



ISSN 2654-4482
(media online)

Jurnal

PROYEK TEKNIK SIPIL

JPTS

Vol 6

No 1

Hal 1-58

Semarang, Maret 2023

ISSN 2654-4482
(media online)

JURNAL

PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 6 Nomor 1 Maret 2023

Ketua Editor : Asri Nurdiana, ST, MT
(Editor in Chief)

Dewan Editor : Prof. Ir. Mochamad Agung Wibowo, M.M., M.Sc., Ph.D.
(Editorial Board) Bagus Hario Setiadji, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Purwanto, M.T., M.Eng.
Helen Gianditha Wayangkau, ST, MT
Rahmat Kurniawan, ST, MT
Rian Mantasa Salve Prastica, ST, MT

Sekretariat Redaksi : Shifa Fauziah, ST, MT
(Managing Editor)

Layout Redaksi : Shifa Fauziah, ST, MT
(Layout Editor)

Jurnal Proyek Teknik Sipil (Potensi) diterbitkan sejak 2018, dengan frekuensi 2 kali dalam satu tahun (Maret dan September). Redaksi Menerima karangan ilmiah tentang hasil-hasil penelitian dan survei yang erat kaitannya dengan bidang teknik sipil. Submit artikel dilakukan melalui online Journal System (OJS) dengan alamat <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi>.

Penerbit :
Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Alamat Redaksi/Penerbit:
Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Email : potensi@live.undip.ac.id
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang, Kode Pos 50275
Telp. 081802444085

JURNAL PROYEK TEKNIK SIPIL

Volume 6 Nomor 1 Maret 2023

DAFTAR ISI

1. Analisis Efektifitas Simpang U-Turn Pada Jl. Letjen Suprpto Menggunakan Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997 (Studi Kasus U-Turn Sp Plaza Batam)
Muhammad Fadhil Karuniansyah, Amanatullah Savitri, Petrus Haryanto Wibowo 1 – 11
2. Pemanfaatan *Lusi* dan *Fly Ash* Sebagai Material Buatan Berdasarkan Nilai Berat Jenis Agregat Halus dan Porositas
Toni Budi Santoso12 – 17
3. Pemanfaatan Teknik *Rainwater Harvesting* sebagai Pemenuhan Kebutuhan Air Domestik di Desa Cot Mee
Sania Alfiani, Surya Perdana Sinuraya, As Andika Sah Putra 18 – 27
4. Pengaruh Penambahan Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) pada Campuran LASTON AC-WC terhadap Parameter Marshall
Sheva Alviano Aziz, Achmad Aprilian Arifianto, Asri Nurdiana, Riza Susanti..... 28 - 34
5. Perkuatan Geser Balok Dengan Serpihan Besi Untuk Menghemat Tulangan Dan Biaya Di Era New Normal Setelah Pandemi Covid-19
Herlina Susilawati 35 – 44
6. Implementasi BIM Terhadap Upaya Pengurangan *Waste Material* Konstruksi pada PT Wijaya Karya Jabodetabek
Shifa Fauziah, Fajar Nurjihad Christian 45 – 50
7. Studi Luas Genangan Banjir pada Suatu Das yang Memiliki Bangunan Tanggul (Study Kasus DAS Way Pisang)
Fenny Suhendar, Aprizal, Any Nurhasanah 51 – 58

© 2022, JPTS, ISSN 2654-4482. All rights reserved.



9 772654 448002

ANALISIS EFEKTIFITAS SIMPANG *U-TURN* PADA JL. LETJEN SUPRAPTO MENGGUNAKAN METODE MANUAL KAPASITAS JALAN INDONESIA 1997 (STUDI KASUS *U-TURN* SP PLAZA BATAM)

Muhammad Fadhil Karuniansyah^a, Amanatullah Savitri^b, Petrus Haryanto Wibowo^c

^{abc} Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam, Indonesia.

Corresponding Author:

Email: amanatullah@uib.ac.id

Keywords:

Transportation, U-turn, Traffic jams, Road

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *U-Turns are employed as a particular access for drivers who want to switch lanes while they're moving. However, the problem that often occurs is that this intersection can be the main cause of congestion on a road. In the case of the U-Turn intersection of Arterial Road Jl. Letjen Suprpto, to be exact, is across from SP Plaza Batu Aji. Traffic jams are often caused by this, especially in the afternoon during work hours. in accordance with the 1997 Indonesian Highway Capacity Manual, This study tries to evaluate the intersection's performance and determine whether it is the primary cause of persistent traffic congestion. The technique used to obtain data is observation and documenting. The results showed that the road capacity value was 2884.1 pcu/hour. Traffic volume value in the direction of Muka Kuning - Tg. Uncang of 1458.7 pcu/hour. 2475.4 pcu/hour in the opposite direction. 1033 vehicles were shown at 17:30-18:00 as making U-turns with an average travel time of 08'36". As a result of vehicles making u-turns, delays occur which hinder the passage of vehicles through the road segment resulting in congestion. This is the main cause of congestion on this road section with a road service value of 0.51 or a service level of C. These results indicate that the road segment is still stable, but vehicle speed is starting to be controlled. The research's conclusions can act as a guide for further investigation.*

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Ketika sebuah daerah perkotaan sedang mengalami perkembangan pada sektor infrastruktur jalan, itu berarti daerah tersebut sedang mengalami tingkat pertumbuhan penduduk yang sangat signifikan. Alasan utama pengembangan sektor infrastruktur jalan di wilayah ini adalah kemacetan lalu lintas (Ihsan and Nurcahyo 2022). Kemacetan lalu lintas adalah salah satu masalah terbesar dan di kota-kota besar, baik domestik maupun internasional, sering terjadi. Penyebab utama dari kemacetan tersebut ialah karena banyaknya pertumbuhan populasi disuatu daerah perkotaan, sehingga terjadi adanya ketidakseimbangan antara infrastruktur jalan didaerah tersebut untuk menampung kapasitas kendaraan yang dilalui (Aprilia and Aji 2022). Penyebab lain dari kemacetan bisa dikarenakan adanya infrastruktur jalan yang kurang memadai, atau jalan yang rusak. Sehingga pengguna jalan harus saling berhati-hati untuk melewati jalan tersebut.

Batam adalah kota besar di provinsi Kepulauan Riau. (Sapitri 2022). Tercatat pada tahun 2020, tingkat pertumbuhan populasi di kota tersebut mencapai 1,196 juta jiwa (Pariwisata and Cherryline 2022)(Prastio et al. 2022). Angka tersebut baru hitungan untuk populasi yang ada di kota tersebut, belum termasuk dengan jumlah kendaraan yang dimiliki oleh masing-masing kepala keluarga. Hal ini juga bisa menjadi pemicu kemacetan yang terjadi di kota tersebut. Melihat kondisi Kota Batam saat ini, banyaknya infrastruktur jalan mulai dibenahi, mulai dari pelebaran jalan, penambahan median jalan akibat dari pelebaran jalan, dan penambahan bukaan median yang sering disebut dengan *U-Turn* (Studi et al. 2022)(Mikhailov and Shesterov 2020).

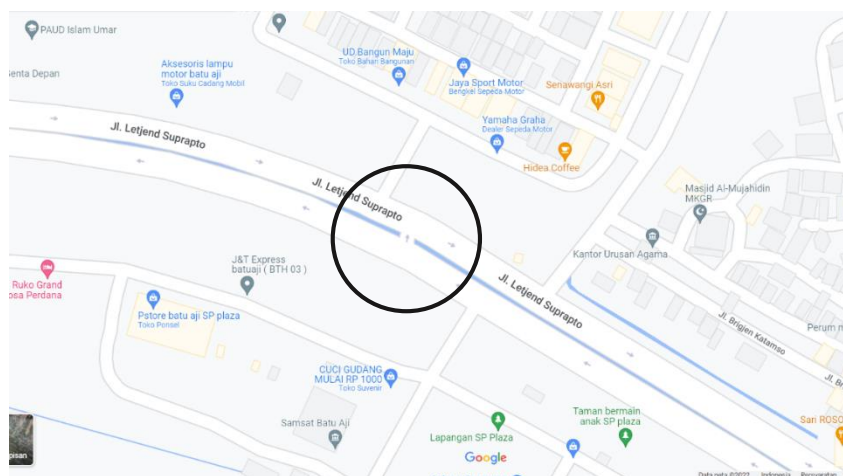
Umumnya, *U-Turn* digunakan sebagai akses khusus untuk pengendara yang ingin melakukan perubahan arah dalam berkendara (Nasution 2022), sehingga beberapa kendaraan yang ingin melakukan perpindahan atau perubahan arah akan mempengaruhi gerak lalu lintas di sekitar simpang *U-Turn* tersebut (Tifany 2022). Namun, permasalahan yang sering terjadi ialah simpang *U-Turn* ini bisa menjadi penyebab utama dari kemacetan di sebuah ruas jalan (Darmawan, Ginting, and Umar 2022).

Seperti di simpang U-Turn yang ada di Jalan Arteri Jl. Letjen Suprpto tepatnya disebelah SP Plaza Batu Aji, yang sering menjadi pemicu kemacetan, khususnya saat waktu di pagi hari sampai saat perjalanan pulang kerja di sore hari. Melihat kondisi ruas jalan yang sangat terbatas, ditambah dengan bukaan median tersebut terletak diantara dua jalur utama dan jalur menuju pemukiman warga yang membuat simpang U-Turn tersebut menjadi pemicu kemacetan disekitar jalan tersebut.

Tujuan studi ini adalah untuk menganalisis apakah persimpangan tersebut cocok untuk digunakan pada ruas jalan ini atau bahkan simpang *U-Turn* ini yang menjadi pemicu utama dari kemacetan yang sering terjadi di jalan arteri tersebut. Peneliti juga akan membandingkan lebar jalan dengan kendaraan yang akan melakukan putar balik untuk mengetahui apakah kapasitas volume kendaraan dan ruas jalan sudah sesuai dengan acuan Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997.

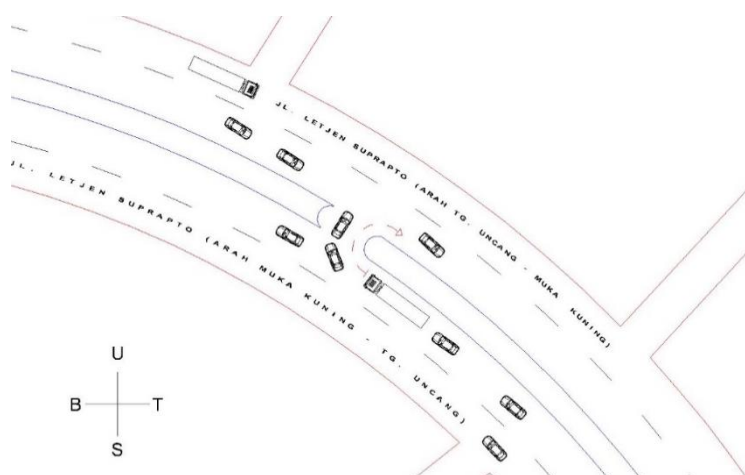
2. DATA DAN METODE

Survei ini dilakukan di ruas jalan utama dari Jl. Letjen Suprpto, Kecamatan Batu Aji, Kota Batam. Dengan posisi koordinat di 1°02'37"N 103°58'48"BT seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, serta langkah pertama dalam melakukan penelitian ini adalah mengamati lokasi objek penelitian.



Gambar 1. Denah Lokasi Penelitian (Google Maps, 2022)

Objek utama penelitian ini adalah kendaraan yang melakukan putar balik dari Muka Kuning ke Tanjung Uncang, serta keterlambatan yang terjadi dari Tanjung Uncang ke Muka Kuning karena kendaraan yang melakukan putar balik pada pukul 17.00 dan 18.00 WIB , yang digambarkan pada Gambar 2 sebagai denah lokasi penelitian.



Gambar 2. Skema Denah Lokasi Penelitian (Autocad, 2017)

Observasi lapangan dan dokumentasi gambar merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh data penelitian. (Sitohang and Rifqah 2021). Data primer penelitian ini berasal dari lokasi penelitian, sedangkan data sekunder berasal dari Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997. Penelitian ini melakukan fokus terhadap analisa terhadap kapasitas jalan, Volume lalu lintas, kondisi *u-turn*, waktu tempuh

kendaraan saat melakukan putar balik pada bukaan median tersebut serta tingkat pelayanan pada jalan tersebut. Untuk menetapkan kapasitas ruas jalan dalam menampung jumlah lalu lintas yang melewatinya, dilakukan analisis kapasitas jalan. (Bucsky and Juhász 2022), Analisis volume lalu lintas dilakukan untuk menentukan jumlah kendaraan yang melintasi jalan tertentu pada waktu tertentu. (Cappellari and Weber 2022), sedangkan kondisi bukaan median adalah daerah yang berada pada median dengan tujuan untuk memberikan perubahan arah pada kendaraan yang melintasi ruas jalan tersebut dengan memperhatikan persyaratan dan kondisi lebar bahu bukaan median jalan dengan waktu tempuh kendaraan melakukan putar balik sesuai dengan pedoman metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997.

2.1 Analisis Kapasitas Jalan

Kapasitas ruas jalan untuk menampung kendaraan dengan mengikuti arus lalu lintas dengan intensitas maksimum didefinisikan sebagai kapasitas jalan. (A. Sidi et al. 2022)(Minh et al. 2022). Tujuan dari analisa ini ialah untuk menentukan kapasitas total (C) (Tennøy and Hagen 2021). Dasar penentuan untuk menghasilkan kapasitas total ialah diambil dari kapasitas dasar (C₀) ditambah dengan faktor penyesuaian untuk menentukan kapasitas dari ruas jalan dalam satuan (smp/jam) (Susanto 2021). Untuk jalan di sekitar u-turn dapat dirumuskan akses jalan perkotaan, sehingga kapasitas total jalan perkotaan dapat ditentukan :

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS}$$

Dimana :

C₀ : adalah variabel dalam menentukan kapasitas dasar. Untuk menentukan daya tampung dasar perlu diketahui jenis jalan dari lokasi survei, di bawah ini seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kapasitas Dasar Ruang Jalan (MKJI 1997, Hal 5-50)

Tipe Jalan	Tipe Alinyemen	Kapasitas dasar (smp/jam)			Catatan
		Jalan Perkotaan	Jalan Luar Kota	Jalan Bebas Hambatan	
Enam atau empat lajur terbagi atau jalan satu arah	Datar	1,650	1,900	2,300	Per lajur
	Bukit	-	1,850	2,250	
	Gunung	-	1,800	2,150	
Empat lajur yang tidak terbagi	Datar	1,500	1,700	-	Per lajur
	Bukit	-	1,650	-	
	Gunung	-	1,600	-	
Dua lajur yang tidak terbagi	Datar	2,900	3,100	3,400	Total dua arah
	Bukit	-	3,000	3,300	
	Gunung	-	2,900	3,200	

FC_W : adalah pelebaran jalan. Untuk menentukan penyesuaian lebar jalan dengan menggunakan metode MKJI 1997, maka harus ditentukan lebar jalan efektif.

FC_{SP} : adalah penyesuaian untuk pemisah arah. Untuk menentukan penyesuaian pemisahan arah, terlampir pada metode MKJI 1997 dengan menentukan persentase pembagian diantara jalan yang akan diteliti.

FC_{SF} : adalah penyesuaian hambatan samping. Untuk menentukan penyesuaian samping, terlampir pada metode MKJI 1997 dengan penentuan bobot hambatan samping, untuk menentukan kelas hambatan samping.

FC_{CS} : adalah penyesuaian ukuran kota. Umumnya, variabel ini hanya digunakan pada sampel jalan perkotaan dengan acuan dari MKJI 1997, dengan menentukan sampel ukuran penduduk dan penentuan ukuran kota.

2.2 Volume Lalu Lintas

Salah satu penentuan analisis Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperkirakan jumlah lalu lintas pada ruas rute yang dituju (Lin et al. 2022). Jumlah kendaraan yang melintasi tempat tertentu pada

suatu ruas jalan dalam waktu tertentu, diukur dalam smp/jam, dikenal sebagai volume lalu lintas. (Batubara and Sibuea 2022). Smp merupakan singkatan dari satuan mobil penumpang, yang menjadi satuan dalam perencanaan lalu lintas (Directorate General of Highways 1997). Nantinya data yang telah di dapat akan diolah sesuai dengan aturan MKJI 1997. Dalam menentukan volume lalu lintas selama di lokasi penelitian, kendaraan yang melalui jalan tersebut di klasifikasikan dalam beberapa golongan yang terlampir pada Tabel 2. sebagai berikut :

Tabel 2. Klasifikasi Golongan Kendaraan (MKJI 1997)

Golongan Kendaraan	Jenis Kendaraan
Kendaraan Ringan (LV)	kendaraan roda 4; (Mobil Penumpang, Microbus, pickup).
Kendaraan Berat (MV)	kendaraan yang memiliki roda lebih dari 4; (Truk 2 as - 4 as).
Sepeda Motor (MC)	klasifikasi untuk kendaraan yang memiliki 2 roda.
Kendaraan Tak Bermotor (UM)	kendaraan yang tidak digerakkan oleh mesin, biasanya kendaraan buatan atau hasil dari tenaga manusia dan hewan.

2.3 Bukaian Median (U-turn)

Bukaian median (u-turn) mewakili suatu bagian yang terletak di jalur lalu lintas yang berada ditengah median jalan dengan tujuan untuk melakukan perubahan arus lalu lintas secara berlawanan arah (Gundawastratmaja 2022). Umumnya, u-turn ini digunakan oleh kendaraan yang ingin melakukan perubahan arus lalu lintas (putar balik) menuju jalur yang berlawanan . Dalam menentukan penempatan u-turn secara tepat (Meel et al. 2017), perlu mengetahui lebar bukaian yang telah ditetapkan, serta waktu tempuh yang dilakukan oleh setiap kendaraan untuk melakukan putaran balik di u-turn tersebut.

Lebar Ideal Bukaian Median

Dalam melakukan perencanaan terhadap bukaian median (u-turn), perlu diketahui bahwa persyaratan bukaian median harus sesuai dengan acuan MKJI 1997, dengan tujuan agar kendaraan yang sedang melakukan manuver putaran balik tidak akan merasa kesulitan (Lionardo and Yusra Aulia Sari 2022). Syarat lebar ideal bukaian median (putar balik) sesuai aturan MKJI 1997. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 3 :

Tabel 3. Lebar Ideal untuk Bukaian Tengah (MKJI 1997)

Lebar Lajur (m)	Kendaraan Kecil	Kendaraan Sedang	Kendaraan Besar
	Panjang Kendaraan Rencana		
	5,8 m	12,1 m	21 m
	Lebar Median Ideal (m)		
3.5	4	14.5	15.5
3	4.5	15.5	17
2.75	5	16	18

2.4 Waktu Tempuh Kendaraan Melakukan Putar Balik

Salah satu variabel utama yang mempengaruhi lalu lintas jalan adalah waktu tempuh. (Sadrani, Tirachini, and Antoniou 2022). Sebab, di saat kendaraan sedang melakukan putar balik, berapa waktu kendaraan tersebut mampu melakukan manuver terhadap bukaan median tersebut agar tidak terjadi tundaan pada arus yang berlawanan (Al-Obaedi 2019). Oleh karena itu perlu dilakukan analisis waktu tempuh sedemikian rupa sehingga bukaan median pada kondisi jalan yang diteliti sesuai dengan aturan yang ditentukan oleh metode MKJI 1997. Rumus untuk menghitung waktu tempuh adalah sebagai berikut :

$$x_i = \frac{\sum f x_i}{n}$$

Dimana :

x_i = waktu tempuh kendaraan (detik)

n = jumlah kendaraan

2.5 Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat pelayanan kendaraan merupakan aspek terpenting dalam berlalu lintas. Tingkat pelayanan memperhatikan hubungan antara volume lalu lintas dengan kapasitas kendaraan (Shirke et al. 2017). Hal ini akan berpengaruh terhadap kelancaran dari sebuah jalan raya, apabila jalan raya tersebut memiliki tingkat pelayanan yang baik, maka kondisi jalan raya tersebut akan minim kemacetan. Sebaliknya, apabila jalan tersebut memiliki tingkat pelayanan yang kurang baik, maka kondisi jalan tersebut akan sering mengalami kemacetan. Namun, hubungan komparatif antara volume lalu lintas dan kapasitas kendaraan yang melewatinya tetap mengatur hal ini. Ciri-ciri tingkat pelayanan jalan mengikuti pedoman pendekatan MKJI 1997 yang dilampirkan pada Tabel 4. Berikut adalah :

Tabel 4. Karakteristik Tingkat Pelayanan Jalan (MKJI 1997)

Nilai V/C	Keterangan	Tingkat Pelayanan
0 - 0.20	Aliran bebas kecepatan tinggi, jalur tidak terhalang	A
0.21 - 0.44	Alirannya stabil dan kecepatannya dibatasi oleh kondisi lalu lintas	B
0.45 - 0.74	Arus stabil, kecepatan kendaraan mulai terkontrol	C
0.75 - 0.84	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan kendaraan dikendalikan	D
0.85 - 1.00	Arus tidak stabil dan kecepatan mulai terhenti.	E
> 1.00	Arusnya sangat tidak stabil dan ada hambatan yang besar.	F

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum

Analisis studi dilakukan di Dua jalur Jl. Letjen Suprpto dari Muka Kuning - Tg unchang dan Tg. Uncang - Muka Kuning. Penyelidikan kapasitas jalan, arus lalu lintas, keadaan bukaan tengah, dan waktu tempuh kendaraan untuk memutar balik jalan merupakan penelitian utama studi ini.

3.2 Data Geometri

Kajian dilakukan pada dua jalur di sekitar Jalan Letjen Suptapto. Gambar 3.a dan 3.b menampilkan informasi arus lalu lintas di lokasi penelitian sebagai berikut :



(a)

(b)

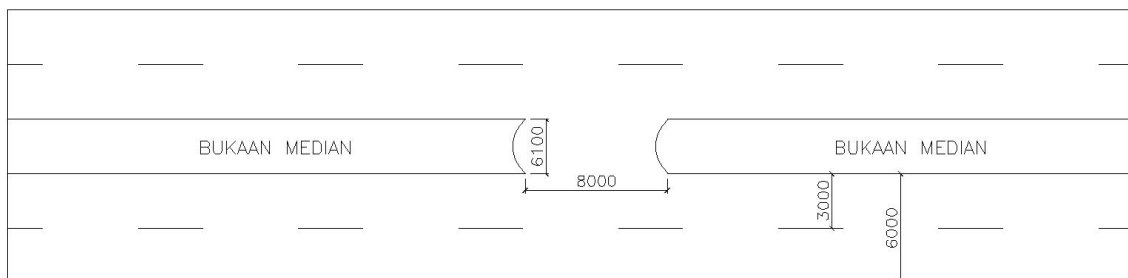
Gambar 3. Kondisi Kendaraan : (a) Arus lalu lintas arah Muka Kuning – Tg. Uncang; (b) arus U-turn (observasi Lapangan, 2022)

Setelah melakukan observasi terhadap lingkungan sekitar lokasi penelitian, peneliti mengumpulkan data geometrik pada jalan tersebut yang peneliti rangkum pada Tabel 5. Berikut adalah :

Tabel 5. Data Geometrik (Data Primer, 2022)

Lokasi Penelitian	Tipe Lingkungan Jalan	Lebar Jalur (m)	Lebar Lajur (m)	Lebar Median	Bukaan Median	Hambatan Samping
Jalan Letjen Suprpto	Komersil	6	3	6.1	8	M

Hasil dari data geometrik yang telah peneliti kumpulkan selama berada di lokasi penelitian, agar lebih mudah dipahami, peneliti menggambar skema geometris dari lokasi penelitian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Berikut ini:



Gambar 4. Skema Geometrik Lokasi Penelitian (Autocad, 2017)

3.3 Kapasitas Jalan

Untuk melakukan penelitian analisis kapasitas pada jalan tersebut, perhitungan rumus dan analisa didapatkan melalui pedoman MKJI 1997 dengan penyesuaian kondisi di lokasi penelitian. Jenis Jl. Letjen Suprpto adalah jenis jalan perkotaan dengan faktor penyesuaian yang terlampir pada Tabel 6. Sebagai berikut :

Tabel 6. Data Faktor Penyesuaian Kapasitas Jalan (Data Primer, 2022)

Lokasi Penelitian	Faktor Penyesuaian
-------------------	--------------------

	Co (smp/jam)	FC _W	FC _{SP}	FC _{SF}	FC _{CS}
Jalan Letjen Suprpto	1650	0.92	1.00	0.95	1.00

Setelah data dikumpulkan, maka tinjauan perhitungan kapasitas untuk 2 jalur yang berada pada lokasi penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

a. Kapasitas Jalan untuk Jalur Muka Kuning - Tg. Uncang

$$C = C_o \cdot FC_W \cdot FC_{SP} \cdot FC_{SF} \cdot FC_{CS}$$

$$C = 1650 \times 0,92 \times 1,00 \times 0,95 \times 1,00$$

$$C = 1442,1 \text{ smp/jam}$$

Dengan kondisi 2 lajur, maka total kapasitas sebesar :

$$C = 1442,1 \text{ smp/jam} \times 2$$

$$C = 2884,2 \text{ smp/jam}$$

b. Kapasitas Jalan untuk Jalur Tg. Uncang - Muka Kuning

$$C = C_o \cdot FC_W \cdot FC_{SP} \cdot FC_{SF} \cdot FC_{CS}$$

$$C = 1650 \times 0,92 \times 1,00 \times 0,95 \times 1,00$$

$$C = 1442,1 \text{ smp/jam}$$

Dengan kondisi 2 lajur, maka total kapasitas sebesar :

$$C = 1442,1 \text{ smp/jam} \times 2$$

$$C = 2884,2 \text{ smp/jam}$$

Hasil dari perhitungan analisis kapasitas pada Jalan Letjen Suprpto menunjukkan, bahwa kapasitas dari arah Muka Kuning - Tg. Uncang dan dari arah Tg. Uncang - Muka Kuning menunjukkan hasil yang serupa, sebesar **2884.2 smp/jam**. Perhitungan yang dilakukan oleh peneliti selama dilapangan menggunakan acuan standar MKJI 1997.

3.4 Volume Lalu Lintas

Pelaksanaan pengamatan kondisi arus lalu lintas ini dilakukan pada kondisi jam puncak (peak hour) sekitar pukul 17:00 hingga 18:00 sore selama satu jam. Pengamatan ini dilakukan di Jalan Letjen Suprpto dengan objek pengamatan di dua jalur, yaitu jalur arah Tg. Uncang - Muka Kuning, dan jalur arah Muka Kuning - Tg. Uncang. Fokus utama pengamatan kali ini adalah volume kendaraan yang melewati jalur tersebut yang sudah di klasifikasikan dalam tiga kelompok jenis kendaraan, yaitu HV, LV, dan MC. Mengenai temuan observasi yang dilakukan peneliti disana terlampir pada Tabel 7. Sebagai berikut :

Tabel 7. Data Pengamatan Volume Lalu Lintas (Data Primer, 2022)

Waktu	Lokasi Penelitian					
	Jl. Letjen Suprpto (Arah Muka Kuning - Tg. Uncang)			Jl. Letjen Suprpto (Arah Tg. Uncang - Muka Kuning)		
Hari/Tanggal	Sabtu, 19 November 2022					
Kelompok Kendaraan	MC	LV	HV	MC	LV	HV
Sore						
17:00 - 17:15	294	163	57	679	190	15
17:15 - 17:30	276	169	13	729	201	25
17:30 - 17:45	351	158	27	774	218	53
17:45 - 18:00	416	152	17	772	210	45
TOTAL	1337	642	114	2954	819	138

Data pengamatan yang sudah dikumpulkan kemudian akan dilakukan perhitungan volume lalu lintas di jalan tersebut menggunakan faktor koreksi sesuai dengan aturan MKJI 1997 dengan mengoversi satuan kend/jam menjadi satuan smp/jam. Untuk memudahkan menentukan perhitungan disetiap jalur,

diwakilkan oleh salah satu kondisi dengan data kendaraan terbesar. Adapun perhitungannya sebagai berikut :

a. Volume lalu lintas untuk **Jalur Muka Kuning - Tg. Uncang (Kondisi sore)**

$$\begin{aligned}
 MC &= (1337 \times 0.5) = 668.5 \text{ smp/jam} \\
 LV &= (642 \times 1.0) = 642 \text{ smp/jam} \\
 HV &= (114 \times 1.3) = 148.2 \text{ smp/jam} \\
 \text{Dengan total volume lalu lintas sebesar :} \\
 Q_{\text{Total}} &= 668.5 + 642 + 148.2 \\
 &= 1458.7 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

b. Volume lalu lintas untuk **Jalur Tg. Uncang - Muka Kuning (Kondisi sore)**

$$\begin{aligned}
 MC &= (2954 \times 0.5) = 1477 \text{ smp/jam} \\
 LV &= (819 \times 1.0) = 819 \text{ smp/jam} \\
 HV &= (138 \times 1.3) = 179.4 \text{ smp/jam} \\
 \text{Dengan total volume lalu lintas sebesar :} \\
 Q_{\text{Total}} &= 1477 + 819 + 179.4 \\
 &= 2475.4 \text{ smp/jam}
 \end{aligned}$$

3.5 Data Putar Balik Kendaraan

Pengamatan dilakukan pada bukaan median Jalan Letjen Suprpto dengan meninjau arus kendaraan yang melakukan putar balik dari arah Muka Kuning - Tg. Uncang. Data kendaraan yang berhasil peneliti kumpulkan terlampir pada Tabel 8. Sebagai berikut :

Tabel 8. Data Pengamatan Kendaraan yang Melakukan U-turn (Data Primer, 2022)

Waktu	Lokasi Penelitian			
	Jl. Letjen Suprpto (Arah Muka Kuning - Tg. Uncang)			
Hari/Tanggal	Sabtu, 19 November 2022			
Kelompok Kendaraan	MC	LV	HV	Total
Sore				
17:00 - 17:30	438	217	48	703
17:30 - 18:00	792	229	12	1033

Hasilnya terlampir pada Tabel 8. Ditunjukkan bahwa jumlah kendaraan yang melakukan putar balik pada sore hari adalah 1736 kendaraan/jam. Hasil dari temuan pengamatan yang dilakukan bahwa jumlah kendaraan terbesar yang melakukan putar balik pada pukul 17:30 - 18:00 dengan total sekitar 1033 kendaraan.

3.6 Waktu Tempuh Kendaraan untuk U-turn

Hasil analisa yang peneliti lakukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9, waktu tempuh tipikal untuk kendaraan yang melakukan putar balik adalah sebagai berikut :

Tabel 9. Data waktu tempuh putar balik kendaraan (Data Primer, 2022)

Waktu	Lokasi Penelitian
Hari/Tanggal	Sabtu, 19 November 2022
Data Waktu Tempuh Kendaraan	
17:00 - 17:15	6.42
17:15 - 17:30	5.09
17:30 - 17:45	7.64

17:45 - 18:00	14.29
Total Waktu Tempuh	33.44
RATA - RATA	8.36

Hasil yang terlampir pada Tabel 9. menunjukkan bahwa hasil dari waktu tempuh rata – rata kendaraan yang melakukan putar balik dari Jalan Letjen Suprpto arah Muka Kuning – Tg. Uncang adalah sebesar **08'36"** (dalam satuan detik).

3.7 Tingkat Pelayanan Jalan

Untuk menentukan tingkat pelayanan jalan pada Jalan Letjen Suprpto adalah dengan menghitung rasio volume lalu lintas dan kapasitas jalan (V/C). Adapun hasil perhitungan yang telah dilakukan oleh peneliti terlampir pada Tabel 10. sebagai berikut.

Tabel 10. Data Nilai V/C (Data Primer, 2022)

Volume Lalu Lintas (V)	Kapasitas Jalan (C)	V/C	Tingkat Pelayanan
1458.7	2884.2	0.51	C

Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 10. Terlihat bahwa kategori pelayanan jalan di Jalan Letjen Suprpto adalah C dengan nilai V/C sebesar 0,51. Mengacu pada Tabel 4. dapat dilihat bahwa jalan yang dikategorikan level C adalah jalan dengan arus yang stabil, kecepatan kendaraan mulai dapat dikendalikan..

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian di Jl. Letjen Suprpto menghasilkan nilai kapasitas jalan antara jalan dari Muka Kuning ke Tg. Uncang dan Tg. Uncang ke arah Muka Kuning menghasilkan nilai yang kurang lebih sama yaitu 2884,1 smp/jam. Jumlah lalu lintas di jalan dari Muka Kuning ke Tg. Uncang adalah 1458,7 smp/jam. Nilai volume lalu lintas adalah 2475,4 smp/jam saat bepergian dari Tg. Uncang ke Muka Kuning. Sekitar pukul 17.30 hingga 18.00, sebanyak 1033 kendaraan dilaporkan melakukan putaran balik terbanyak, dengan rata-rata waktu tempuh putaran balik 8 menit 36 detik. Hasil pengamatan peneliti di lapangan, jalan dari Muka Kuning menuju Tg.Uncang sering mengalami kemacetan akibat banyaknya kendaraan yang memutar balik dibandingkan dengan jalan lurus menuju Tg. Uncang. Tingkat layanan jalan di sekitar Jl. Letjen Suprpto sebesar 0,51 atau tingkat pelayanan C sebagai akibat dari bertambahnya jumlah kendaraan yang memutar balik sehingga memperlambat laju kendaraan yang melalui jalan tersebut dan menimbulkan kemacetan yang berkepanjangan di sekitar jalan tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa meski ruas jalan masih stabil, kecepatan kendaraan sudah mulai terkendali. Temuan dari studi lapangan ini dapat menjadi contoh dan titik referensi untuk studi masa depan tentang efektivitas simpang putar balik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Allah SWT, dosen pembimbing Universitas Internasional Batam, orang tua penulis, yang telah mendoakan keberhasilan penulisan artikel ini, serta teman-teman yang telah membantu dalam penyusunannya. Artikel ini dimaksudkan sebagai sumber untuk studi di masa depan serta untuk menawarkan pelajaran dan perspektif baru.

REFERENSI

- A. Sidi, Thomas Aquino, Purnama Dyan Sari, Ireneus Kota, and Fransiskus Xaverius Ndale. 2022. "Analisa Kinerja Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Pasar Mbongawani Ende." *Jurnal Ilmia Vastuwidya* 5(2): 77–81.
- Al-Obaedi, Jalal. 2019. "Investigation the Effect of Speed Humps on Merging Time of U-Turn Traffic." *Ain Shams Engineering Journal* 10(1): 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.12.001>.
- Aprilia, Mutiara, and Rojil Nugroho Aji. 2022. "PENANGANAN BANJIR DI SURABAYA PADA MASA PEMERINTAHAN RADEN." 12(2).
- Batubara, Hamidun, and Dody Taufik Sibuea. 2022. "Studi Manajemen Lalu Lintas Jalan." di: 177–80.
- Bucsky, Péter, and Mattias Juhász. 2022. "Long-Term Evidence on Induced Traffic: A Case Study on the Relationship

- between Road Traffic and Capacity of Budapest Bridges." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 157(December 2021): 244–57.
- Cappellari, Paolo, and Bryan S. Weber. 2022. "An Analysis of the New York City Traffic Volume, Vehicle Collisions, and Safety under COVID-19." *Journal of Safety Research* (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.08.004>.
- Darmawan, M S, J M Ginting, and U H Umar. 2022. "Tinjauan Kelancaran Arus Lalu Lintas Pada Area Bundaran Simpang." 5.
- Directorate General of Highways. 1997. "Highway Capacity Manual Project (HCM)." *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)* 1(1): 564.
- Gundawastratmaja, Zulian Nafi'. 2022. "PENGARUH GERAKAN U-TURN PADA BUKAAN MEDIAN TERHADAP KINERJA LALU LINTAS RUAS JALAN LAKSDA ADISUTJIPTO KM . 5 – KM . 6 , 5 (THE EFFECTS OF U-TURN MOVEMENTS AT MEDIAN OPENING TOWARDS TRAFFIC PERFORMANCE AT LAKSDA ADISUTJIPTO ROAD KM. 5 - KM. 6,5)."
- Ihsan, Afra Faradilla, and Cahyono Bintang Nurcahyo. 2022. "Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode FMEA Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli - Banda Aceh Struktur Elevated." *Jurnal Teknik ITS* 11(1).
- Lin, Peiqun, Yitao He, Mingyang Pei, and Runan Yang. 2022. "Data-Driven Spatial-Temporal Analysis of Highway Traffic Volume Considering Weather and Festival Impacts." *Travel Behaviour and Society* 29(March): 95–112. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.06.001>.
- Lionardo, and Yusra Aulia Sari. 2022. "Pengaruh Gerak U-Turn Pada Bukaan Median Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas Di Ruas Jalan Raja H. Fisabilillah." *Jurnal Teknik Sipil* 16(4): 302–11.
- Meel, Inder Pal, Andreas Vesper, Attila Borsos, and Csaba Koren. 2017. "Evaluation of the Effects of Auxiliary Lanes on Road Traffic Safety at Downstream of U-Turns." *Transportation Research Procedia* 25: 1931–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.186>.
- Mikhailov, Alexander, and Evgenii Shesterov. 2020. "Estimation of Traffic Flow Parameters of U-Turns." *Transportation Research Procedia* 50(2019): 458–65. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.054>.
- Minh, Quang Tran, Dai Pham Tan, Hieu Nguyen Le Hoang, and Minh Nguyen Nhat. 2022. "Effective Traffic Routing for Urban Transportation Capacity and Safety Enhancement." *IATSS Research* (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2022.10.001>.
- Nasution, Muhammad Novrian. 2022. "ANALISIS FAKTOR KECELAKAAN SERTA UPAYA PENINGKATAN KESELAMATAN RUAS JALAN SULTAN SERDANG – KNO KM 10 – 11,4."
- Pariwisata, Jurnal Mata, and Violetta Cherryline. 2022. "PRODUK WISATA DI KOTA BATAM." 1(1): 6–10.
- Prastio, Darmawan et al. 2022. "Evaluasi Kinerja Simpang Panbil Terhadap Tingkat Pelayanan Lalu Lintas (Studi Kasus Simpang Panbil-Batam)." *Journal of Civil Engineering and Planning* 3(1): 60–69.
- Sadrani, Mohammad, Alejandro Tirachini, and Constantinos Antoniou. 2022. "Optimization of Service Frequency and Vehicle Size for Automated Bus Systems with Crowding Externalities and Travel Time Stochasticity." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 143(February): 103793. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103793>.
- Sapitri, Ria. 2022. "MENDESAIN WAYFINDING JEMBATAN LALUAN MADANI." 01(01): 53–57.
- Shirke, Chatrali, G. J. Joshi, V. Kandala, and S. S. Arkatkar. 2017. "Transit Oriented Development and Its Impact on Level of Service of Roads & METRO: A Case Study of Mumbai Metro Line-1." *Transportation Research Procedia* 25: 3035–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.297>.
- Sitohang, Hotma, and Linni Wilda Rifqah. 2021. "Analisis Penerapan Quality Assurance (QA) Dan Quality Control (QC) Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi ."
- Studi, Program et al. 2022. "TUGAS AKHIR PENGARUH BUKAAN MEDIAN (U-TURN) TERHADAP KINERJA RUAS JALAN (STUDI KASUS : RUAS JALAN JANTI-PRAMBANAN KM 6 + 600 – (THE IMPACT OF U-TURN TOWARD ROAD SEGMENT PERFORMANCE (CASE STUDY : JANTI-PRAMBANAN Aryo Bimo Saputro TUGAS AKHIR PENGARUH ."
- Susanto, Hari. 2021. "Analisis Kinerja Ruas Jalan Raya Citayam Berdasarkan Metode MKJI 1997." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 2(2): 63–69. <https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/akselerasi/article/view/3560>.
- Tennøy, Aud, and Oddrun Helen Hagen. 2021. "Urban Main Road Capacity Reduction: Adaptations, Effects and Consequences." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 96(May).
- Tifany, Jinan Rana. 2022. "ANALISIS KINERJA PUTAR BALIK ARAH JALAN TUN ABDUL RAZAK KABUPATEN GOWA MENGGUNAKAN SOFTWARE VISSIM." Universitas Hasanuddin. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>.
- A. Sidi, Thomas Aquino, Purnama Dyan Sari, Ireneus Kota, and Fransiskus Xaverius Ndale. 2022. "Analisa Kinerja Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Pasar Mbongawani Ende." *Jurnal Ilmia Vastuwidya* 5(2): 77–81.
- Al-Obaedi, Jalal. 2019. "Investigation the Effect of Speed Humps on Merging Time of U-Turn Traffic." *Ain Shams Engineering Journal* 10(1): 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.12.001>.
- Aprilia, Mutiara, and Rojil Nugroho Aji. 2022. "PENANGANAN BANJIR DI SURABAYA PADA MASA PEMERINTAHAN RADEN." 12(2).
- Batubara, Hamidun, and Dody Taufik Sibuea. 2022. "Studi Manajemen Lalu Lintas Jalan." di: 177–80.
- Bucsky, Péter, and Mattias Juhász. 2022. "Long-Term Evidence on Induced Traffic: A Case Study on the Relationship

- between Road Traffic and Capacity of Budapest Bridges." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 157(December 2021): 244–57.
- Cappellari, Paolo, and Bryan S. Weber. 2022. "An Analysis of the New York City Traffic Volume, Vehicle Collisions, and Safety under COVID-19." *Journal of Safety Research* (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.08.004>.
- Darmawan, M S, J M Ginting, and U H Umar. 2022. "Tinjauan Kelancaran Arus Lalu Lintas Pada Area Bundaran Simpang." 5.
- Directorate General of Highways. 1997. "Highway Capacity Manual Project (HCM)." *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)* 1(I): 564.
- Gundawastratmaja, Zulian Nafi'. 2022. "PENGARUH GERAKAN U-TURN PADA BUKAAN MEDIAN TERHADAP KINERJA LALU LINTAS RUAS JALAN LAKSDA ADISUTJIPTO KM . 5 – KM . 6 , 5 (THE EFFECTS OF U-TURN MOVEMENTS AT MEDIAN OPENING TOWARDS TRAFFIC PERFORMANCE AT LAKSDA ADISUTJIPTO ROAD KM. 5 - KM. 6,5)."
- Ihsan, Afra Faradilla, and Cahyono Bintang Nurcahyo. 2022. "Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode FMEA Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Sigli - Banda Aceh Struktur Elevated." *Jurnal Teknik ITS* 11(1).
- Lin, Peiqun, Yitao He, Mingyang Pei, and Runan Yang. 2022. "Data-Driven Spatial-Temporal Analysis of Highway Traffic Volume Considering Weather and Festival Impacts." *Travel Behaviour and Society* 29(March): 95–112. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.06.001>.
- Lionardo, and Yusra Aulia Sari. 2022. "Pengaruh Gerak U-Turn Pada Bukaan Median Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas Di Ruas Jalan Raja H. Fisabilillah." *Jurnal Teknik Sipil* 16(4): 302–11.
- Meel, Inder Pal, Andreas Vesper, Attila Borsos, and Csaba Koren. 2017. "Evaluation of the Effects of Auxiliary Lanes on Road Traffic Safety at Downstream of U-Turns." *Transportation Research Procedia* 25: 1931–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.186>.
- Mikhailov, Alexander, and Evgenii Shesterov. 2020. "Estimation of Traffic Flow Parameters of U-Turns." *Transportation Research Procedia* 50(2019): 458–65. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.054>.
- Minh, Quang Tran, Dai Pham Tan, Hieu Nguyen Le Hoang, and Minh Nguyen Nhat. 2022. "Effective Traffic Routing for Urban Transportation Capacity and Safety Enhancement." *IATSS Research* (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2022.10.001>.
- Nasution, Muhammad Novrian. 2022. "ANALISIS FAKTOR KECELAKAAN SERTA UPAYA PENINGKATAN KESELAMATAN RUAS JALAN SULTAN SERDANG – KNO KM 10 – 11,4."
- Pariwisata, Jurnal Mata, and Violetta Cherryline. 2022. "PRODUK WISATA DI KOTA BATAM." 1(1): 6–10.
- Prastio, Darmawan et al. 2022. "Evaluasi Kinerja Simpang Panbil Terhadap Tingkat Pelayanan Lalu Lintas (Studi Kasus Simpang Panbil-Batam)." *Journal of Civil Engineering and Planning* 3(1): 60–69.
- Sadrani, Mohammad, Alejandro Tirachini, and Constantinos Antoniou. 2022. "Optimization of Service Frequency and Vehicle Size for Automated Bus Systems with Crowding Externalities and Travel Time Stochasticity." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 143(February): 103793. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103793>.
- Sapitri, Ria. 2022. "MENDESAIN WAYFINDING JEMBATAN LALUAN MADANI." 01(01): 53–57.
- Shirke, Chatrali, G. J. Joshi, V. Kandala, and S. S. Arkatkar. 2017. "Transit Oriented Development and Its Impact on Level of Service of Roads & METRO: A Case Study of Mumbai Metro Line-1." *Transportation Research Procedia* 25: 3035–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.297>.
- Sitohang, Hotma, and Linni Wilda Rifqah. 2021. "Analisis Penerapan Quality Assurance (QA) Dan Quality Control (QC) Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi ."
- Studi, Program et al. 2022. "TUGAS AKHIR PENGARUH BUKAAN MEDIAN (U-TURN) TERHADAP KINERJA RUAS JALAN (STUDI KASUS : RUAS JALAN JANTI-PRAMBANAN KM 6 + 600 – (THE IMPACT OF U-TURN TOWARD ROAD SEGMENT PERFORMANCE (CASE STUDY : JANTI-PRAMBANAN Aryo Bimo Saputro TUGAS AKHIR PENGARUH ."
- Susanto, Hari. 2021. "Analisis Kinerja Ruas Jalan Raya Citayam Berdasarkan Metode MKJI 1997." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 2(2): 63–69. <https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/akselerasi/article/view/3560>.
- Tennøy, Aud, and Oddrun Helen Hagen. 2021. "Urban Main Road Capacity Reduction: Adaptations, Effects and Consequences." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 96(May).
- Tifany, Jinan Rana. 2022. "ANALISIS KINERJA PUTAR BALIK ARAH JALAN TUN ABDUL RAZAK KABUPATEN GOWA MENGGUNAKAN SOFTWARE VISSIM." Universitas Hasanuddin. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>.

Pemanfaatan *Lusi* dan *Fly Ash* Sebagai Material Buatan Berdasarkan Nilai Berat Jenis Agregat Halus dan Porositas

Toni Budi Santoso^a

^a Universitas Bojonegoro, Indonesia

Corresponding Author:

Email: prawoto.poni@gmail.com

Keywords:

Lusi, artificial materials, porosity

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *Sidoarjo mudflow (Lusi) still occurs today, various efforts to stop and reduce the eruption have been made but have not stop able to stop the Sidoarjo mud. To help reduce the mud being ejected, it is necessary to utilize Sidoarjo mud. Researchers aim to reduce the mud caused by Sidoarjo mud by utilizing artificial materials as substitutes for natural materials. Utilization is also carried out for fly ash which is waste from the PLTU. Sidoarjo mud and fly ash are combined with an alkaline activator to form geopolymer paste and cement paste. The geopolymer paste specimen were tested for specific gravity of fine aggregate and its porosity. The result show Sidoarjo mud has a specific gravity of fine aggregate of 2.519 and fly ash of 2.525 which is greater than specific gravity of water, namely 1. The porosity of the geopolymer paste is 3% and that of cement paste is 3.8%.*

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Peristiwa lumpur Sidoarjo (*Lusi*) telah mengganggu masyarakat. Sejak 2006 volume lumpur diperkirakan 100.000 m³/hari pada Desember 2006 bahkan telah mencapai 180.000 m³/hari dan cenderung turun 75.000 m³/ hari. Untuk itu penelitian yang berhubungan dengan pemanfaatan *Lusi* sangatlah diperlukan (Triwulan, Ekaputri, & Megahsari, 2013). Dengan volume besar lumpur yang disemburkan, beberapa inovasi untuk memanfaatkan lumpur dari semburan terus dilakukan, diantaranya untuk bahan konstruksi. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkarakterisasi *Lusi* dan mengevaluasi potensi untuk bahan konstruksi. Meskipun komposisi kimia menjanjikan, *Lusi* perlu dikalsinasi pada 600–8000 C terlebih dahulu diikuti dengan penggilingan untuk mengurangi partikel hingga 63µm yang mengubah lumpur menjadi reaktif (Hardjito & Antoni, 2013).

Selain pemanfaatan *Lusi*, juga memanfaatkan *fly ash* sebagai pengikat untuk material buatan berbasis pasta *geopolymer*. Karena *Lusi* dan *fly ash* mempunyai kandungan Si dan Al yang cukup tinggi sehingga cocok digunakan untuk *geopolymer* (Januarta Jaya Ekaputri, Triwulan., & Adiningtyas, 2007). *Fly ash* adalah produk sampingan dari hasil pembakaran batu bara yang terdiri dari partikel kaca berbentuk sfera yang berdiameter 1-150 µm dan lolos ayakan 45 µm (J. J. Ekaputri, Triwulan., & Amin, 2014). Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan konstruksi tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca tetapi juga mengatasi berbagai masalah lingkungan, seperti kekurangan sumber daya alam, dan penipisan energi. Sebagai bahan konstruksi, *alkali activator* berbasis *fly ash* yang teralkali memiliki berbagai karakteristik positif. Dibandingkan dengan PC, *fly ash* ini menunjukkan konduktivitas termal yang rendah dan ketahanan tinggi (Kang, Jeong, Kim, & Moon, 2019). Dalam penelitian ini terdapat 2 *trial mix design* pasta *geopolymer* dan pasta semen yaitu, *Lusi* + *fly ash* + *alkali activator*, kemudian *Lusi* + *fly ash* + semen. Dari masing masing *trial mix design* antara pengikat dan pengisi kemudian dibuat benda uji pasta *geopolymer* dan pasta semen untuk pengujian pada umur benda uji 28 hari. Pengujian agregat halus bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari material sebelum dicampurkan dengan *alkali activator* dan semen. Setelah didapat karakteristik kemudian dilakukan pengujian porositas untuk mengetahui karakteristik material buatan yang tergolong sebagai material kasar dengan dasar pengujian menggunakan SNI 1969 – 2008.

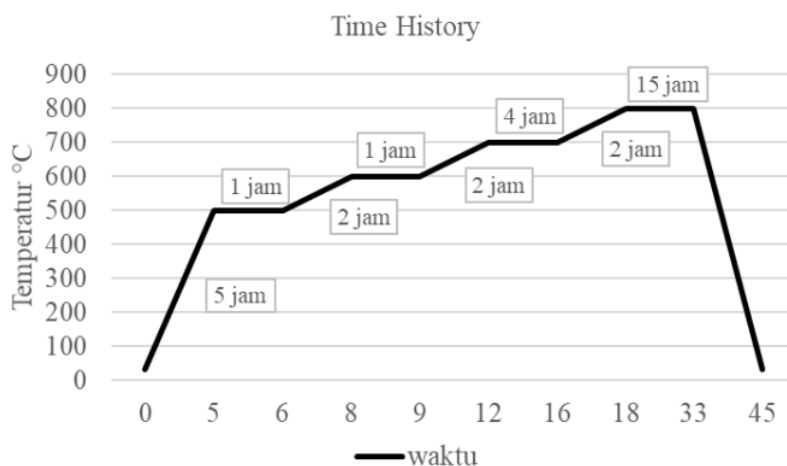
Penelitian penting untuk dilakukan karena sampai saat ini masih belum banyak pemanfaatan *Lusi*. Selain itu, sampai sekarang semburan *Lusi* masih terus terjadi dan belum bisa dihentikan. Berbagai inovasi perlu dilakukan untuk membantu mengurangi volume semburan *Lusi*, untuk itu penelitian ini

perlu dilakukan. Penelitian ini mengambil referensi dari penelitian terdahulu dalam memanfaatkan Lusi, namun untuk dimanfaatkan sebagai material buatan dengan ditinjau dari nilai porositas dan berat jenis belum dilakukan maka perlu dilakukan dengan *trial mix design* dan menguji kandungan kimia dalam Lusi sebagai perhitungan awal dalam penentuan *trial mix design*. Diharapkan dari hasil pengujian berat jenis agregat halus dan porositas LUSI dan *fly ash*, dapat dijadikan material buatan berbasis pasta *geopolymer* dan pasta semen. Selain itu mengurangi lumpur yang disemburkan dari lumpur Sidoarjo dan mengurangi limbah dari pembakaran batu bara, penelitian ini juga bertujuan untuk menjaga keseimbangan alam dengan mengurangi penggunaan material dari alam.

2. DATA DAN METODE

Persiapan Material

Persiapan material yang dilakukan pertama adalah menyiapkan Lusi. Dalam pemanfaatannya Lusi perlu dikalsinasi dan penggilingan terlebih dahulu untuk mengubah Lusi menjadi reaktif (Santoso, Prastyanto, & Ekaputri, 2021). Suhu yang dipakai untuk mengkalsinasikan lumpur 800°C selama 15 jam dengan alat furnace.



Gambar 1. Time history kalsinasi Lusi

Untuk penggilingan lumpur menggunakan *ball mill* sampai distribusi partikel berukuran 200 μm dengan analisa saringan 200. Dalam kandungan Lusi dengan uji XRF terdapat silica (Si) dan aluminium (Al) yang bisa dijadikan pasta *geopolymer*.



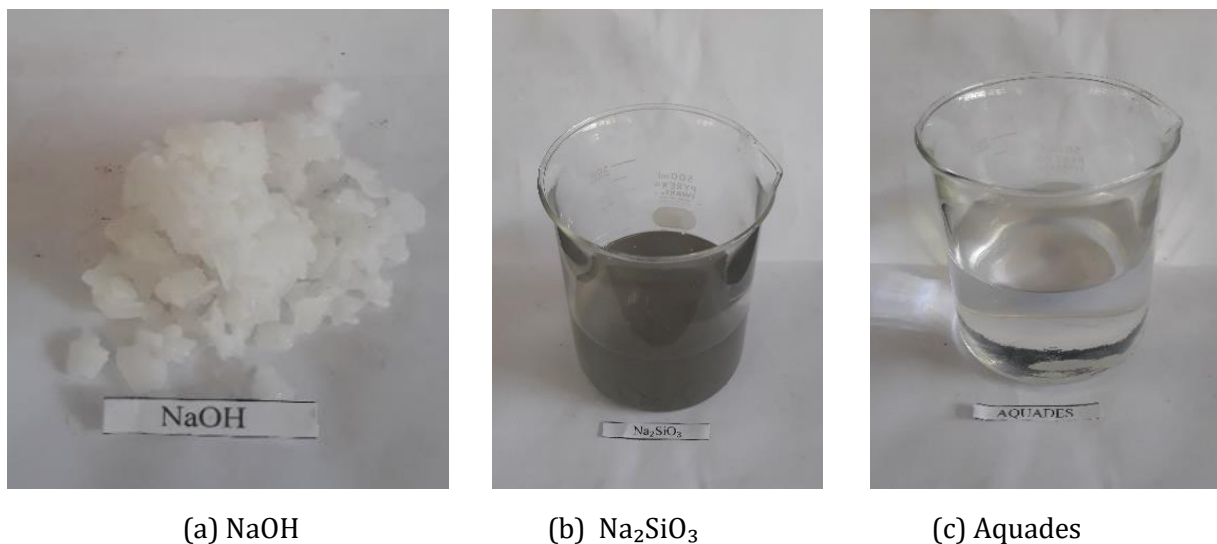
Gambar 2. Material Lusi

Persiapan material yang kedua adalah menyiapkan *fly ash* yang diambil dari PT. Petrokimia Gresik yang tergolong *fly ash* kelas F. *Fly ash* digunakan sebagai pengikat, karena sifatnya seperti semen dengan penambahan senyawa Natrium Hidroksida (NaOH) dalam suhu kamar (Purnama & Ekaputri, 2020).



Gambar 3. Material fly ash

Semen pada penelitian ini digunakan sebagai pembanding dengan *alkali activator* dengan menggunakan semen Portland. Natrium Hidroksida dicampur dengan natrium silikat (Na_2SiO_3) dengan perbandingan 1 : 2 untuk membuat *alkali activator*. Dalam penelitian ini digunakan molaritas 12 M dengan pelarut aquades menjadi NaOH dengan molaritas 12 M. Natrium silikat digunakan sebagai campuran dalam *alkali activator*. Setelah NaOH dilarutkan dengan aquades menjadi molaritas 12 M, kemudian dicampur dengan Natrium Silikat dengan perbandingan 1 : 2. Air suling yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquades yang berfungsi sebagai pelarut NaOH dalam pembuatan NaOH 12 M. Untuk mencapai 12 molar menggunakan aquades 1 liter dengan dicampurkan NaOH flake sebanyak 480 gram (Razak et al., 2015).



(a) NaOH

(b) Na_2SiO_3

(c) Aquades

Gambar 4. Penyusun *alkali activator*

Pengujian Agregat Halus

Pengujian material ini dimaksudkan untuk mengetahui material sudah memenuhi persyaratan *geopolymer*. Pengujian berat jenis agregat halus menggunakan acuan SNI 1969 – 2008 dilakukan untuk mengetahui karakteristik LUSI yang nantinya dicampur dengan *alkali activator* dan semen.

Berat jenis curah (bulk *specific gravity*)

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

Berat jenis keirng permukaan jenuh (*saturated surface dry*)

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

Penyerapan

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Keterangan:

B_k = Berat jenis kering oven (gram)

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air (gram)

Pembuatan Material Buatan

Pembuatan material terdiri dari material berbasis pasta *geopolymer* dan pasta semen. *Trial mix design* pasta *geopolymer* dengan mencampurkan Lusi + *fly ash* + *alkali activator* dengan molaritas 12 M, kemudian untuk pasta semen mencampurkan Lusi + *fly ash* + semen dengan *water to binder* rencana 0,27%. Setelah pembuatan material buatan dilakukan perawatan benda uji dengan system *curing*. *Curing* dilakukan pada benda uji pasta selama umur 28 hari. Benda uji dibungkus dengan kain basah (*moist curing*). *System moist curing* adalah sistem perawatan benda uji yang paling tepat untuk material berjenis pasta. *Crusher* dilakukan setelah pasta *geopolymer* dan pasta semen umur 28 hari. Hal tersebut dilakukan karena dalam pembuatan benda uji masih dalam bentuk bongkahan besar atau masih tercetak dalam wadah besar.

Pengujian Agregat Kasar

Material buatan yang termasuk agregat kasar untuk mendukung penuh fungsinya perlu dilakukan penyelidikan mengenai berat jenis dan penyerapan airnya. Adapun angka penyerapan digunakan untuk menghitung perubahan berat dari agregat akibat air yang menyerap ke dalam pori diantara partikel utama dibandingkan dengan kondisi kering, ketika agregat tersebut dianggap telah cukup lama kontak dengan air sehingga air telah menyerap penuh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Agregat Halus

Material halus Lusi dan *fly ash* adalah material yang dianalisa berat jenis pada penelitian ini. Analisa berat jenis bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing material penyusun yang digunakan sebagai material halus penyusun material buatan. Analisa berat jenis Lusi diperlukan untuk perencanaan *mix design* dalam pembuatan material buatan. Berdasarkan ASTM C 188-95 hasil analisa berat jenis Lusi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji berat jenis Lusi

No.	Berat jenis Lusi		Satuan
1	Berat Lusi (W1)	250	gram
2	Berat Lusi + minyak + labu takar (W2)	718.1	gram
3	Berat labu takar + minyak (W3)	547.5	gram

4	Berat jenis $(0.8 \times W1) / (W1 + W2 + W3)$	2.519	gr/cm ³
---	------------------------------------------------	-------	--------------------

Hasil analisa berat jenis Lusi adalah 2.519 yang berarti material tersebut dapat digunakan dalam pembuatan *mix design* karena berat jenis Lusi lebih dari berat jenis air sebesar 1. Kemudian untuk analisa berat jenis *fly ash* diperlukan karena *fly ash* termasuk dalam binder penyusun *mix design* untuk pasta *geopolymer* dan pasta semen. Hasil analisa berat jenis *fly ash* ditunjukkan pada Tabel 2 (ASTM C188-95).

Tabel 2. Hasil uji berat jenis *fly ash*

No.	Berat jenis <i>fly ash</i>		Satuan
1	Berat <i>fly ash</i> (W1)	250	gram
2	Berat <i>fly ash</i> + minyak + labu takar (W2)	718.1	gram
3	Berat labu takar + minyak (W3)	547.3	gram
4	Berat jenis $(0.8 \times W1) / (W1 + W2 + W3)$	2.525	gr/cm ³

Material *fly ash* dapat digunakan untuk penyusun *mix design* karena memiliki berat jenis 2.525 lebih besar dari berat jenis air 1.

Pengujian Agregat Kasar dan Porositas

Semua agregat memiliki pori dan porositas yang berbeda tergantung material penyusun agregat tersebut. Semakin kecil (kurang dari sama dengan 3%) nilai porositasnya maka semakin baik kualitas agregat tersebut. Penelitian ini menggunakan molaritas 12 M dengan pasta *geopolymer* Lusi 20% : *fly ash* 80%. Untuk pasta semen menggunakan semen 60% : Lusi 10% : *fly ash* 30%. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 3 dan hasil pengujian porositas ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil uji berat jenis pasta *geopolymer* dan pasta semen

No.	Berat jenis agregat kasar	Pasta <i>geopolymer</i> Lusi 20% : <i>fly ash</i> 80%	Pasta semen 60% : Lusi 10% : <i>fly ash</i> 30%	Satuan
1	Berat benda uji kering oven (Bk)	2464.50	2629.00	gr
2	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	3075.00	3287.30	gr
3	Berat benda uji dalam air (Ba)	1894.00	1784.00	gr
4	Berat jenis (<i>bulk</i>)	2.087	1.873	
5	Berat benda uji permukaan jenuh	2.604	2.271	
6	Berat jenis semu (<i>apparent</i>)	4.320	3.111	
7	Penyerapan	4.320	3.111	%

Tabel 4. Hasil uji porositas pasta *geopolymer* dan pasta semen

No.	Variasi	Pasta <i>geopolymer</i> Lusi 20% : <i>fly ash</i> 80%	Pasta semen 60% : Lusi 10% : <i>fly ash</i> 30%	Satuan
1	Berat awal	200.00	200.00	gr
2	Berat dalam air	103.00	102.00	gr
3	Berat kering permukaan jenuh	198.50	207.00	gr
4	Berat kering oven	176.30	169.00	gr
5	Kondisi halus	160.50	160.50	gr
6	Volume	64.10	60.40	gr
7	r	2.50	2.70	
8	α	1.80	1.60	

9	Total porosity (Pt)	26.30	39.10	%
10	Open porosity (P0)	23.20	35.30	%
11	Close porosity (Pf)	3.00	3.80	%
12	Massa pikno + air	646.9	563.80	gr
13	Massa sample halus	160.5	157.40	gr
14	Massa pikno + sample + air	743.3	660.880	gr

Hasil pengujian berat jenis pasta *geopolymer* dengan *mix design* Lusi 20% : *fly ash* 80% sebesar 2.6 dan hasil pengujian berat jenis pasta semen dengan *mix design* semen 60% : Lusi 10% : *fly ash* 30% sebesar 2.2. Pengujian porositas menunjukkan bahwa pasta geopolimer dengan *mix design* Lusi 20% : *fly ash* 80% untuk molaritas 12 M memenuhi persyaratan porositas maksimum 3%. Sedangkan untuk pasta semen dengan *mix design* Lusi 10% : *fly ash* 30% : semen 60% belum memenuhi persyaratan untuk dijadikan material buatan karena nilai porositas mencapai 3.8%.

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan Lusi dan *fly ash* sebagai material buatan dengan pengujian berskala laboratorium untuk dimanfaatkan sebagai material buatan berdasarkan nilai berat jenis agregat halus dan porositas dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Lusi sebagai material halus dalam penelitian ini mempunyai berat jenis 2.519 dan *fly ash* mempunyai berat jenis 2.525. Berat jenis Lusi dan *fly ash* lebih besar dari berat jenis air yaitu 1, hal tersebut yang mendasari bahwa Lusi dan *fly ash* dapat dibuat sebagai benda uji untuk kemudian diuji. Pasta *geopolymer* Lusi 20% : *fly ash* 80% dengan molaritas 12 M memiliki porositas 2.6% dan dapat dijadikan sebagai material buatan. Pasta semen 60% : Lusi 10% : *fly ash* 30% dengan *water to binder* 27% memiliki porositas 3.8% tidak dapat dijadikan material buatan karena nilai porositasnya yang lebih dari 3%

UCAPAN TERIMA KASIH

Rasa terimakasih ditujukan kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan hasil penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca untuk menambah wawasan dan pengetahuan.

REFERENSI

- Ekaputri, J. J., Triwulan., & Amin, S. (2014). PEMBUATAN MORTAR RINGAN GEOPOLIMER Potential Sidoarjo Mud And Fly Ash On Geopolymer Lightweight Mortar. *LOGIC*, 14(1), 54–59.
- Ekaputri, Januarti Jaya, Triwulan., & Adiningtyas, T. (2007). Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sipil*, 33(3), 33–45.
- Hardjito, D., & Antoni. (2013). Potentials of LUSI Volcanic Mud as Construction Materials. *Asian Bulletin of Engineering Science and Technology (ABEST)*, 1(1), 1–6.
- Kang, S. H., Jeong, Y., Kim, M. O., & Moon, J. (2019). Pozzolanic reaction on alkali-activated Class F fly ash for ambient condition curable structural materials. *Construction and Building Materials*, 218, 235–244.
- Purnama, A. C., & Ekaputri, J. J. (2020). Penggunaan Fly Ash sebagai Agregat Buatan Pengganti Agregat Alami pada Campuran Beton Fly Ash Utilization as the Artificial Aggregates in Concrete Mixture. 0(March).
- Razak, R. A., Abdullah, M. M. A. B., Hussin, K., Ismail, K. N., Hardjito, D., & Yahya, Z. (2015). Optimization of NaOH molarity, LUSI mud/alkaline activator, and Na₂SiO₃/NaOH ratio to produce lightweight aggregate-based geopolymer. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(5), 11629–11647.
- Santoso, T. B., Prastyanto, C. A., & Ekaputri, J. J. (2021). Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo dan Fly Ash Sebagai Material Buatan Berbasis Pasta Berdasarkan Nilai Kuat Tekan dan Keausan. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 19(1), 39.
- Triwulan, Ekaputri, J. J., & Megahsari, P. (2013). Fiber reinforced lightweight binder with calcined-Sidoarjo mud. *Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM13)*, 3090–3102.

Pemanfaatan Teknik *Rainwater Harvesting* sebagai Pemenuhan Kebutuhan Air Domestik di Desa Cot Mee

Sania Alfiani¹, Surya Perdana Sinuraya², As Andika Sah Putra³

^{1,2,3} Universitas Teuku Umar, Indonesia

Corresponding Author:

Email: saniaalfiani15@gmail.com

Keywords:

rainwater harvesting, domestic needs

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *The use of artesian wells or drilled wells is still the main choice of the people of Cot Mee Village, one of the areas in Nagan Raya Regency, where this is done to meet the needs of raw water sources as domestic needs. In addition to the expensive cost of installing borewells, this also adversely affects the environment due to excessive use of groundwater and raises the potential for land subsidence. Under these circumstances, in order to solve the problem of raw water for individual lives, alternative solutions are needed that are more effective and efficient. One of alternative is to create a rainwater harvesting system from the roof of the building by maximizing high rainfall or known as rainwater harvesting technique. Field studies show the building area in Cot Mee Village is currently in good condition and livable and the entire roof is made of zinc. Of course, this condition will be very maximum in the process of harvesting rainwater. Analysis of the potential for rain harvesting in Cot Mee Village is 64,685.61 liters/day, with the potential for rainwater harvesting per house of 743,512 liters/day. The ratio between the total water harvested amounted to 64,685.61 liters/day with the total use of raw water for needs of the people of Cot Mee Village of 43,399.8 liters/day. Research shows that rainwater harvesting technique will be adequate and able to be an alternative in providing raw water for domestic needs.*

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan air dan kehidupan manusia merupakan korelasi yang esensial terhadap kehidupan manusia. Beberapa wilayah memiliki sumber air yang berbeda-beda bergantung kondisi geografis pada wilayah tersebut. Mayoritas wilayah di Indonesia menggunakan sumber air tanah sebagai pemenuhan kebutuhan air bersih. Akan tetapi, sumber air tanah di beberapa wilayah tertentu semakin menurun karena faktor lingkungan dan aktivitas manusia (Al-Qubatee et al., 2022). Kualitas air yang memadai diimbangi dengan kuantitasnya yang cukup merupakan hal krusial bagi kehidupan manusia, namun jika penggunaannya yang terlalu eksekif maka akan berdampak terhadap ketersediaannya di alam. Hal itu tentunya tidak baik menimbang banyak penduduk di dunia kesulitan mendapat untuk air bersih terhadap kebutuhan aktivitas sehari-hari. Maka dari itu, muncul gagasan untuk memanfaatkan potensi air hujan sebagai sumber air bersih (Alim et al., 2020).

Opsi utama masyarakat Kabupaten Nagan Raya khususnya Desa Cot Mee dalam memenuhi kebutuhan air sehari-hari ialah dengan memanfaatkan air tanah dari sumur artesis. Akan tetapi kualitasnya sangat buruk untuk digunakan. Lazimnya air di wilayah tersebut sedikit keruh, berwarna kuning, dan sedikit berbau. Pemenuhan kebutuhan air untuk konsumsi rumah tangganya, mereka cenderung menggunakan air isi ulang untuk memasak akibatnya biaya yang ditimbulkan untuk kebutuhan tersebut menjadi cukup besar, sumber air tanah di wilayah tersebut semakin menurun karena berbagai faktor lingkungan dan aktivitas manusia yang tidak terkendali.

Preferensi dalam memanfaatkan air hujan melalui sebuah sistem sederhana yang menampung air hujan atau *rainwater harvesting*, dapat menjadi jalan keluar yang efisien untuk memecahkan problematika ketersediaan air bersih di suatu wilayah dengan kondisi tertentu. Selain itu, sistem ini mengoptimalkan tingginya curah hujan disuatu wilayah sehingga dapat memaksimalkan penggunaan air dari sumber yang ada tanpa adanya pengeksploitasian air tanah yang berlebih. Bagian terpenting dalam mengaplikasikan sistem ini adalah memperhatikan teknis dan desain yang tepat agar sistem pemanenan air hujan ini bisa diterapkan dengan tepat serta memberikan manfaat terbesar terhadap

kehidupan manusia. Sistem ini dinilai mampu menambah kecukupan akan kebutuhan air bersih, meminimalisir genangan, serta berwawasan lingkungan.

2. KAJIAN LITERATUR

2.1 Hujan

Fenomena alam yang urgen dalam siklus hidrologi serta berperan penting bagi kehidupan manusia biasanya disebut hujan. Curah hujan yang tinggi dapat memberikan manfaat dalam pengisian sumber daya air dan meningkatkan produksi tanaman, namun juga dapat menyebabkan bencana banjir dan longsor.

Tabel 1. Jenis hujan berdasarkan kedalaman hujan per satuan waktu (Tian et al., 2018)

Jenis hujan	Kedalaman hujan per satuan waktu (mm/menit)
Sangat deras	Lebih dari 1
Deras	0.25 sampai 1
Sedang	0.05 sampai 0.25
Lemah	0.02 sampai 0.05
Sangat lemah	Kurang dari 0.02

Jenis-jenis hujan yang disebutkan berdasarkan curah hujan oleh BMKG merupakan kategori yang umum digunakan dalam menggambarkan intensitas hujan. Selain itu, istilah hujan yang familier didengar ialah hujan ringan dan ekstrem, dengan curah hujan kurang dari 20 mm per hari dikategorikan sebagai hujan ringan dan lebih dari 250 mm per hari untuk kategori hujan ekstrem. Intensitas hujan dikatakan sebagai kedalaman hujan yang dihitung berdasarkan satuan waktu. Kedalaman hujan atau curah hujan paling sering digolongkan ke beberapa jenis sesuai kedalaman hujan setiap satuan waktu seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Curah hujan memengaruhi kuantitas air hujan yang turun ke bumi. Tidak hanya itu, beberapa faktor lain seperti fungsi lahan, bentuk permukaan bumi, hingga jenis tanah menjadi pemicu lain terhadap kuantitas air hujan. Air hujan digunakan sebagai preferensi sumber air bersih melalui teknik *rainwater harvesting*. Akan tetapi, naik turunnya kuantitas air hujan tidak dapat menjadi acuan harian dalam pemenuhan kebutuhan air bersih untuk keperluan tertentu. Oleh karenanya, diperlukan sebuah sistem pengendalian pemanenan air hujan yang terpadu.

2.2 Keperluan Air menurut Domestik dan Non-domestik

Keperluan domestik dan non-domestik ialah klasifikasi kebutuhan air baku pada suatu wilayah atau kota (Terence, 1979). Kebutuhan air baku skala domestik seringkali untuk memenuhi kegiatan rumah tangga. Sedangkan skala non-domestik berlaku untuk memenuhi kebutuhan air baku pada industri, fasilitas umum, dan lain sejenisnya. Perbedaan yang kontras antara kebutuhan domestik dan non-domestik yaitu pada akumulasi kuantitas air baku serta fungsi pemakaiannya. Besaran air baku ini dapat ditentukan sesuai ketentuan yang berlaku pada tabel 2.

Tabel 2. Keperluan air baku domestik kategori kota menurut jumlah penduduk (Maryono, 2016)

No.	Keterangan	Jumlah penduduk (jiwa)				
		I	II	III	IV	V
		Metro Lebih dari 1.000.000	Besar 500.000- 1.000.000	sedang 100.000- 500.000	Kecil 20.000- 100.000	IKK & Desa Kurang dari 20.000
1	Pemakaian unit non rumah tangga (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30

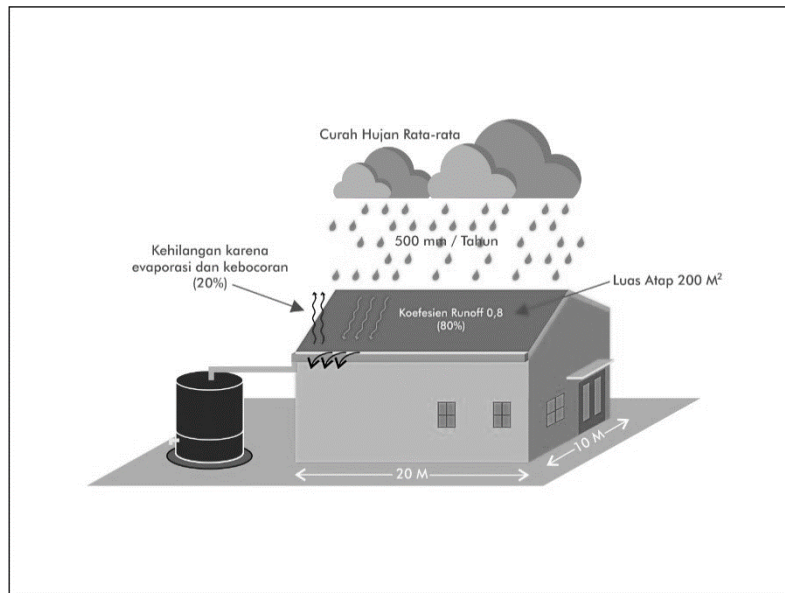
2	Pemakaian unit hidran general (HU) ltr/org/hr	30	30	30	30	30
3	Pemakaian unit lanjutan rumah (SR) ltr/org/hr	190	170	150	130	30
4	Faktor Peak Hour	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
5	Faktor paling maksimal	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
6	Kelenyapan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20
7	Kelebihan tekan di sebaran jaringan	10	10	10	10	10
8	Akumulasi jiwa per hidran umum	100	100	100	100-200	200
9	Akumulasi jiwa per lanjutan rumah	5	5	6	6	10
10	Volume pengumpulan (%)	20	20	20	20	20
11	Jam kerja	24	24	24	24	24
12	SR : HU	50:50 s/d 70:30	50:50 s/d 80:20	80:20 s/d 80:20	70	30
13	Cakupan pelayanan (*)	**}90	**}90	**}90	**}90	***}70

2.3 Teknik *Rainwater Harvesting*

Teknik tertentu dalam mengupulkan air hujan atau istilah lainnya adalah *rainwater harvesting* diartikan sebagai istilah yang digunakan secara luas yang mencakup semua teknik menampung air hujan dan memanfaatkannya (Thomas & Martinson, 2007). Teknik ini dibagi kedalam jenis tertentu menurut pengaplikasiannya pada bangunan. Teknik jenis pertama diterapkan untuk bangunan dengan memanen langsung melalui atap dan jenis lainnya menggunakan aliran permukaan seperti bendungan, waduk, dan lain sebagainya. Perbedaan antara kategori teknik pemanenan air hujan yang pertama dan kedua terletak pada fungsinya. Kategori pertama lebih fokus pada kebutuhan air domestik dan pengelolaan air di rumah tangga. Sedangkan kategori kedua lebih fokus pada pengelolaan air untuk pertanian dan kebutuhan non-domestik lainnya. Teknik pemanenan air hujan atau *rainwater harvesting* memang memiliki manfaat yang signifikan dalam membantu mengurangi ketergantungan pada sumber air bawah tanah yang semakin menipis, serta mengurangi risiko banjir dan erosi tanah pada saat musim hujan. Selain itu, teknik ini juga dapat meningkatkan kuantitas air pada daerah yang sulit dijangkau oleh sistem penyediaan air bersih konvensional.

2.4 Desain Bangunan Pemanenan Air Hujan

Desain bangunan untuk memanen air hujan dapat dikerjakan secara cepat sebab desain yang sederhana dan pengaplikasian yang mudah (Worn et al., 2006). Unsur utama desain bangunan penampung air hujan berupa bak penampungan, saluran penampung, dan atap bangunan seperti pada gambar 1..



Gambar 1. Ilustrasi desain teknik pemanenan air hujan (Penulis, 2023)

Implementasi untuk skala kecil menurut Worn et al (2006) menyatakan desain teknik pemanenan air hujan dapat dibuat sederhana melalui penyaluran air dari atap bangunan menuju area yang lebih rendah dengan memaksimalkan bentuk permukaan lahan disekitar bangunan. Desain yang lebih signifikan meliputi atap, saluran perantara, bak penampungan, lubang penggalian, dan lubang pembuangan.



Gambar 2. Ilustrasi desain pengumpul air hujan yang signifikan (Penulis, 2023)

2.5 Asas Dasar Pemanenan Hujan

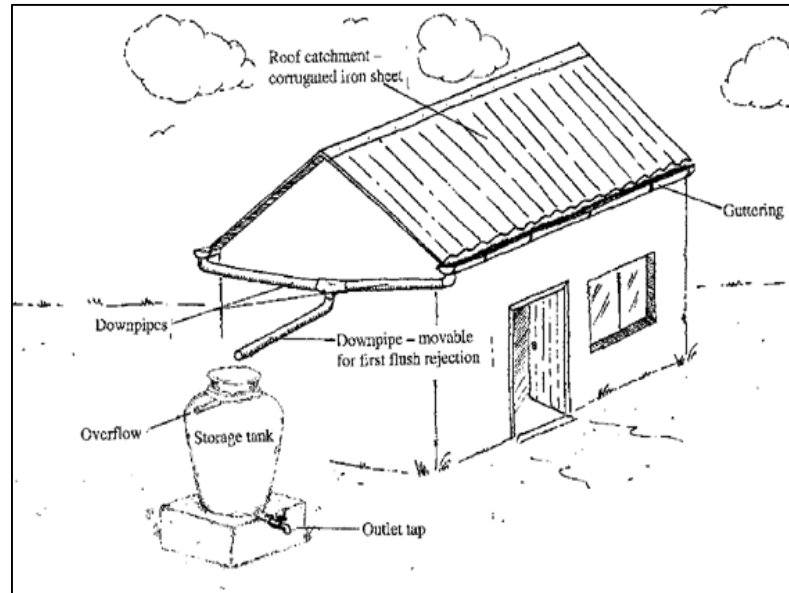
a. Secara Umum

Penuaian secara umum adalah langkah-langkah umum dalam penuaian air hujan seperti melalui jalan, lahan terbuka, atau atap. Selain itu, perlu diingat bahwa dalam pemanenan air hujan, pemilihan bahan bangunan dan desain yang tepat sangat penting untuk memastikan efisiensi dan keamanan sistem. Selain itu, perlu juga diperhatikan pemeliharaan dan pengawasan sistem secara rutin untuk memastikan kualitas air yang dihasilkan tetap terjaga (Terence, 1979).

b. Melalui Atap

Pengumpulan air hujan melalui atap adalah salah satu teknik pemanenan air hujan yang paling umum dan efektif. Atap yang digunakan sebagai area penangkapan air hujan harus dibuat dari bahan yang tahan air dan bersih, seperti genteng atau pelat logam. Selain itu, luas atap juga

mempengaruhi jumlah air yang bisa ditampung. Semakin luas atapnya maka akan semakin banyak air yang bisa dipanen. Oleh karena itu, teknik ini bisa digunakan baik pada skala besar seperti bangunan komersial, perkantoran, maupun pada skala kecil seperti rumah tangga. Namun, perlu diperhatikan juga bahwa dalam penggunaan air hujan ini harus memperhatikan kualitas air yang dihasilkan dan tetap menjaga kebersihan dari area penampungan agar air yang dihasilkan tetap layak digunakan (Terence, 1979).



Gambar 3. Pemanenan air hujan sederhana (Terence, 1979)

2.6 Analisis Kerapatan Curah Hujan

Data yang diolah dalam menganalisis frekuensi curah hujan merupakan data hujan harian paling tidak dalam sepuluh tahun terakhir atau lebih. Metode analisis kerapatan atau distribusi frekuensi curah hujan adalah distribusi Log Normal, Gumbel, Normal, atau log Pearson III (PUPR, 2018).

a. Distribusi Normal dan distribusi Log Normal

Distribusi normal memiliki koefisien asimetris atau memiliki koefisien *skewness* nol, demikian halnya dengan distribusi log normal memiliki nilai asimetris atau nilai koefisien *skewness* sebanding dengan tiga kali koefisien variasi ditambah tiga kali koefisien variasi dipangkatkan tiga. Nilai koefisien variasi dan koefisien *skewness* ditentukan dengan persamaan empiris dibawah ini (PUPR, 2018).

$$R_T = \bar{R} + K_T \times S \quad (1)$$

$$C = \frac{S}{\bar{x}} \quad (2)$$

$$C = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (3)$$

Keterangan,

R_T = Hujan rancangan kala ulang q tahun (mm)

K_T = Variabel frekuensi

\bar{x} = Kedalaman hujan maksimum selama tahun tinjauan secara rata-rata (mm)

Cs = Bilangan *skewness*

Cv = Bilangan variasi

S = Standar penyimpangan

n = Akumulasi keseluruhan data

x_i = Kedalaman hujan harian paling tinggi di tahun pertama (mm)

b. Distribusi Gumbel

Kedalaman hujan atau biasa dikatakan sebagai curah hujan rancangan berdasarkan metode distribusi Gumbel dapat diterima secara statistik dengan persamaan dibawah ini (Yulianur, 2003).

$$R_T = \bar{R} + K \times S_d \quad (4)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum(Ri-\bar{R})^2}{n-1}} \quad (5)$$

$$K = \frac{Y_{TR}-Y_n}{S_n} \quad (6)$$

$$Y_{TR} = - (0,834 + 2,303 \log \log \frac{T}{T-1}) \quad (7)$$

Keterangan,

- K = faktor kerapatan hujan untuk kala ulang t tahun
- \bar{R} = rata-rata hujan harian maksimum tahunan (mm)
- R_T = hujan rancangan kala ulang t tahun (mm)
- n = jumlah data
- Ri = hujan harian maksimum tahunan
- S_d = standar deviasi (mm)
- Y_{TR} = reduced variate
- S_n = reduced standart deviation
- T = kala ulang t tahun
- Y_n = *reduced mean*

c. Distribusi log Pearson III

Pearson telah meluaskan sekumpulan fungsi kemungkinan yang bisa digunakan untuk hampir keseluruhan metode distribusi kemungkinan empiris (Suripin, 2004). Persamaan umum dari distribusi log Pearson III yaitu dibawah ini.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ri-\bar{R})^2}{n-1}} \quad (8)$$

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n (\log Ri - \log \bar{R})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (9)$$

$$\log R_T = \log \bar{R} + K \times S \quad (10)$$

Keterangan,

- R_T = curah hujan rencana (mm)
- Cs = koefisien kemiringan
- S = Standar deviasi
- K = Faktor frekuensi
- R = data hujan harian (mm)
- \bar{R} = rata-rata curah hujan maksimum (mm)

d. Penetapan jenis distribusi

Penetapan jenis rumus empiris sebaran yang tepat dengan angka-angka dikerjakan dengan memadukan acuan statistik melalui ketentuan tersendiri dari jenis sebaran (Triatmodjo, 2008). Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Acuan statistik jenis sebaran (Triatmodjo, 2008)

No.	sebaran	Ketentuan
1	Normal	$Ck \approx 3$ $(x \pm s) = 68,27\%$ $Cs \approx 0$ $(x \pm 2s) = 95,44\%$
2	Log Normal	$Ck = 5,4412$ $Cs = 1,1502$
3	Gumbel	$Ck = 5,4$ $Cs = 1,14$
4	Log Pearson III	Selain dari ketentuan diatas

2.7 Akumulasi Air Panen dan Kebutuhan Air Hujan

Volume air hujan yang dipanen ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor yaitu: kegunaan air hujan, fluktuasi curah hujan, luas bangunan penangkap hujan, dan total volume air yang diperlukan (Terence, 1979). Sedangkan kebutuhan air hujan ditentukan berdasarkan fungsi utama pemanenan air. Lalu, menganalisis ketercukupan antara kuantitas air panen dengan kebutuhan air hujan yang diperlukan. Akumulasi air hujan yang dapat ditampung disajikan dalam persamaan empiris berikut (Maryono, 2016).

$$\Sigma Q = a \times R_{24} \times A \quad (11)$$

Keterangan,

A = Rata-rata hujan harian maksimum (mm/hari)

R_{24} = angka *run off*

a = luas atap b (m^2)

ΣQ = jumlah air dipanen (liter/hari)

2.8 Akumulasi Kebutuhan Air Baku untuk Domestik

Menentukan akumulasi kebutuhan air baku untuk domestik digunakan rumus sebagai berikut (Harto, 2000)

$$K_d = d \times \Sigma p \quad (12)$$

Keterangan,

Σp = jumlah penduduk (orang)

d = kebutuhan air

K_d = Kebutuhan air baku domestik (liter)

3 METODE PENELITIAN

3.1 Akumulasi Kebutuhan Air Baku Domestik

Pembatasan lokasi penelitian dilakukan pada batas kawasan Desa Cot Mee di Kabupaten Nagan Raya. Secara administratif Desa Cot Mee terdiri dari 3 (tiga) dusun yaitu dusun Bahagia, Dusun Ingin Jaya, dan Dusun Sejahtera dengan total keluarga sebanyak 87 Kepala Keluarga dan 342 jiwa. Penelitian menghabiskan waktu kurang lebih 2 bulan sejak bulan Februari 2023 hingga Maret 2023. Penelitian ini dikategorikan penelitian bersifat kualitatif dan kuantitatif.

Tabel 4. Akumulasi Penduduk Desa Cot Mee (Arsip Desa Cot Mee, 2023)

No	Jumlah KK	Total Penduduk
1	20	77
2	37	145
3	30	120
Jumlah	87	342

3.2 Metode Pengumpulan Data

Data primer dan sekunder dipilih pada penelitian ini. Data primer didapatkan melalui studi lapangan dengan melakukan tinjauan terhadap kondisi sumber air, luas atap, dan luas bangunan. Penulis juga melakukan wawancara untuk meninjau total kebutuhan air bersih setiap keluarga per harinya. Sedangkan data sekunder berasal dari data klimatologi berupa data hujan harian dan jumlah penduduk. Data hujan harian berasal dari stasiun BMKG Nagan Raya dan data jumlah penduduk yang berasal dari Kantor Desa Cot Mee.

3.3 Tahapan Studi

Tahapan studi dilakukan dengan beberapa langkah.

- Menyurvei lapangan terkait kondisi sumber air, luas atap, dan luas bangunan.
- Mewawacarai warga desa Cot Mee terkait total kebutuhan air bersih yang dihabiskan setiap keluarga per harinya.
- Menentukan distribusi frekuensi hujan untuk memperoleh data curah hujan harian maksimum secara rata-rata .
- Menentukan akumulasi air hujan yang dipanen.
- Menentukan penggunaan air untuk kebutuhan air baku domestik penduduk Desa Cot Mee.
- Melakukan perbandingan antara air panen hujan dengan akumulasi penggunaan air.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Peluang Pemanenan Air Hujan

Peluang banyaknya air hujan yang dipanen dipengaruhi oleh hasil studi lapangan dengan ketentuan sebagai berikut.

Tabel 5. Jenis bangunan dan bangunan penangkap di Desa Cot Mee (Hasil Survei Lapangan, 2023)

No	Dusun	Bangunan		
		Bahan Atap Seng	Tipe 1 <100 m ²	Tipe 2 101-150 m ²
1	Bahagia	43	39	4
2	Ingin Jaya	17	14	3
3	Sejahterah	27	18	9

Berdasarkan hasil analisis tabel, dapat disimpulkan bahwa jumlah luasan atap bangunan per dusun di Desa Cot Mee dihitung dengan cara mengalikan perkiraan luas atap dengan akumulasi data tipe rumah. Merujuk pada hasil perhitungan pada tabel 6, diperoleh akumulasi luasan atap bangunan di Desa Cot Mee sebesar 9.430 m².

Tabel 6. Luas atap bangunan di Desa Cot Mee (Hasil Analisis, 2023)

No	Nama Dusun	Jenis Atap		Jumlah	%
		Tipe 1 ±80 m ²	Tipe 2 ±130 m ²		
1	Bahagia	3120	520	3640	38,60021209
2	Ingin Jaya	1360	1820	3180	33,72216331
3	Sejahterah	1440	1170	2610	27,6776246
Jumlah Total				9430	100

4.2 Hasil Analisis Akumulasi Air Hujan yang dipanen

Akumulasi air hujan yang diperoleh dihitung berdasarkan persamaan 11. Perhitungan dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu nilai rerata curah hujan maksimum harian, distribusi frekuensi dan nilai hujan kala ulangnya. Diperoleh nilai rerata curah hujan maksimum harian sebesar 151,67 mm serta nilai distribusi frekuensi dengan metode log Pearson III sebesar Cs 0,15837 dan Cv 2,00968. Nilai

hujan kala ulang 10 tahun sebesar 85,74444 mm/hari atau 0,008574444 m/hari. Asumsi koefisien *run off* untuk bangunan atap yang digunakan adalah 0,8.

Tabel 7. Hasil analisis pemanenan air hujan (Hasil Analisis, 2023)

No	Nama Dusun	C	R	A	Qtot	Qtot
1	Bahagia	0,8	0,008574444	3640	24,96878222	24968,78222
2	Ingin Jaya	0,8	0,008574444	3180	21,81338667	21813,38667
3	Sejahterah	0,8	0,008574444	2610	17,90344	17903,44
Jumlah Total						17903,44

4.3 Hasil Perbandingan Akumulasi Penggunaan Air dengan Akumulasi Air yang dipanen

Masyarakat Desa Cot Mee membutuhkan air untuk berbagai aktivitas rumah tangga. Pelbagai aktivitas penggunaan air setiap orang oleh masyarakat Desa Cot Mee ditunjukkan pada tabel 8 dan hasil analisis perbandingan pemanenan air hujan dengan kebutuhan air domestik ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 8. Akumulasi Penggunaan air setiap orang di Desa Cot Mee (Hasil Analisis, 2023)

Keperluan	Konsumsi
Minum	2,0
Mandi, cuci	12,0
Kebersihan rumah	31,4
Taman	11,8
Ibadah	16,2
Cuci Kendaraan	21,1
Cuci pakaian	10,7
Lainnya	21,7
Total	126,9

Tabel 9. Hasil analisis perbandingan pemanenan air hujan dengan kebutuhan air domestik (Hasil Analisis, 2023)

No	Nama Dusun	Jumlah Warga (jiwa)	Akumulasi Penggunaan Air (liter/hari)	Akumulasi Air yang Dipanen (lier/hari)	Syarat Penggunaan Air < Air Panen
1	Bahagia	77	9771,3	24968,78222	Tercukupi
2	Ingin Jaya	145	18400,5	21813,38667	Tercukupi
3	Sejahterah	120	15228	17903,44	Tercukupi
Jumlah Total		342	43399,8	17903,44	Tercukupi

Merujuk pada hasil analisis perbandingan pemanenan air hujan dengan kebutuhan air domestik di Desa Cot Mee memperlihatkan bahwa peluang pemanenan air hujan sebesar 64.685,61 liter per hari. Jika dimisalkan luas atap setiap bangunan di desa Cot Mee sama, maka peluang pemanenan air hujan setiap rumah sebanyak 743,512 liter per hari. Analisis perbandingan antara akumulasi pemanenan air hujan sebanyak 743,521 liter per hari dengan akumulasi kebutuhan air domestik setiap rumah sebanyak 498,848 liter per hari. Hal ini menunjukkan bahwa melalui pengimplementasian teknik pemanenan air hujan atau *rainwater harvesting* di Desa Cot Mee akan memberikan opsi sumber air baku domestik yang efektif dalam menanggulangi masalah ketersediaan air bersih untuk kehidupan sehari-hari.

5. KESIMPULAN

- a) Hasil analisis terhadap peluang air hujan yang dapat dipanen pada Desa Cot Mee memperlihatkan sebanyak 64.685,61 liter per hari.
- b) Rerata peluang air hujan yang dapat dipanen untuk sesetiap rumah sebesar 743,512 liter per hari.
- c) Rerata akumulasi penggunaan air untuk kebutuhan masyarakat desa Cot Mee sebesar 489,898 liter per hari.
- d) Perbandingan antara akumulasi pemanenan total air hujan dari setiap rumah yang berjumlah 743,512 liter per hari dengan akumulasi penggunaan air untuk kebutuhan domestik masyarakat Desa Cot Mee sebesar 498,898 liter per hari membuktikan bahwa menggunakan teknik pemanenan air hujan ini mampu memenuhi ketersediaan air bersih untuk pemenuhan kehidupan sehari-hari.
- e) Luas atap penangkap hujan di Desa Cot Mee sudah dalam kondisi optimal dan layak fungsi dengan atap rumah sebagian besar berbahan seng, sehingga hal ini akan memaksimalkan dalam proses pengumpulan air hujan apabila teknik pemanenan air hujan diterapkan.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Dr. Ir. Astiah Amir, S. T., M. T., BMKG Nagan Raya, dan Livita Hanum yang telah mendukung serta membantu penulis pada penelitian ini.

REFERENSI

- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. (2020). Suitability of roof harvested rainwater for potential potable water production: A scoping review. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119226>
- Al-Qubatee, W., Hasan, F. Al, Ritzema, H., Nasher, G., & Hellegers, P. (2022). Natural and human-induced drivers of groundwater depletion in Wadi Zabid, Tihama coastal plain, Yemen. *Journal of Environmental Planning and Management*, 65(14), 2609–2630. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1975104>
- Harto, S. (2000). *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Kementrian Pekerjaan Umum dan perumahan Rakyat. (2018). Modul Perencanaan Bangunan Sabo. Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. Bandung.
- Maryono, A., & Santoso, E.N. (2006). *Metode Memanen dan Memanfaatkan Air Hujan Untuk Penyediaan Air Bersih. Mencegah Banjir dan kekeringan*. Kementerian Negara Lingkungan Hidup RI. Jakarta.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisis Data Jilid 1*. Nova. Bandung.
- Steel E. W. & McGhee T. J. (1979). *Water supply and sewerage : [by] e.w. steel terence j. mcghee (5th ed.)*. McGraw-Hill.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Andi. Yogyakarta.
- Thomas, T. H., & Martinson, D. (2007). *Roofwater Harvesting: A Handbook for Practitioners*.
- Tian, L., Zeng, Y., & Fu, X. (2018). Velocity Ratio of Wind-Driven Rain and Its Application on a Transmission Tower Subjected to Wind and Rain Loads. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001210](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001210)
- Triatmodjo. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta
- Worn, J., Van Hattum, T., & de Kat-reynen, C. (2006). *Rainwater harvesting for Domestic Use*.
- Yulianur, A. (2003). *Drainase Perkotaan*. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.

Pengaruh Penambahan Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) pada Campuran LASTON AC-WC terhadap Parameter Marshall

Sheva Alviano Aziz^{a*}, Achmad Aprilian Arifianto^b, Asri Nurdiana^c, Riza Susanti^d

^{a,b,c,d} Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Corresponding Author:

Email: sheva.al.aziz@gmail.com

Keywords:

PET (*Polyethylene Terephthalate*), POFA (*Palm Oil Fuel Ash*), AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), Marshall Parameters

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: PET (*Polyethylene Terephthalate*) plastic cannot be separated from everyday life, as is commonly found in bottles. The increasing use of plastic, if not managed and utilized correctly, will cause harm to the environment. On the other hand, Indonesia is rated first as a palm-producing country. Unfortunately, it becomes a new problem due to the waste generated. POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) is palm oil waste in the form of grayish-black fine granules resulting from burning palm oil at a temperature of 800 – 1000°C. POFA waste management is needed so that it does not only become waste but has added value. In addition, the high demand for asphalt mixtures requires innovations to improve the characteristics of asphalt mixtures, such as utilizing PET and POFA waste as additives in asphalt mixtures. This research aimed to determine the marshall parameters of the AC-WC mixture added with PET and POFA, obtain the KAO value (*Optimum Asphalt Content*), and look for the cost efficiency of the AC-WC mixture. This study designed 45 samples with details of 15 samples to obtain the KAO value and 30 samples to determine the optimum PET content varying from 1%, 2%, and 3%, along with POFA 50% and 100%. These samples were tested using the Marshall test referring to SNI 2489-2018. This study found that the percentage of 1% and 2% PET met the requirements of the 2018 General Specification Revision 2 with the optimum percentage of adding 2% PET plastic and 50% POFA substitution.

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Penggunaan plastik meningkat rata-rata 200 ton per tahun, berbanding lurus dengan sampah plastik yang dihasilkan (KLHK, 2017). Penggunaan plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) tidak dapat lepas dari kehidupan sehari-hari, seperti yang lazim ditemukan pada botol minuman kemasan Indonesia diperkirakan akan membawa 64 juta ton sampah setiap tahunnya, 1,29 juta ton di antaranya berakhir di laut dimana hanya 7% yang dikelola, sedangkan 69% tetap berada di TPS. Ironisnya, 24% sisanya terbengkalai (*Sustainable Waste Indonesia*, 2017). Oleh karena itu diperlukan pemanfaatan limbah plastik di sektor lain, misalnya sebagai bahan tambah pada campuran LASTON yang dapat menjadi alternatif dari pengolahan limbah sampah.

Disisi lain kelapa sawit menjadi sektor agraris terbesar di Indonesia yang jumlahnya mencapai 8,9 juta hektare, sehingga produksi kelapa sawit meningkat 12,92% menjadi 48,42 juta ton. (Badan Pusat Statistik, 2020). Meningkatnya produksi kelapa sawit akan berpengaruh pada limbah sawit yang dihasilkan. Abu limbah kelapa sawit atau sering disebut POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) merupakan limbah sawit berbentuk butiran halus berwarna hitam keabu-abuan hasil pembakaran kelapa sawit pada suhu 800 – 1000°C. Selain itu, kebutuhan akan campuran aspal yang cukup tinggi memerlukan adanya inovasi untuk meningkatkan karakteristik campuran aspal, seperti memanfaatkan limbah PET dan POFA sebagai bahan tambah pada campuran beraspal. Hasil penelitian dengan kadar penambahan PET sebesar 2% mengakibatkan nilai stabilitas dinamis naik (M. Fadil Natoras Nasution, 2017), kemudian penelitian campuran LASTON menggunakan 25% filler POFA dan 75% fly ash dari berat total filler telah memenuhi standar karakteristik Marshall (Winayati, 2019). Berdasarkan penelitian yang sudah ada, peneliti melakukan pemanfaatan limbah plastik PET dan limbah POFA untuk memperoleh campuran LASTON yang ramah lingkungan, ekonomis dan memiliki kelebihan dibandingkan campuran LASTON tanpa adanya penambahan.

Berdasarkan uraian di atas dilakukan pembuatan campuran LASTON AC - WC dengan penambahan PET dan substitusi POFA menggunakan *marshall test*. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi solusi material perkerasan jalan yang berkualitas dan ramah lingkungan namun tetap ekonomis.

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis KAO (Kadar Aspal Optimum) campuran LASTON AC-WC dengan variasi penambahan Plastik PET dan POFA
2. Menganalisis campuran LASTON AC - WC dengan variasi penambahan Plastik PET dan POFA menggunakan metode *marshall test* mengacu pada SNI 2489-2018.
3. Menganalisis perbandingan harga campuran LASTON AC-WC dengan penambahan Plastik PET dan POFA terhadap LASTON AC - WC konvensional.

2. DATA DAN METODE

Metode Penelitian

Penelitian dimulai dengan melakukan *literature review* untuk mencari informasi tentang topik pada rumusan masalah. Selanjutnya dilaksanakan penelitian kuantitatif menggunakan metode eksperimen bertempat di Laboratorium Transportasi, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Penelitian ini menguji variasi penambahan Plastik PET dan POFA terhadap stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan alat *marshall*. Variasi yang digunakan adalah plastik PET 1%, 2% dan 3% terhadap berat aspal serta POFA 50% dan 100% terhadap berat *filler*. Tahapan penelitian ini antara lain:

1. Pemeriksaan kelayakan material
2. Persiapan bahan tambahan
3. Pembuatan rancangan campuran laston AC-WC
4. Pengujian dan analisis

Pemeriksaan Kelayakan Material

Pemeriksaan kelayakan material merupakan suatu pengujian guna menentukan kelayakan suatu material agar memenuhi spesifikasi. Peneliti melakukan pengujian mengacu pada Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2. Pengujian yang dilakukan berupa agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal, sedangkan untuk limbah PET tidak dilaksanakan pemeriksaan. Agregat kasar sesuai dengan jenis campuran untuk AC-WC, yaitu tertahan saringan 1/2 dan 3/8. Ketentuan agregat halus berupa pasir maksimal 15 % terhadap berat total campuran, sehingga digunakan abu batu untuk memenuhi kebutuhan agregat halus. *Filler* yang digunakan berupa Semen Gresik dan abu cangkang kelapa sawit. Aspal yang dipakai jenis aspal keras pen.60-70.

Persiapan Bahan Tambahan

Persiapan material tambahan dilakukan untuk mengolah material limbah plastik PET dan POFA sebelum di tambahkan kedalam campuran beraspal. Sebelum ditambahkan, limbah PET harus dihilangkan dari berbagai kotoran dan dipotong menjadi kecil (± 10 mm x 10 mm). Sementara itu, untuk POFA terlebih dahulu dilakukan penyaringan menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm). POFA yang telah lolos ayakan No. 200 akan dioven pada suhu 300 °C hingga butiran berwarna putih.



Gambar 2. Plastik PET
(Peneliti, 2023)



Gambar 1. POFA Lolos Ayakan No. 200
yang Telah Dioven (Peneliti, 2023)

Pembuatan Rancangan Campuran LASTON AC - WC

Penentuan komposisi rancangan campuran maka diperlukan pelaksanaan analisis saringan yang mengacu pada SNI ASTM C136:2012. Kemudian dilakukan pembuatan rancangan campuran LASTON AC-WC dengan tambahan PET dan POFA mengacu pada SNI 2489:2018.

Penghitungan perkiraan aspal minimum dilakukan dengan rumus *Asphalt Institute* yaitu:

$$P_b = 0,035 \times CA + 0,045 \times FA + 0,18 \times FF + \text{Absorpsi Aspal}$$

Keterangan:

P_b : % KAO

CA : % agregat tertahan No. 4 (4,75 mm)

FA : % agregat lolos No. 4 (4,75 mm) tertahan No. 200 (0,075 mm)

0,18 F untuk lolos No. 200 (6-10 %) → diambil

0,20 F untuk lolos No.200 (≤ 5 %)

FF : % agregat lolos No. 200 (0,075 mm)

Absorpsi Aspal : Nilai penyerapan setiap agregat terhadap aspal

Pembuatan *job mix* benda uji tanpa tambahan menggunakan kadar aspal 4,5 %, 5 %, 5,5 %, 6 %, dan 6,5% dengan jumlah 3 sampel tiap variasi. Pembuatan benda uji tanpa tambahan bertujuan untuk mendapatkan KAO yang akan dipakai sebagai kadar aspal benda uji inovasi.

Tabel 1. *Mix Design* Sampel Konvensional (Peneliti, 2023)

No	Kadar Aspal	Kode Benda Uji	Jumlah (buah)
1.	4,5%	XV1; XV2; XV3	3
2.	5,0%	XW1; XW2; XW3	3
3.	5,5%	XX1; XX2; XX3	3
4.	6,0%	XY1; XY2; XY3	3
5.	6,5%	XZ1; XZ2; XZ3	3
Jumlah			15

Setelah mendapatkan nilai KAO, dilanjutkan perancangan *job mix design* benda uji dengan penambahan limbah plastik PET dan POFA. Penambahan PET menggunakan variasi kadar 1 %, 2%, dan 3% terhadap berat aspal optimum sebanyak masing-masing berjumlah 3 sampel, sedangkan substitusi POFA sebagai filler memiliki variasi kadar 50% dan 100% terhadap berat *filler* semen.

Tabel 2 *Mix Design Sampel* dengan Penambahan PET dan Substitusi POFA (Peneliti, 2023)

No	Kadar PET	Kadar <i>Filler</i>	Kadar Aspal	Kode Benda Uji	Jumlah (buah)
1.	1%	50% POFA : 50% PC		AZ1; AZ2; AZ3; AZ4; AZ5	5
2.		100% POFA		BY1; BY2; BY3; BY4; BY5	5
3.	2%	50% POFA : 50% PC	5,5 %	CX1; CX2; CX3; CX4; CX5	5
4.		100% POFA		DW1; DW2; DW3; DW4; DW5	5
5.	3%	50% POFA : 50% PC		EV1; EV2; EV3; EV4; EV5	5
6.		100% POFA		FU1; FU2; FU3; FU4; FY5	5
Jumlah					30

Pengujian dan Analisis

Proses pengujian sampel menggunakan metode *marshall test* mengacu pada SNI 2489-2018, dengan tahapan berikut:

1. Merendam sampel pada penangas air selama 30 - 40 menit.
2. Keluarkan sampel dari penangas air; Waktu pengangkatan sampai diletakkan pada alat *marshall* maksimal 30 detik;
3. Letakkan sampel pada alat *marshall* kemudian pasang bagian atas alat penekan.

4. Pasang dial *flow* diatas batang penutup dan atur dial pada angka nol.
5. Sebelum dilakukan pembebanan, pastikan penekan menyentuh alas cincin penguji.
6. Atur dial stabilitas pada angka nol;
7. Memberikan pembebanan pada sampel sampai pembebanan maksimum tercapai ditandai dengan jarum pada dial stabilitas yang mulai turun.
8. Catat nilai *flow* dan stabilitas ketika pembebanan stabilitas maksimum.

Setelah mendapatkan data stabilitas dan *flow*, dilakukan proses perhitungan untuk mencari parameter *marshall* dari sampel tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan dilakukan analisis grafik hubungan antara kadar variasi dengan parameter *marshall*, sehingga diperoleh nilai variasi yang memenuhi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Kelayakan Material

Pemeriksaan agregat berupa sifat-sifat fisis, meliputi uji berat jenis, uji absorpsi, uji kelekatan, uji keausan agregat dengan mesin Los Angeles, dan material lolos saringan No. 200. Sedangkan pengujian aspal, meliputi uji penetrasi, uji daktilitas, uji titik lembek, dan uji berat jenis. Ketentuan pemeriksaan material berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 seperti pada Tabel 3 – Tabel 7:

1. Agregat Kasar

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Batu *Split ¾"* (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,740	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	0,97	%	Maks. 3
Kelekatan	95	%	Min. 95%
Keausan Agregat	14,86	%	Maks. 30%
Material Lolos No.200	0,94	%	Maks. 2%

Tabel 4 Hasil Pemeriksaan Batu *Split ½"* (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,714	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	1,55	%	Maks. 3
Kelekatan	95	%	Min. 95%
Keausan Agregat	14,86	%	Maks. 30%
Material Lolos No.200	1,56	%	Maks. 2%

2. Agregat Halus

Tabel 5 Hasil Pemeriksaan Pasir (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,802	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	1,38	%	Maks. 3
Material Lolos No.200	8,43	%	Maks. 10%

Tabel 6 Hasil Pemeriksaan Abu Batu (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,571	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	2,38	%	Maks. 3
Material Lolos No.200	9,63	%	Maks. 10%

3. Filler

Tabel 7 Hasil Pemeriksaan Semen (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,714	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	5,5%	%	Maks. 3
Material Lolos No.200	86,7	%	Min. 75%

Tabel 8 Hasil Pemeriksaan POFA (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	2,080	kg/m ³	Min. 2,5
Absorpsi	1,78	%	Maks. 3
Material Lolos No.200	84,6	%	Min. 75%

4. Aspal

Tabel 9 Hasil Pemeriksaan Aspal (Peneliti, 2023)

Pengujian	Nilai	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis	1,15	kg/m ³	Min. 1
Uji Penetrasi	65,8	(0,1 mm)	60 - 70
Daktilitas	150	cm	Min. 100
Titik Lembek	49	°C	Min. 48

Hasil Marshall Test

Sampel yang akan dilakukan pengujian, terlebih dahulu melalui pemeriksaan fisik berupa pengukuran tinggi dan berat. Luaran *marshall test* berupa nilai stabilitas dan pelelehan, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai parameter *marshall* berupa VIM, VMA, VFA, Stabilitas, Kelelehan, dan MQ.



Gambar 3. Marshall Test

Tabel 10 Hasil Pengujian Marshall Campuran LASTON AC-WC Konvensional (Peneliti, 2023)

Parameter Marshall	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	
VIM (%)	3,61	3,39	5,34	4,35	7,00	3 - 5
VMA (%)	11,20	12,03	14,81	14,92	6,55	Min. 15
VFA (%)	72,29	74,73	67,31	73,33	49,15	Min. 65
Stabilitas (kg)	1914,94	2077,03	2061,74	1527,90	1673,56	Min 800
Kelelehan (mm)	2,52	2,52	2,24	2,42	3,40	2- 4
Marshall Quotient	745,88	856,00	900,84	483,86	483,86	-

Berdasarkan hasil perhitungan dilakukan analisis grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *marshall*, sehingga diperoleh nilai KAO yang memenuhi yaitu pada kadar aspal 5,5%.

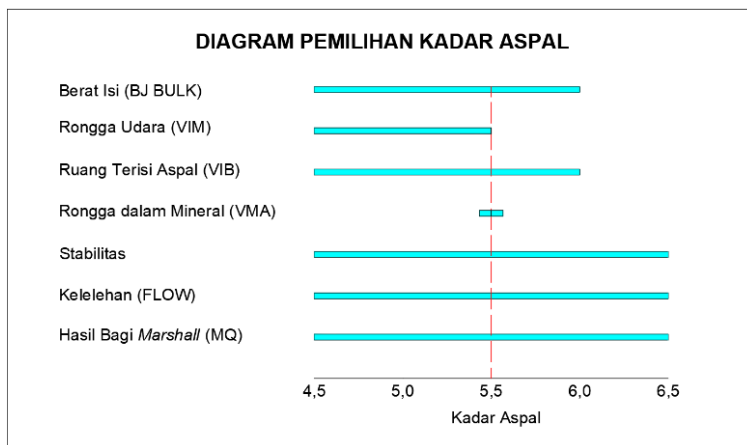


Diagram 1. Diagram Pemilihan Kadar Aspal (Peneliti, 2023)

Setelah didapatkan KAO hasil dari pengujian *marshall* sampel konvensional, dilanjutkan dengan pembuatan sampel inovasi. Selanjutnya dengan cara yang sama, dilakukan pengujian *marshall test* pada sampel inovasi.

Tabel 11 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran LASTON AC-WC Inovasi (Peneliti, 2023)

Parameter <i>Marshall</i>	Kadar PET						Spesifikasi
	1%		2%		3%		
	50%	100%	50%	100%	50%	100%	
VIM (%)	4,318	5,739	5,665	6,301	6,598	7,232	3 - 5
VMA (%)	13,844	15,080	14,803	15,586	15,897	16,425	Min. 15
VFA (%)	73,002	66,586	69,635	64,648	63,283	60,838	Min. 65
Stabilitas (kg)	1380,329	1380,721	1627,426	1645,061	1679,898	1780,791	Min 800
Kelelahan (mm)	2,076	2,090	2,050	2,104	2,026	2,154	2- 4
<i>Marshall</i>	652,190	648,115	795,879	786,139	865,990	857,685	-

Berdasarkan hasil perhitungan dilakukan analisis grafik hubungan antara kadar variasi PET dan POFA dengan parameter *marshall*, sehingga diperoleh nilai variasi kadar yang memenuhi pada PET 1% dan 2% dengan kadar optimum pada PET 2% dan POFA 50%.

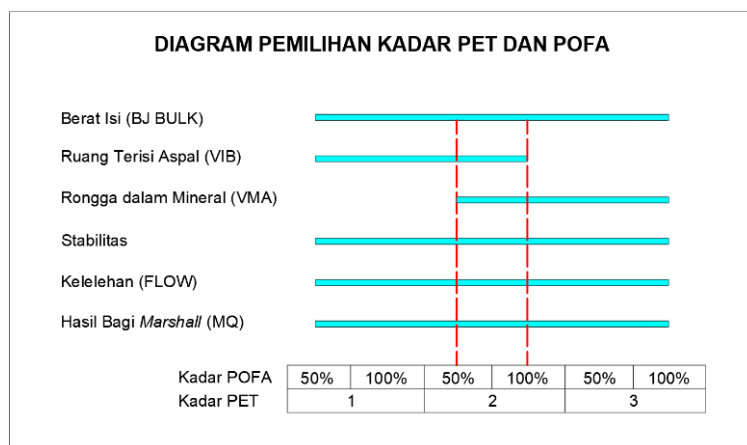


Diagram 2. Diagram Pemilihan Kadar PET dan POFA (Peneliti, 2023)

Kebutuhan Biaya Material LASTON AC-WC

Berikut merupakan perbandingan kebutuhan biaya material antara pembuatan 1 ton LASTON AC - WC konvensional dengan LASTON AC - WC inovasi penambahan PET dan substitusi POFA.

Tabel 12 LASTON AC-WC Konvensional (ton)

Bahan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen PC	18	kg	Rp1.520	Rp28.728
Aspal	55	kg	Rp17.000	Rp935.000
Split ¾"	113,4	kg	Rp200	Rp22.680
Split ½"	292,9	kg	Rp200	Rp58.580
Pasir	141,8	kg	Rp260	Rp236.868
Abu Batu	378	kg	Rp128	Rp48.384
Jumlah				Rp1.130.240

Tabel 13 LASTON AC-WC dengan Penambahan PET 2% dan Substitusi POFA 50% (ton)

Bahan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen PC	9,45	kg	Rp1.520	Rp28.728
Aspal	55	kg	Rp17.000	Rp935.000
Split ¾"	113,4	kg	Rp200	Rp22.680
Split ½"	292,9	kg	Rp200	Rp58.580
Pasir	141,8	kg	Rp260	Rp236.868
Abu Batu	378	kg	Rp128	Rp48.384
PET	1,1	kg	Rp0	Rp0
POFA	9,45	kg	Rp0	Rp0
Jumlah				Rp1.115.876

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian dan analisis data, didapatkan kesimpulan berikut:

1. KAO yang didapatkan dari perhitungan *marshall test* sebesar 5,5%
2. Kadar optimum penambahan limbah plastik PET dan POFA pada campuran beraspal LASTON AC - WC sebesar PET 2 % dan POFA 50%
3. Biaya kebutuhan material campuran beraspal inovasi lebih efisien dibandingkan dengan material campuran beraspal konvensional dikarenakan dapat mengurangi penggunaan material semen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Departemen Sipil dan Perencanaan, dosen pembimbing dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga penelitian ini berjalan dengan baik.

REFERENSI

- Tim Publikasi Katadata (10 Desember 2021). Menuju Indonesia Peduli Sampah. Diperoleh dari <https://katadata.co.id/timpublikasikatadata/infografik/5e9a4c4a336e0/menuju-indonesia-peduli-sampah>.
- Badan Pusat Statistik. (2020). Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2019. Jakarta.
- Nasution, M. F. N. (2017). Pengaruh Penambahan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC di Laboratorium Skripsi, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara).
- Winayati, Fadrizal Lubis, V. T. H. (2017). Pengaruh Filler Abu Tandan Sawit Terhadap Karakteristik Marshal Pada Campuran AC-BC. *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 3(1), 19–26.
- Muqoddam, A. F. (2018). (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran AC-BC Sebagai Inovasi Eco- Material Skripsi, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Salma Alwi, Anung Sudibyo, H. (2020). Pengaruh Penggunaan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Pada Campuran Aspal AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Inersia*, XII(1), 16–24.
- Abidin, Z., Bunyamin, B., & Kurniasarir, F. D. (2021). Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi Filler. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(1), 1631–1638. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i1.2653>
- Badan Standardisasi Nasional. (2018). Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat Marshall. SNI 2489:2018. Jakarta.
- Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2. Jakarta.
- Dinas PU Bina Marga dan Cipta Karya Provinsi Jawa Tengah (5 Mei 2022). Harga Satuan Pekerjaan (HSP) Konstruksi Bidang Bina Marga Edisi Ke - 2 Tahun 2022. Diperoleh dari http://maspetruk.dpubinmarcipka.jatengprov.go.id/harga_satuan/hspk_binamarga#.

PERKUATAN GESER BALOK DENGAN SERPIHAN BESI UNTUK MENGHEMAT TULANGAN DAN BIAYA DI ERA NEW NORMAL SETELAH PANDEMI COVID-19

Herlina Susilawati^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Universitas Janabadra Yogyakarta, Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57, Yogyakarta, Indonesia

Corresponding Author:

Email: herlina@janabadra.ac.id

Keywords:

analysis, strength, safety, Experimental Study, Reinforced Concrete Beams without stirrups, Tensile Reinforcement Ratio, Shear Capacity, Slat/iron filings reinforcement

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Damage that occurs in building structures is a problem that often occurs, especially damage to beams. Beams are a very important structural element in buildings. Collapse that occurs in beams is generally caused by shear forces, because collapse caused by shear forces occurs suddenly because concrete is brittle. Handling that can be done one of which can be done by handling the shear reinforcement in the beam with reinforcement so that the beam can withstand the working load. One of the methods used to overcome damage to beams is by providing strength or in the form of mixed materials in the form of flakes/iron filings. The purpose of this study was to determine the effect of beam strength on the shear capacity of reinforced concrete beams. The benefits of this research are expected to contribute to science, in particular to become recommendations for strengthening structures. 6 specimens were used with variations in tensile reinforcement and there were 3 beams that did not use iron flakes/fibers and 3 beams used flakes/iron filings reinforcement. Based on the results of the research obtained, the greater the value of the reinforcement ratio given, the greater the stiffness of the specimen, but the greater the value of the tensile reinforcement ratio given will not affect the shear capacity of a reinforced concrete beam.

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kerusakan yang terjadi pada struktur bangunan merupakan masalah yang sering terjadi, terutama kerusakan pada balok. Balok merupakan elemen struktur yang sangat penting pada bangunan. Keruntuhan yang terjadi pada balok pada umumnya diakibatkan oleh gaya geser, karena keruntuhan yang diakibatkan oleh gaya geser terjadi tiba-tiba karena beton bersifat getas [1].

Penanganan yang dapat dilakukan salah satunya dapat dilakukan dengan menangani tulangan geser pada balok dengan perkuatan sehingga balok dapat menahan beban yang bekerja. Salah satu metoda yang digunakan untuk mengatasi kerusakan pada balok adalah dengan memberikan kekuatan atau berupa bahan campuran yang berupa serpihan besi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kekuatan balok terhadap kapasitas geser balok beton bertulang. Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam ilmu pengetahuan, khususnya menjadi rekomendasi untuk perkuatan struktur.

Benda uji yang digunakan sebanyak 6 buah dengan variasi tulangan tarik dan terdapat 3 balok yang tidak menggunakan serbuk besi dan 3 balok menggunakan pekuatan serbuk besi. Berdasarkan hasil dari penelitian yang didapatkan, semakin besar nilai rasio tulangan yang diberikan maka kekakuan pada benda uji juga semakin besar, tetapi semakin besar nilai rasio tulangan tarik yang diberikan tidak akan mempengaruhi dari kapasitas geser suatu balok beton bertulang.

Identifikasi Masalah

Kerusakan yang terjadi pada struktur bangunan merupakan masalah yang sering terjadi, terutama kerusakan pada balok. Balok merupakan elemen struktur yang sangat penting pada

bangunan. Keruntuhan yang terjadi pada balok pada umumnya diakibatkan oleh gaya geser, karena keruntuhan yang diakibatkan oleh gaya geser terjadi tiba-tiba karena beton bersifat getas [1].

Permasalahan yang dihadapi pada saat ini adalah banyak dijumpai kerusakan bangunan sedangkan saat kondisi ini yaitu setelah terjadinya pandemi ini banyak dijumpai peningkatan seluruh biaya terutama harga material bangunan yang melonjak cukup tinggi. Oleh sebab itu akan dilakukan penelitian dengan menggunakan bahan yang relatif murah salah satunya dengan serpihan besi.

Batasan Masalah

Penelitian diharapkan sesuai dengan tujuan, untuk itu diperlukan batasan masalah yang dapat menyederhanakan permasalahan yang ada. Adapun batasan masalah tersebut adalah :

1. Benda uji berupa balok
2. Kekuatan geser
3. Perkuatan dengan serpihan besi
4. Balok tanpa serpihan besi

Rumusan Masalah

Setelah dilakukan pembatasan terhadap permasalahan, maka disusun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apakah dengan menggunakan perkuatan serpihan besi bangunan cukup aman?
2. Apakah dengan menggunakan serpihan besi tidak terjadi geser?
3. Bagaimana jika tanpa menggunakan serpihan besi terjadi geser dan bahkan tidak aman?
4. Apakah yang akan terjadi jika dilakukan perbedaan balok yang digunakan karena mengingat membuat benda uji dengan dan tanpa serpihan besi?

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat dalam menganalisis perhitungan kuat geser balok sebagai alternatif dalam perencanaan perkuatan balok yang digunakan. Adapun manfaat tersebut adalah :

1. Serpihan besi tidak terbuang sia-sia dan lebih sering digunakan untuk perencanaan pembangunan.
2. Serpihan besi lebih mudah dikerjakan dan lebih cepat dikerjakan karena tanpa harus membengkokkan besi

Kajian Riset Sebelumnya

Beberapa peneliti sebelumnya belum pernah melakukan penelitian geser dengan serpihan besi.

2. DATA DAN METODE

TINJAUAN PUSTAKA

Konstruksi balok dengan beton bertulang digunakan apabila bobot bangunan cukup besar. Jika daya dukung tanah kecil dan untuk memperdalam dasar pondasi tidak memungkinkan, maka pondasi foot plat beton bertulang bisa menjadi solusi [2]

Bentuk balok pada kedua tepinya menonjol ke luar dari bidang tembok karena kedua sisinya mungkin akan melentur disebabkan oleh tekanan tanah. Agar tidak melebar dan turun, maka pada kaki pondasi diberi tulangan yang diletakkan tepatnya di daerah tarik bagian bawah yang disebut dengan tulangan pokok [3].

Bahan balok ini terbuat dari beton bertulang sama dengan bahan untuk pembuatan balok atau plat lantai. Untuk menentukan dimensi pondasi ini perlu perhitungan konstruksi beton bertulang oleh ahli struktur [4].

Besar diameter tulangan pokok menggunakan besi \emptyset 13 – \emptyset 16 mm dengan jarak 10 cm– 15 cm, sedangkan untuk arah memanjang dipasang tulangan pembagi \emptyset 6 – \emptyset 8 mm dengan jarak sekitar 20 cm – 25 cm. Campuran beton untuk pondasi foot plat ini adalah 1 PC : 2 pasir : 3 kerikil dan untuk lantai kerja sebagai peletakan tulangan dibuat beton dengan campuran 1 PC : 3 pasir : 5 kerikil setebal 6 cm [5].

Luas bidang balok sebagai perkuatan berupa bujur sangkar atau persegi panjang. Telapak kaki yang berbentuk bujur sangkar biasanya terletak di bawah kolom bangunan bagian tengah. Sedangkan yang berbentuk persegi panjang biasanya ditempatkan pada bawah kolom pinggir bangunan atau samping agar lebih stabil [6]

Luas balok ini tergantung pada perhitungan beban bangunan yang diterima dan daya dukung tanah (σ tanah) pada lokasi bangunan yang diperkenankan. Apabila daya dukung tanahnya semakin besar, maka luas pelat kaki pondasi foot plat dapat dibuat lebih kecil [7]

Balok beton terdiri dari sejumlah beton panjang yang ditanam seperti akar pohon kelapa dalam tanah. Di atas beton tersebut dipasang sebuah plat beton yang ditautkan menggunakan baja pengait. Menghasilkan pipa-pipa beton yang terhubung satu sama lainnya. Plat beton inilah yang menjadi landasan bangunan besar dengan daya dukung berat hingga 2000 ton [8].

Balok beton sangat diunggulkan karena mampu menopang beban di tanah yang lembek atau berawa, seperti Ancol dan wilayah Jakarta Utara lainnya. Selain itu, dapat dibuat di bawah air dan di atas empang ikan. Dari sisi efektifitas, pemilihan konstruksi dengan pondasi cakar ayam mampu mengurangi biaya pembangunan, material yang dibutuhkan, serta waktu pengerjaan, dibandingkan dengan pembangunan menggunakan jenis pondasi lainnya [8]

Pada rumah 2 lantai memiliki peran penting yaitu berfungsi sebagai penguat struktur bangunan di atasnya. Balok dan fondasi ini memiliki fungsi menahan beban vertical seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa lalu meneruskannya ke tanah. Dalam merencanakan pondasi telapak harus memenuhi syarat-syarat dan segala tanda aspek keamanan yang sesuai dengan persyaratan yang berlaku di Indonesia, seperti penentuan ukuran pondasi yang memenuhi panjang, lebar dan ketebalan pondasi [9].

Berikut ini merupakan visualisasi gambar dari kerusakan gedung akibat gempa dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 11 kerusakan gedung akibat gempa

(Sumber: <https://www.voaindonesia.com/a/jumlah-korban-tewas-naik-jadi-6-akibat-gempa-di-taiwan/4242624.html>)

Balok merupakan salah satu dari komponen dari struktur yang dapat mengalami penurunan kekuatan akibat terjadinya beberapa faktor di atas. Balok adalah komponen penting pada struktur bangunan, jadi diperlukan penanganan yang serius yang harus diberikan pada balok apabila terjadi kerusakan. Apabila kerusakan yang terjadi pada elemen struktur tidak diatasi secara cepat dan tepat akan mengakibatkan keruntuhan pada bangunan tersebut. Keruntuhan pada balok sangatlah perlu diperhatikan adalah keruntuhan geser, karena keruntuhan yang diakibatkan oleh gaya geser akan terjadi secara tiba-tiba karena beton bersifat getas, tidak daktil. Hal ini menyebabkan keruntuhan geser sangat dihindari pada saat mendisain.

Perkuatan pada struktur merupakan langkah yang dilakukan untuk mencegah terjadinya keruntuhan struktur pada bangunan tersebut. Perkuatan struktur yang dapat diberikan apabila menyebabkan berkurangnya kapasitas kekuatan dari bangunan tersebut dan menyebabkan bangunan tersebut tidak daktil lagi.

Peningkatan kekuatan struktur pada infrastruktur teknik sipil telah menjadi sebuah isu yang penting dalam kurun waktu 10 tahun terakhir ini. Kehancuran pelat jembatan, balok-balok, kolom, gedung dan lain-lain umumnya disebabkan karena umur, lingkungan yang mempengaruhi penurunan kekuatan struktur, desain awal yang lemah atau kurang, kelemahan perawatan, dan kejadian-kejadian alam seperti gempa. Oleh karena itu perkuatan struktur akan menjadi salah satu jawaban dari keinginan untuk menjadikan struktur lebih kuat dan memenuhi persyaratan keamanan serta kekuatan. Perkembangan-perkembangan material yang baru serta metode dan teknik perkuatan struktur telah banyak dilakukan penelitian [10]

Salah satu material untuk perkuatan struktur adalah penggunaan serpihan besi. Serpihan besi merupakan material yang menjanjikan dalam industri perbaikan konstruksi. Material ini bisa diperoleh dalam bentuk serpihan tak beraturan yang dalam penggunaannya diaplikasikan dengan

resin atau epoxy. Material ini telah banyak dipergunakan dan telah diterapakan penggunaannya dalam ribuan atau jutaan aplikasi di dunia. Metode tradisional dengan menggunakan material pelat baja yang diikat dengan epoxy pada struktur balok beton bertulang pada daerah Tarik masih sering dipergunakan. Namun lambat laun teknik atau metode ini mulai tergeser dengan hadirnya material baru. Dengan material ini perkuatan struktur dapat menghasilkan peningkatan kekuatan yang cukup substansial (aksial, geser, lentur, dan torsi).

Kekuatan geser kedua macam tulangan sengkang ini dipengaruhi oleh kekuatan geser beton (V_c) dan juga beban geser yang bekerja pada balok beton bertulang (V_u). Gaya geser yang ditahan beton pada komponen-komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja. Persamaan 1 pada 3.4-3 di Departemen Pekerjaan Umum, 1991, memberikan kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser adalah V_c

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \dots \dots \dots (1)$$

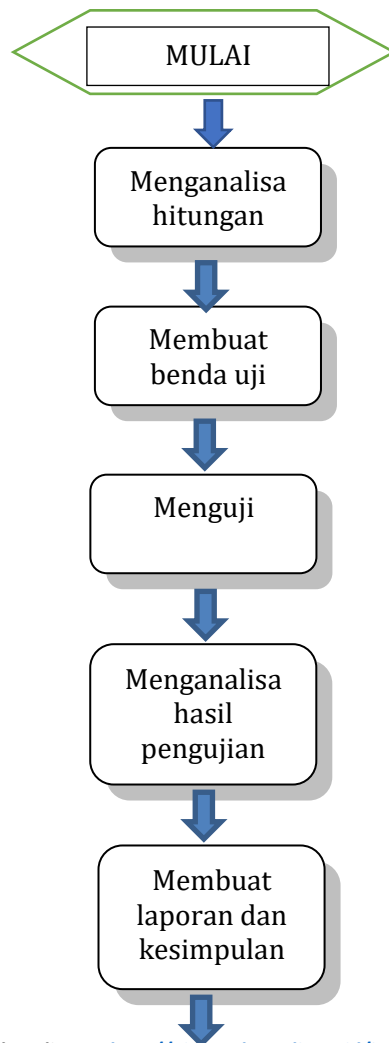
Keterangan:

- V_c = kuat geser beton (N)
- f'_c = kuat tekan beton (N/mm²)
- b_w = lebar efektif penampang balok (mm)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi perkuatan terhadap peningkatan kekuatan geser balok beton bertulang dan mempelajari perilaku retak balok beton bertulang tanpa perkuatan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian awal untuk selanjutnya akan membuat benda uji berupa balok dengan dan tanpa serbuk besi. Analisis dilakukan secara bertahap dengan membuat benda uji. Adapun metode penelitian dilakukan seperti Gambar diagram alir rencana penelitian dibawah ini:



SELESAI

Gambar 1.2 Flowchart Penelitian
Sumber: Penelitian

Pada penelitian ini dipergunakan 6 buah balok beton bertulang dengan konfigurasi penulangan dengan dan tanpa perkuatan geser dengan penambahan serpihan besi.

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain :

- 1) Semen merk Dinamit
- 2) Pasir, berasal dari Progo, Jogjakarta
- 3) Kerikil, berasal dari Progo
- 4) Air, berasal dari sumur
- 5) Tulangan baja, berasal dari toko bahan bangunan
- 6) Serpihan berasal dari pengepul besi/sisa di toko rakitan besi, dll
- 7) *Bekesting* untuk cetakan balok beton bertulang digunakan kayu sengon

Berikut ini merupakan gambar hasil pembuatan beton balok uji dengan tanpa dan dengan tulangan dan serpihan besi.

Berikut merupakan gambar alat pembengkok besi manual.



Sumber: Pengujian

Benda uji yang lain menggunakan serpihan besi, berikut gambar serpihan besi yang digunakan. Gambar serpihan besi yang digunakan.



Sumber: Pengujian

Berikut gambar rakitan tulangan balok yang akan digunakan dalam penelitian adalah:



Gambar 1.3 rakitan tulangan balok yang akan digunakan dalam penelitian.

Sumber: Pengujian

Berikut ini merupakan Gambar balok tulangan yang telah dicor



Gambar 1.4 balok tulangan yang telah dicor

Sumber: Pengujian

Berikut ini Gambar balok dengan serpihan besi yang telah dicor



Gambar 1.5 balok dengan serpihan besi yang telah dicor

Sumber: Pengujian

Berikut ini merupakan Gambar balok tulangan yang telah dibuka bekistingnya



Gambar 1.6 balok tulangan yang telah dibuka bekistingnya

Sumber: Pengujian

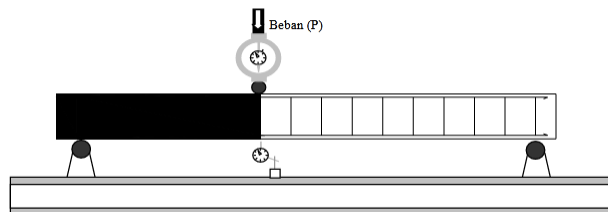
Berikut ini Gambar balok dengan serpihan besi yang telah dibuka bekistingnya



Gambar 1.7 balok dengan serpihan besi yang telah dibuka bekistingnya

Sumber: Pengujian

Berikut Gambar balok pengujian



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian geser dengan tulangan dan serpihan besi dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 1.1 Hasil Pengujian

NO	BALOK	1 P (KN)	2 P (KN)	Beban geser rata- rata (V_u) P (KN)
1	Balok dengan tulangan	64	66	65,13
2	Balok dengan serpihan besi	60,35	65,31	62,83
3	Balok tanpa tulangan dan serpihan	25	33	29,67

Sumber: Penelitian

Berdasarkan Tabel 3.1. di atas terlihat bahwa semua balok uji mempunyai V_u maksimal rata-rata. dari hasil pengujian menunjukkan lebih kecil nilainya dibandingkan dengan V_u rata-rata analitis, tapi ada juga satu sampel yang mempunyai V_u maksimal rata-rata dari hasil pengujian

lebih besar nilainya dibandingkan dengan V_u rata-rata analitis. Hal ini menunjukkan bahwa pada pengujian yang telah dilakukan ternyata keruntuhan geser terjadi pada saat beban yang bekerja masih di bawah beban analitis yang mampu ditahan oleh balok uji tersebut. Maka, analisis lebih lanjut besarnya V_u yang digunakan untuk mengetahui kekuatan balok dengan tulangan, dengan serpihan, maupun tidak, bisa dipakai V_u rata-rata hasil pengujian karena lebih sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Data hasil analisis geser dengan tulangan dan serpihan besi dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 1.2 Data hasil analisis beban geser

NO	BALOK	1 P (KN)	2 P (KN)	Beban geser rata-rata (V_u) P (KN)
1	Balok dengan tulangan	37,493	37,912	37,642
2	Balok dengan serpihan besi	30,871	35,938	33,404
3	Balok tanpa tulangan dan serpihan	25,989	30,331	28,731

Sumber: Penelitian

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka data yang diperoleh adalah: beban geser maksimal yang terjadi pada balok uji (V_u maksimal hasil pengujian) dengan tulangan diperoleh beban geser maksimal rata-rata sebesar 37,642 kN, dengan serpihan besi beban geser maksimal rata-rata sebesar 33,4045 kN, dengan tanpa tulangan dan tanpa serpihan besi beban geser maksimal rata-rata sebesar 28,731 kN.

Data hasil analisis kuat geser dengan tulangan dan serpihan besi dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 1.3 Data hasil analisis kuat geser

NO	BALOK	1 P (KN)	2 P (KN)	Kuat geser rata-rata (V_u)P (KN)
1	Balok dengan tulangan	37,493	42,912	40,202
2	Balok dengan serpihan besi	36,871	41,938	39,404
3	Balok tanpa tulangan dan serpihan	19,329	20,851	20,09

Sumber: Penelitian

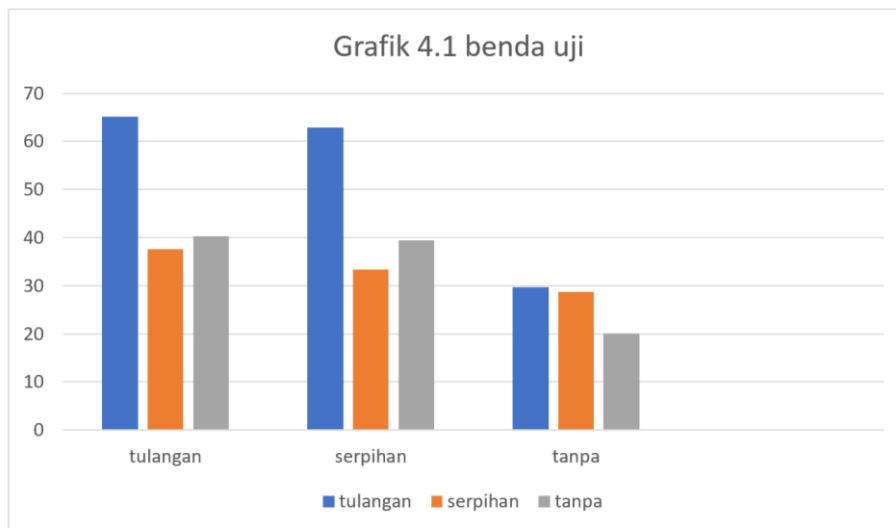
Kuat geser maksimal dengan tulangan (V_s maksimal hasil pengujian) didapat rata-rata sebesar 40,905 kN, kuat geser maksimal dengan serpihan besi rata-rata sebesar 39,404 kN, kuat geser maksimal dengan tanpa tulangan dan serpihan besi rata-rata sebesar 20,09 kN.

Tabel 1.4 Data hasil rata-rata

NO	BALOK	Beban geser rata-rata (V_u) P (KN)	Kuat geser rata-rata (V_u) P (KN)	Kuat geser rata-rata (V_u) P (KN)
1	Balok dengan tulangan	65,13	37,642	40,202
2	Balok dengan serpihan besi	62,83	33,404	39,404
3	Balok tanpa tulangan dan serpihan	29,67	28,731	20,09

Sumber: Penelitian

Analisis data pengujian dengan kuat dan beban geser dapat dilihat pada gambar grafik 3.1 berikut ini:



Gambar Analisis data pengujian dengan kuat dan beban geser

Sumber: Penelitian

Perbedaan yang signifikan kuat geser antara tulangan, serpihan besi dan tanpa keduanya yaitu selisih kuat geser maksimal antara ketiga balok tersebut berkisar 65,83% - 78,77%. Hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa kekuatan geser dengan tulangan, dengan serpihan besi, dengan tanpa keduanya adalah tidak sama.

Efisiensi bahan yang diberikan dengan tulangan adalah nol, karena kuat geser tulangan lebih kecil dibandingkan dengan serpihan besi karena dengan penggunaan tulangan secara langsung lebih dapat menahan beban daripada menggunakan serpihan besi walaupun dengan potongan kecil-kecil. Dengan menggunakan serpihan besi kecil-kecil lebih baik digunakan daripada tidak menggunakan besi samasekali.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka beberapa kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa balok dengan tulangan diperoleh beban geser maksimal rata-rata 65,13 kN, dengan serpihan besi beban geser maksimal rata-rata sebesar 62,83 kN, dengan tanpa tulangan dan tanpa serpihan besi beban geser maksimal rata-rata sebesar 29,67 kN.
2. Beban geser maksimal yang terjadi pada balok uji (V_u maksimal hasil pengujian) dengan tulangan diperoleh beban geser maksimal rata-rata sebesar 37,642 kN, dengan serpihan besi beban geser maksimal rata-rata sebesar 33,4045 kN, dengan tanpa tulangan dan tanpa serpihan besi beban geser maksimal rata-rata sebesar 28,731 kN.
3. Kuat geser maksimal dengan tulangan (V_s maksimal hasil pengujian) didapat rata-rata sebesar 40,905 kN, kuat geser maksimal dengan serpihan besi rata-rata sebesar 39,404 kN, kuat geser maksimal dengan tanpa tulangan dan serpihan besi rata-rata sebesar 20,09 kN,
4. Perbedaan yang signifikan kuat geser antara tulangan, serpihan besi dan tanpa keduanya yaitu selisih kuat geser maksimal antara ketiga balok tersebut berkisar 65,83% - 78,77%. Hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa kekuatan geser dengan tulangan, dengan serpihan besi, dengan tanpa keduanya adalah tidak sama.
5. Efisiensi bahan yang diberikan dengan tulangan adalah nol, karena kuat geser tulangan lebih kecil dibandingkan dengan serpihan besi karena dengan penggunaan tulangan secara langsung lebih dapat menahan beban daripada menggunakan serpihan besi walaupun dengan potongan kecil-kecil. Dengan menggunakan serpihan besi kecil-kecil lebih baik digunakan daripada tidak menggunakan besi samasekali.
6. Penggunaan serpihan besi ini bisa dikatakan baik digunakan dari pada tidak menggunakan samasekali, terutama disaat kondisi saat ini masih tergolong masa era new normal setelah

pandemi covid-19 dengan kebutuhan biaya material terutama besi yang mahal dan semakin meningkat maka dengan serpihan besi ini bisa dipakai untuk lebih menghemat biaya dan juga bisa berfungsi sebagai pengganti agregat.

Hal-hal yang dapat disarankan berdasarkan hasil penelitian ini antara lain :

- 1 Penelitian dengan topik semacam ini perlu untuk ditinjau pada diameter tulangan yang lain dengan umur beton yang lebih lama misalnya umur beton 21 hari, 28 hari atau yang lebih lama lagi untuk mengetahui perilaku-perilaku pada kedua bentuk penulangan geser yang bervariasi terhadap kekuatannya.
- 2 Penelitian semacam ini juga dapat dikembangkan pada balok tinggi yaitu balok beton yang cenderung dapat menahan pembebanan geser yang lebih dominan dibandingkan dengan beban lentur.
- 3 Penelitian yang telah dilakukan ini terbatas dengan alat pengujian geser balok, dengan kondisi semacam ini maka dapat dilakukan penelitian serupa untuk balok beton dengan dimensi penampang balok yang lebih besar dan dengan alat pengujian geser yang mempunyai kapasitas menahan beban maksimal yang lebih besar lagi.
- 4 Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mendapatkan hasil penelitian yang jauh lebih baik dari penelitian sebelumnya, yaitu dengan berbagai ukuran dimensi tulangan yang lain dan menggunakan jumlah sampel yang lebih banyak lagi agar didapatkan data yang lebih lengkap, komplit dan bervariasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami sampaikan ucapan dan rasa terima kasih kami kepada semua rekan-rekan, dosen-dosen seperjuangan yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

REFERENSI

Arsitur, *Perkuatan balok geser. Jurnal Teknik Sipil*, 2020

B.Sulistiyanto, *Simulasi perilaku kekuatan balok*, 2015

F.Alami, R.widyawati, 2010, Study experimental perkuatan geser balok beton bertulang dengan GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) *Jurnal Rekayasa* Vol. 14 No. 2, Agustus 2010

Henry, dkk, "Tinjauan Rekayasa Penulangan Geser Balok Beton Bertulang Dengan Sengkang Vertikal", jurnal,

https://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/11617/3754/4_Henry%20Hartono.pdf?sequence=1, 2012

IA.Rizolla, Analisis balok geser, 2015

I. Dipohusodo, *Struktur beton bertulang*, 2017

M.Ladio, *Study experimental perkuatan geser balok beton bertulang dengan lembaran CFRP yang dipasang vertical*, 2019

Nanette, Balok beton bertulang, 2020

R.David, Studi efisiensi balok geser, 2020

R.Himawan, Studi eksperimental perkuatan geser balok, 2020

R.Rifai, Analisis balok geser, 2018

IMPLEMENTASI BIM TERHADAP UPAYA PENGURANGAN WASTE MATERIAL KONSTRUKSI PADA PT. WIJAYA KARYA JABODETABEK

Shifa Fauziyah^{a*}, Fajar Nurjihad Christian^b

^a Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia

^b PT Wijaya Karya Persero

Corresponding Author:

Email:

shifa.fauziyah@live.undip.ac.id

Keywords:

BIM, waste, material, konstruksi

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *In the implementation of construction projects, materials are a very influential component in determining the cost of a project. Residual material causes wastage and reduces project profits. Research is needed to analyze the implementation of Building Information Modeling (BIM) in efforts to minimize construction material waste. The population of the research is WIKA employees who have implemented BIM in the Jabodetabek area (Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang and Bekasi). The research sample was 100 people. The data is processed using the Smart PLS software. The results showed that the implementation of BIM had a positive and significant effect on efforts to reduce residual construction materials. If the implementation of BIM is applied with discipline, stakeholders will have a more complete data source for estimating material needs.*

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

PT.Wijaya Karya (WIKA) merupakan perusahaan yang menangani proyek-proyek konstruksi didalam dan diluar negeri menggunakan bahan material konstruksi dari alam maupun sudah diolah terlebih dahulu. Dalam setiap proyek konstruksi dipastikan akan menghasilkan sisa material konstruksi. Dampak dari keberadaan sisa material tersebut berimplikasi pada keuntungan dari pelaksanaan proyek yang semakin kecil. Data yang dihimpun dari tiga proyek terakhir WIKA Departemen Sipil Umum 1 (DSU 1) di area bandara soekarno-hatta (divisi 2) menunjukkan hal sebagai berikut :

Tabel 1. Nilai Sisa Material Mayor

No	Nama proyek	Kontrak Proyek (Rp) + PPN	Nilai (Rp)=(Sisa Material * Harga Satuan)			Total Nilai (Rp)	Persentase
			Tanah timbunan	Besi Tulangan	Beton Segar		
1	Proyek lanjutan Pekerjaan Aksesibilitas	569.223.832.000	658.149.588	1.701.636.300	1.160.138.650	3.519.924.538	0,62%
2	Proyek Struktur Automated People Mover System	1.272.647.194.709	16.328.873	4.547.101.680	2.209.487.161	6.772.917.714	0,53%
3	Proyek Aksesibilitas dan Ducting Utility	555.342.000.000	346.394.520	1.711.089.835	918.829.811	2.976.314.166	0,54%
Total			1.020.872.981	7.959.827.815	4.288.455.622	13.269.156.418	

Pada tabel diatas diketahui bahwa nilai material sisa sekitar 0,5 - 0,7 % dari nilai kontrak. Berdasarkan data diatas maka dapat diketahui bahwa dalam tiga proyek diatas, WIKA mengalami pengurangan keuntungan sebesar 13.269.156.418 rupiah (Tiga Belas Milliar Dua Ratus Enam Puluh Sembilan Juta Seratus Lima Puluh Enam Ribu Empat ratus Delapan Belas Rupiah).

Perkembangan teknologi konstruksi terbaru berupa perangkat lunak BIM (*Building information Modelling*) dapat diterapkan oleh arsitek, insinyur, kontraktor, dan pemangku kepentingan proyek lainnya untuk mencapai tujuan seperti mengurangi kesalahan desain, mengurangi waktu dan mengurangi biaya, meningkatkan desain dan integrasi konstruksi, dan meningkatkan koordinasi dan kerja sama di antara berbagai bagian (Samimpay & Saghatforoush, 2020). Dalam penelitian lain dijelaskan bahwa kendala utama untuk implementasi BIM adalah resistensi budaya, proses lebih lama, kurangnya kesadaran dan permintaan (Ismail et.al. , 2017). Berdasarkan kondisi yang demikian, maka penulis berkeinginan untuk meneliti pengaruh implementasi bim terhadap upaya pengurangan sisa

material konstruksi di PT. Wijaya karya terutama untuk area kerja yang telah mengimplementasikan BIM yaitu area Jakarta – Bogor – Depok – Tangerang – Bekasi (Jabodetabek).

2. DATA DAN METODE

Populasi dari penelitian ini adalah karyawan PT.Wijaya Karya yang ditempatkan di area Jabodetabek. Populasi penelitian kurang diketahui jumlah pastinya karena tidak terdapat data yang menunjukkan jumlah karyawan PT.Wijaya Karya yang telah mengimplementasikan BIM. Teknik sampling yang digunakan adalah metode *purposive sampling*. Penelitian yang tidak diketahui jumlah populasinya, direkomendasikan menggunakan sampel sebanyak 100 responden (Hair et al., 2017). Data hasil kuesioner diolah menggunakan software Smart PLS versi 3.0. Adapun model PLS Smart penelitian sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Jalur Model PLS Smart

Operasionalisasi variabel pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel. 2 Operasional Variabel

Variabel	Indikator	Skala Pengukuran
Implementasi BIM (X)	1. Tools (Software dan hardware BIM) 2. Operator (SDM BIM) 3. Model Base Proyek 4. Tingkat Implementasi	Ordinal
Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)	1. Perencanaan kebutuhan material 2. Konflik pelaksanaan 3. Sifat 4. Tindak Lanjut	Ordinal

1. Pengukuran model reflektif (*outer model*)

a) Loading factor

Hasil resume nilai *loading factor* lengkap setelah penyesuaian data dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 3. *Loading Factor* seluruh konstruk model PLS Smart (setelah evaluasi)

Variabel laten	Variabel Manifes	Loading Faktor	Ket
X Implementasi BIM	X12 Tools (Software dan hardware BIM)	0.825	Tinggi
	X21 Operator (SDM BIM)	0.941	Tinggi
	X31 Model Base Proyek	0.816	Tinggi
	X42 Tingkat Implementasi	0.893	Tinggi
Y Upaya Pengurangan Sisa Material Konstruksi	Y13 Perencanaan kebutuhan material	0.831	Tinggi

Tabel menunjukkan mengenai nilai *loading factor* pada setiap konstruk pada setiap variabel manifes memiliki nilai berkategori tinggi (lebih dari 0,7). Nilai *loading factor* paling tinggi dimiliki oleh konstruk operator BIM yaitu 0,941.

b) Composite Reliability dan Average Variance Extracted (AVE)

Hasil uji composite reliability dan AVE dapat dilihat di tabel dibawah ini :

Tabel 4. Hasil Uji Composite Reliability dan AVE

	Variabel Laten	AVE	Composite Reliability
X	Implementasi BIM	0.757	0.926
Y	Upaya Pengurangan Sisa Material Konstruksi	0.661	0.886

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa kedua variabel laten memiliki nilai AVE yang lebih besar dari nilai yang ditentukan yakni sebesar 0,5 sehingga seluruh variabel manifes mengenai Implementasi BIM (X1), dan Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y) dinyatakan telah memenuhi persyaratan convergent validity. Kemudian dari tabel tersebut juga menunjukkan nilai *Composite Reliability* untuk setiap variabel manifes memiliki nilai lebih dari 0,7. Nilai *Composite Reliability* paling tinggi dimiliki oleh variabel Implementasi BIM yaitu 0,926.

c) Discriminant Validity

Hasil pengujian menggunakan software SmartPLS 3.0 adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Uji *Cross Loading*

	Implementasi BIM (X)	Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)
X ₁	0.825	0.527
X ₂	0.941	0.621
X ₃	0.816	0.638
X ₄	0.893	0.693
Y ₁	0.667	0.831
Y ₂	0.486	0.786
Y ₃	0.685	0.824
Y ₄	0.487	0.812

Pada tabel, nilai *cross loading* untuk setiap indikator lebih tinggi jika dikomparasikan dengan korelasi indikator dengan variabel laten yang lainnya. Disimpulkan variabel laten memiliki *discriminant validity* yang memadai.

Tabel 6. Hasil Uji *Fornell-Larcker Criterion*

	Implementasi BIM (X)	Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)
Implementasi BIM (X)	0.870	
Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)	0.716	0.813

Validitas discriminant yang baik ditunjukkan dari nilai *Fornell-Larker Criterion* untuk setiap konstruk harus lebih besar dari korelasi antar konstruk lainnya. Adapun evaluasi *Heterotrait-Monotrait Ratio* (HTMT) untuk model dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 7. Evaluasi Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)

	Implementasi BIM (X)	Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)
Implementasi BIM (X)		
Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)	0.827	

Pada tabel, terlihat nilai *Heterotrait-Monotrait Ratio* (HTMT) untuk setiap variabel memiliki nilai kurang dari 0,85.

d) Uji Reliabilitas, Cronbach Alpha , dan rho_A

Hasil pengujian software SmartPLS 3.0, terlihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 8. Hasil Uji *Composite Reliability*

Variabel Laten	Composite Reliability	Cronbach's Alpha	rho_A
X Implementasi BIM	0.892	0.898	0.926
Y Upaya Pengurangan Sisa Material Konstruksi	0.829	0.830	0.886

Pada tabel, terlihat nilai *composite reliability* yang dihasilkan semua konstruk sangat baik yaitu lebih besar dari 0,7.

2. Pengujian model struktural (*inner model*)

a) Evaluasi *Collinearity*

Indikator terjadinya *collinearity* bila nilai $VIF > 5$ maka variabel tersebut harus di keluarkan dari model pengukuran.

Tabel 9. Hasil Uji VIF

Variabel	Konstruk	VIF
Implementasi BIM	X ₁₂	2.278
	X ₂₁	4.922
	X ₃₁	1.965
	X ₄₂	3.128
Upaya Pengurangan Sisa material konstruksi	Y ₁₃	2.304
	Y ₂₂	1.819
	Y ₃₂	2.276
	Y ₄₂	1.982

b) Koefisien Korelasi (*Path Coefficient*)

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *software* SmartPLS 3.0, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 10. Koefisien Korelasi (*Path Coefficient*)

	Implementasi BIM (X)	Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)
Implementasi BIM (X)		0.515
Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)		

c) Koefisien Determinasi (R^2)

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *software* SmartPLS 3.0, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 11. Koefisien Deteminasi

	R Square
Implementasi BIM (X)	0.275
Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)	0.620

Pada tabel, terlihat nilai *R Square* Upaya pengurangan sisa material konstruksi adalah sebesar 0,62 atau 62%. Kontribusi pengaruh dari setiap variabel laten eksogen terhadap variabel laten endogen dilihat pada tabel berikut:

Tabel 12. Koefisien Jalur, Pengaruh Tidak langsung dan Total Pengaruh

Latent Variable	Koefisien Jalur	Pengaruh Tidak Langsung	Total Pengaruh
Implementasi BIM (X) --> Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)	0,515		0,515

Implementasi BIM memberikan pengaruh sebesar 51,5% terhadap Sisa Material Konstruksi.

d) Evaluasi Nilai F^2 (*Size effect*)

Hasil evaluasi nilai F^2 tersaji pada tabel dibawah ini :

Tabel 13. Evaluasi F^2

Latent Variable	f Square	Kategori
Implementasi BIM (X) -> Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)	0,506	Besar

e) Evaluasi Nilai Q^2

Hasil evaluasi Nilai Q^2 adalah sebagai berikut :

Tabel 14. Evaluasi *Construct Crossvalid Redundancy* (Q^2)

Latent Variable	SSO	SSE	$Q^2 (=1-SSE/SSO)$	Keterangan
Implementasi BIM (X)	400	318,354	0,204	Moderat

Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y) 400 243,184 0,392 Kuat

Berdasarkan tabel diatas Upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y) memiliki nilai Q^2 sebesar 0,392 sehingga menunjukkan relevansi prediktif fit model kuat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk pengujian hipotesis, dilakukan perhitungan model dengan *bootstrapping*. Nilai *t-statistic* tersaji pada tabel *Path Coefficient* pada dibawah ini :

Tabel 15. *Path Coefficients*

Latent Variable	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistic ([O/STDEV])	P values
Implementasi BIM (X) terhadap upaya pengurangan sisa material konstruksi (Y)	0,515	0,514	0,076	6,786	0.000

Dari hasil pengolahan data diperoleh bahwa nilai P-Values variabel implementasi BIM terhadap upaya pengurangan sisa material konstruksi adalah sebesar 0,000 ditambah dengan nilai t-statistics positif terbesar (6,786) sehingga dinyatakan implementasi BIM berpengaruh positif/searah terhadap upaya dalam mengurangi sisa material konstruksi. Semakin implementasi BIM semakin baik/tinggi maka akan berpengaruh positif terhadap upaya mengurangi sisa material konstruksi. Hasil penelitian sebelumnya (Zoghi & Kim, 2020) menyebutkan bahwa penggunaan BIM dapat meningkatkan kolaborasi antar pemangku kepentingan, memaksimalkan pengambilan data, dan meningkatkan potensi dalam visualisasi. Kondisi timbulan limbah seperti kondisi elemen struktural dan mekanis saling tumpang tindih, mencegah pemesanan bahan mentah yang berlebihan, meminimalkan kerusakan yang terjadi selama pengiriman, dan mengurangi kebutuhan material. Penelitian (Gbadamosi et al., 2019) menunjukkan bahwa Integrasi dalam implementasi BIM berdampak meningkatkan kepraktisan dalam penggunaan data produksi seperti berat komponen, jumlah pekerja dan jumlah material, sehingga dapat berguna dalam meningkatkan efisiensi dan mengurangi limbah. Penelitian (Nelson & Tamtana, 2019) keuntungan teknologi BIM yang paling dominan adalah BIM dapat mengetahui konflik/kesalahan lebih awal sehingga dapat dilakukan pencegahan. BIM membantu dalam penarikan keputusan baik saat proses perencanaan dan desain, dan Implementasi BIM membangun sinergi antara pemangku kepentingan konstruksi. Penelitian oleh (Reizgevičius et al., 2018) juga menunjukkan hasil bahwa implementasi BIM yang baik akan meningkatkan meningkatkan kualitas dan ketepatan desain dan konstruksi. Jadi implementasi BIM yang baik akan mendukung upaya untuk mengurangi limbah atau material konstruksi.

4. KESIMPULAN

Implementasi *Building Information Modeling* (BIM) berpengaruh positif dan signifikan terhadap upaya pengurangan sisa material konstruksi. Diinterpretasikan apabila sumber data yang dibutuhkan oleh pemangku kepentingan tersedia lebih lengkap maka penyediaan material akan sesuai kebutuhan, sehingga potensi kesalahan desain semakin kecil dan komunikasi antar pemangku kepentingan semakin efektif yang berdampak pada upaya pengurangan sisa material konstruksi juga akan semakin baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT. Wijaya Karya Persero dan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro atas kerjasama dan dukungan yang luar biasa sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- Gbadamosi, A.-Q., Mahamadu, A.-M., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Manu, P., Mahdjoubi, L., & Aigbavboa, C. (2019). Offsite construction: Developing a BIM-Based optimizer for assembly. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1180–1190.
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., & Thiele, K. O. (2017). Mirror, mirror on the wall: a comparative evaluation of composite-based structural equation modeling methods. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 45(5), 616–632.
- Ismail, N. A. A., Chiozzi, M., & Drogemuller, R. (2017). An overview of BIM uptake in Asian developing countries. *AIP Conference Proceedings*, 1903(1), 80008.
- Nelson, N., & Tamtana, J. S. (2019). Faktor Yang Memengaruhi Penerapan Building Information Modeling (BIM) Dalam Tahapan Pra Konstruksi Gedung Bertingkat. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(4), 241–248.
- Reizgevičius, M., Ustinovičius, L., Cibulskienė, D., Kutut, V., & Nazarko, L. (2018). Promoting sustainability through investment in Building Information Modeling (BIM) technologies: A design company perspective. *Sustainability*, 10(3), 600.
- Samimpay, R., & Saghatforoush, E. (2020). Benefits of Implementing Building Information Modeling (BIM) in Infrastructure Projects. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 10(2), 123–140.
- Zoghi, M., & Kim, S. (2020). Dynamic Modeling for Life Cycle Cost Analysis of BIM-Based Construction Waste Management. *Sustainability*, 12(6), 2483.

Studi Luas Genangan Banjir Pada Suatu Das Yang Memiliki Bangunan Tanggul (Study Kasus DAS Way Pisang)

Fenny Suhendar^{a)}, Aprizal^{b)}, Any Nurhasanah^{c)}

^a Program Magister Teknik, Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

^{b,c} Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

Corresponding Author:

Email: aprizal@ubl.ac.id

Keywords:

Way Pisang, Embankment and HEC-RAS.

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: Way Pisang is a river in south Lampung Regency – Lampung, that potentially flooding every year, crossing the Penengahan, Palas and Sragi Districts. The floods that occur almost every year, has an impact on the moral and material losses to the residents who lived around the location. Flood prevention around the Way Pisang river is done by adding some embankments for its rehabilitation. The simulations of the embankment infrastructure existed carried out using HEC-RAS software. This simulations were carried out at certain locations that profiled potentially welled up at B.34 to A.76 or Sta. 01 to 109. From its modeling, resulting that the existence of an embankment with a high puddle area in year 2007, for Q_{10} are 270/Ha and for Q_{25} are 330/Ha. Furthermore, flood inundation area flooded in year 2015 was 310/Ha for Q_{10} and 340/Ha for Q_{25} .

Copyright © 2023 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Sungai adalah suatu saluran drainase yang terbentuk secara alamiah. Akan tetapi disamping fungsinya sebagai saluran drainase, sungai memiliki permasalahan yang menyebabkan eksistensinya berkurang. Beberapa permasalahan tersebut antara lain erosi, sedimentasi atau pendangkalan sungai dan juga banjir. Volume sedimen yang dihasilkan dari erosi dan reruntuhan tebing ini apabila dibiarkan akan menyebabkan pendangkalan sungai sehingga pada keadaan seperti ini, apabila terjadi debit air hujan yang besar dapat menimbulkan luapan dan banjir.

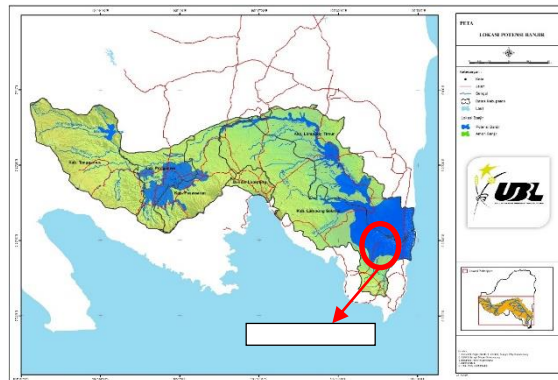
Sungai Way Pisang merupakan salah satu sungai dengan DAS yang setiap tahun selalu terjadi banjir di beberapa lokasi sepanjang aliran sungai. Sungai Way Pisang melintasi Kabupaten Lampung Selatan yang bermuara di Sungai Way Sekampung. Sungai Way Pisang memiliki panjang 27,32 km dengan luas DAS sebesar 155,34 km². Secara administrasi aliran sungai Way Pisang mengalir melalui 3 (tiga) Kecamatan yaitu : Penengahan, Palas dan Sragi.

Catatan kejadian banjir yang pernah terjadi diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, (BBWS-MS) pada tahun 2007 terjadi banjir dengan luas genangan mencapai 1.797 Ha, ketinggian 0,5-1 meter dengan lama genangan 5-7 hari, sedangkan pada tahun 2015 tercatat kejadian banjir yang menggenangi 2.176 Ha, ketinggian 1-1,2 meter selama 7-15 hari. Maksud penelitian ini adalah mengetahui luas genangan banjir pada DAS Way Pisang pada kondisi sungai tanggul. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah dapat diketahui luas genangan banjir yang terjadi akibat meluapnya Sungai Way Pisang pada kondisi sungai tanggul rehabilitasi.

Dari catatan banjir tersebut, dapat dikatakan bahwa Sungai Way Pisang telah mengalami peningkatan aliran permukaan yang mengalir dari hulu ke hilir dan di beberapa lokasi tertentu mengalami genangan banjir sebagaimana dapat dilihat pada gambar 1. dan gambar 2. menunjukkan bahwa pada bagian hulu Sungai Way Pisang memiliki tutupan lahan relative masih baik didominasi hutan dan perkebunan campur hingga pada muara didominasi sawah dan rawa dan merupakan salah satu daerah parker banjir di bawah ini.



Gambar 1. Beberapa Lokasi Yang Tergenang Banjir



Gambar 2. Bagian Hulu Sungai Way Pisang

Mengacu pada permasalahan-permasalahan yang ada, maka untuk mengantisipasi banjir dapat dilakukan rencana peningkatan kapasitas dan merehabilitasi bangunan tanggul yang ada saat ini.

2. DATA DAN METODE

Tinjauan Pustaka

Untuk lebih melengkapi dan menyempurnakan hasil tesis ini, penulis berusaha mencari referensi studi dan kajian yang terkait dengan pemodelan alternative pengendalian banjir, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Dokumen Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Seputih Sekampung Tahun 2015 (BBWS Mesuji Sekampung) mengulas lokasi-lokasi potensi banjir di WS Seputih Sekampung, salah satunya adalah di sekitar Sungai Way Pisang;
2. Penelusuran dan Audit Sungai Way Pisang, PT. Prana Kurnia Pratama (2015) menjelaskan beberapa lokasi potensi banjir di Sungai Way Pisang, khususnya di sekitar muara;
3. Kajian Sempadan Sungai Way Pisang, PT. Bina Buana Raya (2018) menjelaskan penggunaan lahan di daerah sempadan sungai Way Pisang;
4. Lilik Ariyanto (2018) tentang Analisis Dampak Alih Fungsi Lahan Perubahan Debit Banjir Sungai Way Pisang Di Kabupaten Lampung Selatan.
5. Siratjuddin Jahidin (2018) tentang Analisa Alternatif Pengendalian Banjir Sungai Way Ketibung Dengan Pemodelan Hidrolika.

LANDASAN TEORI

HEC-RAS

Hidrologic Engineering Center (HEC) U.S. Army Corps of Engineering pada tahun 1995 mengembangkan HEC-RAS yang merupakan perangkat lunak non-komersial . Program ini didesain untuk menghitung profil muka air untuk aliran tetap (*steady*) dan aliran berubah-beraturan (*gradually-varied flow*) pada saluran alami atau buatan manusia.

HEC-RAS memiliki tujuan utama untuk menghitung elevasi muka air pada lokasi tampang melintang (*cross-section*) yang diteliti sepanjang sungai atau aliran untuk nilai aliran (*flow values*) tertentu. Hitungan profil dilakukan pada cross- section dengan kondisi awal yang diketahui atau

diperkirakan, kemudian dilanjutkan ke arah hulu untuk tipe aliran *subcritical* dan ke arah hilir untuk tipe aliran *supercritical*, (Bedient dkk, 2008).

Persamaan Pada HEC-RAS

Hitungan hidrolika aliran pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam alur dan kedalaman aliran di batas hilir. Hitungan hidrolika aliran di dalam HEC-RAS dilakukan dengan membagi aliran ke dalam dua kategori, yaitu aliran permanen dan aliran tak permanen. Dasar prosedur perhitungan yang digunakan adalah didasarkan pada pemecahan persamaan kekekalan energi satu dimensi. Kehilangan energi dievaluasi dengan gesekan (persamaan Manning) dan kontraksi maupun ekspansi.

1. Profil Aliran

Profil permukaan air dihitung dari suatu potongan melintang saluran ke potongan selanjutnya dengan memecahkan persamaan kekekalan energi dengan prosedur interaktif yang disebut Metode Tahapan Standar (*Standard Step Method*). Persamaan kekekalan energi yang dimaksud adalah :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + hf + he$$

Dimana :

Y_1, Y_2 = kedalaman air pada potongan melintang

Y_1, Y_2 = elevasi pada saluran utama

V_1, V_2 = kecepatan rata-rata (jumlah total debit)

α_1, α_2 = koefisien tinggi kecepatan

g = percepatan gravitasi

he = kehilangan energi

2. Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan energi antara dua potongan melintang diakibatkan oleh kehilangan energi akibat gesekan dan ekspansi maupun kontraksi. Kehilangan energi antara tampang 2 dan 1 dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$he = LS_f + C \left[\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right]$$

Dimana :

L = panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit

S_f = *representative friction slope* antar kedua tampang

C = koefisien kehilangan energi akibat perubahan tampang (kontraksi atau ekspansi)

Panjang ruas sungai antar dua tampang yang diberi bobot sesuai dengan debit dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{ch} Q_{ch} + L_{rob} Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}}$$

Dimana :

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = panjang ruang sungai di sisi kiri (*left overbank*), alur utama (*main channel*), di sisi kanan (*right overbank*),

Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{ro} = debit yang mengalir melalui *left overbank*, *main channel* dan *right overbank*.

3. Kapasitas Angkut Sendimen

Besarnya debit kapasitas angkut dan kecepatan rata-rata di suatu tampang dihitung perbagian penampang sungai dengan mengacu pada persamaan *Manning's* berikut :

$$Q = K . S_f^{1/2}$$

$$K = \frac{1,486}{n} AR^{2/3}$$

Dimana :

K = kapasitas angkut tiap bagian tampang

S_f = Kemiringan pada garis energi

n = koefisien kekasaran Manning tiap bagian tampang

A = luas tampang basah tiap bagian tampang

R = radius hidrolis tiap bagian tampang

4. Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata

Tinggi energi kinetik rata-rata dihitung dengan merata-ratakan tinggi energi kinetik di ketiga bagian tampang (*left overbank, main channel, right overbank*) yang diberi bobot berdasarkan debit di setiap bagian tampang. Untuk menghitung tinggi energi kinetik rata-rata, diperlukan koefisien tinggi kecepatan, α , yang dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$\frac{\alpha V^2}{2g} = \frac{\frac{Q_1 V_1^2}{2g} + \frac{Q_2 V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2}$$

$$\alpha = \frac{2g \left[Q_1 \frac{Q_1 V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{Q_2 V_2^2}{2g} \right]}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2}$$

dengan demikian :

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) V^2}$$

atau pada umumnya :

$$\alpha = \frac{|Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_n V_n^2|}{Q V^2}$$

Koefisien kecepatan α di hitung berdasarkan dengan angkutan sedimen di ketiga aliran (sisi kiri, tengah, dan sisi kanan). Juga dapat di tulis dengan hubungan angkutan sedimen dan luas area, sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3}$$

Dimana :

A_t = Total luas area tampang lintang

$A_{lob} A_{ch} A_{rob}$ = Luas area bantaran/tepi kiri, tengah, dan tepi kanan (persfektif)

K_t = Total angkutan sedimen

$K_{lob} K_{ch} K_{rob}$ = Angkutan sedimen bantaran/tepi kiri, tengah, dan tepi kanan (persfektif)

5. Tinggi Hilang Karena Gesekan

Kemiringan garis energi karena gesekan (*friction slope*) di suatu tampang dihitung dengan persamaan Manning sebagai berikut :

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

6. Koefisien Persempitan dan Perlebaran Tampang

Koefisien kehilangan energi karena kontraksi dan ekspansi dihitung dengan menggunakan rumus dan cara sebagai berikut :

$$h_e = C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

7. Persamaan Aliran Satu Dimensi

Persamaan aliran satu dimensi dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Q_c = \Phi Q$$

Dimana :

Q_c = debit aliran melalui alur utama (*channel*)

Q = debit total aliran

$$\Phi = K_c / (K_c + K_f)$$

K_c = kapasitas angkut tampang alur utama

K_f = kapasitas angkut tampang bantaran

Dengan anggapan tersebut, maka persamaan aliran satu dimensi dapat digabungkan menjadi satu kelompok persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial(1-\Phi)Q}{\partial x_f} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{\Phi^2}{A_c} \right)}{\partial x_c} + \frac{\partial \left[(1-\Phi)^2 Q^2 / A_f \right]}{\partial x_f} + gA_c \left[\frac{\partial Z}{\partial x_c} + Sf_c \right] + gA_f \left[\frac{\partial Z}{\partial x_f} + Sf_f \right] = 0$$

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan kegiatan yang didasari oleh alur pikir sebagai berikut :

1. Melaksanakan studi literatur yang terkait dengan pokok bahasan penelitian;
2. Melaksanakan pengumpulan data sekunder sebagai data awal berupa data debit banjir rancangan Sungai Way Pisang Tahun 2007 dan Tahun 2015;
3. Melaksanakan pengumpulan data geometri Sungai Way Pisang berdasarkan hasil pengukuran yang pernah dilaksanakan;
4. Melakukan analisis dan pemodelan hidrolika sungai Way Pisang (dengan adanya bangunan tanggul) berdasarkan data geometri sungai hasil pengukuran serta dengan parameter debit banjir rancangan Tahun 2007 dan Tahun 2015;
5. Menyusun kesimpulan penelitian dan rekomendasi yang diusulkan.

Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan terhadap data-data sebagai berikut :

1. Data geometri Sungai Way Pisang berdasarkan hasil pengukuran yang pernah dilaksanakan dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung (BBWS-MS);
2. Data debit banjir rancangan Sungai Way Pisang yang pernah dilakukan dalam kegiatan perencanaan oleh Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung (BBWS-MS).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Hidrolika Sungai Way Pisang Kondisi Tanggul Rehabilitasi Tahun 2007

Berdasarkan data sekunder berupa debit banjir rancangan pada tahun 2007 dapat dilihat dalam tabel di bawah ini

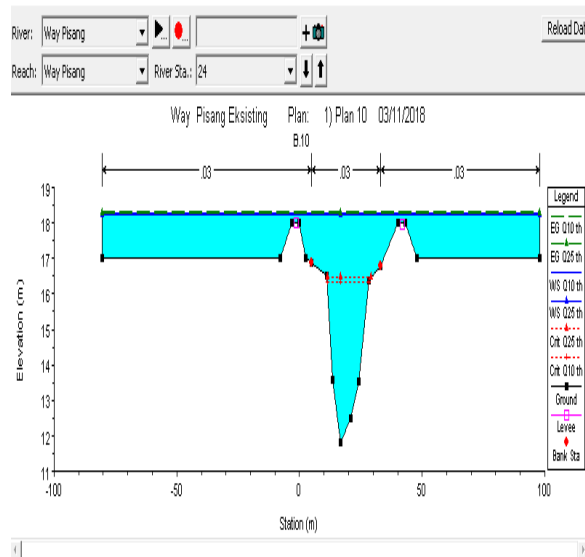
Tabel 1. Debit Banjir Rancangan Sungai Way Pisang – Tahun 2007

No	Kala Ulang (th)	Debit Banjir Rancangan (m ³ /detik)
1	2	205.84
2	5	240.67
3	10	253.43
4	20	261.46
5	25	263.09
6	50	267.44
7	100	270.30

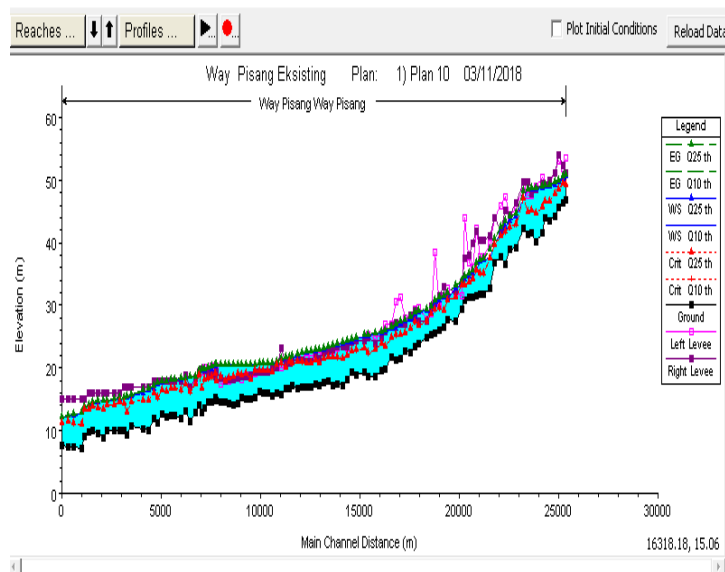
Sumber: Hasil Analisis, Tahun 2018

Hasil Pemodelan Hidrolika Sungai Way Pisang Kondisi Tanggul Rehabilitasi Tahun 2007

Berdasarkan hasil pemodelan sungai Tahun 2007 dengan kondisi terdapat bangunan berupa tanggul rehabilitasi, maka luas genangan banjir sebagai dampak dari limpasan banjir di Sungai Way Pisang seluas 270 Ha (Q_{10}) dan 330 Ha (Q_{25}).



Gambar 3. Penampang Melintang Hasil Pemodelan Sungai Way Pisang Kondisi Tanggul Rehabilitasi Tahun 2007



Gambar 4. Penampang Memanjang Hasil Pemodelan Sungai Way Pisang Kondisi Tanggul Rehabilitasi Tahun 2007

Berdasarkan hasil pemodelan Sungai Way Pisang Tahun 2007 dengan parameter debit banjir rancangan Q_{10} sebesar $253.43 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan Q_{25} sebesar $263.09 \text{ m}^3/\text{detik}$, maka sebagaimana tersaji dalam Tabel 4.1. di atas dapat diketahui bahwa kondisi pemodelan dengan Q_{10} luas genangan banjir Sungai Way Pisang kondisi tanggul rehabilitasi sebesar 270 Ha.

Sedangkan pada kondisi pemodelan dengan Q_{25} dapat diketahui bahwa luas genangan banjir Sungai Way Pisang kondisi tanggul rehabilitasi sebesar 330 Ha.

Pemodelan Hidrolika Sungai Way Pisang Kondisi Tanggul Rehabilitasi Tahun 2015

Berdasarkan data sekunder berupa debit banjir rancangan pada tahun 2015 dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

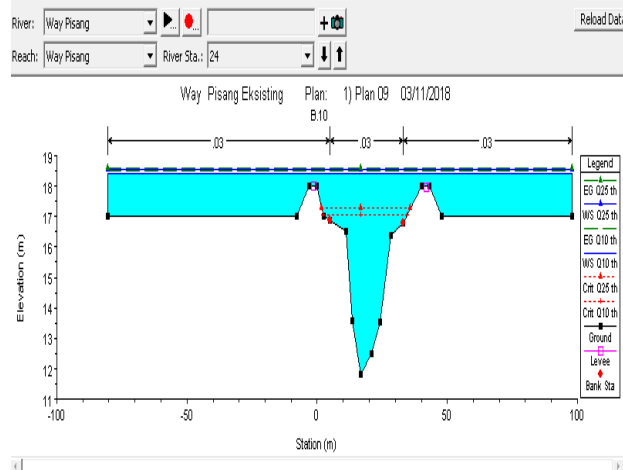
Tabel 2. Debit Banjir Rancangan Sungai Way Pisang – Tahun 2015

No	Kala Ulang (th)	Debit Banjir Rancangan (m ³ /detik)
1	2	226.81
2	5	273.77
3	10	304.01
4	20	335.11
5	25	341.70
6	50	369.58
7	100	397.28

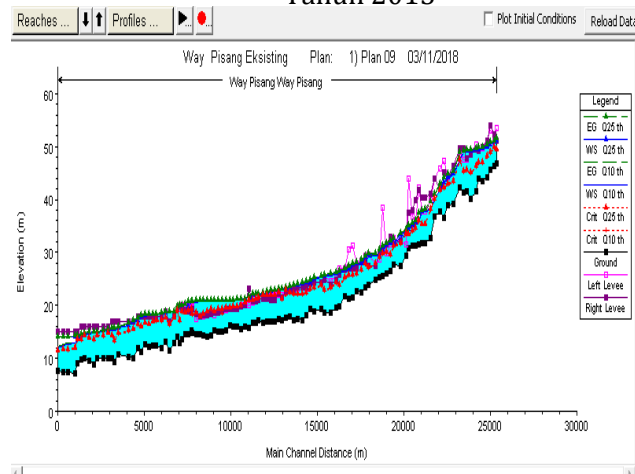
Sumber: Hasil Analisis, Tahun 2018

Hasil Pemodelan Hidrolika Sungai Way Pisang Kondisi Tanggul Rehabilitasi Tahun 2015

Berdasarkan hasil pemodelan sungai Tahun 2015 dengan kondisi terdapat bangunan berupa tanggul rehabilitasi, maka luas genangan banjir sebagai dampak dari limpasan banjir di Sungai Way Pisang seluas 310 Ha (Q₁₀) dan 340 Ha (Q₂₅).



Gambar 5. Penampang Melintang Hasil Pemodelan Sungai Way Pisang Kondisi Tanggul Rehabilitasi Tahun 2015



Gambar 6. Penampang Memanjang Hasil Pemodelan Sungai Way Pisang Kondisi Tanggul Rehabilitasi Tahun 2015

Berdasarkan hasil pemodelan Sungai Way Pisang Tahun 2015 dengan parameter debit banjir rancangan Q_{10} sebesar 304.01 m³/detik dan Q_{25} sebesar 341.70 m³/detik, maka sebagaimana tersaji dalam Tabel 4.2. di atas dapat diketahui bahwa kondisi pemodelan dengan Q_{10} luas genangan banjir Sungai Way Pisang kondisi tanggul rehabilitasi sebesar 310 Ha.

Sedangkan pada kondisi pemodelan dengan Q_{25} dapat diketahui bahwa luas genangan banjir Sungai Way Pisang kondisi tanggul rehabilitasi sebesar 340 Ha.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Kondisi Sungai Way Pisang Tahun 2007 dengan pemodelan Q_{10} , yaitu : Luas genangan banjir pada kondisi sungai Tanggul adalah 270 Ha;
2. Kondisi Sungai Way Pisang Tahun 2007 dengan pemodelan Q_{25} , yaitu : Luas genangan banjir pada kondisi sungai Tanggul adalah 330 Ha;
3. Kondisi Sungai Way Pisang Tahun 2015 dengan pemodelan Q_{10} , yaitu : Luas genangan banjir pada kondisi sungai Tanggul adalah 310 Ha;
4. Kondisi Sungai Way Pisang Tahun 2015 dengan pemodelan Q_{25} , yaitu : Luas genangan banjir pada kondisi sungai Tanggul adalah 340 Ha;

5. Saran

Adapun saran rekomendasi dari kesimpulan diatas adalah agar dapat melakukan perbaikan pada tanggul yang sudah ada dan bangunan tanggul dapat direncanakan di beberapa lokasi yang mengalami limpas saat terjadinya banjir.

REFERENSI

- Ariyanto, Lilik. 2018. *Analisis Dampak Alih Fungsi Lahan Perubahan Debit Banjir Sungai Way Pisang Di Kabupaten Lampung Selatan*. Tesis. Universitas Bandar Lampung, Lampung.
- Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, 2018, *Kajian Sempadan Sungai Way Pisang*.
- Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, 2015, *Penelusuran dan Audit Sungai Way Pisang, PT. Prana Kurnia Pratama*.
- Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, 2015, *Dokumen Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Seputih Sekampung*.
- Bedient, P.B., and Huber, W.C., 1992. *Hydrology and Flooplain Analysis*. Addison-Wesley Publishing Co.: USA.
- Harto S, Br.1993. *Analisis Hidrologi*. Andi : Yogyakarta.
- Indarto, 2016. *Hidrologi, Metode Analisis dan Tool untuk Interpretasi Hidrograf Aliran Sungai*. Bumi Aksara : Jakarta.
- Jahidin, Siratjuddin. 2018. *Analisa Alternatif Pengendalian Banjir Sungai Way Ketibung Dengan Pemodelan Hidrolika*. Tesis. Universitas Bandar Lampung, Lampung.
- Montarich, L. 2010. *Hidrologi Praktis*. Lubuk Agung, Bandung.
- Nainggolan, J., dkk, 2015, *Pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap debit banjir di sub DAS Siak bagian hulu*, Jom FTEKNIK |Volume 2 No. 2|Oktober 2015.
- Soemarto. 1999. *Hidrologi Teknik*. Tri Star Printing : Jakarta.
- Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda. 1985. *Hidrologi untuk Pengairan*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Subramanya, K. 2009, *Engineering Hydrology*, McGraw-Hill Education (Asia) : Singapore.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta : Andi.
- Triatmodjo, B. 2013. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset : Yogyakarta.