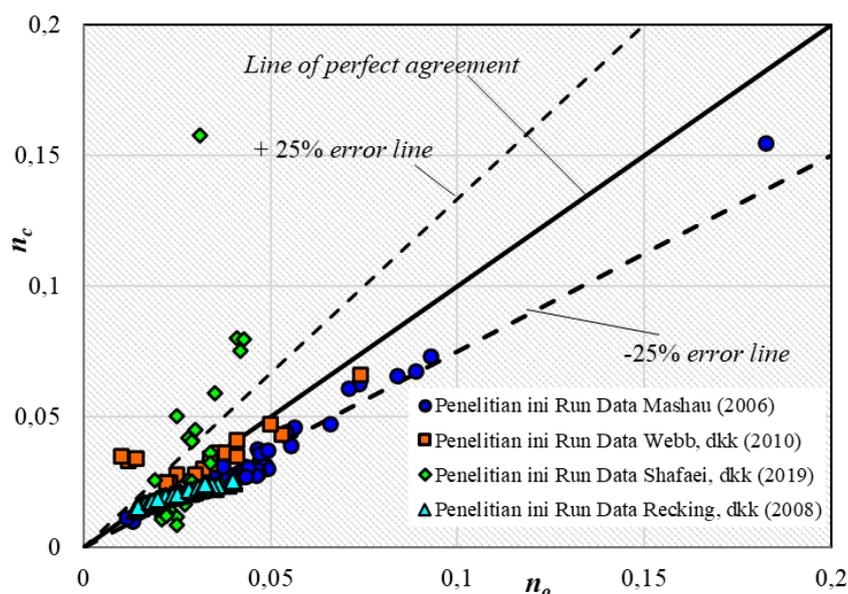
Fr , sehingga parameter Fr tidak berpengaruh pada model fisik. Sedangkan eksperimen model fisik Recking, dkk (2008) memberikan hasil yang berbeda yaitu nilai koefisien kekasaran pada hasil perhitungan (n_c) ada data tidak signifikan mengikuti tren semakin besar nilai koefisien kekasaran maka nilai Fr semakin kecil, sedangkan pada model fisik nilai n_o sebagian data meresepentasikan tren nilai Manning semakin menurun seiring adanya peningkatan nilai Fr , hasil eksperimen model fisik pada *flume* yang dilakukan Recking, dkk (2008) bahwa model fisik dengan parameter Fr memiliki pengaruh terhadap hasil yang cukup baik pada koefisien kekasaran n_o dibandingkan dengan hasil perhitungan pada koefisien kekasaran n_c .

Sementara itu, seperti yang diharapkan pada eksperimen model fisik Mashau (2006) dengan meningkatnya nilai Fr maka nilai koefisien kekasaran semakin menurun baik pada uji model fisik maupun hasil perhitungan memberikan tren yang sama, sehingga efek dari model fisik dengan parameter Fr tidak memiliki pengaruh.

Dari ketiga hasil penelitian model fisik yang dilakukan oleh tiga peneliti menun-

jukkan bahwa dalam uji model fisik tidak memiliki efek signifikan terkait tren Fr dengan koefisien kekasaran dalam uji model fisik, sehingga penskalaan nilai Fr dalam uji model fisik tidak diperlukan jika range nilai Fr tidak begitu ekstrim dengan nilai $Fr > 1$ pada kondisi aliran superkritis peningkatan nilai koefisien kekasaran tidak begitu signifikan, sedangkan jika range nilai Fr dalam kondisi ekstrim nilai $Fr < 1$ pada kondisi aliran subkritis nilai koefisien kekasaran meningkat tajam perlu dilakukan analisa lebih teliti terkait efek penskalaan dalam pada uji model fisik. Gambar 3 menunjukkan perbandingan antara koefisien kekasaran yang dievaluasi dengan uji statistik untuk kondisi data eksperimen yang berbeda dengan hasil perhitungan. Koefisien korelasi dari Mashau (2006) didapatkan nilai $R^2 = 0,968$, $MER = 0,245$, dan $RMSE = 0,0018$, untuk koefisien korelasi dari Webb, dkk (2010) didapatkan nilai $R^2 = 0,648$, $MER = -0,310$, dan $RMSE = 0,0006$, untuk koefisien korelasi dari Shafaei, dkk (2019) didapatkan nilai $R^2 = 0,417$, $MER = -0,202$, dan $RMSE = 0,0049$ dan untuk koefisien korelasi dari Recking, dkk (2008) didapatkan nilai $R^2 =$

0,959, $MER = 0,126$, dan $RMSE = 0,0003$. Nilai-nilai rata-rata semua dari hasil running sebesar 22,1% dan semua hasil perbandingan paling sesuai pada garis eror $\pm 25\%$. Hasil pengukuran koefisien kekasaran pada model fisik dengan hasil perhitungan koefisien kekasaran pada penelitian ini memberikan tingkat kesalahan mencapai $\pm 20\%$ sampai $\pm 30\%$, khusus untuk eksperimen model kekasaran pada skala model dari penelitian Webb, dkk (2019) dengan membandingkan eksperimen menggunakan lebar flume 1,219 m untuk prototip dan 0,305 lebar flume untuk penggunaan model dengan running debit diukur hingga $\pm 0,25\%$ tingkat akurasi dan semua elemen kekasaran dengan skala 1 : 4 memberikan hasil tingkat kesalahan rata-rata mencapai $\pm 31\%$. Jika model tidak dapat dioperasikan dalam rezim aliran kasar sepenuhnya, maka skala model baru harus dipilih atau kemiringan model harus terdistorsi. Selain itu, jika prototip tidak beroperasi dalam kondisi aliran kasar sepenuhnya, metode penskalaan kekasaran tidak berlaku.



Gambar 3. Perbandingan antara Koefisien Kekasaran Observasi (N_o) pada Model Fisik dan Koefisien Kekasaran Perhitungan (N_c).

SIMPULAN

Rasio U/U^* memiliki pengaruh terhadap koefisien kekasaran baik hasil eksperimen model fisik dari parameter hidraulik maupun hasil estimasi koefisien kekasaran dengan persamaan empiris, yaitu semakin besar nilai Rasio U/U^* maka semakin kecil nilai koefisien kekasaran dan sebaliknya.

Froude Number (Fr) memiliki efek dalam mengurangi koefisien kekasaran baik penggunaan data pengukuran model fisik dan hasil estimasi, secara spesifik hasil *running* dari penelitian model fisik baik data dari nilai koefisien kekasaran hasil eksperimen maupun hasil estimasi menunjukkan jika nilai $Fr > 1$ pada kondisi aliran superkritis peningkatan nilai koefisien kekasaran tidak begitu signifikan, sedangkan jika nilai $Fr < 1$ pada kondisi aliran subkritis nilai koefisien kekasaran meningkat tajam.

Hasil evaluasi eksperimen koefisien kekasaran pada model fisik dengan hasil estimasi koefisien kekasaran terjadi tingkat kesalahan rata-rata dari *running* 4 literatur mencapai 22,1%, secara garis besar semua analisis menunjukkan eror di *range* $\pm 20\%$ sampai $\pm 30\%$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada peneliti-peneliti yang telah melaksanakan eksperimen model fisik seperti Mashau (2006) dalam percobaan yang dilakukan di Laboratorium Hidrolika di Witwatersrand University, Recking, dkk (2008) dalam melaksanakan eksperimen model fisik di Laboratorium Mekanika Fluida dan Akustik Lyon, Webb, dkk (2010) melaksanakan eksperimen model fisik di Laboratorium Hidraulika Utah State University dan Shafaei, dkk (2019) dengan eksperimen model fisik di *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI)*, University of Zanjan yang telah memberikan inspirasi di dalam tulisan jurnal-jurnal yang dipublikasikan yang penulis review

sehingga dapat melaksanakan penelitian dari hasil mereview jurnal-jurnal tersebut dan sekaligus melakukan pengembangan analisis terkait evaluasi nilai kekasaran pada eksperimen model fisik yang berjalan dengan baik dan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Bathurst, J.C., 1978. Flow Resistance of Large-Scale Roughness, *Journal of the Hydraulic Division, ASCE*, Vol. 104(12):1587 – 1603.
- French, R.H., 1985. Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill.
- Joranova, A.A., Birkhead, A.L., James, C.S., Kleynhans, C.J., 2004. *Hydraulics for Determination of the Ecological Reserve for Rivers*, WRC Report No. 1174, Pretoria, South Africa.
- Mashau, M.S., 2006. *Flow Resistance In Open Channels With Intermediate Scale Roughness: A research report submitted to the Faculty of Engineering and the Built Environment, University of Witwatersrand, in fulfillment of the degree of Master of Science in Engineering*, Johannesburg.
- Recking, A., Boucinha, V., and Frey, P., 2004. "Experimental study of bed-load grain size sorting near incipient motion on steep slopes." *River flow*, Napple, 253–258.
- Recking, A., Frey, P., Paquier, A., Belleudy, P., Champagne, J.Y., 2008. Bed-load transport flume experiments on steep slopes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(9):1302–1310
- Shafaei, H., Amini, A., Shirdeli, A., 2019. Assessing Submerged Vegetation Roughness in Streambed under Clear Water Condition using Physical Modeling. *Water Resources*, Vol 46(3): 377-383
- Thorne, C.R., Zevenbergen, L.W., 1985. Estimating Mean Velocity in Mountain

Rivers, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 111(4): 612 – 624.

Webb, C.B., Barfuss, S.L., Johnson, M.C., 2010. Modelling roughness in scale models. *Journal of Hydraulic Research*, Vol 48(2): 260-264.

APLIKASI NERACA AIR UNTUK MENENTUKAN BULAN BASAH DAN KERING DI KOTA PALEMBANG

APPLICATION OF WATER BALANCE FOR DETERMINING WET AND DRY SEASONS IN PALEMBANG CITY

¹Ari Sugiarto, ²Yuli Suharnoto, ³Allen Kurniawan

^{1,2,3}Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor

¹sugiartoari13@gmail.com, ²y_suharnoto@yahoo.com, ³allenkurniawan@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Ketersediaan air di suatu wilayah dapat digambarkan dengan analisis neraca air. Prinsip analisis ini berdasarkan ketersediaan air hujan setelah dikurangi kehilangan air dari proses evapotranspirasi. Berdasarkan deskripsi tersebut, studi ini bertujuan untuk menentukan bulan basah dan kering di Kota Palembang menggunakan analisis neraca air dari data curah hujan dan evapotranspirasi. Studi ini menggunakan data selama 10 tahun terakhir (2010-2019) diperoleh dari dua stasiun Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (Kenten dan Sultan Mahmud Badaruddin II) di Kota Palembang. Proyeksi nilai evapotranspirasi menggunakan model Penman-Monteith. Tahapan analisis meliputi akumulasi dan polinomial orde 6, penurunan, dan pengurangan dari curah hujan dan evapotranspirasi. Hasil analisis data iklim dari stasiun Kenten menunjukkan rata-rata bulan basah dalam 10 tahun terakhir terjadi pada 1-166 dan 273-365 *J-day*, sedangkan bulan kering terjadi pada 167-272 *J-day*. Analisis data iklim dari Stasiun Sultan Mahmud Badaruddin II menunjukkan bulan basah terjadi pada 1-161 dan 284-365 *J-day*, sedangkan bulan kering terjadi pada 162-283 *J-day*. Analisis data dari stasiun Sultan Mahmud Badaruddin II menunjukkan waktu bulan basah yang lebih pendek dan bulan kering yang lebih panjang 15 hari dibanding Stasiun Kenten. Namun, kedua hasil dari stasiun tersebut menunjukkan bahwa bulan basah di Kota Palembang terjadi pada awal Januari hingga pertengahan Juni dan awal Oktober hingga akhir Desember, sedangkan bulan kering terjadi pada pertengahan Juni hingga awal Oktober.

Kata Kunci: bulan basah dan kering, curah hujan, evapotranspirasi, neraca air, Palembang

Abstract

*Water availability in an area can be determined by water balance analysis. The principle of this analysis is based on the availability of rainwater after deducting water loss from evapotranspiration. This study aims to determine wet and dry season in Palembang City using water balance analysis from rainfall and evapotranspiration data. This study used data for the last 10 years (2010-2019) obtained from two stations of the National Agency for Meteorology, Climatology, and Geophysics (Kenten and Sultan Mahmud Badaruddin II) in Palembang City. The estimation of the evapotranspiration value used the Penman-Monteith model. The analysis consisted the accumulation and polynomial order 6th, derivation, and reduction of rainfall and evapotranspiration derivation. The results of the climate data analysis from Kenten station showed that the average wet seasons in the last 10 years occurred at 1-166 and 273-365 *J-days*, while dry seasons occurred at 167-272 *J-days*. Analysis of climate data from Sultan Mahmud Badaruddin II station showed that wet seasons occurred at 1-161 and 284-365 *J-days*, while dry seasons occurred at 162-283 *J-days*. Analysis of data from Sultan Mahmud Badaruddin II station showed that the wet seasons were shorter and the dry seasons were 15 days longer than Kenten, but the results of both stations showed that the wet seasons in Palembang city occurred in early January until mid June and early October until last December, while the dry seasons occurred in mid June until early October.*

Keywords: *evapotranspiration, rainfall, Palembang, water balance, wet and dry seasons*

PENDAHULUAN

Pemanasan global menjadi salah satu isu lingkungan yang menimbulkan dampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem lingkungan. Salah satu dampak dari pemanasan global adalah peningkatan elevasi permukaan air laut, peningkatan suhu udara, dan perubahan pola curah hujan pada skala lokal dan regional (Runtunuwu & Syahbuddin, 2007; Aldrian & Djamil, 2008; Van Wilgen, Goodall, Holness, Chown, & McGeoch, 2016). Perubahan pola curah hujan di suatu wilayah akan mempengaruhi ketersediaan air karena air hujan menjadi sumber pengisian air utama.

Ketersediaan air menjadi salah satu faktor untuk menentukan bulan basah dan kering (Setiawan, 2020). Ketersediaan air di bulan basah umumnya dalam kuantitas melebihi kisaran normal dan di bulan kering identik dengan kekurangan atau kelangkaan air (Chou, et al., 2013). Ketersediaan air berkaitan erat dengan curah hujan (R) dan evapotranspirasi (ET). Ketersediaan air merupakan total R yang berkurang melalui penguapan air dari proses ET. Prinsip neraca air sederhana ini dapat diaplikasikan untuk menentukan bulan basah dan kering pada lokasi kajian (Setiawan, 2020). Dengan demikian, analisis ini dapat memberikan solusi alternatif terhadap perubahan kondisi iklim, terutama di kota-kota di Indonesia, terkait dengan pengelolaan sumber daya air, penggunaan sumber air baku untuk air bersih, maupun sistem pengelolaan irigasi pertanian. Dengan pertambahan jumlah penduduk, daya tampung pulau-pulau di Indonesia semakin berkurang akibat perubahan lahan (Budipriyanto, Khoiri, Lestari, & Rahman, 2015). Perubahan ini memberikan pengaruh terhadap ketersediaan air baku. Kondisi ini menjadi permasalahan di beberapa kota besar di Pulau Sumatera, seperti Kota Palembang. Kota Palembang terletak antara 2°52'–3°5' Lintang Selatan dan 104°37'–104°52' Bujur Timur dengan kondisi suhu udara berkisar 22–

37,4 °C; curah hujan rata-rata bulanan berkisar 0,5–484,6 mm; kecepatan angin berkisar 3,14–4,89 knot; dan kelembapan udara berkisar 77,56–91,38 % (BPS Kota Palembang, 2020). Suhu udara di Kota Palembang dalam empat dekade terakhir cenderung meningkat sebesar ± 1 °C (Sugiarto, 2018).

Selama ini, belum ada studi skala regional yang dilakukan di Kota Palembang untuk menilai kemungkinan saling ketergantungan antara variabilitas curah hujan yang diamati dan tren iklim selama beberapa tahun terakhir. Melalui aplikasi analisis neraca air, studi ini difokuskan untuk menentukan estimasi bulan basah dan kering di Kota Palembang. Studi ini diharapkan dapat digunakan sebagai sumber informasi yang berharga tentang penilaian perubahan iklim lokal di Palembang sehingga dapat berguna untuk memahami kemungkinan dampak lokal dari perubahan iklim global.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan dan Akses Data Iklim

Data iklim di kota Palembang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) di Stasiun Klimatologi Kenten dan Stasiun Meteorologi Sultan Mahmud Badaruddin II (SMB II).

Data diakses secara online pada website http://dataonline.bmkg.go.id/data_iklim (Data Online Pusat Data Base-BMKG, 2015). Data yang diakses yaitu data iklim selama 10 tahun terakhir (2010-2019). Data iklim yang akses meliputi suhu udara minimum (Tmin), suhu udara maksimum (Tmax), suhu udara rata-rata harian (Tavg), Kelembapan udara rata-rata (Rh), curah hujan (R), lama penyinaran matahari (SS), dan kecepatan angin maksimum (U).

Perhitungan Evapotranspirasi (ET)

Perhitungan evapotranspirasi menggunakan Persamaan Penman-Monteith FAO (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998)

ET

$$= \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e^o - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

Keterangan:

R_n = Radiasi Matahari pada permukaan tanaman ($MJ m^{-2} day^{-1}$)

G = Kepadatan fluks panas tanah ($MJ m^{-2} day^{-1}$)

γ = Konstanta psikometrik ($kPa ^\circ C^{-1}$)

T = Suhu udara rata-rata ($^\circ C$) (T_{avg})

U_2 = Kecepatan angin (m/s)

e_s = Tekanan uap saturasi (kPa)

e_a = Tekanan uap aktual (kPa)

$e_s - e_a$ = Defisit tekanan uap saturasi (kPa)

Δ = Kemiringan kurva tekanan uap ($kPa ^\circ C^{-1}$)

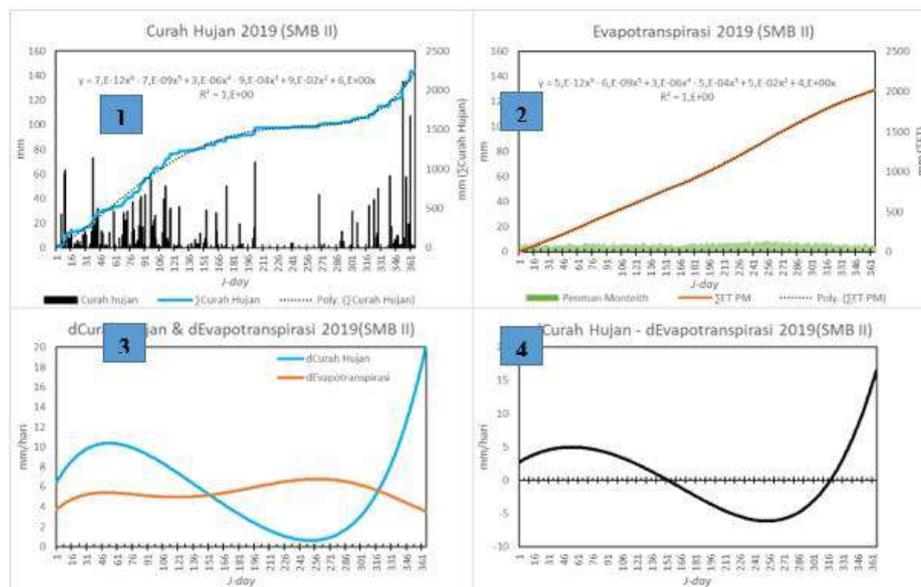
Perhitungan ET menggunakan bantuan *Visual Basic for Applications* (VBA) pada *software* Microsoft Excel.

Tahapan analisis neraca diawali dengan akumulasi dan *polynomial order 6* R dan ET, penurunan *polynomial order 6* R dan ET, dan pengurangan hasil penurunan R dan ET (dR-dET) (Setiawan, 2020).

Contoh detail tahapan analisis neraca air dapat dilihat pada Gambar 1 untuk analisis neraca air menggunakan data iklim stasiun BMKG SMB II untuk tahun 2019.

Tahapan pertama berupa akumulasi dan *polynomial order 6* R, tahap kedua berupa akumulasi dan *polynomial order 6* ET, tahap ketiga berupa penurunan *polynomial order 6* R dan ET, serta tahap terakhir berupa pengurangan hasil penurunan R dan ET (Gambar 1). Nilai positif hasil pengurangan dR dan dET menunjukkan bulan basah untuk mendeskripsikan kelebihan air dan nilai negatif menunjukkan bulan kering untuk mendeskripsikan kekurangan atau kelangkaan air. Data hasil analisis neraca air Kenten dan SMB II dalam 10 tahun dirata-ratakan untuk menentukan bulan basah dan kering di Kota Palembang.

Analisis Neraca Air (Curah Hujan-Evapotranspirasi)

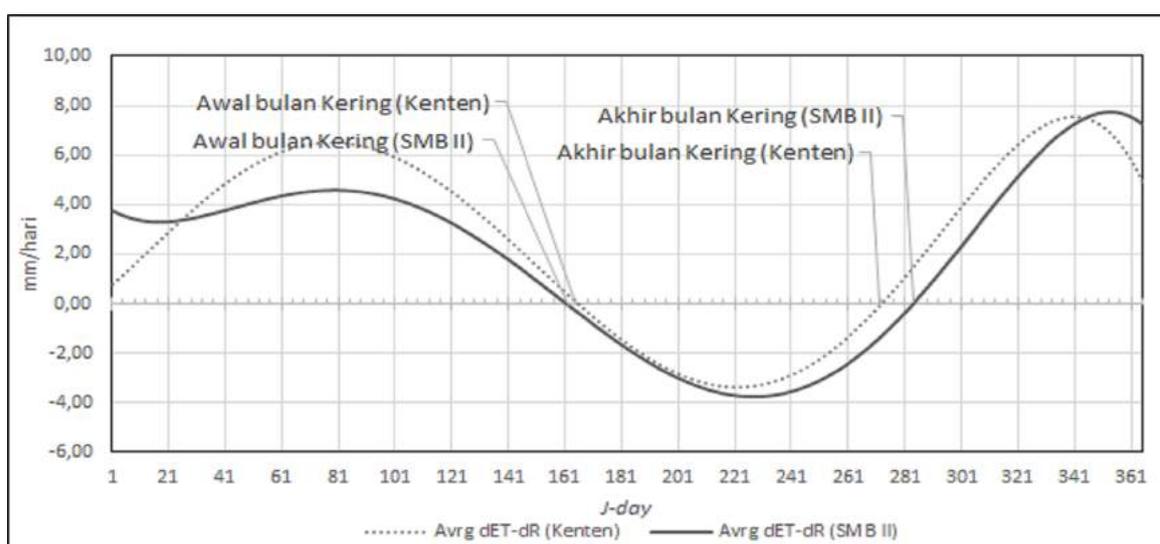


Gambar 1. Tahapan Analisis Neraca Air
(Sumber: diadopsi dari Setiawan, 2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis neraca air data iklim BMKG Kenten menunjukkan bulan basah terjadi pada menunjukkan bahwa rata-rata bulan basah dalam 10 tahun terakhir terjadi pada 1-166 *J-day* dan 273-365 *J-day*, sedangkan bulan kering terjadi pada 167-272 *J-day* (Gambar 2). Untuk data iklim dari stasiun BMKG SMB II menunjukkan bulan basah terjadi pada 1-161 dan 284-365 *J-day*, sedangkan bulan kering terjadi pada 162-283 *J-day*. Analisis data dari stasiun BMKG SMB II menunjukkan waktu bulan basah yang lebih pendek dan bulan kering yang lebih panjang 15 hari dibanding BMKG Kenten. Berdasarkan Gambar 2, ketersediaan air secara umum berlebih di Kota Palembang sehingga durasi bulan basah menjadi lebih lama dibanding dari bulan kering sehingga air tersedia dalam kuantitas berlebih dibandingkan kekurangan air. Kondisi ini mengindikasikan bahwa Kota Palembang tetap dapat menjaga ketersediaan air dalam jumlah yang cukup saat ancaman pemanasan global, dengan tetap memperhatikan permasalahan kualitas air permukaan dan air tanah. Pola bulan basah dan kering di Kota Palembang masih sangat memungkinkan terjadi perubahan di masa

depan karena dampak pemanasan global adalah kondisi yang tidak dapat dihindarkan. Salah parameter iklim yaitu suhu udara di Kota Palembang cenderung meningkat $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dalam empat dekade terakhir (Sugiarto, 2018). Dengan demikian, kondisi tersebut tidak menutup kemungkinan parameter lain seperti curah hujan juga mengalami perubahan. Kecenderungan pola curah hujan global di bulan kering meningkat dan curah hujan di bulan basah sedikit menurun sejak tahun 1950. Peningkatan curah hujan di bulan kering meningkat ± 10 mm dan pada bulan basah menurun kurang dari 1 mm (Tortarolo, VöÅctor, Manuel, Pierre, & Stephen, 2017). Kondisi suhu udara di bulan kering yang cenderung lebih tinggi dari bulan basah juga akan menyebabkan peningkatan laju penguapan air (Renninger & Nathan, 2010). Kondisi ini dapat memberikan gambaran bahwa ada potensi besar kelangkaan air pada bulan kering. Perbedaan lama waktu bulan basah dan kering di Kota Palembang dengan menggunakan data iklim BMKG Kenten dan SMB II diperkirakan berkaitan dengan perbedaan data iklim pada kedua stasiun BMKG tersebut.

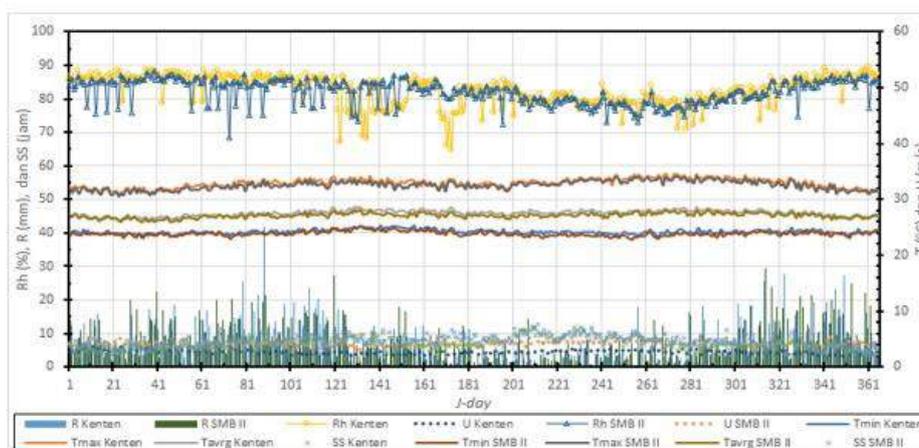


Gambar 2. Grafik Bulan Basah dan Kering di Kota Palembang

Tinjauan data iklim BMKG Kenten dalam 10 tahun terakhir menunjukkan rata-rata suhu udara minimum 24,29 °C, suhu udara maksimum 32,95 °C, suhu udara rata-rata harian 27,55 °C, kelembapan udara 82,63 %, curah hujan 2685,1 mm/tahun, lama penyinaran matahari 4,21 jam, dan kecepatan angin maksimum 4,31 m/detik. Tinjauan data iklim BMKG SMB II menunjukkan rata-rata suhu udara minimum 23,84 °C, suhu udara maksimum 32,49 °C, suhu udara rata-rata harian 27,13 °C, kelembapan udara 82,09 %, curah hujan 2587,4 mm/tahun, lama penyinaran matahari 4,46 mm, dan kecepatan angin maksimum m/detik (**Error! Reference source not found.**). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa perbedaan iklim akan mempengaruhi perbedaan nilai ET. Penelitian Sugiarto (2018), menunjukkan bahwa perbedaan suhu udara minimum, suhu udara maksimum, suhu udara rata-rata harian, kelembapan udara, dan intensitas cahaya sangat mempengaruhi laju penguapan air yang dapat dibuktikan dengan peningkatan variabel ini akan diikuti dengan peningkatan laju penguapan air. Peningkatan suhu udara minimum 1,5 °C menyebabkan peningkatan laju penguapan air 3,66 mm³/g, peningkatan suhu udara rata-rata 1,3 °C menyebabkan peningkatan laju penguapan air 7,76 mm³/g

tanaman/jam, dan peningkatan suhu udara maksimum 1,2 °C menyebabkan peningkatan laju penguapan air 4,03 mm³/g tanaman/jam. Penelitian Aliakbarhania & Seyed (2020) juga menunjukkan terjadi perbedaan ET pada wilayah yang beriklim kering, semi kering, dan sangat kering. Pada wilayah beriklim kering laju ET rata-rata 5,75 mm/hari, beriklim semi kering laju ET 4,01 mm/hari, dan beriklim sangat kering laju ET 6,92 mm/hari. Perbedaan data iklim BMKG Kenten dan SMB II sangat mungkin dipengaruhi oleh perbedaan letak geografis, elevasi, dan tutupan lahan.

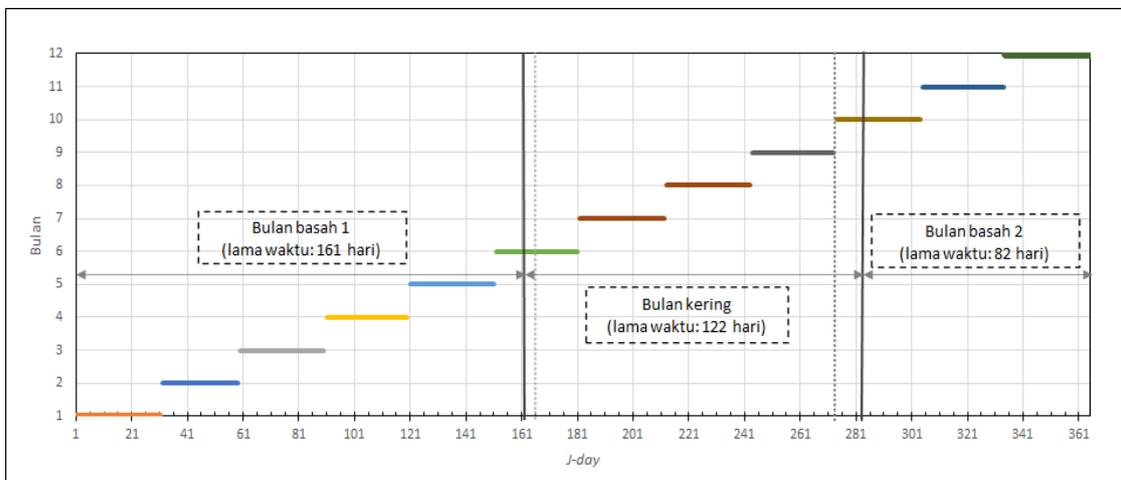
Ditinjau dari letak geografis, BMKG Kenten terletak pada garis lintang -2.92732 dan garis bujur 104.77197 dengan elevasi 11 mdpl, sedangkan geografis BMKG SMB II terletak pada garis lintang -2.89468 dan garis bujur 104.70129 dengan elevasi 10 mdpl. Tutupan lahan sangat erat kaitannya dengan kondisi udara mikro. Pada area dengan tutupan vegetasi yang dominan, kondisi suhu udara cenderung lebih rendah dibanding pada lahan yang tidak ditutupi oleh vegetasi (Elliot, Javier, & Benedetto, 2020). Di musim panas dan dingin, tutupan lahan berupa vegetasi tetap memberikan kondisi suhu udara yang lebih rendah (Marando, Elisabetta, Alessandro, Lina, & Fausto, 2019).



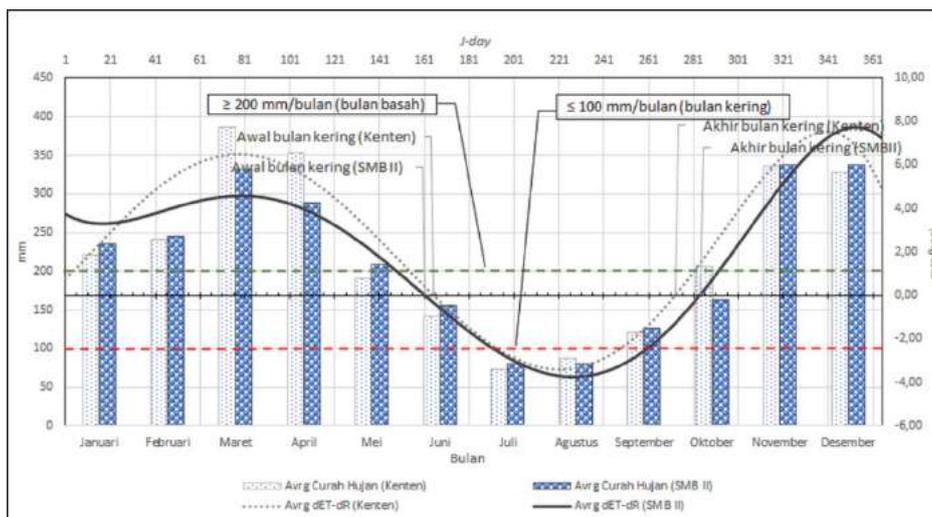
Gambar 3. Perbandingan data iklim BMKG Kenten dan SMB II tahun 2010-2019

Berdasarkan waktu kejadian bulan basah dan kering di Kota Palembang dalam 10 tahun terakhir, bulan basah terjadi pada Januari hingga pertengahan Juni dan awal Oktober hingga akhir Desember, sedangkan bulan kering terjadi pada pertengahan Juni hingga awal Oktober (Gambar 4). Di Indonesia, bulan basah umumnya terjadi pada bulan Januari hingga Maret dan Oktober hingga Desember, sedangkan bulan kering terjadi pada April hingga September (Setiawan, 2020). Untuk wilayah tropis pada negara lain, seperti di Australia bagian utara, bulan April hingga

Oktober merupakan bulan kering, sedangkan bulan basah terjadi Januari hingga Maret dan November hingga Desember (Easmus, O'grady, & Hutley, 2000). Penentuan bulan basah dan kering di wilayah Indonesia dapat menggunakan alternatif metode lain klasifikasi iklim Oldeman. Dalam klasifikasi iklim Oldeman curah hujan lebih dari 200 mm/bulan adalah bulan basah, kurang dari 100 mm/bulan adalah bulan kering, dan curah hujan di antara keduanya adalah bulan lembab (Oldeman, Irsal, & Muladi, 1980).



Gambar 4. Lama Waktu Bulan Basah dan Kering di Kota Palembang



Gambar 5. Grafik Perbandingan Neraca Air (R-ET) dan Klasifikasi Iklim Oldeman

Jika hasil analisis neraca air dibandingkan dengan klasifikasi iklim Oldeman, analisis neraca air dengan menggunakan data R dan ET dapat merinci hari di dalam bulan basah dan bulan kering (Gambar 5). Dalam penerapan penentuan bulan basah dan kering di Indonesia lebih banyak menggunakan klasifikasi iklim Oldeman karena metode ini sangat sederhana dan mudah untuk dipahami. Namun, penentuan bulan basah dan kering dinilai tidak cukup jika hanya menggunakan klasifikasi iklim Oldeman. Penggunaan analisis neraca air (R-ET) dapat menjadi metode alternatif yang digunakan untuk menentukan bulan basah dan kering pada berbagai wilayah pada iklim tropis seperti di Indonesia dan beberapa negara lainnya.

Hasil analisis neraca air dapat digunakan sebagai bagian dari manajemen sumber daya air di Kota Palembang, seperti penanganan permasalahan terkait potensi banjir dan kekeringan. Dalam sistem budidaya padi pada lahan tadah hujan di sekitar Kota Palembang, hasil analisis neraca air juga dapat diterapkan dalam penentuan waktu yang tepat untuk memulai masa tanam padi agar dapat menghindari risiko gagal panen dari kemungkinan banjir dan kekeringan.

SIMPULAN

Analisis neraca air di Kota Palembang menggunakan pendekatan data R dan proyeksi ET dalam 10 tahun terakhir dapat menunjukkan bahwa periode bulan basah terjadi dalam dua dan bulan kering terjadi dalam sekali periode. Bulan basah pertama terjadi pada 1 Januari hingga 10 Juni dengan lama waktu 161 hari, bulan basah kedua terjadi pada 10 Oktober hingga 31 Desember dengan lama waktu 82 hari, dan bulan kering terjadi pada 11 Juni hingga 9 Oktober dengan lama waktu 122 hari. Total lama waktu bulan basah 243 hari dan total lama bulan kering 122 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., & Djamil, Y. S. (2008). Spatio-temporal Climatic Change of Rainfall in East Java Indonesia. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 28(4), 435-448.
- Aliakbarhania, Z. S., & Seyed, F. S. (2020). Evaluating of Eight Evapotranspiration Estimation Methods in Arid Regions of Iran. *Agricultural Water Management*, 239, 106243. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106243>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome: FAO.
- BPS Kota Palembang. (2020). *Kota Palembang Dalam Angka (Palembang Municipality in Figures) 2020*. Palembang: BPS Kota Palembang.
- Budipriyanto, A., Khoiri, M., Lestari, W., & Rahman, A. (2015). Study on water balance in Poteran—a small island in East Java, Indonesia. *Procedia Engineering*, 125, 236-242.
- Chou, C., John, C. H., Chia, L. W., Chia, H. C., Yi, C. L., & Chia, J. L. (2013). Increase in the Range Between Wet and Dry Season Precipitation. *Nature Geoscience*, 6(4), 263-267.
- Data Online Pusat Data Base-BMKG. (2015). *Data Harian*. Dipetik Desember 21, 2020, dari http://dataonline.bmkg.go.id/data_iklim
- Easmus, D., O'grady, A., & Hutley, L. (2000). Dry Season Conditions Determine Wet Season Water Use in the Wet-Dry Tropical Savannas of Northern Australia. *Tree Physiology*, 20(18), 1219-1226.
- Elliot, T., Javier, B. A., & Benedetto, R. (2020). Modelling the Relationships Between Urban Land Cover Change and

- Local Climate Regulation to Estimate Urban Heat Island Effect. *Urban Forestry & Urban Greening*, 50, 126650.
- Marando, F., Elisabetta, S., Alessandro, S., Lina, F., & Fausto, M. (2019). Regulating Ecosystem Services and Green Infrastructure: Assessment of Urban Heat Island Effect Mitigation in the Municipality of Rome, Italy. *Ecological Modelling*, 392, 92-102. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.011>
- Oldeman, L. R., Irsal, L., & Muladi. (1980). *The agroclimatic maps of Kalimantan, Maluku, Irian Jaya and Bali, West and East Nusa Tenggara*. Bogor, Indonesia: Contributions-Central Research Institute for Agriculture (Indonesia).
- Renninger, H., & Nathan, P. (2010). Wet- vs. Dry-Season Transpiration in an Amazonian Rain Forest Palm *Iriartea deltoidea*. *Biotropica*, 42(4), 470-478.
- Runtuuwu, E., & Syahbuddin, H. (2007). Perubahan Pola Curah Hujan dan Dampaknya Terhadap Potensi Periode Masa Tanam. *Tanah dan Iklim*, 26, 1-12.
- Setiawan, B. (2020). A Simple Method to Determine Patterns of Wet and Dry Seasons. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 542(1), 012055. doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012055>
- Sugiarto, A. (2018). Pengaruh Peningkatan Suhu Udara terhadap Laju Transpirasi Bibit *Lansium domesticum* Corr. *Skripsi*. Indralaya: Universitas Sriwijaya.
- Tortarolo, G. M., VöÅctor, J. J., Manuel, M., Pierre, F., & Stephen, S. (2017). The Decreasing Range Between Dry- and Wet Season Precipitation Over Land and its Effect on Vegetation Primary Productivity. *PloS one*, 12(12), e0190304.
- Van Wilgen, N., Goodall, V., Holness, S., Chown, S., & McGeoch, M. (2016). Rising temperatures and changing rainfall patterns in South Africa's national parks. *International Journal of Climatology*, 36(2), 706-721.

PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK MODEL HUJAN-ALIRAN METODE GIUH

DEVELOPMENT OF RAINFALL-RUNOFF MODEL SOFTWARE USING GIUH METHOD

¹Rachmad Jayadi, ²Akhmad Aminullah, ³Christopher Triyoso

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan UGM, rjayadi@ugm.ac.id

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan UGM, c.triyoso@mail.ugm.ac.id

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan UGM, akhmadaminullah@ugm.ac.id

Abstrak

Untuk mengatasi kesulitan dalam perkiraan hidrograf banjir pada DAS tak terukur di DTA Waduk Wonogiri, dilakukan penelitian awal penggunaan hidrograf satuan metode GIUH. Evaluasi ketelitian metode ini menggunakan acuan hidrograf satuan terukur pada empat DAS yang dihitung menggunakan metode Collins, dengan mencermati debit puncak, waktu puncak, dan waktu dasar. Hasil penurunan hidrograf satuan GIUH digunakan untuk hitungan hidrograf banjir menggunakan program aplikasi model hujan-aliran yang dibuat menggunakan compiler Visual Studio. Hasil penelitian menunjukkan bahwa program aplikasi dapat digunakan untuk hitungan hidrograf banjir secara cepat dengan memanfaatkan sistem telemetri data hidrologi real time dan online. Debit puncak hidrograf banjir metode GIUH cenderung underestimated, yaitu antara -9,3% sampai dengan -54,9%. Untuk waktu puncak dan waktu dasar tidak ditemukan pola perbedaan yang spesifik, yaitu antara 11,1% sampai dengan +66,7% dan -6,7% sampai dengan +46,15%. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dengan mengkaji lebih detail faktor orde sungai tertinggi dan rumus empirik dynamic parameter velocity agar diperoleh hidrograf satuan yang lebih akurat.

Kata kunci: Hidrograf satuan, DAS tak terukur, hidrograf inflow waduk, kinerja operasi waduk

Abstract

To overcome the difficulties in predicting the flood hydrograph in ungauged watershed of Wonogiri Reservoir catchment area, a preliminary research was carried out on the use of the GIUH unit hydrograph method. The evaluation of the accuracy of this method uses reference unit hydrographs from four watersheds calculated using the Collins method, by observing the peak discharge, peak time and base time. The results of the GIUH unit hydrograph was used to calculate the flood hydrograph using the rainfall-runoff model application program created using the Visual Studio compiler. The results show that the application program can be used to calculate flood hydrographs quickly by inputting data from the telemetry system of real time and online hydrological data. The peak discharge of the flood hydrograph using the GIUH method tends to be underestimated, which is between -9.3% to -54.9%. For the peak time and base time, there is no specific pattern of difference found, with a deviation between 11.1% to + 66.7% and -6.7% to + 46.15%, respectively. To obtain a more accurate unit hydrograph, it is necessary to carry out further research by examining in more detail the highest order river factor and the empirical formula of dynamic parameter velocity.

Keywords: Unit hydrograph, ungauged watershed, reservoir inflow hydrograph, reservoir operation performance

PENDAHULUAN

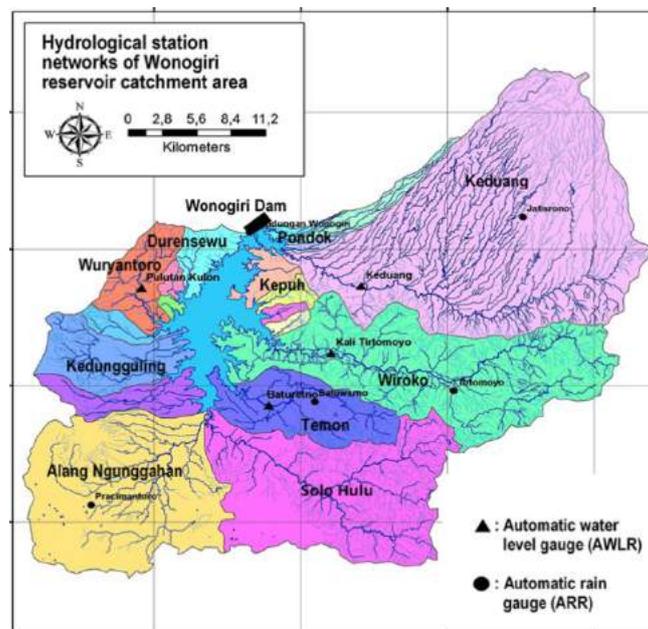
Waduk Wonogiri merupakan salah satu komponen utama sistem pengendali banjir wilayah Sungai Bengawan Solo di bagian hulu. Oleh karena itu ketelitian dan kecepatan dalam memperkirakan hidrograf banjir inflow waduk akibat hujan besar di daerah tangkapan air (DTA) akan sangat mempengaruhi kinerja operasi waduk untuk tujuan pengendalian banjir. Pada DTA Waduk Wonogiri terdapat enam DAS tak terukur dari sepuluh DAS sebagai sumber inflow waduk (Jayadi dkk., 2018).

Penggunaan metode hidrograf satuan terukur yang dianggap paling akurat untuk pemodelan hidrograf banjir tidak dapat diterapkan pada enam DAS tak terukur tersebut, karena tidak tersedia data hidrograf terukur. Untuk mengatasi persoalan ini penurunan hidrograf satuan berdasarkan parameter geomorfologi DAS, yaitu metode Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH) merupakan alternatif yang dapat diterapkan (Jotish dkk., 2011). Peran hidrograf satuan sangat penting terkait

dengan kinerja operasi waduk, terutama pada tahap inflow hydrograph forecasting yang hasilnya menjadi pertimbangan dalam penetapan keputusan operasional pengaturan pintu spillway pada operasi waduk periode banjir. Penelitian ini merupakan kajian awal untuk mengetahui prospek penggunaan hidrograf satuan metode GIUH di DTA Waduk Wonogiri. Ketelitian hidrograf satuan dan hasil hitungan hidrograf banjir dievaluasi berdasarkan data terukur yang dihasilkan dari analisis data hujan dan data muka air sungai yang dikonversikan menjadi debit hidrograf jam-jaman.

METODOLOGI PENELITIAN

DTA Waduk Wonogiri merupakan sistem DAS yang berada di wilayah Sungai Bengawan Solo Hulu terdiri dari 10 DAS dengan luas total 1392,84 km². Gambar 1 menunjukkan peta sistem DAS dan stasiun hidrologi yang ada di DTA Waduk Wonogiri (Jayadi dkk., 2014). Luas dari masing-masing DAS dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Peta Sistem DAS dan Stasiun Hidrologi DTA Waduk Wonogiri

Tabel 1. Luas DAS di DTA Waduk Wonogiri

Nama DAS	Luas (km ²)
Pondok	24,173
Keduang	397,363
Kepuh	29,895
Wiroko	216,948
Temon	60,078
Solo Hulu	193,623
Alang Ngunggahan	193,020
Kedungguling	96,046
Wuryantoro	37,598
Durensewu	26,155
Solo Hulu	60,032

Pada DTA Waduk Wonogiri terdapat lima pos pengukuran hujan telemetri (ARR), yaitu stasiun Pracimantoro, Batuwarno, Tirtomoyo, Jatisrono dan Bendungan Wonogiri. Selain itu juga terdapat empat pos pengukuran muka air sungai telemetri di DAS Keduang, DAS Wiroko, DAS Temon dan DAS Wuryantoro yang berada di stasiun AWLR Keduang, Tirtomoyo, Baturetno dan Pulutan Kulon. Pasangan data hujan rerata DAS dan debit jam-jaman terukur di empat stasiun AWLR tersebut pada beberapa kejadian aliran besar terpilih dapat digunakan untuk menurunkan hidrograf satuan terukur untuk DAS Keduang, DAS Wiroko, DAS Temon dan DAS Wuryantoro. Tahapan dan prosedur penelitian terdiri dari: 1) penurunan hidrograf satuan terukur (HS terukur), 2) penurunan hidrograf satuan metode GIUH (HS GIUH), 3) kajian ketelitian HS GIUH dan hasil hitungan hidrograf banjir, 4) pembuatan perangkat lunak model simulasi alihragam hujan-aliran untuk hitungan hidrograf banjir dan 5) evaluasi hasil penelitian untuk menyiapkan penelitian lanjut.

1. Penurunan HS Terukur

Prosedur penurunan HS terukur diawali dengan mengumpulkan dan melakukan pemilihan pasangan data hujan jam-jaman di lima stasiun ARR dan data muka air sungai di empat stasiun AWLR pada beberapa kejadian aliran sungai yang besar. Selanjutnya untuk setiap tanggal dan jam kejadian terpilih dapat dihitung hujan jam-jaman rerata DAS

Keduang, DAS Wiroko, DAS Temon dan DAS Wuryantoro menggunakan metode poligon Thiessen.

Dengan menggunakan rating curve di masing-masing stasiun AWLR dapat disiapkan hidrograf banjir dalam debit jam-jaman pada beberapa kejadian terpilih tersebut. Pasangan data hujan dan hidrograf terukur ini digunakan untuk menurunkan HS terukur di stasiun AWLR masing-masing DAS menggunakan metode Collins (Sri Harto, 2009). Selanjutnya dihitung HS terukur di outlet DAS yang posisinya di hilir dari masing-masing stasiun AWLR. Metode yang digunakan untuk menurunkan HS terukur outlet DAS didasarkan pada rasio waktu konsentrasi dan luas DAS antara posisi di stasiun AWLR dan di outlet DAS (Sadeghi dkk., 2010; Oktavia, 2013).

2. Penurunan HS GIUH

Langkah awal untuk mendapatkan HS GIUH adalah menurunkan terlebih dahulu HS sesaat atau Instantaneous Unit Hydrograph (IUH) dengan prosedur seperti yang dilakukan oleh Rodriguez-Iturbe dan Valdes (1979) serta Deka dan Gautam (2016). IUH diasumsikan berbentuk sebuah segitiga dimana debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan berikut ini.

$$q_p = \frac{1,31 \times R_L^{0,43} \times V}{L_\Omega} \quad (1)$$

$$t_p = 0,44 \times \frac{L_\Omega}{V} \times \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} \times R_L^{-0,38} \quad (2)$$

$$t_b = \frac{2}{q_p} \quad (3)$$

dengan keterangan:

- q_p : debit puncak (jam^{-1}),
 t_p, t_b : waktu puncak (jam), waktu dasar (jam),
 L_Q : panjang dari sungai dengan orde tertinggi di DAS (km),
 V : *dynamic parameter velocity* (m/s),
 R_A, R_B, R_L : rasio luas, rasio percabangan, dan rasio panjang *Horton*.

Tiga faktor rasio *Horton* terdiri dari area ratio (RA), bifurcation ratio (RB), dan length ratio (RL) dapat dihitung dari hasil penentuan beberapa karakteristik geomorfologi DAS, yaitu rerata luas sub DAS yang berkontribusi ke sungai dengan orde tertentu, orde sungai tertinggi, jumlah ruas sungai untuk semua orde dan panjang rerata sungai pada orde tertentu. Beberapa parameter fisik DAS ini diperoleh dari proses olahan peta DEM menggunakan perangkat lunak Watershed Modeling System (WMS) dan ArcMap.

Perkalian persamaan 2 dan persamaan 3 akan menghasilkan persamaan tak berdimensi sebagai berikut:

$$q_p \times t_p = 0,5764 \times \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} \times R_L^{0,05} \quad (4)$$

Nilai $q_p \times t_p$ tidak tergantung pada kecepatan dan juga tidak dipengaruhi oleh karakteristik banjir, merupakan fungsi dari karakteristik geomorfologi DAS. Oleh karena itu hasilnya disebut sebagai geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH).

Dynamic parameter velocity suatu DAS (V) di wilayah tropis dapat dihitung menggunakan hubungan kombinasi rumus waktu konsentrasi Ventura dan persamaan kecepatan sebagai berikut (Almeida dkk., 2017).

$$V = \frac{5 \times L^{0,5} \times H^{0,5}}{72 \times A^{0,5}} \quad (5)$$

dengan keterangan:

- A : luas DAS (km^2),
 L : panjang sungai utama (km),

H : perbedaan tinggi antara titik paling hulu dan hilir sungai utama (m).

Penurunan GIUH berdasarkan IUH dan faktor geomorfologi DAS menggunakan model Nash seperti yang dilakukan oleh Karamouz dkk. (2013). Prosedur ini menganalogikan proses alihragam hujan-aliran pada DAS sebagai riam (cascade) dari n reservoir dengan waktu tunda (lag time) reservoir k yang dapat diperkirakan nilainya menggunakan persamaan berikut (Rai dkk., 2009).

$$\frac{\Gamma(n-1)}{\Gamma(n)} \exp[-(n-1)] (n-1)^{n-1} = 0,5764 \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} R_L^{0,05} \quad (6)$$

$$k = \frac{0,44L_Q}{V} \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0,55} R_L^{-0,38} \frac{1}{(n-1)} \quad (7)$$

Langkah selanjutnya adalah penurunan GIUH menjadi HS GIUH menggunakan metode lagging dan kurva-S dengan menerapkan asumsi hubungan antara hujan dan aliran adalah linier (Bras, 1990).

3. Kajian Ketelitian HS GIUH

Ketelitian HS GIUH diukur dengan cara membandingkan nilai debit puncak (q_p), waktu puncak (t_p) dan waktur dasar (t_b) terhadap HS terukur yang diperoleh pada kegiatan (1). Perbedaan nilai ketiga parameter pokok HS tersebut dinyatakan dalam persentase relatif (%).

4. Pembuatan Perangkat Lunak Hitungan Simulasi Alihragam Hujan-Aliran

Perangkat lunak ini dimaksudkan untuk mempercepat proses hitungan hidrograf banjir yang diakibatkan oleh sembarang kejadian hujan pada keempat DAS yang dikaji. Program komputer aplikasi model simulasi hujan-aliran disusun menggunakan compiler Visual Studio berdasarkan HS GIUH yang telah dihasilkan dan beberapa data karakteristik DAS seperti luas (A), nilai curve number (CN) untuk hitungan hujan efektif, faktor bobot Thiessen untuk setiap stasiun hujan dan persamaan rating curve masing-masing stasiun AWLR DAS untuk perkiraan nilai base flow. Input hitungan simulasi adalah hujan jam-jaman

yang diperoleh dari sistem telemetri pemantauan hujan secara real time dan online yang dikelola oleh Perum Jasa Tirta I (PJT I).

Untuk sembarang kejadian hujan dan debit aliran awal, output program aplikasi dapat menampilkan tabel dan hidrograf banjir dalam debit jam-jaman di masing-masing DAS. Telaah ketelitian hasil hitungan hidrograf banjir menggunakan HS GIUH didasarkan pada nilai persentase relatif perbedaan nilai puncak (Qp), waktu puncak (Tp) terhadap hidrograf banjir terukur.

5. Evaluasi Hasil Penelitian

Evaluasi hasil penelitian awal terkait dengan prospek penggunaan HS GIUH ini difokuskan pada tingkat ketelitian HS dan perbedaan hidrograf banjir yang dihasilkan terhadap hidrograf banjir terukur. Output aplikasi model simulasi hujan-aliran ini sangat diperlukan untuk hitungan reservoir flood routing yang hasilnya akan menjadi pertimbangan pengelola Waduk Wonogiri dalam menetapkan keputusan operasional bukaan pintu spillway untuk tujuan pengendalian banjir di wilayah Sungai Bengawan Solo Hulu.

Faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan baik HS maupun hidrograf banjir perlu dikaji untuk menjadi pertimbangan dalam kegiatan penelitian lebih lanjut agar diperoleh cara atau prosedur penurunan HS GIUH yang lebih akurat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan HS GIUH pada empat DAS yang dikaji dilakukan dengan beberapa variasi parameter DAS yang mempengaruhi nilai faktor geomorfologi DAS pada persamaan-persamaan hitungan IUH dan GIUH, yaitu jumlah kejadian banjir, orde sungai tertinggi dan rumus dynamic parameter velocity (Sulistiyowati, 2017; Nugraha, 2018). Untuk mengetahui ketelitian HS GIUH digunakan HS terukur sebagai acuan yang diperoleh dari rerata hasil penurunan HS beberapa kejadian terpilih pada setiap DAS.

Pada Gambar 2 dapat dilihat perbandingan antara HS terukur dan HS GIUH pada DAS Keduang yang dihitung menggunakan metode lagging dan kurva-S (Anantri, 2017). Meskipun waktu puncak hampir sama, namun debit puncak kedua HS GIUH lebih rendah dari debit puncak HS terukur sekitar 40,6%, sedangkan waktu dasar lebih panjang 50%. Perbedaan nilai parameter pokok HS ini diduga karena faktor penetapan nilai minimum ambang pada pemodelan akumulasi aliran pada jaringan sungai belum sesuai dengan kondisi lapangan. Secara geomorfologi, penentuan orde sungai tertinggi belum sesuai dengan jaringan sungai yang ada di DAS, perlu digunakan orde sungai yang lebih tinggi pada proses pengolahan peta DEM.

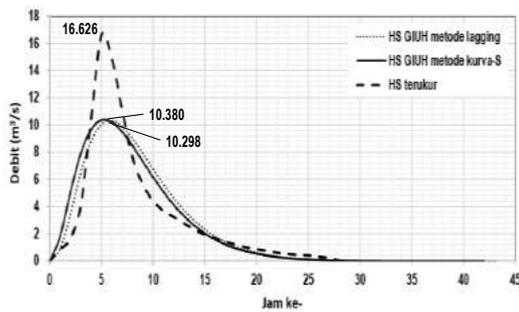
Perbandingan HS DAS Wiroko ditunjukkan pada Gambar 3, dimana dapat dicermati bahwa jumlah kejadian aliran 4 dan 6 menghasilkan HS terukur dengan waktu puncak sama dan perbedaan debit puncak tidak signifikan, hanya sekitar 4,3%. Pengaruh penggunaan rumus dynamic parameter velocity terlihat jelas pada HS GIUH DAS Wiroko dimana rumus Ventura (Nugraha, 2018) menghasilkan debit puncak yang jauh lebih akurat dibandingkan rumus Kirpich (Sulistiyowari, 2017). Selain itu penggunaan orde sungai tertinggi 5 (Nugraha, 2018) juga menghasilkan HS GIUH yang lebih baik dibandingkan dengan orde sungai tertinggi 4 (Sulistiyowati, 2017).

Pada Gambar 4 dan Gambar 5 disajikan perbandingan HS DAS Temon dan DAS Solo Hulu. HS GIUH DAS Temon dengan luas yang relatif kecil dibandingkan DAS lain, yaitu 60,078 km² menunjukkan debit puncak yang lebih mendekati HS terukur menggunakan rumus dynamic parameter velocity metode Kirpich dibandingkan rumus Ventura dengan perbedaan 23,7% dan waktu dasar lebih pendek 14,29% (Harset, 2020). Hasil ini sesuai dengan penelitian Nugraha (2018) yang mengindikasikan bahwa rumus

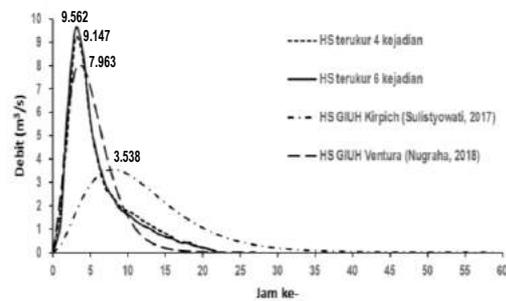
Ventura lebih sesuai diterapkan pada DAS yang besar. Pengaruh variasi orde sungai tertinggi 4 dan 5 ditunjukkan pada perbandingan HS GIUH DAS Solo Hulu dimana perbedaan debit puncak sekitar 8,21% dengan waktu puncak yang sama (Maryesi, 2020).

Perbedaan debit puncak HS GIUH terhadap HS terukur pada DAS Solo Hulu cukup besar, yaitu lebih rendah sekitar 70,5% dengan waktu puncak dan waktu dasar lebih panjang sekitar 50,0% dan 64,3%. Berdasarkan evaluasi terhadap HS GIUH yang diturunkan pada keempat DAS tersebut

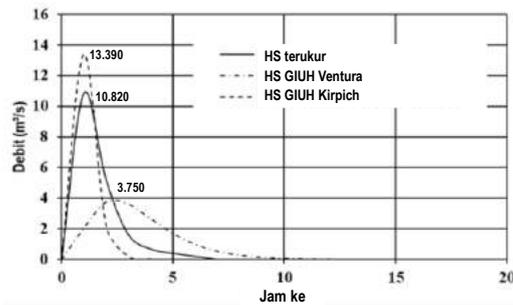
menunjukkan bahwa belum dapat diketahui pola ketelitiannya terhadap HS terukur dengan kecenderungan perbedaan nilai parameter pokok HS yang pasti. Tabel 2 menyajikan rekapitulasi hasil evaluasi HS GIUH pada empat DAS di DTA Waduk Wonogiri. Secara umum dapat diketahui tiga dari empat DAS yang dikaji menunjukkan debit puncak HS GIUH lebih rendah dari debit puncak HS terukur. Program aplikasi model hujan-aliran yang telah dibuat digunakan untuk hitungan hidrograf banjir berdasarkan kejadian hujan besar tanggal 25 Desember 2007.



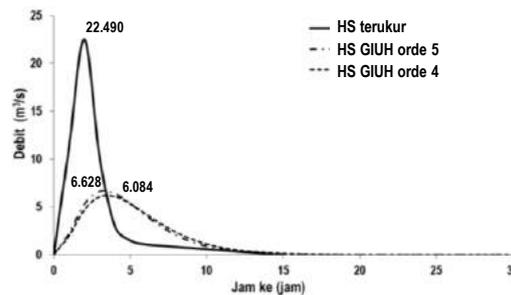
Gambar 2. HS DAS Keduang



Gambar 3. HS DAS Wiroko



Gambar 4. HS DAS Temon



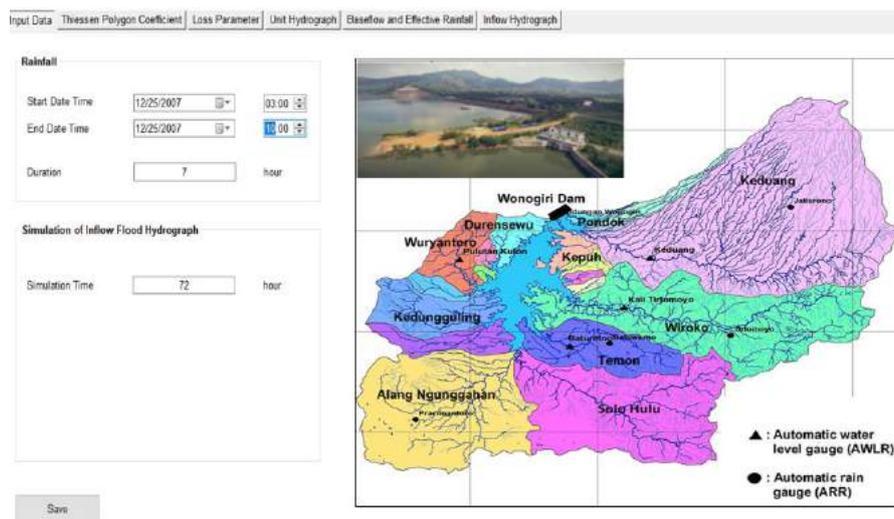
Gambar 5. HS DAS Solo Hulu

Tabel 2. Rekapitulasi Ketelitian HS GIUH

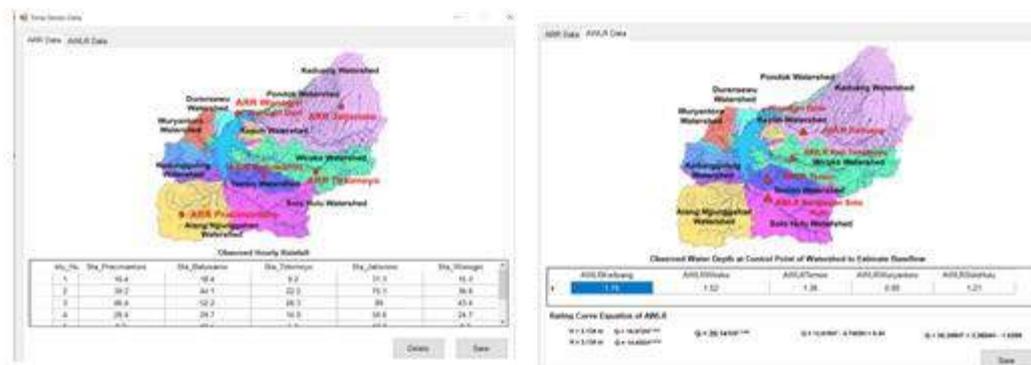
DAS	q_p -obs (m^3/s)	q_p -GIUH (m^3/s)	RE- q_p (%)	t_p -obs (jam)	t_p -GIUH (jam)
Keduang	16,626	10,380	-40,6%	6	5
Wiroko	9,562	7,963	-22,8%	5	4
Temon	10,820	13,390	23,7%	1	2
Solo Hulu	22,490	6,628	-70,5%	2	3

Gambar 6 menunjukkan tampilan untuk input tanggal dan jam kejadian hujan serta durasi hitungan simulasi. Tampilan untuk input hujan jam-jaman dan muka air awal pada AWLR untuk perkiraan debit base flow dapat dilihat pada Gambar 7. Setelah data hujan jam-jaman, muka air awal AWLR dan nilai CN diisikan dapat dilakukan eksekusi untuk mendapatkan hidrograf banjir di semua DAS. Gambar 8 menunjukkan contoh tampilan tabel dan grafik hidrograf banjir DAS Keduang. Program aplikasi ini juga menghitung

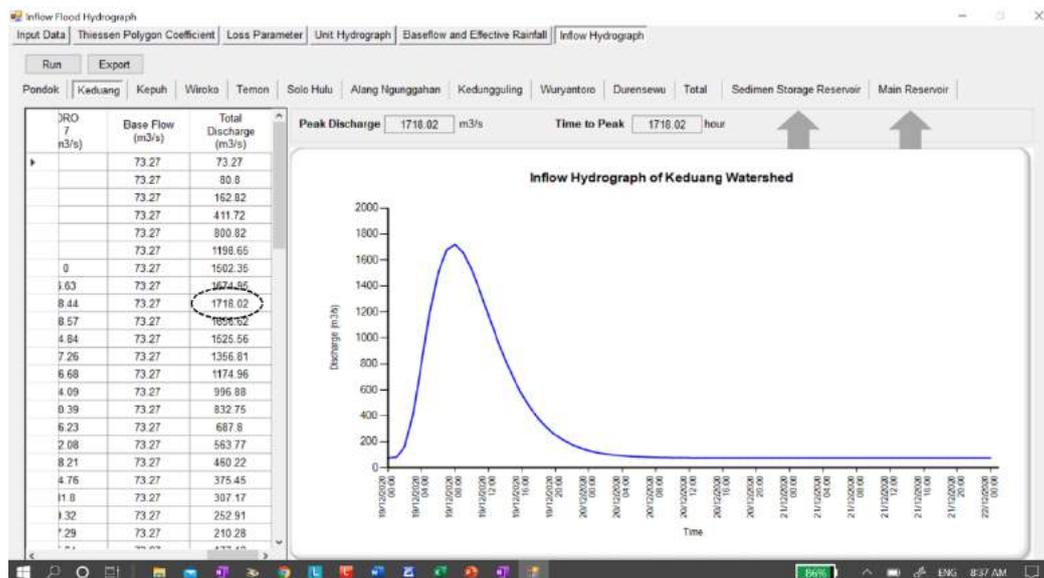
hidrograf banjir inflow ke SSR dan MR yang akan digunakan pada hitungan reservoir flood routing untuk menentukan operasi bukaan pintu spillway optimal dalam rangka pengendalian banjir wilayah Sungai Bengawan Solo Hulu. Pada penerapannya input hujan jam-jaman dan muka air AWLR dapat dilakukan secara cepat karena di DTA Waduk Wonogiri telah tersedia pemantauan data hidrologi menggunakan sistem telemetri yang dikelola oleh PJT I, dimana data dapat diperoleh secara real time dan online.



Gambar 6. Tampilan Aplikasi untuk *Input* Kejadian Hujan dan Durasi Simulasi



Gambar 7. Tampilan Aplikasi untuk Input Hujan dan Muka Air AWLR



Gambar 8. Tampilan Tabel dan Grafik Hidrograf Banjir

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Hitungan Hidrograf Banjir

DAS	Luas (km ²)	Q_p -obs (m ³ /s)	Q_p -GIUH (m ³ /s)	RE- Q_p (%)	T_p -obs (jam)	T_p -GIUH (jam)
Keduang	397,363	2422,91	1718,02	-29,1%	9	8
Wiroko	216,948	615,34	558,03	-9,3%	7	6
Temon	60,078	644,55	380,29	-41,0%	3	5
Solo Hulu	193,623	1399,60	630,88	-54,9%	4	6

Perbandingan karakteristik hidrograf banjir terukur dan hidrograf banjir yang dihitung menggunakan HS GIUH akibat hujan tanggal 25 Desember 2207 ditunjukkan pada Tabel 3.

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa debit puncak hidrograf banjir GIUH (Q_p -GIUH) lebih rendah dari debit puncak hidrograf banjir terukur (Q_p -obs) antara -9,3% sampai dengan -54,9%. Untuk waktu puncak banjir (T_p -obs dan T_p -GIUH) dan waktu dasar (T_b -obs dan T_b -GIUH) tidak terdapat pola kecenderungan perbedaan yang spesifik, yaitu masing-masing antara -11,1% sampai dengan +66,7% dan -6,7% sampai dengan +46,15%. Perbedaan terbesar pada DAS Solo Hulu yang berada di wilayah dengan kemiringan alur sungai relatif besar. Selain itu juga tidak terlihat pengaruh luas DAS terhadap ketelitian hidrograf banjir GIUH.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa hal penting dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Penggunaan metode HS GIUH untuk hitungan hidrograf banjir pada sistem DAS di DTA Waduk Wonogiri cenderung menghasilkan debit puncak underestimated antara -9,3% sampai dengan -54,9%. Perbedaan waktu puncak dan waktu dasar hidrograf banjir tidak menunjukkan pola spesifik, masing-masing antara -11,1% sampai dengan +66,7% dan -6,7% sampai dengan +46,15%.
2. Program aplikasi model hujan-aliran yang telah dibuat dapat digunakan dengan mudah untuk hitungan perkiraan hidrograf inflow Waduk Wonogiri secara cepat dengan memanfaatkan ketersediaan sistem telemetri pemantauan data hidrologi yang dikelola oleh PJT I.

3. Hasil penelitian ini belum menemukan pola kecenderungan yang spesifik tentang pengaruh faktor morfologi DAS terhadap ketelitian HS GIUH untuk perkiraan hidrograf banjir.
4. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dengan mengkaji lebih detil pengaruh faktor orde sungai tertinggi dan rumus empirik dynamic parameter velocity yang sesuai dengan karakteristik DAS agar dihasilkan HS GIUH yang lebih mewakili proses alihragam hujan-aliran di DTA Waduk Wonogiri.
5. Diharapkan hasil pengembangan lebih lanjut program aplikasi model hujan-aliran metode HS GIUH dapat digunakan untuk keperluan inflow flood forecasting sebagai bagian penting dari rangkaian tahapan penetapan keputusan operasional terkait dengan operasi Waduk Wonogiri untuk tujuan pengendalian banjir.

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada PJT I atas ijin penggunaan data, Anantri Sulistyowati, Muhammad Gusti Nugraha, Demetrio Harset dan Yendri Maryesi atas kerja keras bergabung dalam kelompok penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM yang telah menyediakan dana untuk pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Almeida, A.K., Gabas, G.S. and Sobrinho, T.A. (2017) Performance of Methods for Estimating the Time of Concentration in a Watershed of a Tropical Region. *Hydrological Sciences Journal – Journal Des Sciences Hydrologiques*, Vol 62, No 14, pp. 2406-2414.
- Bras, Rafael L. (1990) *Hydrology: an introduction to hydrologic science*. Canada: Addison-Wesley Publishing Company.
- Deka, P. dan Gautam, M.K. (2016) Derivation of Unit Hydrograph from GIS Based GIUH. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, Vol 2, No 8, pp. 555-563.
- Harset, D. (2010) *Pengaruh Penggunaan Rumus Empirik Kecepatan Dinamik Terhadap Hidrograf Satuan Sintetik GIUH*. Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada.
- Jayadi, R., Istiarto and Pradipta, A.G. (2018) Impact of Sedimentation Counter Measure on the Performance of Flood Control: A Case Study of Wonogiri Reservoir. *Journal of Applied Mechanics and Materials Online*, Vol 881, pp. 78-85.
- Jotish, N., Parthasarathi, C., Nazrin, U., and Victor, S.K. (2011) A Geomorphological Based Rainfall-runoff Model for Ungauged Watersheds. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, Vol 2, No 2, pp. 676–687.
- Karamouz, M., Nazif, S., and Falahi, M. (2013) *Hydrology and Hydroclimatology Principles and Applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Maryesi, Y. (2020) *Pengaruh Jumlah Orde Sungai Terhadap Ketelitian Hidrograf Satuan Sintetik Metode GIUH dan GAMA I*. Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada.
- Nugraha, M.G. (2018) *Penggunaan Model Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph untuk Hitungan Hidrograf Limpasan Langsung dengan Input Data Hujan Permukaan dan Hujan Satelit (Studi Kasus Daerah Aliran Sungai Wiroko, Wonogiri, Jawa Tengah)*. Tugas Akhir, Universitas Gadjah Mada.
- Oktavia, S.R. (2013) *Pengembangan Model Hidrologi Untuk Estimasi Hidrograf Inflow Waduk Wonogiri*. Tesis, Universitas Gadjah Mada.

- Rai, R.K., Upadhyay, A., Sarkar, S., Upadhyay, A.M. and Singh, V.P. (2009) GIUH Based Transfer Function for Gomti River Basin of India. *Journal of Spatial Hydrologic*, Vol 9, No 2, pp. 29-50.
- Rodriguez-Iturbe, I. and Valdes, J.B. (1979) The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response. *Journal of Water Resources Research*, Vol 15 No 6, pp. 1409-1420.
- Sadeghy, S.H. and Singh, J.K. (2010) Derivation of Flood Hydrographs for Ungauged Upstream Subwatersheds Using a Main Outlet Hydrograph. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol 15, No 12, pp. 1059-1069.
- Sri Harto, BR. (2009) Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Sulistiyowati, A. (2017) Pemodelan Hidrograf Satuan dengan Metode Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph (GIUH). Tesis, Universitas Gadjah Mada.

TEKNOLOGI SIRKULASI AIR PERMUKAAN (SiAP) UNTUK MENGHAMBAT PERTUMBUHAN ALGA

SURFACE WATER CIRCULATION TECHNOLOGY TO INHIBIT ALGAL GROWTH

¹Aditya Iwan Putro, ²Syarifah Saitun, ³Yuliya Mahdalena Hidayat
Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan, Direktorat Bina Teknik Sumber Daya Air

Abstrak

Waduk, sebagai salah satu sumber daya alam, mempunyai potensi strategis dan manfaat serbaguna baik secara ekologis maupun ekonomis. Kualitas air yang buruk berpotensi mengganggu fungsi utama suatu waduk dan mengancam keberlangsungan pengelolaan sumber daya air serta kerusakan lingkungan. Permasalahan yang terjadi di waduk blooming algae merupakan peningkatan populasi fitoplankton secara berlebihan karena kondisi nutrien yang tinggi pada lingkungan perairan. Pertumbuhan alga perlu dihambat karena alga hijau biru akan menutupi lapisan permukaan air atas sehingga mengganggu masuknya sinar matahari kedalam air menyebabkan kondisi air pada kedalaman tertentu unocsic (kekurangan oksigen) dan menyebabkan kadar sulfida dalam air akan meningkat. Salah satu metode untuk mengontrol dan mencegah ledakan populasi dari alga biru-hijau dalam badan air tanpa harus mengontrol masukan N dan P dengan menggunakan Sirkulasi Air Vertikal (SAV). SAV memutar air pada kedalaman di bawah batas daya tembus cahaya matahari menggunakan alat secchi depth. Saat ini, alat sirkulasi air di Indonesia masih menggunakan produksi luar negeri, dengan harga relatif mahal sehingga diperlukan pengembangan teknologi sirkulasi air vertical dengan produksi dalam negeri). Hasil menunjukkan bahwa kinerja alat tersebut dapat menurunkan tingkat eutrofikasi waduk sehingga pertumbuhan alga berkurang, selain itu parameter N dan P turun. Model fisik ini menghasilkan modifikasi alat sirkulasi dengan penggunaan bahan lokal, secara teknis alat ini memiliki kinerja lebih baik ditunjukkan dengan peningkatan putaran motor dari 60 rpm menjadi 100 rpm, menambah jumlah panel surya menjadi empat buah, mengubah bentuk piringan menjadi modul yang bisa dibongkar pasang, serta peningkatan kecepatan aliran dari 22 L/det menjadi 24 L/det.

Kata Kunci: Sirkulasi vertikal, blooming algae, modifikasi

Abstract

Reservoirs, as one of the natural resources, have strategic potential and complete benefits both ecological and economic. Poor water quality improves the main role of water and prevents the sustainable management of water resources and damages the environment. The problem that occurs in the blooming reservoir is an increase in the population of excessive phytoplankton because it requires high nutrition in the fishing environment. Everything that needs to be inhibited because blue-green algae will replace the top and top layers. Upward sunlight due to water at a certain level and low oxygen levels. One method for controlling and preventing the release of blue-green algae in a body of water without having to control N and P inputs by using Vertical Water Circulation (SAV). SAV rotates air at depths below the permeability of the sun using the depth of the instrument. At present, air circulation equipment in Indonesia still uses foreign production, with relatively expensive prices, so it requires the development of vertical air circulation technology with domestic production). The results that show the performance of this tool can reduce the eutrophication level of the reservoir so that algal growth decreases, besides the N and P parameters go down. This physical model results in a modification of the tool with local fuel, using technical tools it has more than 60 rpm to 100 rpm, increasing the number of

solar panels to four, changing the shape of the dish into modules that can be assembled, and increasing the flow rate from 22 L / det becomes 24 L / sec.

Keywords: *Vertical circulation, blooming algae, modification*

PENDAHULUAN

Waduk, sebagai salah satu sumber daya alam, mempunyai potensi strategis dan manfaat serbaguna baik secara ekologis maupun ekonomis. (Lehmusluto, dkk., 1995 dalam Eko Winar Irianto, 2010). Selain berfungsi sebagai pengendali banjir dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) waduk juga dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, irigasi, industri, transportasi, perikanan, dan pariwisata. (Machbub, dkk., 2003 dalam Eko Winar Irianto, 2010).

Sebagai satu kesatuan sistem aliran sungai, sesuai siklus hidrologi, waduk merupakan tempat penampungan aliran yang berasal dari aliran permukaan dan air tanah. (Straskabadan Tundisi, 1999 dalam Eko Winar Irianto, 2010)

Permasalahan yang terjadi di waduk menurut Jorgensen (2001) dalam Eko Winar Irianto dan R.W. Triweko (2011) antara lain sedimentasi, terdeteksinya proses asidifikasi, terdegradasinya kualitas perairan waduk akibat pencemaran, timbulnya proses eutrofikasi dan menimbulkan *blooming algae* dan terjadi perubahan total pada ekosistem dalam kasus ekstrim.

Kualitas air yang buruk berpotensi mengganggu fungsi utama suatu waduk dan mengancam keberlangsungan pengelolaan sumber daya air serta kerusakan lingkungan. Gangguan terhadap fungsi-fungsi waduk dapat menimbulkan kerugian yang besar seperti terganggunya sistem irigasi, terganggunya pasokan air baku untuk warga sekitar maupun industri, rusaknya turbin pembangkit listrik tenaga air (PLTA); tingginya biaya pemeliharaan sejumlah pintu air bendungan tidak dapat dioperasikan otomatis dan turunnya umur ekonomis peralatan (*life cycle*) akibat korosi (Hamzah, 2016)

Menurut Anggita Wahyuningtyas (2016) *Blooming algae* merupakan peningkatan populasi fitoplankton secara berlebihan karena kondisi nutrien yang tinggi pada lingkungan perairan.

Proses alami *upwelling* berpotensi untuk memicu ledakan alga, namun akan terjadi bila ada kombinasi dengan unsur pemicu lain seperti masukan nutrien yang tinggi, suhu yang tepat, tersedianya oksigen, dan intensitas cahaya yang sesuai. (Makmur, 2008)

Pengendalian *blooming algae* memungkinkan untuk dilakukan dengan memanipulasi variabel-variabel yang mengontrol suksesnya pertumbuhan alga atau fitoplankton tersebut di perairan.. Keseimbangan nutrien, faktor fisik seperti stabilitas dan pengadukan kolom air yang merupakan variabel-variabel mengontrol suksesnya pertumbuhan alga di perairan. (Sulastri, 2004)

Pada kondisi *blooming algae*, tingkat kecerahan perairan menjadi rendah dan kandungan oksigen menjadi tinggi yang diperoleh melalui proses fotosintesis. Proses selanjutnya terjadi penyusutan alga dan pengendapan alga yang sudah mati. Pada fase ini kecerahan perairan meningkat kembali. Alga yang mati mengalami pembusukan, jumlah bakteri meningkat dan terjadi penurunan oksigen karena dimanfaatkan bakteri pada proses dekomposisi alga tersebut. Adanya proses pengadukan kolom perairan oleh angin, maka oksigen yang rendah pada kolom dalam perairan naik keatas dan menyebabkan kematian ikan secara masal (Sulastri, 2004)

Pertumbuhan alga perlu dihambat karena alga hijau biru akan menutupi lapisan permukaan air atas sehingga mengganggu masuknya sinar matahari kedalam air menyebabkan kondisi air pada kedalaman

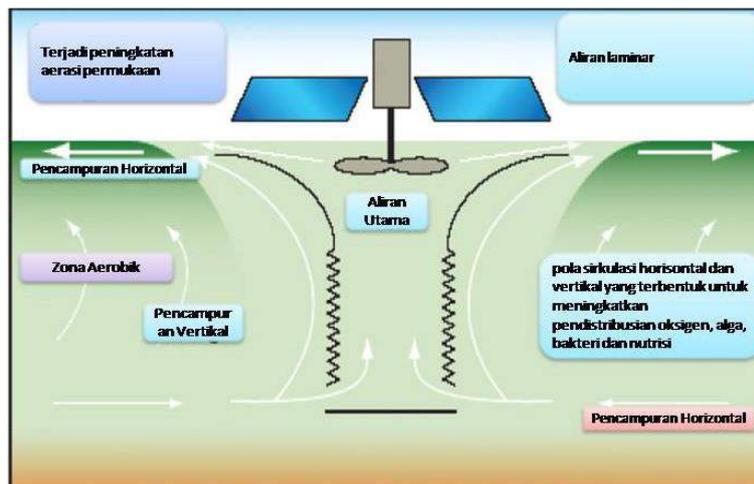
tertentu *unocsic* (kekurangan oksigen) dan menyebabkan kadar sulfida dalam air akan meningkat. (Pusair, 2018) Salah satu metode untuk mengontrol dan mencegah ledakan populasi dari alga biru-hijau dalam badan air tanpa harus mengontrol masukan N dan P dengan menggunakan Sirkulasi Air Vertikal (SAV). SAV memutar air pada kedalaman di bawah batas daya tembus cahaya matahari menggunakan alat *secchi depth*. (Pusair, 2018) Prinsip dari teknologi sirkulasi air adalah memutar air dari kedalaman yang tidak tembus cahaya matahari kearah permukaan atau area yang masih tembus cahaya matahari, dan sebaliknya, sehingga kehidupan alga akan terganggu, dan menyebabkan populasi alga akan berkurang. Jadi metoda sirkulasi air waduk yang dilakukan dengan memutar air waduk pada arah vertikal, dapat mengontrol dan mencegah ledakan populasi dari alga biru-hijau dalam badan air tanpa harus mengontrol masukan N dan P pada waduk tersebut (Pusair, 2012) Pengembangan teknologi SAV oleh Puslitbang Sumber Daya Air sudah dilakukan sejak tahun 2012.

Tahun 2018 dilakukan modifikasi dengan metode ATM (Amati, Tiru, Modifikasi) dari Teknologi SAV yang diproduksi oleh Solarbee Inc. dari Amerika Serikat.

Modifikasi bertujuan untuk menghasilkan SAV dengan penggunaan material lokal serta jangkauan sirkulasi yang lebih. Ujicoba kinerja dilakukan di Waduk Saguling. Penetapan lokasi kegiatan ini berdasarkan kondisi arus sedang, kedalaman perairan lebih besar dari 10 m, aliran kontinu sepanjang musim, akses jalan menuju lokasi bagus dan landai sehingga memudahkan pengangkutan dan penerapan SAV.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengembangan teknologi SiAP ini menggunakan metode ATM (Amati, Tiru, Modifikasi) dengan mengadopsi teknologi dari luar negeri sehingga dihasilkan teknologi dengan produksi dalam negeri yang tentunya lebih murah secara biaya, adapun proses pengembangan SAV melalui tahapan berikut:



Gambar 1 Pola Aliran Air pada Proses sirkulasi air (sumber : Pusair, 2012)



Gambar 2 Diagram Alir Modifikasi Teknologi SAV

Reviu kinerja Teknologi SAV yang diproduksi oleh Solarbee Inc. dari Amerika Serikat dengan melihat perubahan parameter sebelum dan sesudah alat dioperasikan. Perancangan model fisik untuk *mechanical part* menggunakan *software Solidwork* dengan skala 1:1. perancangan a) proses mekanikal terdiri dari: *laser cutting*, pembentukan/pembengkokan (*bending*), proses pengelasan (*welding*), b) proses elektrikal terdiri dari : pembuatan desain elektrikal, pembuatan PCB.

Prakitan dilakukan dengan pemasangan komponen ke PCB, merakit modul ke panel box, pemasangan kabel-kabel (*wiring*) dan menrakit mechanical dan electrical part.

Ujicoba tekonologi SiAP dilakukan dengan uji apung untuk melihat daya apung alat tersebut dan uji coba selama 24 jam untuk melihat kinerja motor dan daya serap *solar cell* serta baterai sebagai penyimpanan energinya.

Selanjutnya dilakukan ujicoba kinerja SAV, dengan menentukan titik pengambilan sampling dengan variasi jarak dan kedalaman. Untuk jarak pengambilan contohnya untuk kualitas air pada jarak 0m, 50m, 100m, 150m dan 200m dengan variasi kedalaman 0m, 6 m dan 9 m. Ujicoba dilakukan di Waduk Saguling yang berlokasi di Kampung Ugrem, Desa Bongas, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3 Lokasi Ujicoba Teknologi SiAP



Gambar 4 Ujicoba SAV Solarbee Inc

Tabel 1. Oksigen Terlarut Sebelum dan Setelah Pengoperasian

Pengoperasian	Oksigen Terlarut (mg/L)	
	Siang (12.00)	Pagi (06.00)
Sebelum	4,6	3,4
12 (dua belas) hari	7,2	3,8

Sumber : Pusair, 2017

Tabel 2. Kecerahan Sebelum dan Setelah Pengoperasian

Pengoperasian	Kecerahan (m)	
	Siang (12.00)	Pagi (06.00)
Sebelum	100	92,5
12 (dua belas) hari	112,5	105

Sumber : Pusair, 2017

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reviu Kinerja SAV Solarbee Inc.

Ujicoba SAV Solarbee Inc. dilakukan pada tahun 2017 dengan lokasi ujicoba di Waduk Saguling ditampilkan pada Gambar 4. Terhadap 2 (dua) parameter yang direviu yaitu

oksigen terlarut dan kecerahan telah memberikan gambaran terhadap peningkatan kadar parameter tersebut. Peningkatan kadar Oksigen Terlarut yang cukup signifikan pada siang hari. Hal tersebut karena adanya pergerakan air secara vertikal maupun

horizontal. Fluktuasi kadar oksigen terlarut sebelum dan sesudah SAV Solarbee Inc. Terjadi peningkatan kecerahan air 10 - 20 cm, ini sebagai indikasi meningkatnya kejernihan air karena menurunnya kerapatan alga setelah dioperasikan.

. dan secara desain digambarkan pada Gambar 5. Setelah rancangan desain dilakukan maka dilakukan proses pembuatan *mechanical part* dengan proses laser *cutting* untuk pemotongan plat *stainless steel*

Perancangan dan Perakitan

Perancangan desain dilakukan dengan melakukan modifikasi dari beberapa bagian alat SAV produksi solarbee Inc. adapun modifikasi yang dilakukan ditampilkan pada

kemudian dilakukan proses bending lalu proses *welding* kemudian dilakukan perakitan dan perapihan seperti Gambar 6. Komponen dari teknologi SiAP ditampilkan pada

Gambar 7.

Uraian	SAV Solarbee Inc.	Teknologi SiAP	Ket.
Impeller	60 rpm	70-110 rpm	Baling-baling pendorong air
<i>Solar cell</i>	3 buah @80 watt	4 buah @100 watt	Menangkap energi matahari
Lengan pelampung	3 buah	4 buah	Pelampung Alat Sirkulasi Air
Piringan pendistribusian air/ <i>Distribution disc</i>	1 modul	8 modul	Mendistribusikan Aliran Air
Diameter piringan	5 m	4,2 m	-
<i>Solar charger</i> dan control digital	Kecepatan tidak bisa diatur	Kecepatan bisa diatur	-
Motor DC	36/7 (V/A)	24/10,4 (V/A)	-
Volume aliran	9470 liter/menit	10.286 liter/menit	-
Berat alat	380 kg	400 kg	-
Jangkauan alat	14 Ha	15 Ha	-

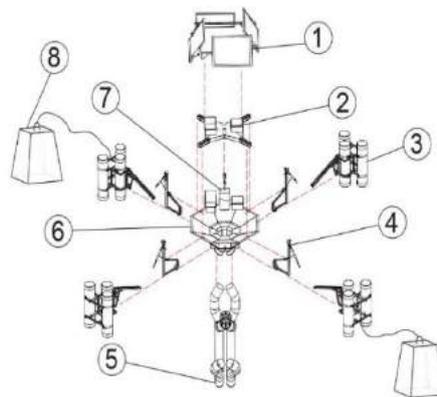
Sumber : Pusair, 2018



Gambar 5 Desain SAV Solarbee Inc (a) dan Modifikasi SAV (b)

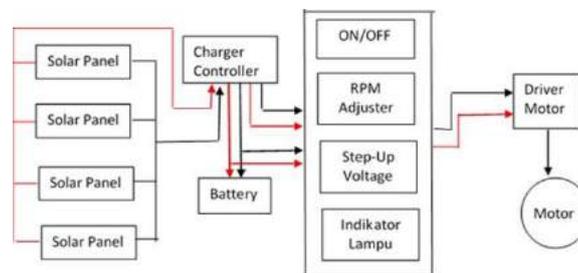


Gambar 6 Proses *Mechanical Part* Teknologi SiAP



- Keterangan:
- (1) Solar cell
 - (2) Penyangga
 - (3) Pelampung
 - (4) Hanger
 - (5) Hose
 - (6) Distribution disc
 - (7) Motor
 - (8) Angkur

Gambar 7 Komponen Teknologi SiAP



Gambar 8 Alur Proses *Electrical Part*

Setelah perakitan *mechanical part*, dilakukan proses perakitan *electrical part*. Alur proses *electrical part*, yaitu 4(empat) buah solar panel yang berfungsi menyerap sinar matahari,

selanjutnya masuk ke solar *charger*. Dari *solar charger* sebagian arus listrik disalurkan untuk menggerakkan teknologi SiAP melalui *main controller*. Perlengkapan lainnya terdiri dari pengatur kecepatan motor, *on/off* serta indikator lampu penanda. Apabila lampu penanda mati, berarti sistem alat berhenti dan sebagian arus listrik akan disimpan di baterai. Kemudian setelah sistem semua menyala akan menggerakkan *driver* motor dan motor juga akan bergerak, proses sistem *electrical* dapat dilihat dalam

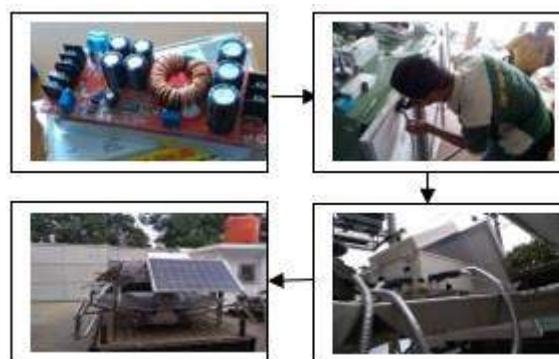
Gambar 8. Adapun proses perakitan *electrical part* ditampilkan pada **Error! Reference source not found.** Adapun beberapa komponen pada *electrical part* antara lain modul booster berfungsi menaikkan tegangan input 12 vdc menjadi tegangan output 24 vdc berjumlah 1 (satu) buah lalu ada solar panel *charger* berjumlah 2 (dua) buah yang berfungsi mengontrol proses pengisian baterai oleh *solar cell*. Serta potensiometer yang berfungsi untuk mengatur rpm motor.

Pengujian apung dilakukan untuk memastikan model fisik bisa terapung di perairan, juga dilakukan uji *electrical* dengan menyalakan baterai selama 24 (dua puluh

empat) jam. Dari hasil pengujian *mechanical* dan *electrical*, alat modifikasi berfungsi dengan baik.

Ujicoba kinerja model fisik

Ujicoba teknologi SiAP dilakukan di Waduk Saguling yang berlokasi di Kampung Ugrem, Desa Bongas, Kecamatan Cililin, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada kondisi arus yang tenang juga kedalaman air yg lebih dari 6 m, selain itu akses jalan menuju lokasi lebih landai sehingga memudahkan untuk mobilisasi alat SAV.



Gambar 9 Proses Perakitan *Electrical Part*

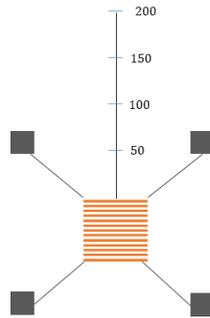


Gambar 10 Ujicoba modifikasi SAV di Waduk Jatiluhur

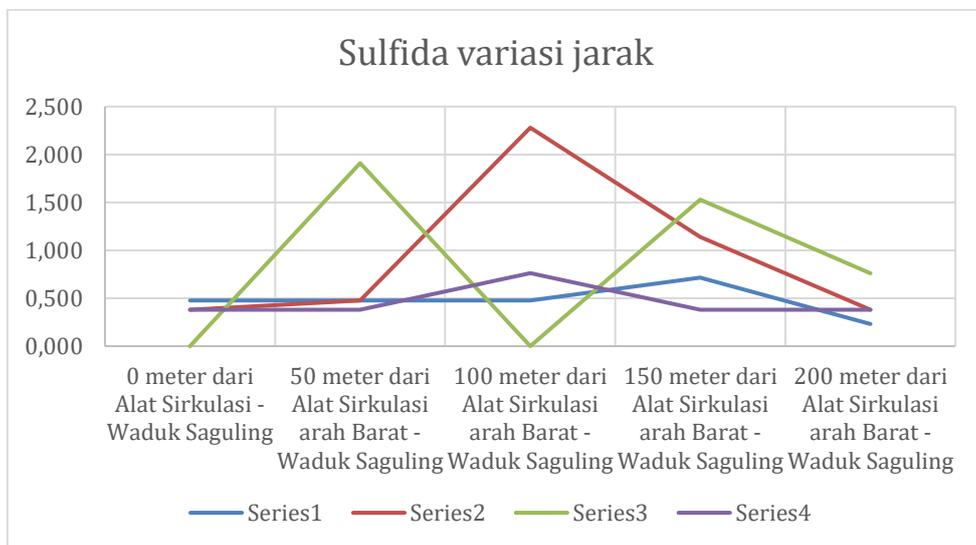
Ujicoba dilakukan dengan pengukuran kualitas air baik parameter lapangan maupun parameter yang dianalisis di laboratorium sebanyak 4 (empat) kali yaitu T0 (sebelum alat sirkulasi air dioperasikan), T1 (12 hari setelah alat dioperasikan), T2 (23 hari setelah alat dioperasikan), dan T3 (30 hari setelah alat dioperasikan). Dan pengukuran kualitas air dilakukan sebanyak 4 kali dalam 1 hari, yaitu pada jam 12.00, jam 18.00, jam 00.00 dan jam 06.00. Pengujian per kedalaman dari kedalaman 0m, 6m, dan 9m, terkecuali untuk klorofil-a pengujian hanya dilakukan kedalaman 0m. Pengujian kualitas air waduk atau danau perlu dilakukan sebelum dan sesudah alat teknologi SiAP beroperasi. Pada suhu diatas 20 °C, alga akan tumbuh selama 1-2 minggu (IACR, 1999 dalam Febrianty, 2011). Oleh karena itu, setelah alat teknologi SiAP beroperasi selama 2 (dua) minggu, perlu dilakukan pengambilan contoh air. Pengambilan contoh air dilakukan pada daerah sekitar pemasangan alat teknologi SiAP dengan variasi jarak tiap 50 meter, yaitu 50 meter, 100 meter, 150 meter, dan 200 meter (

Gambar 11). Variasi kedalaman pengambilan contoh air bergantung pada hasil pengujian kecerahan dengan *Secchi disc*.

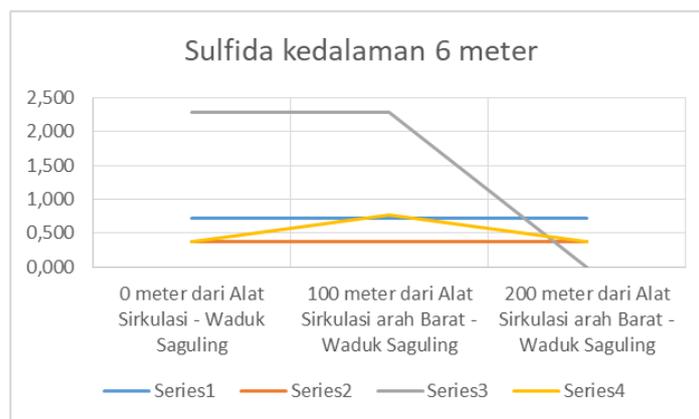
Parameter Sulfida (H_2S) merupakan gas yang dihasil dari dekomposisi bahan organik yang dilakukan oleh bakteri anaerob dan merupakan gas yang sangat berbahaya bagi biota perairan serta menghasilkan bau yang tidak enak. Penyumbang terbentuknya hidrogen sulfida berbesar yaitu kawasan pemukiman, pelabuhan dan industri. Sulfida yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap kehidupan biota perairan. (Baigo Hamuna, 2018) Sebelum alat teknologi SiAP dioperasikan kadar sulfida di permukaan tertinggi 0,715 mg/L, dan terendah 0,231 mg/L. Setelah alat Sirkulasi Air dioperasikan pada 7 hari (T1) kadar sulfida menjadi 1,14 mg/L pada jam 12.00, dan terendah 0,380 mg/L pada jarak 200 m. Seterusnya kadar sulfida pada T2 tertinggi adalah 2,8 mg/L, dan terendah 0,38 mg/L pada jarak 200 meter. Demikian pula pada T3 tertinggi adalah 0,762 mg/L dan terendah 0,380 mg/L pada jarak 200 meter Gambar 12



Gambar 11 Jarak Pemantauan Teknologi SiAP



Gambar 12 Kadar Sulfida di Bagian Permukaan



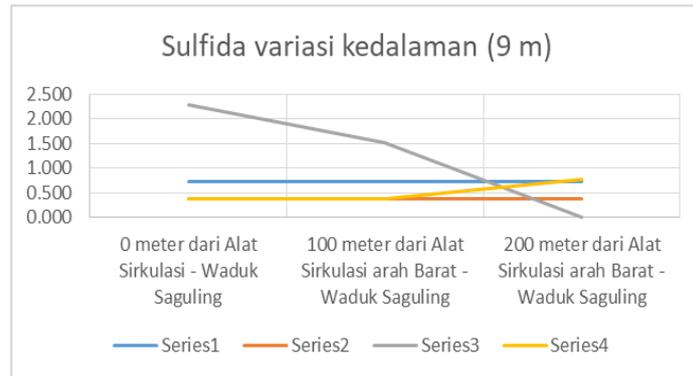
Gambar 13 Kadar Sulfida pada Kedalaman 6 Meter

Sebelum teknologi SiAP dioperasikan, kadar sulfida di kedalaman 6 meter tertinggi 0,760 mg/L. Setelah alat Sirkulasi Air

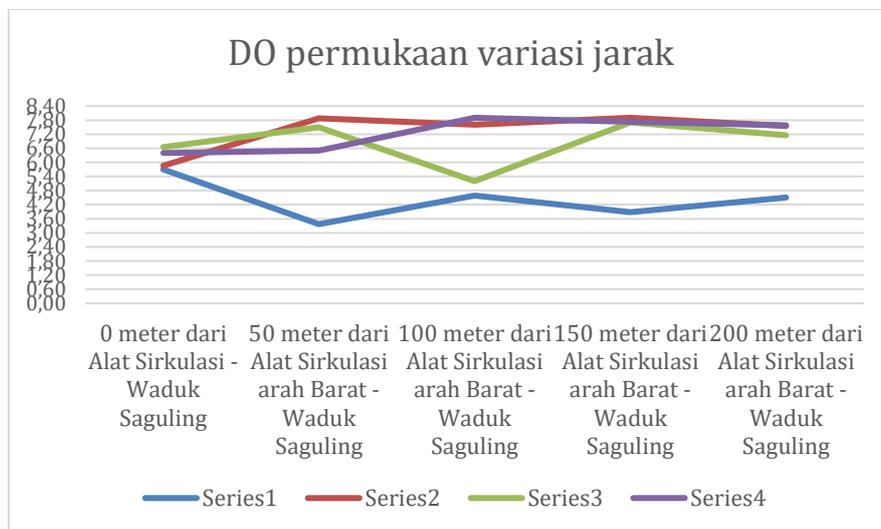
dioperasikan 7 hari (T1) kadar sulfida 0,760 mg/L pada jam 12.00, dan terendah 0,380 mg/L pada jarak 200 m.

Kadar sulfida pada T2 tertinggi adalah 2,28 mg/L, dan terendah 1,140 mg/L pada jarak 200 meter. Demikian pula pada T3 tertinggi adalah 0,762 mg/L dan terendah 0,380 mg/L pada jarak 200 m, dapat dilihat pada Gambar 13. Sebelum teknologi SiAP dioperasikan kadar sulfida di kedalaman 9 meter tertinggi 0,715 mg/L. Setelah alat

Sirkulasi Air dioperasikan pada 7 hari (T1) kadar sulfida menjadi 0,760 mg/L pada jam 12.00, pada jarak 200 m. Seterusnya kadar sulfida pada T2 tertinggi adalah 2,28 mg/L, dan terendah 0,00 mg/L. Demikian pula pada T3 tertinggi adalah 0,762 mg/L dan terendah 0,380 mg/L pada jarak 200 meter, grafik dilihat pada Gambar 14



Gambar 14 Kadar Sulfida pada Kedalaman 9 meter



Gambar 15 Grafik DO Berdasarkan Variasi Jarak

Dari hasil pengujian parameter sulfide, teknologi SiAP dapat membantu menurunkan kadar sulfida dan melepaskan ke udara, sehingga dapat menurunkan tingkat korosifitas terhadap logam dan semen. Hal ini telah sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa pada konsentrasi kadar sulfida sebesar 1-2 mg/L

yang terlarut didalam air membuat air menjadi korosif terhadap logam dan semen.

Paramater Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*) adalah total jumlah oksigen yang ada (terlarut) di air. DO dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk

pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Umumnya oksigen dijumpai pada lapisan permukaan karena oksigen dari udara di dekatnya dapat secara langsung larut berdifusi ke dalam air laut (Hutabarat dan Evans, 1985 dalam Baigo Hamuna, 2018). Kebutuhan organisme terhadap oksigen terlarut relatif bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya (Gemilang et al., 2017 dalam Baigo Hamuna, 2018).

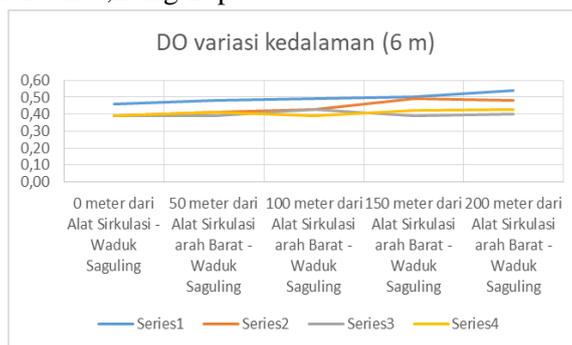
Berdasarkan hasil pengukuran DO pada permukaan dengan variasi jarak 40, 80, 120, 160, 200 meter dari lokasi penempatan alat, telah terjadi perubahan DO dan kecerahan, setelah 12 hari alat dioperasikan, selain itu kadar Oksigen terlarut (DO) di permukaan mengalami kenaikan secara signifikan (T1, T2 dan T3) dibandingkan sebelum alat Sirkulasi Vertikal dioperasikan.

Sebelum teknologi SiAP dioperasikan kadar DO di permukaan tertinggi 5,7 mg/L pada jam 12 siang, dan terendah 0,4 mg/L. Setelah alat dioperasikan pada 7 hari (T1) kadar DO menjadi 7,8 mg/L pada jam 12 siang, dan terendah 5,86 mg/L pada jarak 200 m. Kadar DO pada T2 tertinggi adalah 7,9 mg/L pada jam 12 siang, terendah 5,2 mg/L pada

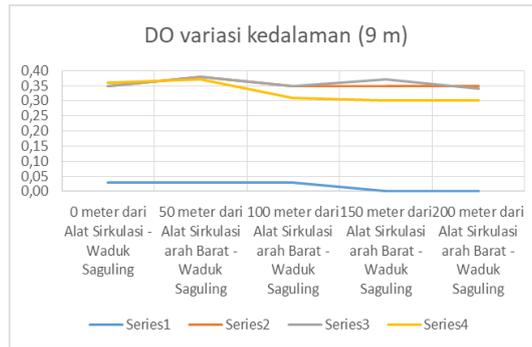
jarak 200 m. Demikian pula pada T3 tertinggi adalah 7,9 mg/L pada jam 12 siang dan terendah 6,02 mg/L pada jarak 200 m, dilihat pada Gambar 15.

Sebelum teknologi SiAP dioperasikan kadar DO pada kedalaman 6 m tertinggi 0,54 mg/L pada jam 12 siang, dan terendah 0,41 mg/L. Setelah alat Sirkulasi Air dioperasikan 7 hari (T1) kadar DO menjadi 0,49 mg/L pada jam 12 siang, dan terendah 0,41 mg/L pada jarak 200 m. Kadar DO pada T2 tertinggi adalah 0,43 mg/L pada jam 12 siang, terendah 0,39 mg/L pada jarak 200 m. Demikian pula pada T3 tertinggi adalah 0,58 mg/L pada jam 12 siang dan terendah 0,42 mg/L jarak 200 m, dilihat pada Gambar 16.

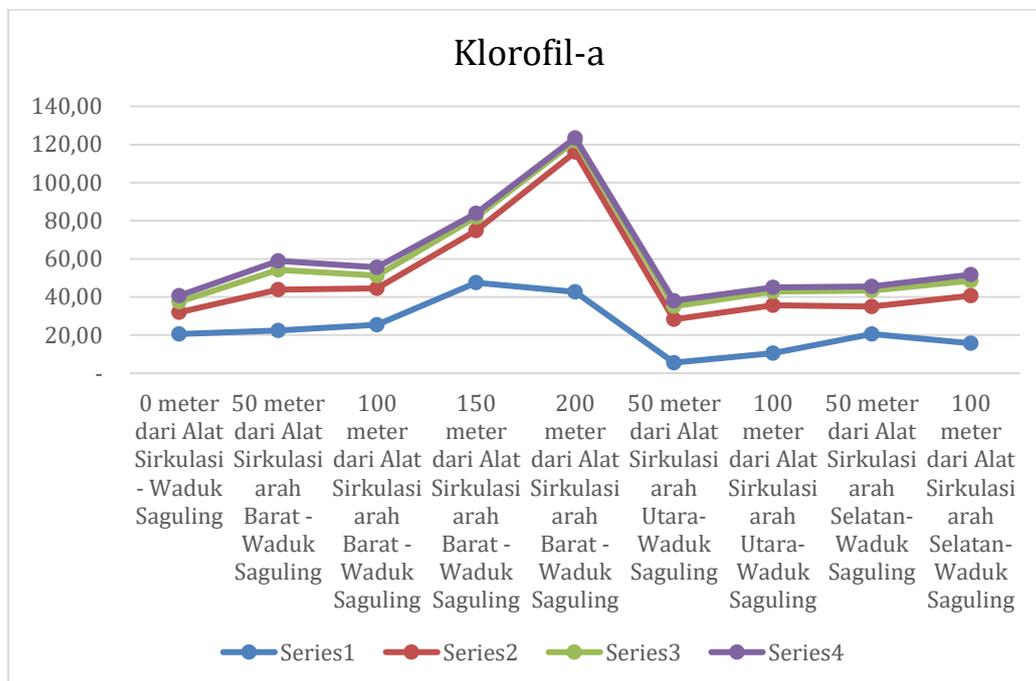
Sebelum teknologi SiAP dioperasikan kadar DO kedalaman 9 meter tertinggi 0,51 mg/L pada jam 12 siang, dan terendah 0,41 mg/L. Setelah alat Sirkulasi Air dioperasikan 7 hari (T1) kadar DO menjadi 0,48 mg/L, dan terendah 0,41 mg/L pada jarak 200 m. Kadar DO pada T2 tertinggi adalah 0,48 mg/L pada jam 12 siang, terendah 0,41 mg/L pada jarak 200 meter. Demikian pula pada T3 tertinggi adalah 0,86 mg/L pada jam 12 siang dan terendah 0,48 mg/L pada jarak 200 meter, dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 16 Grafik DO pada Kedalaman 6 Meter



Gambar 17 Grafik DO pada Kedalaman 9 Meter



Gambar 18 Grafik Klorofil-a

Konsentrasi DO mengalami penurunan dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini diduga karena suplai oksigen dari proses fotosintesis dan difusi menurun. Pada kedalaman 6 meter kadar oksigen terlarut sebelum pemasangan Modifikasi SAV sebesar 0 mg/L dan setelah pemasangan alat menjadi 0,37 mg/L pada pengamatan pertama dan meningkat menjadi 0,39 dan 0,42 mg/L pada pengamatan kedua dan ketiga. Hal ini menunjukkan bahwa Teknologi SiAP ini sangat berguna untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air.

Klorofil-a merupakan pigmen fitoplankton yang berperan dalam proses fotosintesis. Deteksi konsentrasi klorofil-a melalui satelit hanya dapat menduga konsentrasi klorofil-a permukaan dan bukan produktivitas primer. Produktivitas primer dapat berlangsung sampai kedalaman kompensasi atau kedalaman dimana intensitas cahaya tinggal 1% dari intensitas cahaya permukaan (Mulkam Nuzapril, 2017)

Salah satu indikator kesuburan perairan adalah ketersediaan klorofil-a di perairan. (Sanusi, 2004 dalam Hayatun Nufus, 2017), tingkat kesuburan suatu perairan pesisir dapat

dinilai dari karakteristik biologi maupun kimia terutama dari ketersediaan zat hara esensial. (Nybakken, 1992 dalam Hayatun Nufus, 2017), faktor biologis yang mempengaruhi tingkat kesuburan suatu perairan adalah klorofil-a. Klorofil-a merupakan pigmen yang mampu melakukan fotosintesis dan terdapat di seluruh organisme fitoplankton. (Hayatun Nufus, 2017) Sebelum teknologi SiAP dioperasikan kadar klorofil-a tertinggi 47,5 mg/m³, dan terendah 15,8 mg/m³. Setelah alat Sirkulasi Air dioperasikan 7 hari (T1) kadar klorofil-a nya menjadi 27,4 mg/m³, dan terendah 11,3 mg/m³. Kadar klorofil-a pada T2 tertinggi adalah 10,4 mg/m³, dan terendah 5,96 mg/m³. Demikian pula pada T3 tertinggi adalah 4,7 mg/m³ dan terendah 1,52 mg/m³ pada jarak 200 m pada Gambar 18.

Ketiga parameter yang dilakukan pengujian dapat menunjukkan bahwa parameter tersebut mempengaruhi kesuburan perairan, dimana apabila perairan menjadi subur maka alga akan tumbuh berkembang dengan pesat, apabila kita dapat menghambat pertumbuhan alga maka alga blooming bisa tidak terjadi. Hal ini dilihat dari parameter klorofil-a. nilai tambah dari modifikasi ini, selain menurunkan nilai klorofil sebagai indikator penurunan alga juga dapat menurunkan sulfide, dimana sulfide ini merupakan parameter yang dapat menyebabkan korosi pada hidromechanical yang ada di waduk/danau seperti turbin, pintu dll.

SIMPULAN

Peningkatan hasil Teknologi SiAP untuk pengukuran parameter lapangan : terjadi peningkatan kadar oksigen terlarut di permukaan semula 2,8 mg/L menjadi 7,0 mg/L; Semula kecerahan air atau daya tembus cahaya matahari dari 30 cm menjadi 80 cm; penurunan kadar sulfida dari 2,8 mg/L menjadi 0,38 mg/L. Teknologi SiAP ini juga dapat menurunkan kadar klorofil-a 9,30 mg/m³ dan kadar sulfide hingga 0,381 mg/liter. Spesifikasi teknologi SiAP ini juga mampu

meningkatkan kecepatan aliran hingga 24 liter/sekon dan dapat meningkatkan jarak jangkauan hingga 15 Ha dengan diameter 200m. Harga teknologi SiAP ini lebih terjangkau karena dapat diproduksi di dalam negeri dan menggunakan bahan-bahan lokal. Secara teknis terjadi peningkatan : jumlah putaran semula 60 rpm menjadi 70-110 rpm, perubahan 3 pelampung menjadi 4 buah pelampung akan memudahkan pengecekan alat elektrik, battery/accu ditempatkan diatas dalam box yang kedap air, perubahan 3 panel surya menjadi 4 buah panel surya yang dapat meningkatkan energi listrik.

Modifikasi alat memiliki keuntungan karena untuk pemakaian alat tersebut tidak perlu diimpor, selain itu secara ekonomis lebih murah serta secara teknis memiliki keunggulan lebih dari alat aslinya.

SARAN PENGEMBANGAN

Teknologi alat Sirkulasi Air Permukaan ini masih dapat dikembangkan dengan menambah sensor parameter kualitas air sehingga dapat melakukan pengukuran secara real time.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Agus Hermana, Evaluator Pusat, Narasumber, Kepala Balai Litbang Lingkungan Keairan atas arahan yang telah diberikan dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran pelaksanaan kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Eko Winar Irianto dan R.W. Triweko. (2011). *Eutrofikasi Waduk dan Danau : Permasalahan, Pemodelan dan Upaya Pengendalian*. Pusat Litbang Sumber Daya Air.
- Anggita Wahyuningtyas, H. C. (2016). Konsentrasi Nitrat dan Ortofosfat di Muara Sungai Banjir Kanal Barat dan Kaitannya dengan Kelimpahan Fitoplankton Harmful Alga Blooms

- (HABS). *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 40-48.
- Eko Winar Irianto, R. W. (2010). Pengembangan Kriteria Status Mutu Ekosistem Danau Sebagai Bagian Dari Pengelolaan Terpadu Wilayah Sungai. *Jurnal Teknik Hidraulik Vol. 1*.
- Hamzah, M. M. (2016). Status Mutu Air Waduk Jatiluhur dan Ancaman Terhadap Proses Bisnis Vital. *Jurnal Sumber Daya Air*, 47-60.
- Makmur, M. (2008). Pengaruh Upwelling Terhadap Ledakan Alga (Blooming Algae) di Lingkungan Perairan Laut. *Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI*.
- Pusair. (2012). Output Teknologi Pengendalian Eutrofikasi Waduk dengan Metode Sirkulasi Air. Bandung: Pusat Litbang Sumber Daya Air.
- Pusair. (2017). Output Model Fisik Sirkulasi Vertikal Untuk Perbaikan Kualitas Air Waduk/Danau. Bandung: Puslitbang Sumber Daya Air.
- Pusair. (2018). Output Model Fisik Pengembangan Teknologi Sirkulasi Untuk Perbaikan Kualitas Air dengan Menghambat Pertumbuhan Alga di Waduk/Danau. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air.
- Sulastris, A. A. (2004). Blooming Alga Dinoflagelata *Ceratium Hirudinella* di Waduk Karangates, Malang, Jawa Timur. *Oseonologi dan Limnologi di Indonesia*, 52-67.

<https://doi.org/10.35760/dk.2020.v19i1.3449>

PENGARUH *OVERLAPPING* RUTE TERHADAP TINGKAT PENGISIAN ANGKUTAN KOTA DI KOTA BANDUNG

Muhammad Iqbal N
Fakultas Teknik Sipil. Universitas Katolik Parahyangan
Jalan Ciumbuleuit No.94, Bandung 40141, Jawa Barat, Indonesia
E-mail :iqbalnst1@gmail.com

Abstrak

Transportasi memiliki peran penting sebagai urat nadi mobilisasi penduduk di setiap kota di Indonesia, terutama kota-kota besar seperti Kota Bandung. Transportasi umum di Kota Bandung sampai saat ini didominasi moda angkutan kota (angkot). Kondisi angkutan umum khususnya angkutan kota (angkot) di Kota Bandung yang kurang terencana menyebabkan penurunan efektifitas dan efisiensi sistem transportasi perkotaan. Hal ini terlihat dari trayek angkutan kota yang saling *overlapping* dan rendahnya tingkat pengisian angkutan kota. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai tingkat pengisian angkutan umum di Kota Bandung. Analisis menunjukkan bahwa proporsi tingkat pengisian (*load factor*) angkutan kota di Bandung berkisar antara 0,10 sampai dengan 0,56 dan ini di bawah standar yang ditetapkan oleh Kementerian Perhubungan. Trayek nomor 17 Dago-Riung Bandung dan Trayek nomor 32 Cicadas-Cibiru memiliki rasio *overlap* tertinggi diantara trayek lainnya. Kedua trayek tersebut saling *overlapping* sebesar 27,51% untuk arah berangkat dan 25,35% untuk arah pulang. Dari analisis korelasi diketahui bahwa nilai tingkat pengisian tidak terpengaruh langsung oleh rasio *overlap*.

Kata-kata kunci: tingkat pengisian, rasio *overlap*, *overlapping*, rute

Abstract

Transportation has an important role as the pulse of population mobilization in every city in Indonesia, especially in big cities like Bandung. Public transportation in the city of Bandung has so far been dominated by public transportation modes called angkot. The condition of public transportation, especially angkot in Bandung which is unplanned causes a decrease in the effectiveness and efficiency of the urban transportation system. This can be seen from the overlapping routes and the low rate of angkot load factor. The purpose of this study was to determine the value of public transport load factors in Bandung. The analysis showed that the proportion of city transportation load factors in Bandung ranges from 0.10 to 0.56 and this is below the standards set by the Ministry of Transportation. Route number 17 Dago-Riung Bandung and Route number 32 Cicadas-Cibiru have the highest overlap ratio among other routes. the two routes overlap by 27.51% for the direction of departing and 25.35% for the opposite direction. From the correlation analysis, it is known that the value of the load factor is not directly affected by the overlap ratio.

Keywords: *load factor, overlap ratio, overlapping, route*

PENDAHULUAN

Perkembangan motorisasi yang cepat dalam beberapa waktu belakangan ini memiliki dampak yang banyak dalam perilaku

berkendara dari manusia yang berdampak pada transportasi. Transportasi memiliki peran penting sebagai urat nadi mobilisasi penduduk di setiap kota di Indonesia, terutama kota-kota

besar seperti Kota Bandung. Transportasi umum di Kota Bandung sampai saat ini didominasi moda angkutan kota (angkot). Berdasarkan data dari Dinas Perhubungan Kota Bandung pada tahun 2010 tercatat ada sekitar 39 trayek angkutan kota yang beroperasi. Kondisi angkutan umum khususnya angkutan kota (angkot) di Kota Bandung yang kurang terencana menyebabkan penurunan efektifitas dan efisiensi sistem transportasi perkotaan. Jumlah armada angkutan kota yang beroperasi di setiap trayek yang telah melebihi kebutuhan, masih banyak trayek angkutan kota yang saling tumpang tindih (*overlapping*), *overlapping* tersebut masih ditambah dengan rendahnya tingkat pengisian angkutan kota. Menurut Litman (2017), salah satu indikator kinerja angkutan umum adalah tingkat pengisian dan *transit ridership* dalam satuan penumpang-kilometer. Fluktuasi faktor pengisian terjadi sepanjang hari dan untuk berbagai trayek. Fluktuasi ini terjadi akibat perbedaan pola perjalanan pada waktu-waktu tertentu dan ketersediaan angkutan untuk trayek tertentu. *Overlapping* rute akan memberikan dampak meningkatnya jumlah armada yang melayani satu segmen rute bersamaan. Studi yang dilakukan oleh Elyssa dan Handayani (2011) menunjukkan berkurangnya jumlah penumpang mikrolet setelah beroperasinya koridor busway yang *overlapping* dengan rute mikrolet tersebut.

Studi yang dilakukan oleh Setiawati et. al., (2015) menunjukkan bahwa akibat adanya *overlapping* pada angkutan kota jurusan Riung Bandung-Dago di Kota Bandung, menyebabkan penurunan terhadap tingkat pengisian angkutan kota dikarenakan pada segmen rute yang sama terdapat beberapa trayek angkutan sehingga mengurangi tingkat pengisian untuk masing-masing armada angkutan kota. Berdasarkan hal-hal tersebut diperlukan studi mengenai pengaruh *overlapping* rute terhadap tingkat pengisian angkutan kota di Kota Bandung.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini terdapat 3 data utama yang dikumpulkan, yaitu besaran naik turun, lokasi naik turun, dan rute trayek angkutan kota tersebut. Rute trayek yang dikumpulkan akan langsung disimpan pada GPS, sedangkan besaran dan lokasi naik turun akan dicatat oleh surveyor yang naik pada angkutan kota tersebut. Survei akan dilakukan dengan metode *ride check* untuk mengumpulkan data naik turun penumpang. Lokasi dan jumlah naik turun penumpang akan dibantu dengan *geotagging* menggunakan bantuan perangkat lunak pemetaan digital. Sampel yang digunakan adalah 39 trayek angkutan kota dengan pembagian jumlah sampel sesuai dengan proporsi jumlah angkotan kota sebagai berikut:

Tabel 1. Daftar Trayek Angkutan Kota dan Jumlah Sampel

No	Kode Trayek	Trayek	Sampel
1	01.A	Abd. Muis - Cicaheum (Binong)	6
2	01.B	Abd. Muis - Cicaheum (Aceh)	2
3	02.	Abd. Muis - Dago	5
4	03.	Abd. Muis - Ledeng	4
5	04.	Abd. Muis - Elang	2
6	05.	Cicaheum - Ledeng	4
7	06.	Cicaheum - Ciroyom	4
8	07.	Cicaheum - Ciwastra - Derwati	4
9	08.	Cicaheum - Cibaduyut	3
10	09.	St. Hall - Dago	1

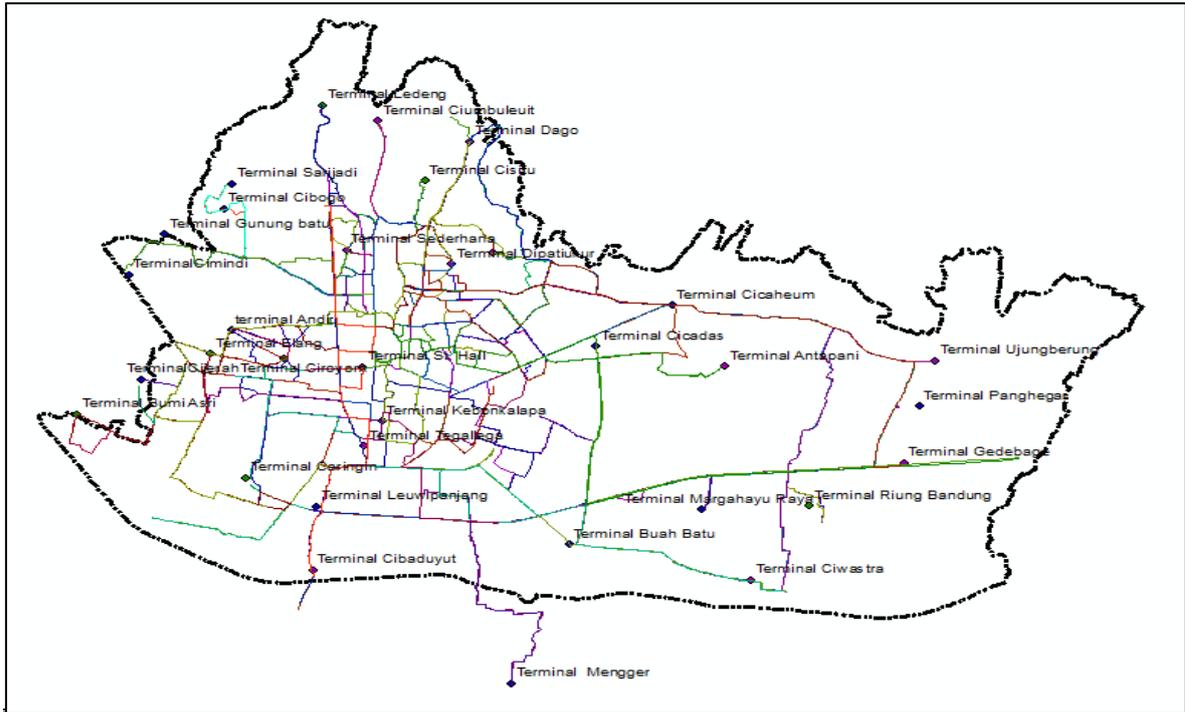
No	Kode Trayek	Trayek	Sampel
11	10.	St. Hall - Sd. Serang	3
12	11.A	St. Hall - Ciumbuleuit (Eyckman)	1
13	11.B	St. Hall - Ciumbuleuit (Cihampelas)	1
14	12.	St. Hall - Gd. Bage	4
15	13.	St. Hall - Sarijadi (Sukajadi)	1
16	14.	St. Hall - Sarijadi (Setrasari Mall)	1
17	15.	St. Hall - Gunung Batu	2
18	16.	Margahayu Raya - Ledeng	4
19	17.	Dago - Riung Bandung	2
20	18.	Ps. Induk Caringin - Dago	3
21	19.A	Panghegar Permai - Dipatiukur - Dago	2
22	19.B	Ciroyom - Sarijadi	1
23	20.	Ciroyom - Bumi Asri	2
24	21.	Ciroyom - Cikudapateuh	2
25	22.	Sederhana - Cipagalo	5
26	23.	Sederhana - Cijerah	1
27	24.	Sederhana - Cimindi	1
28	25.	Ciwastra - Ujung Berung	1
29	26.	Cisitu - Tegallega	1
30	27.	Cijerah - Ciwastra - Derwati	4
31	28.	Elang - Gedebage - Ujung Berung	2
32	29.	Abd. Muis - Mengger	1
33	30.	Cicadas - Elang	5
34	31.	Antapani - Ciroyom	3
35	32.	Cicadas - Cibiru - Panyileukan	4
36	33.	Bumi Panyileukan - Sekemirung	2
37	34.	Sd. Serang - Caringin	4
38	35.	Cibaduyut - Karang Setra	4
39	36.	Cibogo Atas - Halteu Andir	1

Data sekunder yang didapat dalam studi ini adalah informasi rute angkot yang tercantum dalam Perwalkot Bandung No. 551.2/kep.098-dishub/2015.

Pengolahan data sekunder dilakukan dengan bantuan sistem informasi geografi (SIG) dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ArcGIS. Data sekunder yang didapat kemudian dijadikan masukan dalam

perangkat lunak. Pengolahan data dilakukan dengan memplot rute angkutan kota untuk masing-masing trayek untuk kemudian didapatkan informasi spasialnya untuk diolah.

Keluaran dari pengolahan data sekunder ini adalah berupa lokasi terminal dan rute yang dilalui oleh trayek-trayek tersebut seperti disajikan pada gambar berikut.



Gambar 1. Rute Trayek Angkutan Kota di Kota Bandung

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 2. Data Jarak Tempuh Masing-masing Trayek Angkutan Kota Bandung

Nomor	Trayek	Jarak (km)	
		Berangkat	Pulang
01A.	ABDUL MUIS – CICAHEUM VIA BINONG	15,8	15,7
01B.	ABDUL MUIS – CICAHEUM via ACEH	10,7	10,0
02.	ABDUL MUIS – DAGO	10,4	9,9
03.	ABDUL MUIS – LEDENG	13,6	11,4
04.	ABDUL MUIS – ELANG	5,11	5,38
05.	CICAHEUM – LEDENG	13,8	13,7
06.	CICAHEUM – CIROYOM	15,3	13,4
07.	CICAHEUM – CIWASTRA – DERWATI	16,8	18,1
08.	CICAHEUM – CIBADUYUT	10,5	10,5
09.	STASIUN HALL – DAGO	6,43	6,48
10.	STASIUN HALL – SADANG SERANG	8,41	8,02
11A.	STASIUN HALL – CIUMBULEUIT VIA EYCKMAN	4,85	4,89
11B.	STASIUN HALL – CIUMBULEUIT VIA CIHAMPELAS	9,29	8,34
12.	STASIUN HALL – GEDEBAGE	15,9	19,0
13.	STASIUN HALL – SARIJADI VIA SUKAJADI	6,93	7,51
14.	STASIUN HALL – SARIJADI VIA SETRASARI MALL	7,44	8,33
15.	STASIUN HALL – GUNUNG BATU	7,79	8,62
16.	MARGAHAYU RAYA – LEDENG	19,8	21,3
17.	DAGO – RIUNG BANDUNG	21,4	19,5
18.	PASAR INDUK CARINGIN – DAGO	17,7	21,6
19A.	PANGHEGAR PERMAI – DIPATIUKUR – DAGO	17,2	19,2
19B.	CIROYOM – SARIJADI	9,98	11,2

Nomor	Trayek	Jarak (km)	
		Berangkat	Pulang
20.	CIROYOM – BUMI ASRI	8,35	7,08
21.	CIROYOM – CIKUDAPATEUH	11,4	13,4
22.	SEDERHANA – ABDUL MUIS	10,3	7,54
22B.	ABDULMUIS – CIPAGALO	7,96	8,71
23.	SEDERHANA – CIJERAH	8,05	7,76
24.	SEDERHANA – CIMINDI	9,29	6,50
25.	CIWASTRA – UJUNG BERUNG	13,3	12,3
26.	CISITU – TEGALLEGA	11,0	11,1
27.	CIJERAH – CIWASTRA – DERWATI	17,9	16,8
28.	ELANG – GEDEBAGE – UJUNG BERUNG	20,3	21,8
29.	ABDUL MUIS – MENGGER	11,4	10,9
30.	CICADAS – ELANG	18,5	16,3
31.	ANTAPANI – CIROYOM	15,0	12,7
32.	CICADAS – CIBIRU – PANYILEUKAN	12,3	14,5
33.	BUMI PANYILEUKAN – SEKEMIRUNG	14,7	13,6
34.	SADANG SERANG – CARINGIN	19,4	18,1
35.	CIBADUYUT – KARANG	10,3	13,0

Dari digitasi informasi trayek kemudian dihasilkan peta trayek angkutan kota di Kota Bandung seperti terlihat di Gambar 1. Hasil pengolahan perangkat lunak adalah jarak perjalanan untuk masing-masing trayek angkutan kota yang menjadi objek studi.

Data jarak ini diperlukan untuk menentukan tarif dasar sesuai Perwaturan Walikota yang nantinya dijadikan acuan untuk dibandingkan dengan tarif yang ada di lapangan. Jarak yang dicari menggunakan perangkat lunak ini adalah jarak berangkat dan pulang dari trayek tersebut. Tabel 2 menyajikan hasil *running* dari perangkat lunak mengenai jarak tempuh masing-masing trayek.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kinerja Trayek Angkutan Kota di Kota Bandung

Analisis spasial dilakukan dengan memplot seluruh rute angkutan kota yang menjadi objek studi seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dari analisis spasial dapat diketahui bahwa trayek Margahayu Raya - Ledeng memiliki rute terpanjang dibandingkan dengan

trayek lain dengan jarak tempuh 20,6 km satu kali perjalanan.

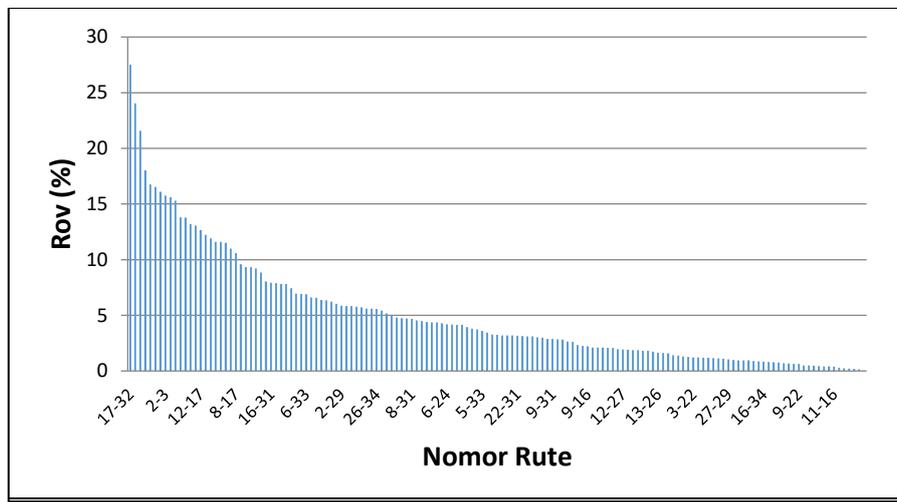
Rata-rata jarak tempuh dari trayek angkutan kota yang menjadi objek studi adalah 11,765 km. Sedangkan jarak terpendek dari trayek angkutan kota yang menjadi objek studi adalah trayek St. Hall – Gunung Batu sepanjang 7,44 km. Setelah dilakukan pemetaan dari *overlapping* masing-masing trayek angkutan kota di Kota Bandung, kemudian dilakukan pemetaan terhadap faktor pengisian angkutan kota tersebut. Pemetaan ini diperlukan untuk mengetahui faktor pengisian pada wilayah *overlap* untuk kemudian dianalisis pengaruh *overlapping* terhadap tingkat pengisian. Tingkat pengisian tertinggi dimiliki oleh trayek nomor 19 arah Dago-Riung Bandung dengan nilai tingkat pengisian 0,56 dan tingkat pengisian paling rendah adalah trayek nomor 13 arah Sarijadi-St.Hall dengan nilai tingkat pengisian 0,10. Besaran tingkat pengisian ini kemudian akan dikompilasi dengan hasil analisis rasio *overlap* untuk mendapatkan hubungan antara *overlap* angkutan kota dengan tingkat pengisian.

Analisis Rasio Overlap Setiap Angkutan Kota

Nilai Rasio *overlap* ini didapat dari membandingkan panjang *overlap* trayek lain terhadap panjang trayek angkutan kota tersebut. Berikut hasil perhitungan rasio *overlap* untuk masing-masing trayek angkutan kota. Berdasarkan Gambar 2 diketahui bahwa rasio *overlap* tertinggi antar angkutan kota terjadi pada trayek nomor 17 arah Dago-Riung Bandung dan trayek nomor 32 arah Cicadas-Cibiru dengan nilai rasio *overlap* sebesar 27,51 persen, sedangkan rasio *overlap* terkecil terjadi pada trayek nomor 21 arah Ciroyom-

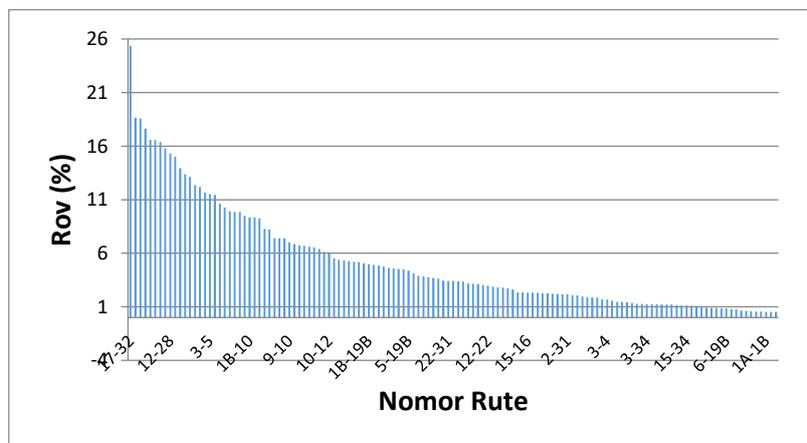
Cikudapateh dan trayek nomor 26 arah Cisitutegallega dengan nilai rasio *overlap* 0,02 persen.

Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa rasio *overlap* tertinggi antar angkutan kota terjadi pada trayek nomor 17 arah Riung Bandung-Dago dan trayek nomor 32 arah Cibiru-Cicadas dengan nilai rasio *overlap* sebesar 25,35 persen, sedangkan rasio *overlap* terkecil terjadi pada trayek nomor 01B arah Cicaheum-Abd.Muis via Aceh dan trayek nomor 7 arah Ciwastra-Cicaheum dengan nilai rasio *overlap* 0,53 persen.



Gambar 2. Nilai Rasio Overlap Antar Rute Untuk Arah Berangkat

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 3. Nilai Rasio Overlap Antar Rute Untuk Arah Pulang

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 3. Nilai Rasio *Overlap* (Rov) Masing-masing Trayek Terhadap Arah Berangkat dan Pulang Rute Lainnya.

Rute	Total Rov Berangkat (%)	Total Rov Pulang (%)
01A-Brgkt	74,38	60,98
01A-Plg	64,86	55,24
01B-Brgkt	20,57	42,33
01B-Plg	28,79	50,11
02-Brgkt	136,28	36,19
02-Plg	27,01	71,54
03-Brgkt	67,86	22,31
03-Plg	29,26	69,08
04-Brgkt	8,68	12,15
04-Plg	10,22	8,30
05-Brgkt	64,01	35,98
05-Plg	38,04	44,86
06-Brgkt	76,24	33,27
06-Plg	31,00	49,81
07-Brgkt	101,82	41,74
07-Plg	40,93	92,95
08-Brgkt	49,97	30,04
08-Plg	33,52	42,84
09-Brgkt	40,34	20,40
09-Plg	19,28	31,59
10-Brgkt	29,00	28,57
10-Plg	33,37	32,70
11-Brgkt	2,48	14,22
11-Plg	28,68	8,08
12-Brgkt	53,95	16,14
12-Plg	43,75	76,55
13-Brgkt	28,81	13,30
13-Plg	19,88	28,86
15-Brgkt	44,03	6,48
15-Plg	30,35	39,71
16-Brgkt	45,29	92,67
16-Plg	128,43	42,91
17-Brgkt	98,70	67,34
17-Plg	58,15	85,02
18-Brgkt	18,60	44,63
18-Plg	0,00	0,00
19A-Brgkt	43,55	43,69
19B-Plg	33,24	51,97
20-Brgkt	0,00	1,48

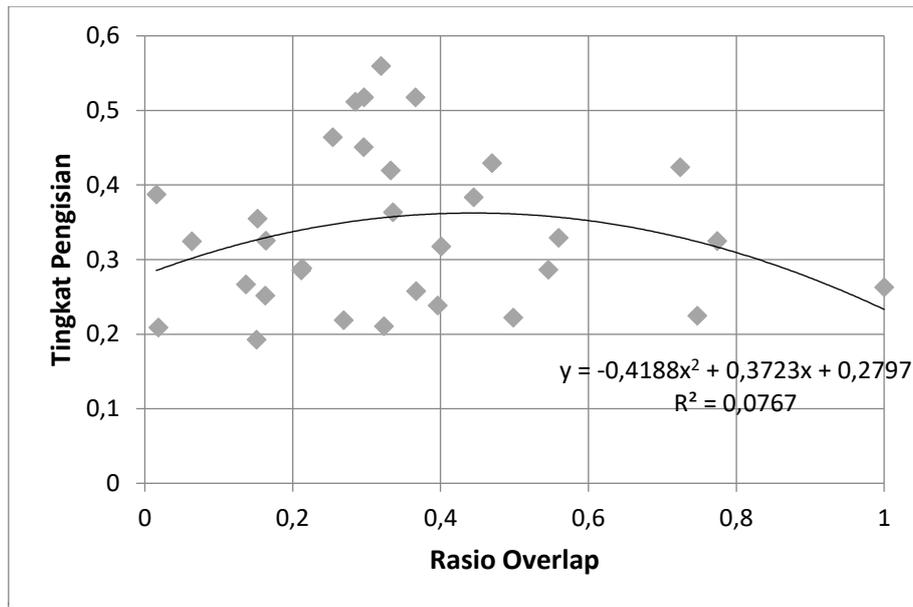
Rute	Total Rov Berangkat (%)	Total Rov Pulang (%)
20-Plg	0,00	0,00
21-Brgkt	2,10	0,05
21-Plg	10,49	2,76
22-Brgkt	36,66	60,21
22-Plg	28,55	37,28
23-Brgkt	49,86	17,52
23-Plg	8,59	32,44
24-Brgkt	40,37	20,58
24-Plg	2,60	18,71
25-Brgkt	34,63	28,70
25-Plg	3,98	18,11
26-Brgkt	38,78	63,03
26-Plg	56,68	47,28
27-Brgkt	22,30	0,00
27-Plg	3,74	29,92
28-Brgkt	60,61	23,97
28-Plg	26,56	50,48
29-Brgkt	22,17	14,86
29-Plg	0,00	0,00
31-Brgkt	54,63	49,95
31-Plg	29,95	52,15
32-Brgkt	105,46	24,66
32-Plg	48,40	110,93
33-Brgkt	33,02	39,45
33-Plg	64,80	7,67
34-Brgkt	45,70	30,49
34-Plg	23,85	37,83
35-Brgkt	20,77	25,50
35-Plg	55,92	47,39

Analisis Rasio *Overlap* Terhadap Tingkat Pengisian Angkutan Kota

Berdasarkan nilai tingkat pengisian dan rasio *overlap* pada masing-masing trayek, kemudian dilakukan *plotting*. *Plotting* ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *overlap* rute terhadap tingkat pengisian.

Plotting Arah Berangkat vs Berangkat

Plotting rute arah berangkat vs rute lain arah berangkat ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar *overlap*, semakin kecil nilai tingkat pengisian. Berdasarkan beberapa jenis regresi, regresi polynomial memiliki nilai kesesuaian R^2 paling besar yaitu 0,0767.



Gambar 4. Nilai Rasio Overlap Antar Rute Untuk Arah Berangkat
 Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. Uji Korelasi Rasio Overlap dan Tingkat Pengisian (Rute Berangkat vs Berangkat)

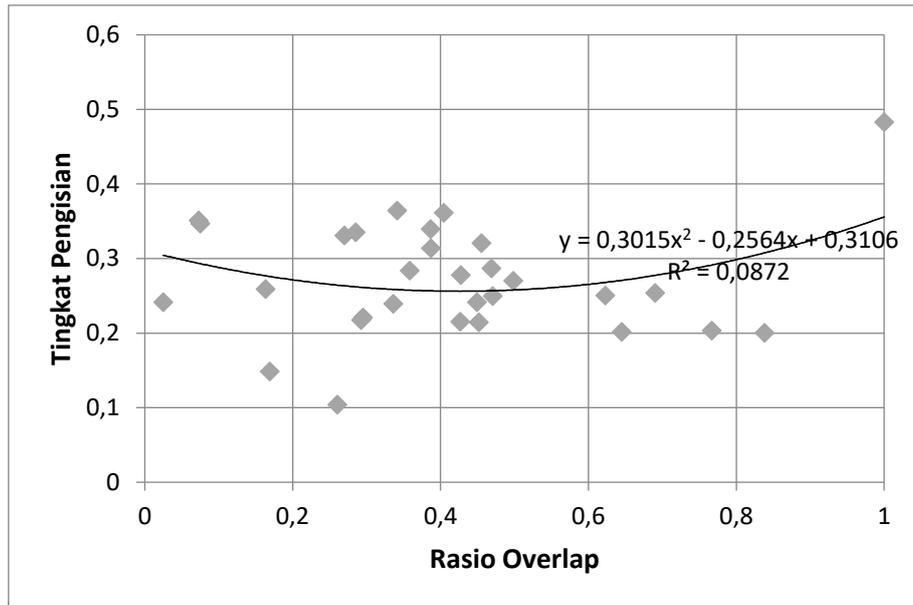
Parameter	RoV	LF
Pearson	1	-0,144
Correlation		
Sig. (2-tailed)		0,432
N	32	32

Berdasarkan uji korelasi yang dilakukan, diketahui nilai korelasi adalah -0,144. Ini menunjukkan terdapat korelasi negatif lemah antara tingkat pengisian dengan rasio *overlap*. Nilai negatif menunjukkan hubungan terbalik, semakin besar nilai rasio *overlap* maka semakin kecil tingkat pengisian.

Plotting Arah Pulang vs Pulang

Plotting rute arah pulang vs rute lain arah pulang ditunjukkan pada Gambar 4.78.

Dari gambar tersebut dapat diketahui awalnya nilai tingkat pengisian akan berkurang namun akan naik kembali pada titik tertentu. Regresi polinomial memiliki nilai kesesuaian R^2 paling besar yaitu 0,087. Berdasarkan uji korelasi yang dilakukan, diketahui nilai korelasi adalah -0,077. Ini menunjukkan terdapat korelasi negatif lemah antara tingkat pengisian berangkat dengan rasio *overlap*. Nilai negatif menunjukkan hubungan terbalik, semakin besar rasio *overlap* maka semakin kecil tingkat pengisian.



Gambar 5. Nilai Rasio Overlap Antar Rute Untuk Arah Pulang

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 5. Uji Korelasi Rasio Overlap dan Tingkat Pengisian (Rute Pulang vs Pulang)

Parameter	RoV	LF
Pearson Correlation	1	-0,077
Sig. (2-tailed)		0,667
N	32	32

Hubungan antara faktor pengisian dengan rasio *overlap* untuk setiap hubungan rute baik rute berangkat vs berangkat dan pulang vs pulang menunjukkan korelasi negatif lemah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai rasio *overlap* menyebabkan turunnya nilai tingkat pengisian. Untuk hubungan rasio *overlap* dan faktor pengisian untuk rute berangkat vs berangkat diketahui bahwa bentuk hubungan adalah parabola terbuka ke bawah. Pada rasio *overlap* bernilai 0,5 memiliki tingkat pengisian tertinggi. Ini menunjukkan bahwa angkutan kota membutuhkan *overlap* untuk mencapai tingkat pengisian tertinggi. Apabila kurang atau lebih dari nilai tersebut, tingkat pengisian berkurang. Rasio *overlap* dan faktor pengisian untuk rute pulang vs pulang berbentuk

parabola terbuka ke atas. Ini menunjukkan bahwa ada besaran rasio *overlap* yang perlu dihindari untuk angkutan kota, karena pada rentang tersebut tingkat pengisian mengalami penurunan.

SIMPULAN

Dari studi ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tingkat pengisian angkutan kota di Kota Bandung berada di bawah standar yang ditetapkan oleh Kementerian Perhubungan dengan nilai tingkat pengisian paling rendah 0,10 dan paling tinggi 0,56.
2. Berdasarkan analisis pada setiap rute angkutan kota ditemukan bahwa tidak terdapat rute yang benar-benar memiliki

nilai tingkat pengisian tertinggi untuk kedua arah berangkat maupun arah pulang.

3. Rute angkutan kota nomor 17 Dago-Riung Bandung dan angkutan kota nomor 32 Cicadas Cibiru memiliki rasio *overlap* tertinggi diantara rute angkutan lainnya, yaitu 27,51 persen untuk arah berangkat dan 25,35 persen untuk arah pulang.
4. Berdasarkan analisis diketahui bahwa nilai tingkat pengisian tidak terpengaruh langsung oleh rasio *overlap*.

DAFTAR PUSTAKA

- Elyssa dan Handayani, “Pengaruh Overlapping Rute Busway Koridor 7 Terhadap Faktor Pemilihan Moda Angkutan Umum Untuk Perjalanan”, Proceeding Pesat, Vol 4 Oktober 2011.
- Joewono, T.B. dan Kubota, H. 2007. User Satisfaction with Paratransit in Competition with Motorization in Indonesia: Anticipation of Future Implications. Springer.
- Litman, T. (2017), “Multi Modal Transportation Planning”, Victoria Transport Policy Institute.
- Peraturan Walikota Bandung. 2015. No 551.2/kep.098-dishub/2015 mengenai Tarif Angkutan Umum di Kota Bandung. Pemerintah Kota Bandung. Bandung.
- Setiawati, D. (2015), “Penentuan Jumlah Armada dan Rute Angkutan Kota yang Optimal Di Kota Bandung Berdasarkan *Load Factor* (Studi Kasus: Trayek Riung Bandung – Dago)”, Universitas Islam Bandung
- Shimazaki, T., Rahman M, 1996, Physical Characteristics of Paratransit in Developing Countries Of Asia, Nihon University, Tokyo
- Vuchic, V., R. (2007), Urban Transit: System and Technology. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.

**KAJIAN POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE
PENETRATION TEST DAN INDEKS KEANDALAN
“STUDI KASUS BANDARA MINANGKABAU, PADANG
SUMATERA BARAT”**

***STUDY OF POTENTIALS LIQUEFACTION USING THE
PENETRATION TEST AND RELIABILITY INDEX METHOD
"CASE STUDY OF MINANGKABAU AIRPORT, WEST SUMATERA
PADANG"***

¹ Zaenudin, ² Sri Wulandari.

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gunadarma Korespondensi:
Zaenudin.2794@gmail.com

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gunadarma
Korespondensi: swulanb@yahoo.com

Abstrak

Bandara Internasional Minangkabau (BIM) adalah infrastruktur udara yang penting di Indonesia, terletak di kota Padang. Pada 30 September 2009, terjadi gempa bumi dengan besarnya (ML) 7,9 SR. dan percepatan puncak mencapai 0,28 g. Gempa ini akan digunakan untuk referensi dalam analisa likuifaksi. Likuifaksi perlu di analisa untuk mengidentifikasi potensi kerusakan. Mitigasi perlu dilakukan sebelum memulai pengembangan BIM pada Master Design Bandara Internasional Minangkabau. Metode analisa potensi likuifaksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode uji penetrasi standart (SPT) dan probabilistik/Reliabilitas index (β). Perbandingan antara rasio stres siklik (CSR) dan rasio resistensi siklik (CRR) adalah faktor keamanan. Faktor keamanan lebih besar dari satu maka tidak berpotensi likuifaksi, tetapi jika faktor keamanan lebih kecil dengan satu maka berpotensi likuifaksi. Hasil analisa dari potensi likuifaksi menunjukkan potensi di beberapa titik di wilayah BIM, seperti area taxi Way, Apron dan terminal kargo bandara. Potensi likuifaksi rata – rata terjadi karna (FS) < 1 pada kedalaman 7-16 m, itu berarti potensi likuifaksi merupakan likuifaksi dalam.

Kata Kunci: Beban Gempa, Mitigasi, *standart penetration test* (SPT), *Probabilistic/Reliability Index*(β)

Abstract

Bandara International Minangkabau (BIM) is a necessary air infrastructure in Indonesia, located in the city of Padang. On 30 September 2009, an earthquake with a magnitude (ML) 7.9 SR. and peak acceleration reached 0.28 g. This earthquake will have been used for reference in the Analysis of liquefaction. The liquefaction needs to Analysis for identification of damages potential. Mitigation requires to incur before starting the BIM development base on the Master Design of Bandara International Minangkabau. The liquefaction potential analysis methods used in this research are the Standard Penetration Test (SPT) and Probabilistic/Reliability Index (β) methods. The comparison between cyclic stress ratio (CSR) and cyclic resistance ratio (CRR) is a Safety factor. The safety factor is more significant than 1, then not potentially liquefaction, but if the Safety factor is smaller with 1, then potentially liquefaction. The Analysis of the potential liquefaction indicates the potential at some point in the BIM region, such as the Taxi Way Area, Apron, and airport cargo Terminal. The liquidation's average potential shows the Safety Factor (FS) < 1 at a depth of 7-16 m, It means the liquidation that occurs is the depth liquefaction.

Keywords: *Earthquake, mitigation, standart penetration test (SPT), Probabilistic/ Reliability Index (β)*

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah getaran asli yang bersumber dari dalam bumi, kemudian bergetar merambat ke permukaan akibat dari rekahan atau lempeng bumi pecah dan bergeser dengan keras (Nur Mustofa, 2010). Indonesia banyak dilintasi Jalur lempeng bumi yang menyebabkan gempa tektonik, dimana gempa ini bersifat regional dan umumnya kerusakan yang ditimbulkan sangat besar.

Gempa Bumi merupakan faktor penyumbang terjadinya peristiwa Likuifaksi. Likuifaksi biasanya terjadi karena kondisi tanah yang berubah. kondisi tersebut bermula dari kondisi drain dalam tanah menjadi kondisi undrain yang disebabkan oleh getaran siklik. akibatnya tekanan pori meningkat dan lebih besar dari tegangan efektif tanah. Adapun beberapa faktor yang bisa menimbulkan likuifaksi, seperti tanah yang berukuran pasir, susunan gradasi butiran tanah dan keseragaman butiran, bentuk butiran tanah membulat dan tidak memiliki ikatan antara butiran, keadaan tanah yang jenuh air, lapisan yang lepas atau kepadatan relatif yang rendah (Pawirodikromo, 2012).

Bandara Internasional Minangkabau (BIM) berlokasi di kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. BIM sangat rawan terhadap gempa. Gempa yang terjadi di BIM dikarenakan wilayah ini berada \pm 250 km sebelah timur zona subduksi Sumatera yang bergerak sekitar 52 s/d 60 mm per tahun (Natawidjaja, 2003). Daerah perbatasan lempeng ini merupakan zona seismisitas yang aktif, sehingga banyak terjadi gempa bumi tektonik yang diakibatkan oleh tumbukan antar lempeng tersebut. BIM dijadikan lokasi penelitian karena selain dari memiliki kerentanan bahaya gempa bumi yang tinggi, juga ditinjau dari sisi geologi jenis tanah yang terletak di daerah pesisir pantai barat Sumatera, menyebabkan lokasi tersebut memiliki tanah

jenis pasir lepas dan jenuh air, maka dari itu BIM dicurigai memiliki potensi likuifaksi.

Mengacu kepada keputusan menteri perhubungan Republik Indonesia Nomor : KP 379 Tahun 2015 tentang “Rencana Induk Bandar Udara Internasional Minangkabau di Kabupaten Padang Pariaman Provinsi Sumatera Barat”, menunjukkan permintaan kebutuhan pelayanan penumpang dan kargo yang terus meningkat, dan akibatnya rencana pembangunan dan pengembangan fasilitas terus ditingkatkan. (Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2015).

Peningkatan pembangunan fasilitas BIM kemungkinan dilakukan di atas tanah yang memiliki risiko seperti likuifaksi, maka dari itu harus ada solusi mengenai upaya mitigasi dan perbaikan kesetabilan tanah sebelum dibangun fasilitas bandara di BIM. Oleh karena itu Penelitian ini akan mencoba memaparkan daerah – daerah bagian dari infrastruktur bandara yang memiliki potensi likuifaksi, supaya bisa dilakukan upaya peninjauan nantinya terhadap dampak yang akan ditimbulkan.

Metode yang digunakan untuk mengetahui potensi likuifaksi yaitu metode Standart Penetration Test (SPT) dengan metode Konsep Indeks Keandalan Reliability Index- β untuk mengetahui besarnya potensi likuifaksi. Dengan membandingkan faktor keamanannya dari dua metode ini akan menghasilkan gambaran daerah yang memiliki potensi likuifaksi dan sebagai bahan pembandingan untuk proses mitigasi lanjutan.

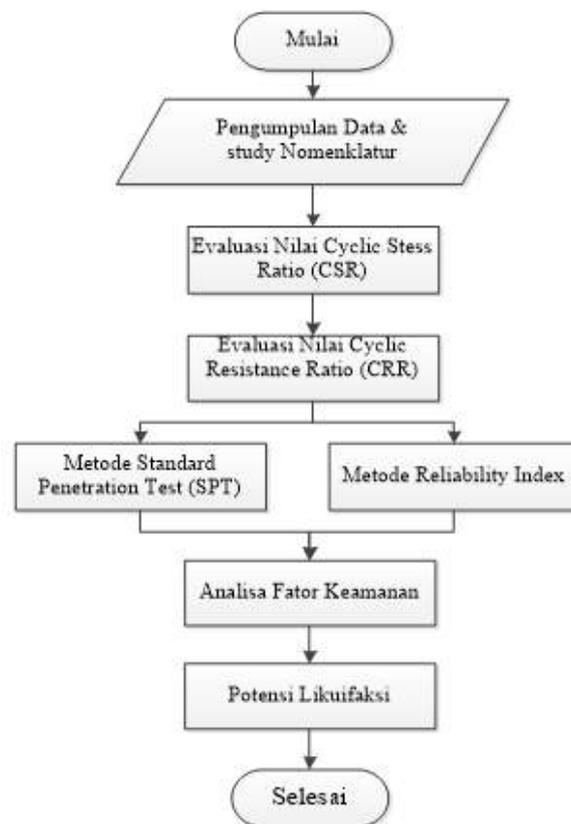
METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian.

Bandara Internasional Minangkabau secara administratif berlokasi di Kelurahan Nagari Kataping Kecamatan Batang Anai, Kabupaten Padang Pariaman, Provinsi Sumatera Barat.



Gambar 1 Lokasi Bandara Internasional Minangkabau



Gambar 2 Diagram Alur Analisa Poensi Likuifaksi

Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data menggunakan data sekunder, dengan mengumpulkan data yang didapatkan dari intansi terkait, seperti; PT Angkasapura II berupa penyelidikan tanah adapun Laporan USGS berupa Mw, amax, hiposenter dan episenter.

Teknik Analisa Pengolahan Data

Tahapan berikutnya merupakan analisa potensi likuifaksi yang dihitung berdasarkan hasil pengujian lapangan, dari hasil analisa akan menunjukan lokasi penelitian tersebut berpotensi atau tidak, dan akan di analisa peristiwa likuifaksi itu menggunakan metode

berdasarkan data uji lapangan seperti metode *Standart Penetration Test* (SPT), dan Metode *Probabilistic/ Reliability*

Metode *standart penetration test* (SPT) menghitung faktor keamanan dari rasio nilai *cyclic stress ratio* (CSR) dan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR). Apabila faktor keamanan lebih besar dari satu maka tidak berpotensi likuifaksi, sedangkan jika faktor keamanan lebih kecil sama dengan satu maka berpotensi likuifaksi.

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} \cdot \frac{a_{maks}}{g} \cdot r_d$$

(1)

Dimana :

T_{av} : tegangan geser rata-rata akibat gempa (kN/m²)

a_{maks} : percepatan permukaan tanah maksimum (g)

g : percepatan gravitasi (g)

σ_{vo} : tegangan total tanah (kN/m²)

σ'_{vo} : tegangan efektif tanah (kN/m²)

r_d : faktor reduksi tegangan

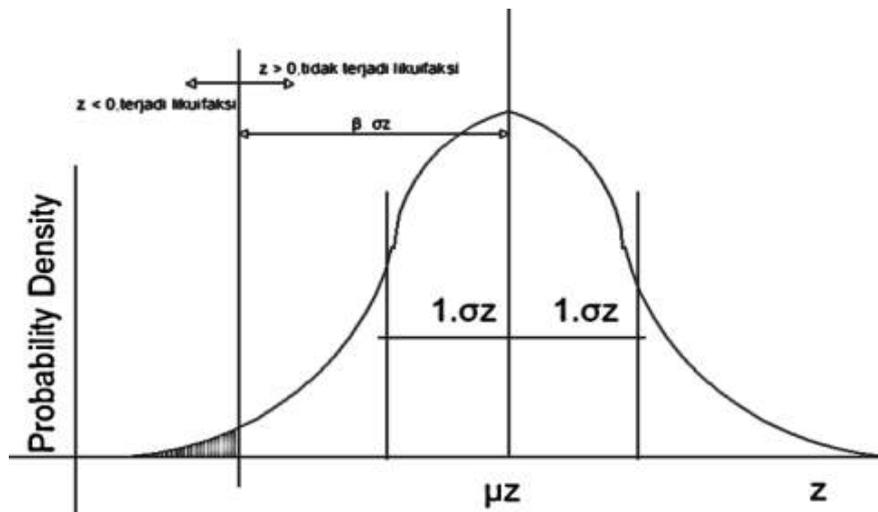
$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{((10 \cdot (N_1)_{60cs}) + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (2)$$

Dimana :

$(N_1)_{60}$: Nilai N-SPT yang telah dikoreksi

$(N_1)_{60cs}$: Nilai N-SPT $(N_1)_{60}$ yang telah diekivalenkan terhadap pasir bersih.

Adapun metode *Probabilistic/ Reliability index* menunjukkan seberapa besar peluang terjadinya likuifaksi dengan menunjukan besar presentasi kejadiannya dengan menghitung indeks keandalan. Tujuannya setelah mendapat berapa besar, maka bisa digunakan untuk bahan pertimbangan perbaikan tanah prioritas, jika mendapatkan presentasi kejadian yang besar maka dibutuhkan perbaikan yang serius, dan jika nilai presentasi kejadian tidak terlalu besar maka perbaikan tidak sebanyak yang mendaat presentasi kejadiannya besar.



Gambar 3 Batas terjadinya likuifaksi dan indeks reabilitas β

Berdasarkan Gambar3 tersebut indeks keandalan β bisa kita tentukan:

$$\beta = \frac{1}{\delta_z} = \frac{\mu_z}{\sigma_z}$$

$$= \frac{\mu_{\ln R} - \mu_{\ln S}}{\sqrt{\sigma_{\ln R}^2 + \sigma_{\ln S}^2}}$$

$$= \frac{\ln \left[\frac{\mu_R \left(\frac{\delta_S^2 + 1}{\delta_R^2 + 1} \right)^{\frac{1}{2}}}{\mu_S \left(\frac{\delta_R^2 + 1}{\delta_S^2 + 1} \right)^{\frac{1}{2}}} \right]}{\left[\ln(\delta_R^2 + 1) \ln(\delta_S^2 + 1) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

Nilai indeks keandalan β berdasarkan dari data statistik yang ada maka (Wang dan Yang, 2001) memberikan memberikan rumus sebagai berikut,

$$\beta = 0,013 + \frac{\ln(FS)}{0,7758}$$

(3)

Yang mana *faktor of safety* FS adalah,

$$FS = \frac{\mu_R}{\mu_S}$$

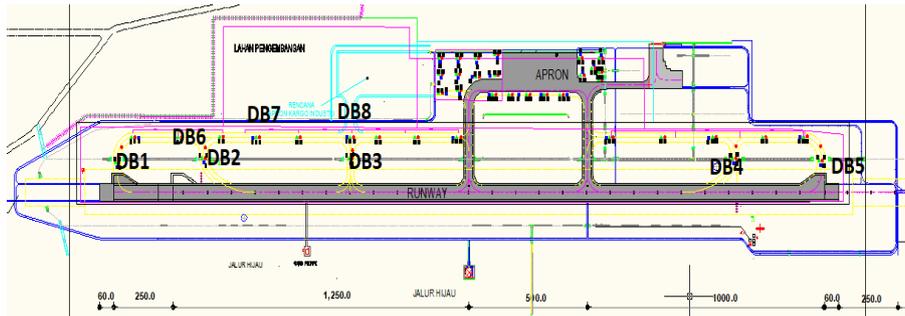
(4)

Sebagai contoh analisa, maka diambil beberapa sampel pengeboran. untuk penelitian ini kita mengambil DB1, DB2, DB3, DB4, lokasi untuk penyelidikan potensi likuifaksi di daerah sekitar akses *taxyway* dan mengambil DB5, DB6, DB7, DB8, lokasi untuk penyelidikan potensi likuifaksi di daerah sekitar akses *taxyway 1*. Stratigraf bisa dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

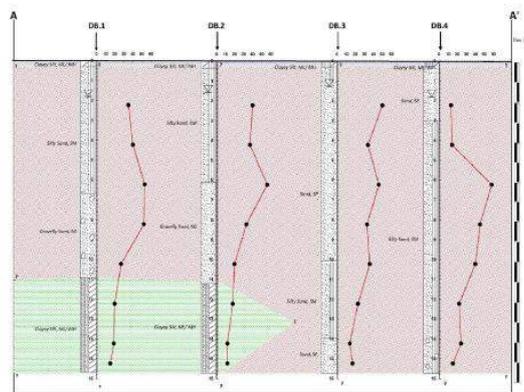
Tabel 1 Penyebaran Titik Lokasi Survey

No	Lokasi	Jumlah	Volume			Keterangan
			Bo r	Sond ir	Tes PIT	
1	Akses Taxiway	5	5	5	5	B1-B2-B3-B4-B5
						S1-S2-S3-S4-S5
						T1-T2-T3-T4-T5
2	Taxyway 1	1	9	9	4	B6-B7-B8-B9-B10-B11-B12-B13-B14
						S6-S7-S8-S9-S10-S11-S12-S13-S14
						T6-T7-T8-T9
3	Taxyway 2	1	5	5	3	B15-B16-B17-B18-B19
						S15-S16-S17-S18-S19
						T10-T11-T12
4	Apron1	1	10	10	10	B20-B21-B22-B23-B24-B25-B26-B27-B28-B29
						S20-S21-S22-S23-S24-S25-S27-S28-S29-S30
						T13-T14-T15-T16-T17-T18-T19-T20-T21-T22
5	Apron2	1	6	6	4	B35-B36-B37-B38-B39-B40
						S35-S36-S37-S38-S39-S40
						T27-T28-T29-T30
6	Pelasaran Apron Eksistinsg	1	5	5	4	B30-B31-B32-B33-B34
						S30-S31-S32-S33-S34
						T23-T24-T25-T26
Jumlah			40	40	30	

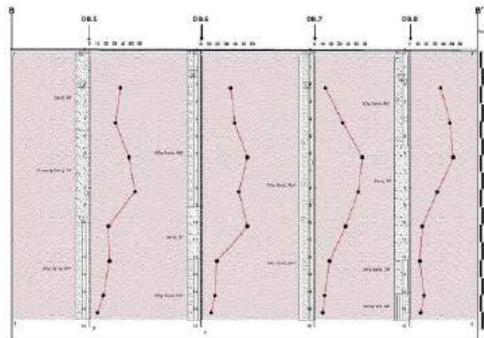
Sumber : PT Kogas Driyap Konsultan



Gambar 3 Site Plan Bandara International Minangkabau



Gambar 4 Stratigraf Lapisan Tanah DB1, DB2, DB3, DB4 Lokasi Penyelidikan



Gambar 5 Stratigraf Lapisan Tanah DB5, DB6, DB7, DB8 Lokasi Penyelidikan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Likuifaksi Berdasarkan Metode Standart Penetration Test (SPT)

Perhitungan potensi likuifaksi berdasarkan metode *Standart Penetration Test* (SPT) pada Bore hole 1 kedalaman 3 meter dapat dilihat pada Tabel 3.

Potensi Likuifaksi Berdasarkan Metode Indeks Keandalan (*Reliability Index*), β

Perhitungan potensi likuifaksi berdasarkan metode Keandalan (*Reliability Index*), β pada BH 1 kedalaman 12 meter dapat dilihat pada Tabel 4.

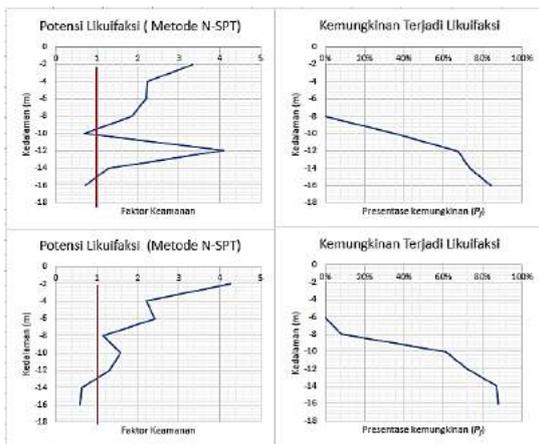
Tabel 3 Hasil Perhitungan Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode SPT Bor Hole 1

Lapisan	F _C	M _L	R	A	β	A
Lapisan – 1	38,8	7,9	45	5,00	1,50	0,28
Lapisan – 2	35	7,9	45	5,00	1,50	0,28

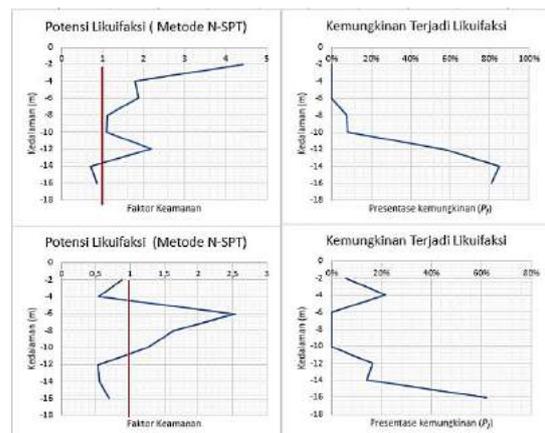
Elev	N-SPT	(N _i) ₆₀	(N _i) _{60cs}	CRR _{7,5}	MSF	CRR _{7,5C}	CSR	FS
0								
-2	35	74,82	117,24	0,85	0,86	0,73	0,22	3,33
-4	40	74,93	117,39	0,85	0,86	0,73	0,33	2,23
-6	53	62,07	98,11	0,71	0,86	0,61	0,28	2,17
-8	52	54,13	86,19	0,61	0,86	0,53	0,29	1,83
-10	27	25,55	43,32	0,21	0,86	0,18	0,29	0,61
-12	20	17,47	31,20	0,58	0,86	0,50	0,30	1,70
-14	19	15,49	28,23	0,38	0,86	0,32	0,29	1,10
-16	15	11,51	22,26	0,25	0,86	0,21	0,29	0,72

Tabel 4 Hasil Perhitungan Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode Keandalan (Reliability Index), β Bore Hole 1

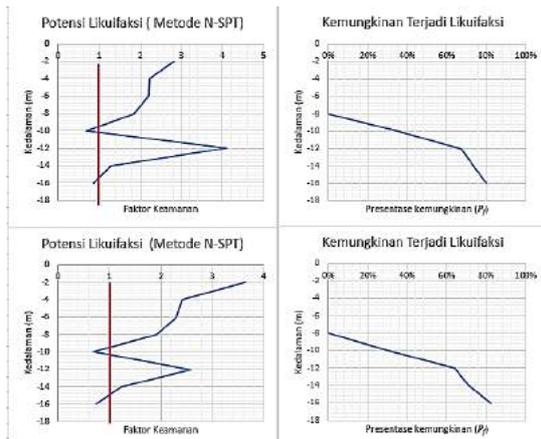
Elev(m)	(N1) ₆₀	μ _{CRR}	μ _{CSR}	μ _z	F _S	B	φ(β)	Pf
0								
-2	74,82	110,39	0,23	110,16	483,61	7,95	1,00	0,00%
-4	74,93	111,94	0,34	111,60	329,33	7,46	1,00	0,00%
-6	62,07	21,18	0,35	20,83	61,19	5,29	1,00	0,00%
-8	54,13	8,22	0,35	7,88	23,81	4,07	1,00	0,00%
-10	25,55	0,47	0,34	0,12	1,36	0,38	0,65	35,09%
-12	17,47	0,24	0,34	-0,10	0,71	-0,45	0,32	67,54%
-14	15,49	0,21	0,33	-0,13	0,62	-0,63	0,26	73,66%
-16	11,51	0,15	0,33	-0,18	0,46	-1,00	0,16	84,18%



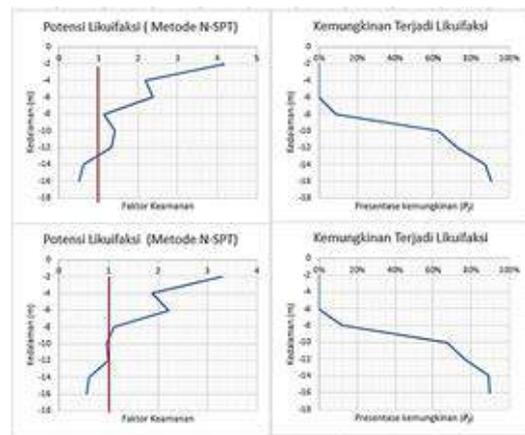
Gambar 6 Grafik hasil Analisa potensi likuifaksi DB1, DB2,



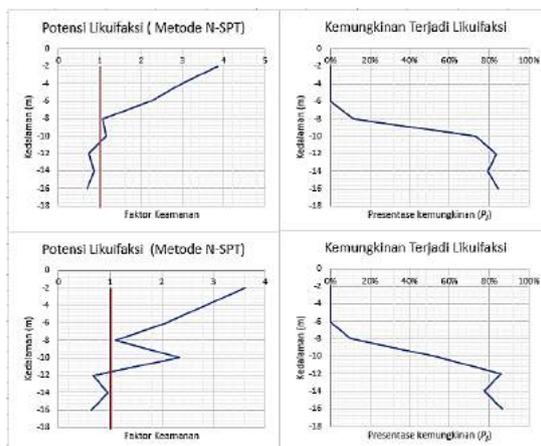
Gambar 07 Grafik hasil Analisa potensi likuifaksi DB3, DB4.



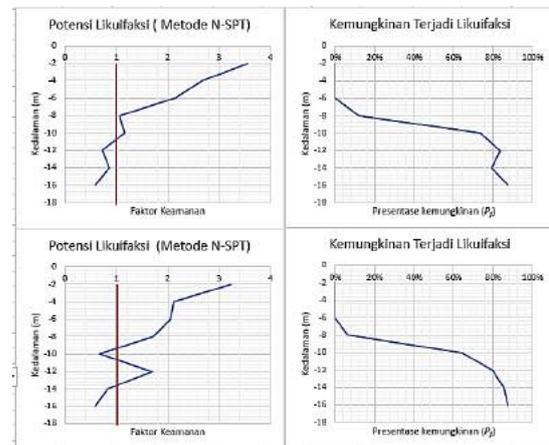
Gambar 08 Grafik hasil Analisa potensi likuifaksi DB6, DB7.



Gambar 09 Grafik hasil Analisa potemsi likuifaksi DB8, DB9.



Gambar 10 Grafik hasil Analisa potemsi likuifaksi DB23, DB25.



Gambar 11 Grafik hasil Analisa potemsi likuifaksi DB31, DB39.

Dari grafik menunjukan bahwa potensi likuifaksi terjadi kedalaman lebih dari 8m. bahwa potensi likuifaksi merupakan likuifaksi dalam. Bahaya likuifaksi dalam akan meningkat jika potensi likuifaksi berada pada topografi yang berkontur seperti perbukitan atau pegunungan.

1. Potensi likuifaksi pada DB1, DB2, berada di kedalaman 10 m dan 14 m dengan indek keandalan 40%-80%.
2. Potensi likuifaksi pada DB3, DB4. berada di kedalaman 8 m dan 4 m dengan indek keandalan 20%-80%.
3. Potensi likuifaksi pada DB6, DB7. berada di kedalaman 10 m dengan indek keandalan 20%-80%.

4. Potensi likuifaksi pada DB8, DB9,berada di kedalaman 8 m dan 13 m dengan indek keandalan 20%-85%.
5. Potensi likuifaksi pada DB23, DB25,berada di kedalaman 8 m d dengan indek keandalan 20%-80%.
6. Potensi likuifaksi pada DB31, DB39,berada di kedalaman 10 m d dengan indek keandalan 25%-85%.

Dari grafik indek keandalan/kemungkinan menunjukan bahwa potensi likuifaksi sudah ada pada kedalaman 4m dengan presentasi yang kecil, dan semakin dalam potensi likuifaksi semakin besar. Adapun dibeberapa kejadian potensi terjadinya likuifaksi tetap ada, walaupun dari

segi faktor keamanan menunjukkan sudah aman, atau sebaliknya contohnya di DB 4.

SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian potensi likuifaksi ini, terdiri dari :

1. Lokasi penelitian yang berada di Bandara International Minangkabau memiliki potensi gempa bumi dikarenakan berada di pertemuan lempang serta adanya patahan. Kondisi tanah yang didominasi tanah pasir berupa pasir lepas menyebabkan penelitian ini memiliki potensi.
2. Gempa yang pernah terjadi merupakan gempa yang cukup besar dengan magnitudo (M_L) 7,9 SR dan percepatan puncak yang terjadi mencapai 0.28 g.
3. Adapun titik lokasi penelitian yang rentan terkena likuifaksi berada hampir semua titik pengujian dengan kedalaman lebih dari 8 meter, melingkupi daerah Apron, *Taxi Way* terminal kargo bandara. Peristiwa likuifaksi terjadi akibat siklik yang biasanya berupa gempa bumi. Diketuainya potensi dan titik lokasi yang rawan terjadi likuifaksi, diharapkan dapat mempertimbangkan bagaimana konstruksi yang baik serta mitigasi yang sesuai dengan kondisi tanah di lokasi penelitian.
4. Potensi likuifaksi berdasarkan metode N-SPT merupakan likuifaksi dalam, dengan kedalaman dari 8m lebih.
5. Potensi likuifaksi berdasarkan metode ideks keandalan menunjukkan bahwa potensi likuifaksi sudah ada pada kedalaman 4m dan semakin dalam potensi likuifaksi semakin besar. jadi potensi terjadinya likuifaksi tetap ada pada kedalaman 4m, walaupun dari segi faktor keamanan menunjukkan sudah aman atau $SF > 1$.
6. Beberapa upaya mitigasi yang dapat dilakukan, dapat berupa metode *stone coloum*, *Soil mixing*, dan pondasi yang

dimasukkan ke tanah yang kuat sehingga bebannya *friction* dan *end bearing* pada material keras, sehingga pada saat terjadi likuifaksi, tidak berpengaruh terhadap bangunan yang ada atasnya. Serta dapat melakukan perbaikan tanah dengan cara diberikan tumbukan kuat, sehingga material pasir yang lemah bias menjadi kuat dan tidak berpotensi terhadap likuifaksi. Upaya ini perlu dipertimbangkan terlebih dahulu agar dapat dilakukan mitigasi yang sesuai dengan kondisi tanah dan perencanaan yang akan didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, V. Tandaju, F. J. Manoppo, and J. H. Ticoh, "Analisis Potensi Likuifaksi (Studi Kasus: Pltu Area Gorontalo)," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 8, pp. 1081–1094, 2019, [Online]. Available: <http://puskim.pu.go.id>.
- Anderson, L.R; dkk. 1982. *Liquefaction Potential Map for Davis County. Utah*, Department of Civil and Environmental Engineering, Utah State University. Logan. Utah.
- Budiono, Kris; Rahrjo, Purnomo. 2008. *Karakteristik Endapan Sedimen Pantai Terhadap Likuifaksi di Kawasan Pesisir Pangandaran dan Sekitarnya, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat*. Jurnal Geologi, Volume 8 No 3. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan. Bandung.
- E. Mina, R. I. Kusuma, and S. Sudirman, "Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Spt (Studi Kasusproyek Pembangunan Gedung Baru Untirta Sindang Sari)," *J. Fondasi*, vol. 7, no. 1, pp. 11–21, 2018, doi: 10.36055/jft.v7i1.3298.
- Ishihara, Kenji; Yoshimine, Mitsutoshi. *Evaluation of Settlement in Sand Deposits Following Liquefaction*

- During. Soil and foundations Vol. 32, No. 1, 173-188. Society of Soil Mechanics and Foundations Engineering. Jepang.*
- Keputusan Menteri Perhubungan republik Indonesia. (2015). rencana induk Bandar Udara Menteri. *Rancangan Induk Badar Udara International Minangkabau Di Kabupaten Padang Pariaman Provinsi Sumatera Barat.*
- Kulhawy F.H; Mayne P.W.1990. *Manual On Estimating Soil Properties For Foundation Design.* Prentice Hall. New Jersey
- M.Idriss, I. (1997). 02. NCEERliqguide.pdf. *NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil.* Salt Lake City.
- M. Hutagalung and S. D. Tarigan, “Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus : Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan),” *Rekayasa Konstr. Mek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 15–33, 2019.
- Muntohar, Agus Setyo. 2010. *Laporan, Mikro-Zonasi dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi. Jurnal.* Universitas Muhammadiyah. Yogyakarta.
- Natawidjaja, D.H; 2003. *Neotectonics of the Sumatran fault and paleogeodesy of he Sumatran subduction zone. Ph.D thesis. California Institute of Technology (Caltech).*
- Nur Mustofa. (2010). Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya. *Jurnal Geografi, Departement Of Geography, Universitas Negeri Semarang*, 7(1), 66. Retrieved from https://journal.unnes.ac.id/artikel_nju/JG/92/93
- Pawirodikromo, Widodo. 2012. *Teknik & Rekayasa. Pustaka Pelajar.* Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Putra, Hendri Gusti; Hakam, Abdul; Dody. 2009. *Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian (Studi Kasus GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang).* Jurnal Sipil, Vol. 5 No. 1, Februari 2009, ISSN:1858-2133. Padang.
- Robertson, P.K; Wride, C.E. 1998. *Cyclic Liquefaction Potential Using The Cone Penetration Test. Journal.* 35: 442-459 (1998). Canada

PERBANDINGAN DAYA DUKUNG TIANG TUNGGAL BERDASARKAN BENTUK PONDASI MENGGUNAKAN DATA SPT DAN SONDIR

COMPARISON OF THE BEARING CAPACITY OF A SINGLE PILE BASED ON THE SHAPE OF THE FOUNDATION USING SPT AND SONDIR DATA

Ega Julia Fajarsari
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Gunadarma
egajulia@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Apabila pada suatu struktur bangunan, tanah dibawahnya tidak mampu memikul beban pondasi atau memiliki daya dukung yang rendah, maka akan terjadi penurunan yang tinggi sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan yang ada di atasnya. Dalam merencanakan pondasi untuk suatu konstruksi bangunan sangatlah penting untuk menganalisis daya dukung dari pondasi tersebut. Untuk dapat menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga. Penyelidikan tanah terbagi menjadi dua yaitu penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium. Ada beberapa penyelidikan tanah lapangan diantaranya yaitu penyelidikan Sondir dan Standard Penetration Test (SPT). Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perbandingan nilai daya dukung berdasarkan bentuk pondasinya yaitu persegi dan spun pile menggunakan data Standard Penetration Test (SPT) dan data Sondir. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai daya dukung yang lebih tinggi adalah nilai daya dukung pondasi tiang tunggal dengan bentuk persegi 30 x 30 cm baik menggunakan data SPT maupun sondir. Untuk nilai daya dukung tiang persegi yang diperoleh berdasarkan data SPT pada BH-1, BH-2 dan BH-3 masing – masing sebesar 55,58 ton, 58,61 ton dan 53,35 ton serta nilai daya dukung yang diperoleh berdasarkan data Sondir pada S-4, S-5 dan S-7 masing – masing sebesar 48,82 ton, 116,18 ton dan 30,91 ton. Untuk dimensi 40 cm nilai daya dukung yang lebih tinggi sama seperti sebelumnya yaitu tiang persegi baik menggunakan data SPT maupun sondir yaitu masing – masing sebesar 88,83 ton, 94,78 ton dan 84,58 ton untuk BH-1, BH-2 dan BH-3 serta 70,99 ton, 178,37 ton dan 46,78 ton untuk S-4, S-5 dan S-7. Nilai presentase selisih rata – rata antara tiang persegi 30 x 30 cm dan spun pile 30 cm sebesar 31,55 % sedangkan presentase selisih rata – rata antara tiang persegi 40 x 40 cm dan spun pile 40 cm sebesar 38,22 %.

Kata Kunci : Daya Dukung, Spun Pile, Tiang Persegi, SPT, Sondir

Abstract

If in a building structure, the soil below it is unable to carry the foundation load or has a low bearing capacity, there will be a high decrease so that it can cause damage to the existing building structure above. In planning the foundation for a building construction it is very important to analyze the bearing capacity of the foundation. To be able to produce an accurate bearing capacity, an accurate soil investigation is also needed. Soil investigations are divided into two, namely field and laboratory land investigations. There are several field investigations including the Sondir investigation and the Standard Penetration Test (SPT). The purpose of this study is to analyze the comparison of bearing capacity values based on the shape of its foundation, which is square and spun pile using Standard Penetration Test (SPT) data and sondir data. Based on the calculation results, a higher bearing capacity value is the bearing capacity of a single pile foundation with a rectangular shape of 30 x 30 cm using SPT and sondir data. For the bearing capacity of the square piles obtained based on SPT data on BH-1, BH-2 and BH-3 amounted to 55.58 tons, 58.61 tons and 53.35 tons respectively and the bearing capacity values were based on

Sondir data in S-4, S-5 and S-7 respectively 48.82 tons, 116.18 tons and 30.91 tons. For dimensions of 40 cm, the bearing capacity is the same as before, square piles using both SPT and sondir data, each of which is 88.83 tons, 94.78 tons and 84.58 tons for BH-1, BH-2 and BH-3 and 70.99 tons, 178.37 tons and 46.78 tons for S-4, S-5 and S-7. The average difference between the 30 x 30 cm square pole and 30 cm spun pile is 31.55% while the average percentage difference between the 40 x 40 cm square pole and 40 cm spun pile is 38.22%.

Keywords: Bearing Capacity, Spun Pile, Square Pile, SPT, Sondir

PENDAHULUAN

Konstruksi suatu bangunan secara umum terdiri dari dua bagian yaitu struktur bawah (*sub structure*) dan struktur atas (*upper structure*). Pondasi merupakan struktur bawah dari suatu bangunan yang merupakan pendukung utama sebuah struktur. Pondasi bangunan harus dapat memikul seluruh beban, yaitu beban bangunan dan beban lainnya yang termasuk dalam perhitungan serta meneruskannya ke dalam tanah. Apabila pada suatu struktur bangunan, tanah dibawahnya tidak mampu memikul beban pondasi atau memiliki daya dukung yang rendah, maka akan terjadi penurunan yang tinggi sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan yang ada di atasnya. Dalam merencanakan pondasi untuk suatu konstruksi bangunan sangatlah penting untuk menganalisis daya dukung dari pondasi tersebut. Untuk dapat menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga.

Pemilihan metode yang dapat digunakan untuk menghitung daya dukung tergantung pada parameter data tanah yang digunakan yaitu menggunakan metode berdasarkan data hasil pengujian dilapangan ataupun laboratorium. Metode perhitungan daya dukung berdasarkan data lapangan dapat menggunakan data hasil uji sondir ataupun *Standard Penetration Test* (SPT). Nova Juliana (2019) melakukan penelitian dengan menghitung daya dukung pondasi berdasarkan data yang didapat melalui uji sondir, SPT dan laboratorium. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai daya dukung yang diperoleh berdasarkan data SPT dan Sondir hampir sama besarnya, sedangkan pada hasil perhitungan daya

dukung berdasarkan data laboratorium terdapat perbedaan yang cukup signifikan, hal ini kemungkinan disebabkan oleh jenis tanah yang terdapat pada kedalaman tersebut merupakan jenis tanah granular, sehingga dalam pengambilan sampelnya sangat sulit dan cenderung terganggu. Besarnya nilai daya dukung tanah yang diperoleh sangat mempengaruhi pemilihan bentuk dan dimensi pada perencanaan pondasi agar perencanaan lebih aman dan efisien.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perbandingan nilai daya dukung berdasarkan bentuk pondasinya yaitu persegi dan lingkaran menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan data Sondir.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder, dimana data sekunder adalah sumber data yang diperoleh secara tidak langsung atau melalui media perantara (diperoleh dan dicatat oleh pihak lain). Data sekunder dalam penelitian ini berupa pengumpulan data hasil penyelidikan Sondir dan SPT pada proyek pembangunan mess pegawai daerah Kalimantan Barat.

Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Dimulai dari pengumpulan data sekunder berdasarkan hasil dari pengujian SPT dan Sondir. Dilanjutkan dengan perhitungan daya dukung tiang tunggal berdasarkan bentuknya yaitu tiang pancang persegi (30 x 30 cm dan 40 x 40 cm) dan *spun pile* (diameter 30 cm dan diameter 40 cm). Metode perhitungan daya dukung tiang

tunggal yang digunakan pada penelitian ini adalah *Metode Meyerhoff*.

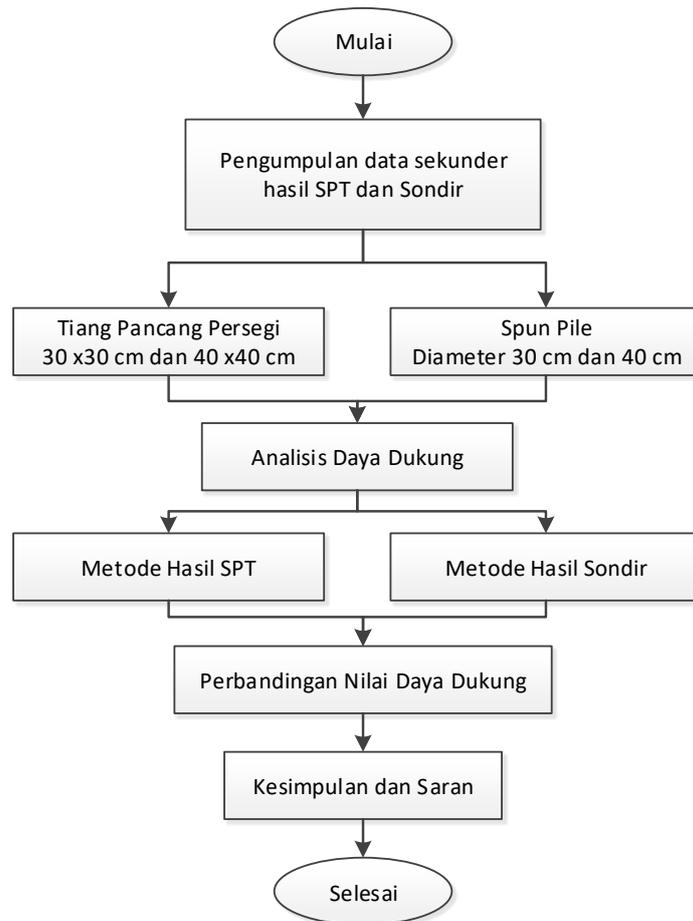
digunakan untuk perhitungan daya dukung tiang tunggal persegi dan lingkaran adalah sebagai berikut :

PEMBAHASAN

Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Berdasarkan Data SPT Menggunakan Metode Meyerhoff

Berdasarkan data BH-1, nilai N SPT dapat dilihat pada tabel 1. Data – data lain yang

1. Jenis Pondasi : Tiang Pancang Persegi dan *Spun Pile*
2. Dimensi Tiang Persegi : 30 x 30 cm
3. Diameter *Spun Pile* : 30 cm
4. Panjang Tiang : 9 m



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Nilai N SPT

KEDALAMAN (M)	NILAI N SPT
3	5
6	10
9	23
12	66

Berdasarkan metode Meyerhoff (1956), daya dukung ultimit tiang tunggal diperoleh menggunakan rumus :

$$Q_u = 40 N_b \cdot A_p + 0.2 N \cdot A_s$$

Dimana :

Q_u = daya dukung ultimit pondasi tiang pancang (ton)

N_b = harga N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_p = luas penampang dasar tiang (m^2)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

N = harga N-SPT rata rata

Jadi,

$$A_p = s \times s = 0,3 \times 0,3 = 0,09 \text{ m}^2$$

$$A_s = 4 \times s \times L = 4 \times 0,3 \times 9 = 10,8 \text{ m}^2$$

$$Q_u = (40 \times 23 \times 0,09) + (0,2 \times 26 \times 10,8) = 138,96 \text{ ton}$$

Kapasitas daya dukung ijin pondasi adalah sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} = \frac{138,96}{2,5} = 55,58 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan metode yang sama yaitu Meyerhoff (1956), daya dukung ultimit dan daya dukung ijin tiang tunggal lingkaran yang didapat sebesar :

$$A_p = \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 0,3^2\right)_{\text{Luar}} - \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 0,3^2\right)_{\text{Dalam}}$$

$$= 0,025 \text{ m}^2$$

$$A_s = 3,14 \times 0,3 \times 9 = 8,48 \text{ m}^2$$

$$Q_u = (40 \times 23 \times 0,025) + (0,2 \times 26 \times 8,48) = 67,48 \text{ ton}$$

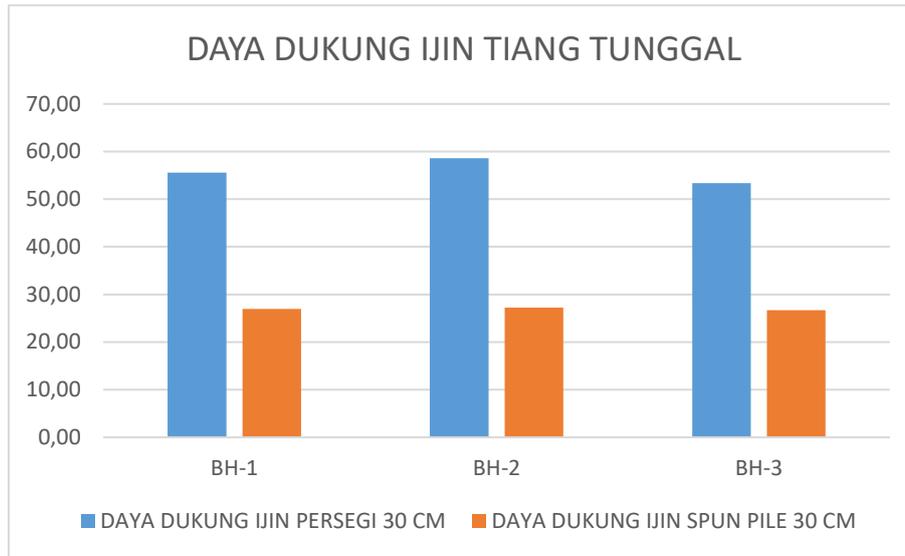
Kapasitas daya dukung ijin pondasi adalah sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} = \frac{67,48}{2,5} = 26,99 \text{ ton}$$

Rekapitulasi dan selisih perhitungan daya dukung ultimit dan daya dukung ijin tiang tunggal untuk bentuk persegi dan lingkaran dapat dilihat pada tabel 2, untuk grafik perbandingan nilai daya dukung ijin tiang tunggal dapat dilihat pada gambar 2.

Ta bel 2. Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Ultimit dan Daya Dukung Ijin Tiang Persegi 30 x 30 cm dan Spun Pile Diameter 30 cm

D a t a	N b	A _p (m ²)		L ()	A _s (m ²)		N - r a t a	Q _u (ton)		F K	Q _a (ton)	
		Spun Pile 30 cm	Pes egi 30 X 30 cm		Spun Pile 30 cm	Pes egi 30 X 30 cm		Spun Pile 30 cm	Pes egi 30 X 30 cm		Spun Pile 30 cm	Pes egi 30 X 30 cm
B H 1	2 3	0,025	0,09	9	8,478	10,8	26	67,48	138,96	2,5	26,99	55,58
B H 2	2 6	0,025	0,09	9	8,478	10,8	24,5	67,99	146,52	2,5	27,20	58,61
B H 2	2 1	0,025	0,09	9	8,478	10,8	26,75	66,72	133,38	2,5	26,69	53,35



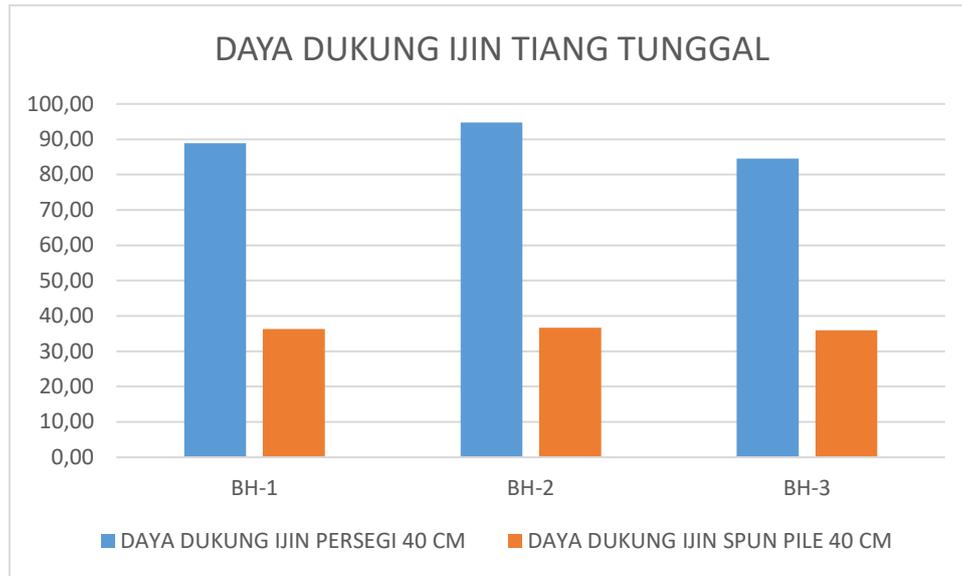
Gambar 2. Grafik Perbandingan Daya Dukung Ijin Tiang Persegi 30 x 30 cm dan *Spun Pile* Diameter 30 cm Berdasarkan Data SPT

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Ultimit dan Daya Dukung Ijin Tiang Persegi 40 x 40 cm dan *Spun Pile* Diameter 40 cm

D a t a	N	Ap (m ²)		L (m)	As (m ²)		Nra ta- rata	Qu (ton)		F K	Qa (ton)	
		Perse gi 40 cm	Spun Pile 40 cm		Perse gi 40 cm	Spun Pile 40 cm		Perse gi 40 cm	Spun Pile 40 cm			
B H 1	2 3	0,16	0,035	9	14,4	11,304	26	222,0 8	90,85	2 5	88,83	36,34
B H 2	2 6	0,16	0,035	9	14,4	11,304	24,5	236,9 6	91,64	2 5	94,78	36,66
B H 2	2 1	0,16	0,035	9	14,4	11,304	26,7 5	211,4 4	89,75	2 5	84,58	35,90

Untuk tiang pancang persegi 40 x 40 cm dan *spun pile* diameter 40 cm, rekapitulasi nilai daya dukung ultimit dan ijin dapat dilihat

pada tabel 3 dan dan grafik perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Daya Dukung Ijin Tiang Persegi 40 x 40 cm dan *Spun Pile* Diameter 40 cm Berdasarkan Data SPT

Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Berdasarkan Data Sondir Menggunakan Metode Meyerhoff

Berdasarkan data sondir S-4, data yang diperoleh pada lapisan pertama dengan kedalaman 3 meter adalah :

1. Jenis Pondasi :
Tiang Pancang Persegi dan *Spun Pile*
2. Dimensi Tiang Persegi : 30 x 30 cm
3. Diameter *Spun Pile* : 30 cm
4. Panjang Tiang : 9 m
5. Perlawanan penetrasi konus (q_c) : 25 kg/cm²
6. Jumlah Hambatan Pelekat (JHP) : 200 kg/cm

Kapasitas daya dukung pondasi tiang tunggal (Q_u) adalah sebagai berikut :

$$Q_{ultimate} = (q_c \times A_p) + (J.H.P \times K)$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Tiang Persegi } (A_p) &= s \times s \\ &= 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling Tiang} &= 4 \times s \\ &= 4 \times 30 = 120 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi, kapasitas daya dukung ultimit (Q_u) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{ultimate} &= (25 \times 900) + (200 \times 120) \\ &= 46500 \text{ kg} = 46,5 \text{ ton} \end{aligned}$$

Sedangkan kapasitas daya dukung ijin (Q_a) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{(q_c \times A_p)}{3} + \frac{(J.H.P \times K)}{5} \\ &= \frac{(25 \times 900)}{3} + \frac{(200 \times 120)}{5} \\ &= 12300 \text{ kg} = 12,3 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk lapisan 2 sampai dengan lapisan 4 serta untuk daya dukung ijin tiang tunggal berdasarkan data sondir yang lain dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Dengan menggunakan metode yang sama yaitu Meyerhoff, daya dukung ultimit dan daya dukung ijin *Spun Pile* pada lapisan pertama yang didapat sebesar :

$$\begin{aligned}
 A_p &= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 30^2\right)_{\text{Luar}} - \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 30^2\right)_{\text{Dalam}} \\
 &= 254,34 \text{ cm}^2 \\
 K &= 3,14 \times 30 \\
 &= 94,2 \text{ m}^2 \\
 Q_{\text{ultimate}} &= (25 \times 254,34) + (200 \times 94,2) \\
 &= 25198,5 \text{ kg} = 25,1985 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_a &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{25,1985}{2,5} = 5,89 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Untuk lapisan 2 sampai dengan lapisan 4 serta untuk daya dukung ijin tiang tunggal berdasarkan data sondir yang lain dapat dilihat pada tabel 5 serta grafik perbandingan nilai daya dukung ijin tiang tunggal dapat dilihat pada Gambar 4

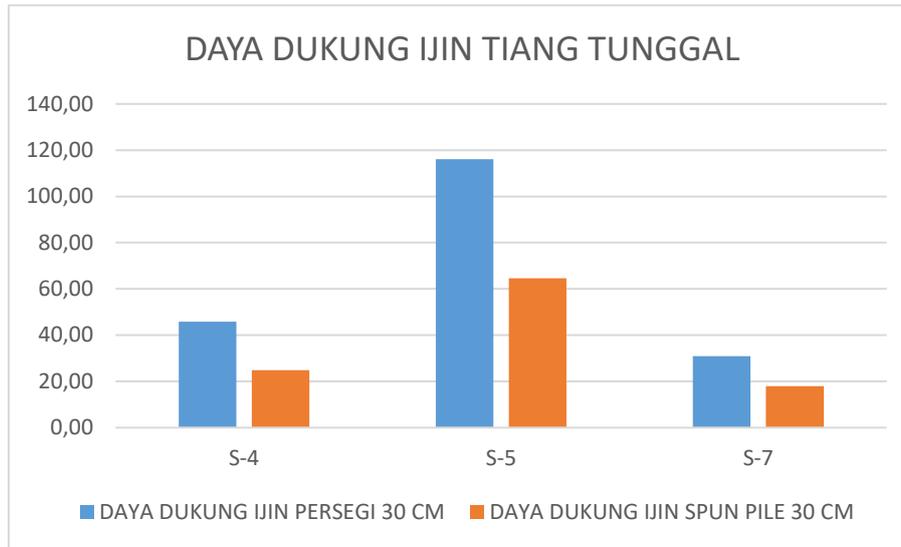
Kapasitas daya dukung ijin pondasi adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Daya Dukung Ultimit dan Daya Dukung Ijin Tiang Tunggal Persegi 30 x 30 cm Lapisan 2 sampai Lapisan 4

Lapisan (kedalaman)	S-4		S-5		S-7		S-4	S-5	S-7
	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	Qa (ton)	Qa (ton)	Qa (ton)
1 (3m)	25	200	95	1154	9	188	12,30	56,20	7,21
2 (6m)	12	510	110	2544	18	400	15,84	94,06	15,00
3 (9m)	40	992	250	3424	40	768	35,81	157,18	30,43
4 (12m)	220	2222	250	3424	100	1708	119,33	157,18	70,99
	Qu rata – rata (ton)						184,55	475,01	129,50
	Qa rata – rata (ton)						45,82	116,15	30,91

Tabel 5. Daya Dukung Ultimit dan Daya Dukung Ijin Spun Pile Diameter 30 cm

Lapisan (kedalaman)	S-4		S-5		S-7		S-4	S-5	S-7
	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm)	Qa (ton)	Qa (ton)	Qa (ton)
1 (3m)	25	200	95	1154	9	188	6,53	31,13	4,21
2 (6m)	12	510	110	2544	18	400	9,76	55,37	8,80
3 (9m)	40	992	250	3424	40	768	21,21	88,12	17,62
4 (12m)	220	2222	250	3424	100	1708	64,89	88,12	40,66
	Qu rata - rata (ton)						111,29	293,19	82,78
	Qa rata – rata (ton)						24,78	64,61	17,97



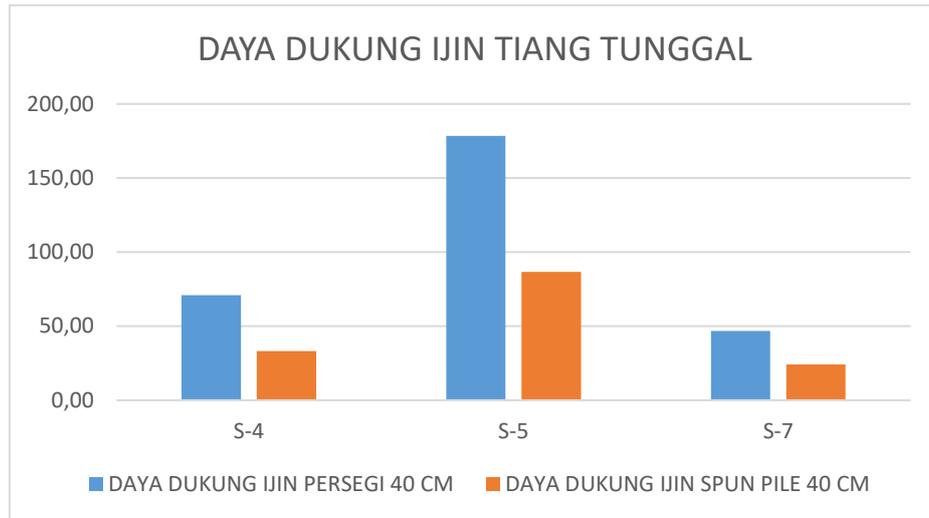
Gambar 4. Grafik Perbandingan Daya Dukung Ijin Tiang Persegi 30 x 30 cm dan Spun Pile Diameter 30 cm Berdasarkan Data Sondir

Tabel 6. Daya Dukung Ultimit dan Daya Dukung Ijin Tiang Persegi 40 x 40 cm

Lapisan (kedalaman)	S-4		S-5		S-7	
	Qu (ton)	Qa (ton)	Qu (ton)	Qa (ton)	Qu (ton)	Qa (ton)
1 (3m)	72,00	19,73	336,64	87,59	44,48	10,82
2 (6m)	100,80	22,72	583,04	140,07	92,80	22,40
3 (9m)	222,72	53,08	947,84	242,90	186,88	45,91
4 (12m)	707,52	188,44	947,84	242,90	433,28	107,99
Qu rata - rata	275,76		703,84		189,36	
Qa rata - rata	70,99		178,37		46,78	

Tabel 7. Daya Dukung Ultimit dan Daya Dukung Ijin Spun Pile Diameter 40 cm

Lapisan (kedalaman)	S-4		S-5		S-7	
	Qu (ton)	Qa (ton)	Qu (ton)	Qa (ton)	Qu (ton)	Qa (ton)
1 (3m)	26,00	6,53	130,32	31,13	18,64	4,21
2 (6m)	45,60	9,76	247,52	55,37	39,20	8,80
3 (9m)	95,36	21,21	373,92	88,12	77,44	17,62
4 (12m)	265,76	64,89	373,92	88,12	176,64	40,66
Qu rata - rata	149,09		392,57		110,76	
Qa rata - rata	33,27		86,71		24,09	



Gambar 5. Grafik Perbandingan Daya Dukung Ijin Tiang Persegi 40 x 40 cm dan *Spun Pile* Diameter 40 cm Berdasarkan Data Sondir

Untuk rekapitulasi nilai daya dukung ultimit dan ijin tiang pancang persegi 40 x 40 cm dan *spun pile* diameter 40 cm, dapat dilihat pada tabel 6 dan 7, sedangkan grafik perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 5.

Perbandingan Nilai Daya Dukung Ijin Tiang Tunggal Persegi dan Spun Pile Berdasarkan Data SPT dan Sondir

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai daya dukung ijin yang lebih tinggi adalah nilai daya dukung pondasi tiang tunggal dengan bentuk persegi 30 x 30 cm baik menggunakan data SPT maupun sondir.

Untuk nilai daya dukung ijin tiang persegi yang diperoleh berdasarkan data SPT pada BH-1, BH-2 dan BH-3 masing – masing sebesar 55,58 ton, 58,61 ton dan 53,35 ton. Untuk nilai daya dukung ijin yang diperoleh berdasarkan data Sondir pada S-4, S-5 dan S-7

masing – masing sebesar 48,82 ton, 116,18 ton dan 30,91 ton. Presentase selisih antara tiang persegi 30 x 30 cm dan *spun pile* diameter 30 cm berdasarkan data SPT dan Sondir dapat dilihat pada tabel 8.

Untuk tiang persegi dimensi 40 x 40 cm dan *spun pile* diameter 40 cm nilai daya dukung ijin yang lebih tinggi sama seperti sebelumnya yaitu nilai daya dukung pondasi tiang tunggal dengan bentuk persegi baik menggunakan data SPT maupun sondir yaitu masing – masing sebesar 88,83 ton, 94,78 ton dan 84,58 ton untuk BH-1, BH-2 dan BH-3. Untuk nilai daya dukung ijin yang diperoleh berdasarkan data Sondir pada S-4, S-5 dan S-7 masing – masing sebesar 70,99 ton, 178,37 ton dan 46,78 ton. Presentase selisih antara tiang persegi 40 x 40 cm dan *spun pile* diameter 40 cm berdasarkan data SPT dan Sondir dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 8. Presentase Selisih Antara Tiang Persegi 30 x 30 cm dan *Spun Pile* Diameter 30 cm

DATA	PRESENTASE SELISIH (%)
BH-1	34,62
BH-2	36,61
BH-3	33,31

S-4	29,81
S-5	28,51
S-7	26,47

Tabel 9. Presentase Selisih Antara Tiang Persegi 40 x 40 cm dan *Spun Pile* Diameter 40 cm

DATA	PRESENTASE SELISIH (%)
BH-1	41,94
BH-2	44,22
BH-3	40,40
S-4	36,18
S-5	34,58
S-7	32,01

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai daya dukung ijin pondasi tiang tunggal dengan bentuk persegi 30 x 30 cm menggunakan data SPT pada BH-1, BH-2 dan BH-3 masing – masing sebesar 55,58 ton, 58,61 ton dan 53,35 ton. Untuk nilai daya dukung ijin yang diperoleh berdasarkan data Sondir pada S-4, S-5 dan S-7 masing – masing sebesar 48,82 ton, 116,18 ton dan 30,91 ton. Sedangkan nilai daya dukung ijin pondasi *spun pile* diameter 30 cm menggunakan data SPT pada BH-1, BH-2 dan BH-3 masing – masing sebesar 26,99 ton, 27,20 ton dan 26,69 ton. Untuk nilai daya dukung ijin yang diperoleh berdasarkan data Sondir pada S-4, S-5 dan S-7 masing – masing sebesar 24,78 ton, 64,61 ton dan 17,97 ton.

Nilai daya dukung ijin pondasi tiang tunggal dengan bentuk persegi 40 x 40 cm menggunakan data SPT pada BH-1, BH-2 dan BH-3 masing – masing sebesar 88,83 ton, 94,78 ton dan 84,58 ton. Untuk nilai daya dukung ijin yang diperoleh berdasarkan data Sondir pada S-4, S-5 dan S-7 masing – masing sebesar 70,99 ton, 178,37 ton dan 46,78 ton. Sedangkan nilai daya dukung ijin pondasi *spun pile* diameter 40 cm menggunakan data SPT pada BH-1, BH-2 dan BH-3 masing – masing sebesar 36,34 ton, 36,66 ton dan 35,90 ton.

Untuk nilai daya dukung ijin yang diperoleh berdasarkan data Sondir pada S-4, S-5 dan S-7 masing – masing sebesar 33,27 ton, 86,71 ton dan 24,09 ton.

Nilai daya dukung ijin yang lebih tinggi adalah nilai daya dukung pondasi tiang tunggal dengan bentuk persegi baik menggunakan data SPT maupun sondir dengan presentase selisih rata – rata antara tiang persegi 30 x 30 cm dan *spun pile* 30 cm sebesar 31,55 % sedangkan presentase selisih rata – rata antara tiang persegi 40 x 40 cm dan *spun pile* 40 cm sebesar 38,22 %.

Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan parameter pembandingan yaitu daya dukung yang didapat dari hasil pengujian langsung dilapangan seperti *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan *Loading Test* serta ditambahkan analisisnya hingga menghitung daya dukung kelompok tiang dan penurunan kelompok tiang dengan bentuk tiang pancang yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin, Zainul. (2007). *Komparasi Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal Dihitung dengan Beberapa Metode Analisis*. Universitas Diponegoro. Semarang.

- Harahap, Dodi Jurkanda. (2012). Analisis Perbandingan Daya Dukung Antara Hasil *Loading Test Bore Pile* Diameter Satu Meter Tunggal dari Jembatan Fly Over Amplas dengan Metode Elemen Hingga. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Hardiyatmo, H.C. (2011). *Fondasi II. Edisi Kelima*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Juliana, Nova & Tarbiyatno. (2019). Hubungan Daya Dukung Tanah Berdasarkan Hasil Sondir, SPT dan Laboratorium Pada Rencana Pembangunan Gedung Multi Lantai Di Lokasi Balige. *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*. Vol. 5, No.2, 45- 49, ISSN-E : 2477-4901, ISSN-P: 2477-4898. Desember 2019.
- Prabowo, Audhie Aditya, Dika Adytia Pratama & Putera Agung Maha Agung. (2019). Perbandingan Daya Dukung Antara Pondasi Tiang Pancang dengan Pondasi Bor. *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta*.
- Randyanto, Eko Seftian, Josef. E. R. Sumampouw & Sjachrul Balamba. (2015). Analisis Daya Dukung Tiang Pancang dengan Menggunakan Metode Statik dan Calendring, Studi Kasus : Proyek Pembangunan Manado Town Square 3. *Jurnal Sipil Statik*. Vol.3 No.9 September 2015 (631-643) ISSN: 2337-6732,
- Tambunan, Jhonson. (2012). Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang. *Jurnal Rancang Sipil Volume 1 Nomor 1*. Desember 2012. Universitas Simalungun
- Yusti, Andi & Ferra Fahriani. (2014). Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi dengan Hasil Uji *Pile Driving Analyzer Test* dan *Capwap* (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel Di Pangkalpinang). *Jurnal Fropil*. Vol 2 Nomor 1. Januari-Juni 2014. Bangka Belitung.

ANALISIS PENGOPERASIAN *TOWER CRANE* UNTUK PEKERJAAN PENGECORAN STRUKTUR KOLOM

ANALYSIS OF THE TOWER CRANE OPERATION FOR THE CASTING WORK OF THE COLUMN STRUCTURE

Andi Asnur Pranata M. H.
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma
andiforjournal@gmail.com

Abstrak

Tower Crane merupakan jenis *excavator* yang diberi suatu *attachment* yang berupa *boom*, dengan bantuan kabel baja kemudian digerakkan dengan generator. Penggunaan *tower crane* ini umumnya pada pekerjaan pembangunan gedung bertingkat. Masalah yang biasa dihadapi dalam pengoperasian *tower crane* adalah biaya pengoperasian yang cukup mahal baik biaya sewa maupun biaya operasional. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menganalisis pengoperasian *tower crane* untuk pekerjaan pengecoran struktur kolom. Pada penulisan ini, penulis akan mencoba menghitung durasi penggunaan *tower crane* berdasarkan spesifikasi *tower crane*, jarak *tower crane* dari sumber tujuan, jarak tempuh, dan waktu siklus. Dengan memperkirakan durasi tersebut, maka diharapkan dapat memperkirakan waktu pengoperasian *tower crane* secara keseluruhan. Untuk penelitian ini akan fokus pada pekerjaan pengecoran struktur kolom untuk satu lantai dan untuk satu tipe kolom, dikarenakan keterbatasan waktu pengamatan dilapangan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengamatan langsung dilapang, untuk mendapatkan data spesifikasi *tower crane*, data gambar denah kolom, dan waktu siklus untuk mendapatkan besaran waktu yang dibutuhkan untuk mengikat dan melepas, serta informasi-informasi yang berkaitan dengan penelitian ini. Berdasarkan hasil pembahasan, didapatkan untuk kebutuhan durasi pengoperasian *tower crane* pada pekerjaan pengecoran untuk tipe kolom K1 sebanyak 58 kolom, dapat diselesaikan dalam waktu 672,33 menit. Namun waktu tersebut tidak termasuk apabila terjadi beberapa kendala dalam pengoperasian *tower crane* selama di lapangan, seperti kendala cuaca buruk, bencana alam, kerusakan dan lain-lain yang dapat terjadi pada saat pelaksanaan di lapangan.

Kata Kunci : *Tower Crane*, Kolom, Pengecoran, Waktu Siklus, Waktu Tempuh

Abstract

The tower crane is a type of excavator that has an attachment namely a boom, with the help of steel cables, and it is moved by a generator. Generally, tower cranes are used in multi-storey building constructions. The most commonly problems faced in the tower crane operations are the operating costs are quite expensive, both its rent and operational costs. The purpose of this research is to analyze the tower crane operations for casting works of column structures. In this research, the researcher will try to calculate the duration of the tower crane use based on the tower crane's specifications, the tower crane's distance from the destination location, the distance time and the cycle time. By considering that duration, it is expected to be able to estimate the whole operating times of the tower crane. This research will only focus on the casting work of the column structure for one floor and for one type of a column, due to the limited time for field observations. The method used in this research is doing a direct observation in the field to obtain data of the tower crane's specifications, data of the column blueprint, and data of the cycle times to obtain the amount of time required to tie and remove, and the related information to this

research. Based on the discussion results, it is found that the required duration of the tower crane operation on the casting work for the K1 column types which are 58 columns, could be completed in 672.33 minutes. However, that time did not include the time when there are some obstacles in the tower crane operations in the field, such as bad weather, natural disasters, some damages and others that can occur during its implementation in the field.

Keywords: Tower Crane, Column, Casting, Cycle Time, Travel Time

PENDAHULUAN

Tower Crane merupakan jenis *excavator* yang diberi suatu *attachment* yang berupa *boom*, dengan bantuan kabel baja kemudian digerakkan dengan generator. Alat ini dapat mengangkat/memindahkan material dari elevasi rendah ke elevasi yang lebih tinggi demikian juga sebaliknya. Pada saat tertentu alat ini digunakan untuk memindahkan material dari truk ke barak kerja. Penggunaan *tower crane* ini umumnya pada pekerjaan pembangunan gedung bertingkat, namun pada proyek lainnya tidak tertutup kemungkinan untuk menggunakan *tower crane*. Penggunaan alat ini sangat dominan pada pekerjaan struktur, hal ini disebabkan material yang di angkat relatif berat dibanding dengan material *finishing* atau material mekanikal dan elektrikal.

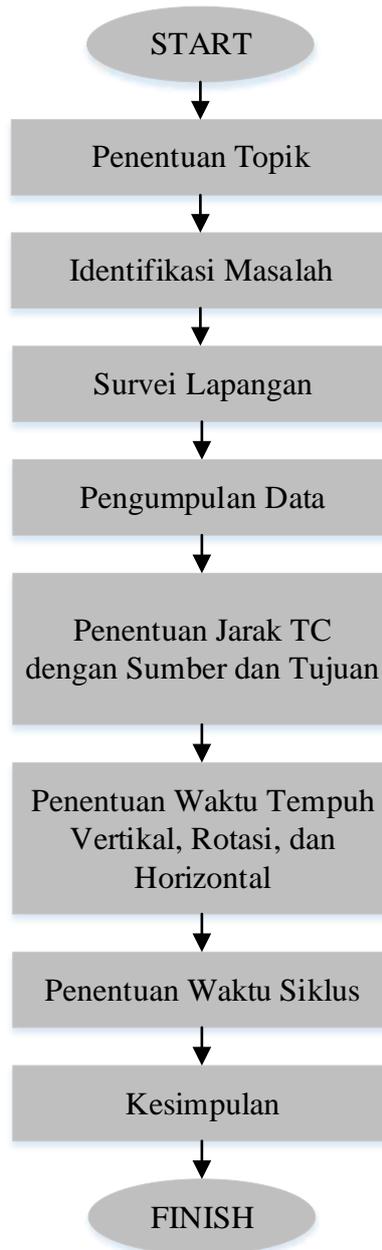
Masalah yang biasa dihadapi oleh kontraktor dalam pengoperasian *tower crane* adalah biaya pengoperasiannya yang cukup mahal baik biaya sewa maupun biaya operasional, dan juga efektivitas pengoperasian *tower crane* terhadap kinerja proyek. Hal ini dapat menyebabkan pemborosan biaya pada pengoperasian *tower crane* dan juga keterlambatan jalannya suatu proyek, maka perlu suatu perencanaan mengenai efektivitas pengoperasian *tower crane*.

Berdasarkan uraian diatas, maka tujuan dari penulisan ini adalah untuk menganalisis

pengoperasian *tower crane* untuk pekerjaan pengecoran struktur kolom. Pada penulisan ini, penulis akan mencoba menghitung durasi penggunaan *tower crane* berdasarkan spesifikasi *tower crane*, jarak *tower crane* dari sumber tujuan, jarak tempuh, dan waktu siklus. Dengan memperkirakan durasi pengoperasian *tower crane*, maka diharapkan dapat memperkirakan waktu pengoperasian *tower crane* secara keseluruhan. Untuk cara perhitungan setiap masing-masing item pekerjaan akan berbeda dan keterbatasan waktu pengamatan dilapangan, maka untuk penelitian ini akan fokus pada pengoperasian *tower crane* pada pekerjaan pengecoran struktur kolom untuk satu lantai dan untuk satu tipe kolom.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian digunakan untuk menentukan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengamatan langsung dilapang, untuk mendapatkan data spesifikasi *tower crane*, data gambar denah kolom, dan waktu siklus untuk mendapatkan besaran waktu yang dibutuhkan untuk mengikat dan melepas, serta informasi-informasi yang berkaitan dengan penelitian ini. Untuk diagram alir atau tahapan dalam melakukan penelitian ini, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produktivitas *Tower Crane*

Secara umum produktivitas adalah produksi atau hasil kerja (*output*) dibagi dengan satuan kerja sumber daya manusia atau alat (*input*).

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

Produktivitas alat adalah hasil kerja dari sebuah alat persatuan waktu. Satuan produktivitas *tower crane* tergantung pada pekerjaan yang dilakukan. Produktivitas *tower crane* sangat dipengaruhi oleh siklus waktu. Waktu siklus adalah waktu tempuh yang diperlukan *tower crane* untuk melakukan satu kali putaran yang terdiri dari gerakan bertikal

(*hoist*), horizontal (*trolley*), dan berputar (*swing*), dimana ketiga gerakan utama ini terdiri dari enam tahapan pekerjaan, yaitu mengikat, mengangkat, memutar, menurunkan, dan melepaskan sampai kembali lagi menuju lokasi awal. Waktu siklus meliputi waktu tetap (*fixed time*) dan waktu variabel (*variable time*). Waktu tetap meliputi waktu mengikat dan melepas yang tergantung pada jenis material yang diangkat, untuk setiap pekerjaan memiliki waktu tetap yang berbeda, misalnya waktu untuk mengikat tulangan berbeda dengan waktu untuk mengikat bekisting. Waktu variabel tulangan pada jarak tempuh *tower crane* yaitu waktu tempuh vertikal tergantung tinggi angkat, waktu tempuh rotasi tergantung sudut putar, dan waktu tempuh horizontal tergantung pada jarak titik tujuan dari sumber.

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produktivitas *Tower Crane*

Faktor – faktor yang mempengaruhi produktivitas alat *tower crane*, antara lain:

- a. Kondisi Alat
Produktivitas *tower crane* sangat dipengaruhi oleh umur alatnya. Apabila umur alat *tower crane* tersebut telah melebihi umurnya, maka produktivitasnya akan lebih rendah dari *tower crane* yang umurnya lebih baru. Agar *tower crane* tetap dalam kondisi yang baik, maka perlu dilakukan perawatan/pemeriksaan yaitu minimal sebulan sekali.
- b. Kondisi Lapangan
Kondisi lapangan juga merupakan salah satu yang sangat mempengaruhi produktivitas *tower crane*. Kondisi lapangan yang tidak baik akan menurunkan produktivitas suatu *tower crane*.
- c. Kondisi Manajemen
Kondisi manajemen juga akan sangat berpengaruh pada produktivitas *tower crane*. Apabila kondisi manajemen

dalam suatu proyek berjalan dengan baik dan teratur sesuai dengan perencanaan yang baik maka akan meningkatkan produktivitas *tower crane* selama proyek berlangsung. Namun apabila kondisi manajemen dalam suatu proyek tidak berjalan dengan baik dan teratur sesuai dengan perencanaan yang baik, maka akan menurunkan produktivitas *tower crane* selama proyek berlangsung.

- d. Kemampuan Operator
Kemampuan operator merupakan hal yang sangat penting terhadap pengoperasian *tower crane* agar pengoperasian *tower crane* berjalan dengan aman dan ekonomis, maka operator *tower crane* harus memiliki keahlian dalam mengoperasikan dan mengetahui mekanisme kerja *tower crane*. Pemilihan operator *tower crane* juga dipilih berdasarkan persyaratan-persyaratan yang berlaku dan operator *tower crane* juga harus memiliki Surat Izin Operator atau yang biasa lebih dikenal dengan sebutan SIO. Operator yang telah memiliki Surat Izin Operator (SIO) merupakan operator yang telah memiliki kemampuan yang teruji berdasarkan persyaratan-persyaratan yang telah ditentukan. Selama pengoperasian *tower crane* berlangsung, operator tidak diperbolehkan merokok, makan, membaca ataupun hal-hal yang dapat mengganggu konsentrasi operator selama pengoperasian *tower crane* berlangsung, sebab operator harus konsentrasi dengan baik agar dapat berkomunikasi dengan baik dengan mandor/pengarah yang berada di lapangan.

Perhitungan Waktu Pengoperasian *Tower Crane*

Untuk perhitungan waktu pengoperasian *tower crane* akan membutuhkan data-data yang diperoleh dari hasil pengamatan di lapangan, manual *tower crane* yang digunakan, wawancara pada bagian yang bertanggung jawab dalam penggunaan alat berat, dan mencari literatur mengenai perhitungan waktu pengoperasian *tower crane*.

a. Spesifikasi *Tower Crane*

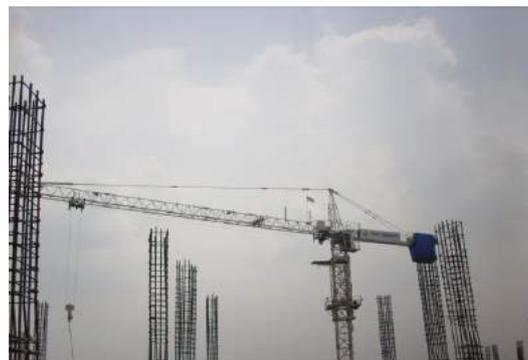
Tower crane yang digunakan pada studi kasus ini adalah merk Topkit FO/23B. Untuk spesifikasi dari *tower crane* merk Topkit FO/23B pada Tabel 1

b. Jarak *Tower Crane* dari Sumber ke Tujuan

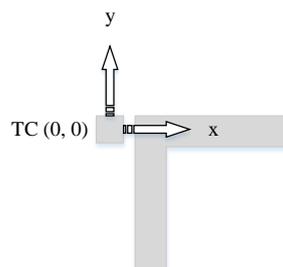
Penempatan *tower crane* pada proyek studi kasus ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Koordinat sumber pengangkatan campuran beton untuk pengecoran kolom dapat dilihat pada Gambar 4

Tabel 1. Spesifikasi *Tower Crane* merk Topkit FO/23B

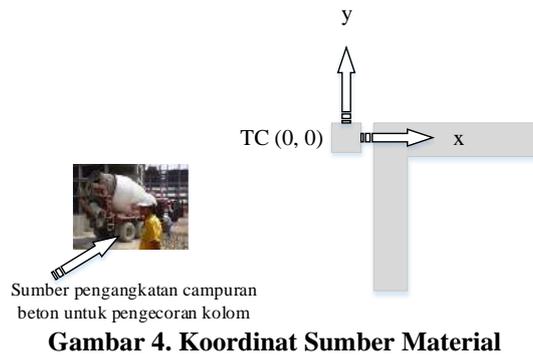
Jenis Tower Crane	Panjang jib (m)	Kec. Trolley (m/min)		Kec. Hoist (m/min)		Kec. Slewing (rpm)	
		Tercepat	Terlambat	Tercepat	Terlambat	Tercepat	Terlambat
TOPKIT FO/23B	50	57	20	80	40	0,7	0,7



Gambar 2. *Tower Crane* merk Topkit FO/23B



Gambar 3. Titik Pusat Koordinat



Koordinat tujuan disesuaikan dengan jenis pekerjaan yang akan dilakukan, yaitu koordinat pengecoran kolom. Dimensi kolom digunakan untuk menghitung volume dan berat campuran beton. Pada pekerjaan pengecoran, data tersebut akan digunakan untuk mengetahui berapa kali *tower crane*

akan mengangkat campuran beton untuk menyelesaikan setiap jenis kolom.

Ukuran *bucket* yang digunakan adalah 1 m³ dengan volume yang terisi sebanyak 0,8 m³. Untuk data kolom berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Kolom

Tipe	Ukuran		Luas (m ²)	Jumlah (buah)
	b	h		
K1	0,40	0,80	0,32	58
K2	0,45	0,45	0,20	20

1) Jarak *Tower Crane* ke Sumber (D1)

Contoh perhitungan titik sumber:

X1 = Koordinat arah x dari TC ke Sumber = 23.500 mm

Y1 = Koordinat arah y dari TC ke Sumber = 12.240 mm

$$D1 = \sqrt{23.500^2 + 12.240^2} = 26.497 \text{ mm} = 2.650 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tempuh Vertikal Angkat} &= \text{Total Angkut} \times \frac{\text{Jarak Tempuh Vertikal}}{\text{Kecepatan Hoist Terlambat}} \\ &= 135 \times \frac{4,80}{40} = 16,2 \text{ menit} \end{aligned}$$

2) Jarak *Tower Crane* ke Tujuan (D2)

Contoh perhitungan titik tujuan K1 :

X2 = Koordinat arah x dari TC ke Tujuan = 18.300 mm

Y2 = Koordinat arah y dari TC ke Tujuan = 6.800 mm

$$D2 = \sqrt{18.300^2 + 6.800^2} = 38.899 \text{ mm} = 3.890 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tempuh Vertikal Kembali} &= \text{Total Angkut} \times \frac{\text{Jarak Tempuh Vertikal}}{\text{Kecepatan Hoist Tercepat}} \\ &= 135 \times \frac{4,80}{80} = 8,1 \text{ menit} \end{aligned}$$

3) Luas Kolom

Perhitungan luas kolom :

Luas Kolom = K1 + K2

$$= (0,32 \times 58) + (0,20 \times 20)$$

$$= 18,56 + 4,00$$

$$= 22,56 \text{ m}^3$$

2) Jarak Tempuh Rotasi

Contoh perhitungan titik tujuan K1 :

$$\begin{aligned} D3 &= \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2} \\ &= \sqrt{(38.300 - 23.500)^2 + (6.800 - 12.240)^2} \\ &= 15,768 \text{ mm} = 1,577 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{D1^2 + D2^2 - D3^2}{2 \times D1 \times D2} \\ &= \frac{2.650^2 + 3.890^2 - 1.577^2}{2 \times 2.650 \times 3.890} \\ &= 0,954 \end{aligned}$$

c. Jarak Tempuh

1) Jarak Tempuh Vertikal

Contoh perhitungan titik tujuan K1 :

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tempuh Vertikal} &= \text{Ketinggian Lantai Tujuan} + \text{Tinggi Tambahan} \\ &= (0,00 - 0,00) + 4,80 \\ &= 4,80 \end{aligned}$$

$$\alpha = 1,26 \text{ radian}$$

Volume Total = Luas Kolom x Elevasi (L2 - L1)

$$= 22,56 \times (4,80 - 0,00)$$

$$= 108,29$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tempuh Rotasi Angkat} &= \frac{\alpha}{\text{Kecepatan Slewing Terlambat}} \times \text{Luas Kolom} \\ &= \frac{1,26}{0,7} \times 0,32 = 0,58 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\text{Total Angkut} = \frac{\text{Volume Total}}{\text{Kapasitas Bucket}}$$

$$= \frac{108,29}{0,8} = 135$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tempuh Rotasi Kembali} &= \frac{\alpha}{\text{Kecepatan Slewing Tercepat}} \times \text{Luas Kolom} \\ &= \frac{1,26}{0,7} \times 0,32 = 0,58 \text{ menit} \end{aligned}$$

3) Jarak Tempuh Horizontal

Contoh perhitungan titik tujuan K1 :

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tempuh Horizontal} &= |D1 - D2| \\ &= |2.650 - 3.890| \\ &= 1.240 \text{ cm} = 12.40 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tempuh Horizontal Angkat} &= \frac{\text{Jarak Tempuh Horizontal}}{\text{Kecepatan Trolley Terlambat}} \times \text{Luas Kolom} \\ &= \frac{12,40}{20} \times 0,32 = 0,20 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tempuh Horizontal Kembali} &= \frac{\text{Jarak Tempuh Horizontal}}{\text{Kecepatan Trolley Tercepat}} \times \text{Luas Kolom} \\ &= \frac{12,40}{57} \times 0,32 = 0,07 \text{ menit} \end{aligned}$$

d. Waktu Siklus

Waktu siklus dihitung berdasarkan *Fixed Time* dan *Variable Time*. *Fixed Time* adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk mengikat (T ikat) dan melepas (T lepas), yang didapatkan dari hasil pengamatan di lapangan. *Variable Time* adalah waktu tempuh yang tergantung dari jarak sumber dan tujuan, terdiri dari waktu tempuh vertical, rotasi, dan horizontal. Untuk rata-rata waktu ikat dan lepas dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Rata-Rata Waktu Ikat dan Lepas

<i>Fixed Time</i>	Waktu Ikat (T Ikat)		Waktu Lepas (T Lepas)	
	menit	detik	menit	detik
Pengecoran Kolom	1	10	1	35

$$\begin{aligned} \text{Waktu Siklus Angkat} &= \text{Waktu Vertikal Angkat} + \left[\left(\frac{\text{Total Waktu Rotasi Angkat}}{\text{Vol. Bucket}} \right) + \left(\frac{\text{Total Waktu Horizontal Angkat}}{\text{Vol. Bucket}} \right) \right] \times (\text{Elevasi L2} - \text{L1}) \\ &= 16,2 + \left[\left(\frac{33,64}{0,8} \right) + \left(\frac{11,60}{0,8} \right) \right] \times (4,88 - 0,00) \\ &= 292,16 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Siklus Kembali} &= \text{Waktu Vertikal Kembali} + \left[\left(\frac{\text{Total Waktu Rotasi Kembali}}{\text{Vol. Bucket}} \right) + \left(\frac{\text{Total Waktu Horizontal Kembali}}{\text{Vol. Bucket}} \right) \right] \times (\text{Elevasi L2} - \text{L1}) \\ &= 8,1 + \left[\left(\frac{33,64}{0,8} \right) + \left(\frac{4,06}{0,8} \right) \right] \times (4,88 - 0,00) \\ &= 238,07 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Siklus Total} &= \text{Waktu Siklus Angkat} + \text{Waktu Siklus Kembali} + [(T \text{ Ikat} + T \text{ Lepas}) \times \text{Total Angkut K1}] \\ &= 292,16 + 238,07 + [(1,10 + 1,35) \times 58] \\ &= 672,33 \text{ menit} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan durasi penggunaan *tower crane* untuk pekerjaan pengecoran kolom K1, maka kita dapat menghitung pekerjaan pengecoran kolom K2 dengan cara yang sama.

Dari hasil perhitungan mengenai durasi pengoperasian *tower crane* untuk pekerjaan pengecoran kolom K1, maka dapat diperkirakan untuk durasi pengoperasian *tower crane* pada pekerjaan tersebut.

Namun hasil perhitungan tersebut tidak dapat dijadikan suatu kepastian yang tepat, hanya saja dapat dijadikan sebagai perhitungan kotor mengenai durasi untuk pekerjaan

pengecoran kolom K1 sebanyak 58 kolom yang dapat diselesaikan dalam waktu 672,33 menit. Hal tersebut juga tidak termasuk apabila terjadi kendala, seperti cuaca buruk, bencana alam, kerusakan, dan lain-lain yang dapat terjadi saat di lapangan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan diatas, didapatkan untuk kebutuhan durasi pengoperasian *tower crane* pada pekerjaan pengecoran untuk tipe kolom K1 dengan sebanyak 58 kolom, dapat diselesaikan dalam waktu 672,33 menit. Namun waktu tersebut

tidak termasuk apabila terjadi beberapa kendala dalam pengoperasian *tower crane* selama di lapangan, seperti kendala cuaca buruk, bencana alam, kerusakan dan lain-lain yang dapat terjadi pada saat pelaksanaan di lapangan.

Penulis memberikan saran, untuk penelitian berikutnya dapat melakukan penelitian pada keseluruhan pekerjaan yaitu pekerjaan bekisting, pekerjaan pembesian, dan pekerjaan pengecoran untuk kolom, balok, dan plat secara menyeluruh. Selain itu, penulis juga berharap akan ada penelitian mengenai pengoperasian jenis-jenis *tower crane* lain dan untuk proyek yang lain di Indonesia.

DAFTAR PSUTAKA

- Gultom, F., 2001. Pengaruh Penerapan Manajemen Peralatan *Static Base Hammer Head* Terhadap Kinerja Waktu Pelaksanaan Proyek Kosntruksi Bangunan Bertingkat Di Jabotabek. Universitas Indonesia, Depok.
- Hartawan, Harry. 1999. Perencanaan dan Pengendalian Proyek. Jakarta: Penerbit ISTN.
- Jinlong Europe, 2009. *Tower Crane Concise Manual*. Euri – 0.1 – Eng, Europe UK & Ireland.
- Peurifoy, Robert, L., William B. Ledbetter, Clifford J. Shexnayder, Djoko Martono, 1988. Perencanaan Peralatan dan Metode Kosntruksi. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Rochmanhadi. 1989. Alat-Alat Berat dan Penggunaannya. Jakarta : YBPPU.
- Rostiyanti, Susy Fatena. 2002. Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi. Penerbit Rineka Cipta, Jakarta.
- Saga Hayyu. 2009. Perhitungan Pondasi Tower Crane. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Tenriajeng, Andi Tenrisukki. 2003. Diktat Pemindahan Tanah Mekanis. Teknik Sipil Universitas Gunadarma, Depok.
- Zacky Ahmadi, 2009. Laporan Kerja Praktek Proyek Pembangunan Apartemen Kebagusan City. Universitas Gunadarma, Depok.