

Hanafi, Ferry Rusgiyarto, Rangga Pratama, dan Muhammad Rachmadiansyah Hatta

Analisis Tingkat Keselamatan Jalan Tol Berdasarkan Metode Pembobotan Korlantas (Studi Kasus: Jalan Tol Cipularang)

Fauzia Haz, Rendi Marselindo, dan Yuda Bakti Zainal

Desain dan Implementasi Sistem Pelacak Cahaya Matahari Dual Axis pada Solar Cell Menggunakan Arduino Mega 2560

Roni Farfan

Desain Teknis Penyediaan Air Baku Kecamatan Nangabadau - Kabupaten Kapuashulu

Ni Kadek Sri Ebtha Yuni dan Nyoman Suardika

Pemilihan Alternatif Metode Kerja dengan Menentukan Urutan Prioritas Kriteria Fungsi pada Pekerjaan Struktur

Prima Sukma Yuana dan Boy Raja Agustinus Sihotang

Penerapan Sistem *Hybrid* pada Kepala Pilar Jembatan

Bambang Hari Prabowo, Zahra Nursaidah, dan Febby Safitri

Pengaruh H_2O_2 dalam Metode Koagulasi Pengolahan Air Payau Menggunakan Koagulan PAC dan Alumunium Sulfat

La Ifa, Muhhamad Awalul Agus, Karim Kasmudin, dan Andi Artiningsih

Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Cangkang Bekicot terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi

Maulani Kapiudin, Tenang Sembiring, dan Hilman Najmi Aulia

Prototipe Sistem Kontrol PH Air Berbasis Mikrokontroler Arduino dengan Visualisasi *Visual Basic* pada *Final Waste Water Treatment*

TIM REDAKSI

Pimpinan : Dr. Putu Teta Prihartini, S.T., M.T.
Redaksi (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 56951380600)

Dewan :
Redaksi

- Dr. Ir. Ferry Rusgiarto, M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 56688583600)
- Dr. Hendriyana, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 57189732631)
- Yuda Bakti Zainal, ST., MT
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Sinta ID: 6083767)
- Agus Juhara, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID:)
- Dr. Ir. Djoko Hadi Prajitno, MSME.
(Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) - Bandung,
Scopus ID: 6507211795)

Editor :
Teknis

- Deny Bayu Saefudin, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Sinta ID: 133135)
- Atik Charisma, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 57188567470)
- Giri Angga Setia, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia. Scopus ID: 57194215122)
- Antrisha Daneraici Setiawan, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57188573899)
- Andri Rahmat Kumalasian, S.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)
- Xbal Meiprastyo, S.T., M.Eng.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)
- Ekha Panji Syuryana, S.T., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)
- Naftalin Winanti, S.ST., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57200994613)
- Muhammad Iqbal, S.ST., M.T.
(Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)

Penerbit :
Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Achmad Yani (Kampus Bandung)
Jl. Terusan Gatot Subroto Tromol Pos 807
Bandung – Jawa Barat
Indonesia
40285
Telp. : 022-731-2741

Fakultas Teknik
Universitas Jenderal Achmad Yani (Kampus Cimahi)
Jl. Terusan Jenderal Sudirman P.O. Box 148
Cimahi – Jawa Barat
Indonesia
40531
Telp. : 022-665-4572
022-664-3006

Jurnal Teknik merupakan **jurnal *peer-reviewed*** dalam **Bahasa Indonesia** di bidang keteknikan yang terbit **2 kali dalam setahun**. Terbit di bulan **Mei** dan **November** sejak tahun 2001. Jurnal Teknik versi online baru terbit pada tahun 2017 dengan fasilitas pengumpulan dan penerbitan online yang berbasis **Open Access Journal** dan mengikuti [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Harga Berlangganan	: Institusi Rp. 170.000,-/tahun
	Individu Rp. 160.000,-/tahun
Harga Tidak Berlangganan	: Rp. 100.000,-/nomor

MITRA BESTARI

Anggota tim Mitra Bestari Jurnal Teknik Tahun 2019

- Prof. Dr. Bambang Sutjiatmo, Dipl. Ing. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 6506054959)
- Prof. I. N. Suprpta Winaya, S.T., M.A.Sc., Ph.D. (Universitas Udayana, Indonesia, Scopus ID: 18635759300)
- Dr. Suhartono, S.T., M.Si. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57189075734)
- Dr. Damawidjaya Biksono, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)
- Dr. Asep Najmurokhman, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 55919091000)*
- Yusuf Dewantoro Herlambang, S.T., M.T., Ph.D. (Politeknik Negeri Semarang, Indonesia, Scopus ID: 57194209980)
- Dr. P. Y. M. Wibowo Nd, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, SCOPUS ID: 55983351800)
- Dr. Sutarno, Ir., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57205031839)
- Dr. Nita Puspita Hidayat, Ir., M.T. (Universitas Islam Bandung, Indonesia, Scopus ID: 57201677362)
- Dr. Rinto Yusriski, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 56582391600]
- Dr. Eng. Christina Wahyu K., S.T., M.T. (Universitas Brawijaya, Indonesia, Scopus ID: 56688583600)*
- Dr. Ir. Iskandar Muda, M.Eng. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57195229456)
- Putu Doddy Sutrisna S.T., M.Sc., Ph.D. (Universitas Surabaya, Indonesia, Scopus ID: 6504553709)
- Ir. Kusharjanto, M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia, Scopus ID: 57193392775)
- Sofyan Basuki, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia)
- Ir. Emi Prasetyawati Umar, S.Si., M.T., IPP (Universitas Muslim Indonesia, Makasar, Scopus ID: 57201065526)
- Dr. Charles Sitompul, S.T., M.T., MIM (Universitas Katolik Parahyangan, Scopus ID: 23975188900)
- Dr, Ir. Ariani Budi Safarina, M.T., (Universitas Jenderal Achmad Yani, Sinta ID: 57200635517)*
- Ir. Nana Heryana, IPM (Institut Teknologi Bandung, Scopus ID: 35174665300)*
- Prof. Ir. Lilik Sudiajeng, M.Erg. (Politeknik Negeri Bali, Scopus ID: 55189864100)*
- Dr. Hendriyana, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID: 57189732631)
- Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. (Institut Pertanian Bogor, Scopus ID: 57195301854)*

* Reviewer yang terlibat pada Vol 18 No 2 Tahun 2019

DAFTAR ISI

Analisis Tingkat Keselamatan Jalan Tol Berdasarkan Metode Pembobotan Korlantas (Studi Kasus: Jalan Tol Cipularang) Hanafi, Ferry Rusgiyanto, Rangga Pratama, dan Muhammad Rachmadiansyah Hatta	49 – 58
Desain dan Implementasi Sistem Pelacak Cahaya Matahari Dual Axis pada Solar Cell Menggunakan Arduino Mega 2560 Fauzia Haz' Rendi Marselindo, dan Yuda Bakti Zainal	59 – 66
Desain Teknis Penyediaan Air Baku Kecamatan Nangabadau – Kabupaten Kapuashulu Roni Farfian	67 – 79
Pemilihan Alternatif Metode Kerja dengan Menentukan Urutan Prioritas Kriteria Fungsi pada Pekerjaan Struktur Ni Kadek Sri Ebtha Yuni dan Nyoman Suardika	81 – 89
Penerapan Sistem <i>Hybrid</i> pada Kepala Pilar Jembatan Prima Sukma Yuana dan Boy Raja Agustinus Sihotang	91 – 99
Pengaruh H₂O₂ dalam Metode Koagulasi Pengolahan Air Payau Menggunakan Koagulan PAC dan Aluminium Sulfat Bambang Hari Prabowo, Zahra Nursaidah, dan Febby Safitri	101 – 107
Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Cangkang Bekicot terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi La Ifa, Muhhamad Awalul Agus, Karim Kasmudin, dan Andi Artiningsih	109 – 113
Prototipe Sistem Kontrol PH Air Berbasis Mikrokontroler Arduino dengan Visualisasi <i>Visual Basic</i> pada <i>Final Waste Water Treatment</i> Maulani Kapiudin, Tenang Sembiring, dan Hilman Najmi Aulia	115 – 121

DARI REDAKSI

Puji syukur kami panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Kuasa atas perkenan-Nya kami dapat menerbitkan Jurnal Teknik (JT) Volume 18 Nomor 2, bulan November 2019. Dalam edisi ini disajikan 6 (enam) makalah berkaitan dengan bidang Ilmu Teknik, yang mencakup Teknik Kimia, Teknik Elektro, Teknik Mesin, Teknik Sipil, Teknik Metalurgi, dan Teknik Industri lingkungan yang meliputi: (1) Analisis Tingkat Keselamatan Jalan Tol Berdasarkan Metode Pembobotan Korlantas (Studi Kasus: Jalan Tol Cipularang), (2) Desain dan Implementasi Sistem Pelacak Cahaya Matahari Dual Axis pada Solar Cell Menggunakan Arduino Mega 2560, (3) Desain Teknis Penyediaan Air Baku Kecamatan Nangabadau – Kabupaten Kapuashulu, (4) Pemilihan Alternatif Metode Kerja dengan Menentukan Urutan Prioritas Kriteria Fungsi pada Pekerjaan Struktur, (5) Penerapan Sistem *Hybrid* pada Kepala Pilar Jembatan, (6) Pengaruh H₂O₂ dalam Metode Koagulasi Pengolahan Air Payau Menggunakan Koagulan PAC dan Aluminium Sulfat, (7) Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Cangkang Bekicot terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi, dan (8) Prototipe Sistem Kontrol PH Air Berbasis Mikrokontroler Arduino dengan Visualisasi *Visual Basic* pada *Final Waste Water Treatment*.

Redaksi menyampaikan rasa terima kasih kepada peneliti-peneliti untuk mempublikasikan hasil penelitiannya dalam Jurnal Teknik edisi 18(2) ini. Tak lupa juga kami ucapkan terima kasih kepada Mitra Bestari yang telah membantu hingga Jurnal Teknik ini dapat diterbitkan. Redaksi senantiasa mengundang peneliti, perekayasa, dan para fungsional lain untuk memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang ilmu teknik. Kritik dan saran atas ketidak-sempurnaan dalam Jurnal Teknik sangat kami harapkan demi kemajuan dan penyempurnaan dalam terbitan selanjutnya. Semoga pemuatan karya dalam terbitan kali ini dapat menjadi pemicu peneliti-peneliti untuk melahirkan karya-karya lain dengan ide-ide original dan bermanfaat untuk masyarakat.

Cimahi, 30 November 2019

Dewan redaksi

Analisis Tingkat Keselamatan Jalan Tol Berdasarkan Metode Pembobotan Korlantas (Studi Kasus: Jalan Tol Cipularang)

Hanafi, Ferry Rusgiarto, Rangga Pratama, dan Muhammad Rachmadiansyah Hatta
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia
hanafi@lecture.unjani.ac.id, ferry.rusgiarto@lecture.unjani.ac.id, nggapraatama2@gmail.com,
rachmadiansyahh@gmail.com

Abstrak

Kecelakaan lalu lintas tidak hanya menimbulkan kerugian materi akan tetapi mengakibatkan kehilangan sumber daya manusia yang sangat tinggi. Ruas jalan tol Cipularang memiliki lokasi rawan kecelakaan (*blackspot*) yang tersebar sehingga mengakibatkan menurunnya kinerja ruas jalan tol tersebut. Pendekatan analisis data kecelakaan dengan analisis pembobotan Korlantas. Analisis ini memprediksi lokasi *blackspot* berdasarkan tingkat fatalitas korban kecelakaan di ruas jalan. Berdasarkan analisis pembobotan Korlantas tingginya angka kecelakaan berada di lokasi km 91-93. Aspek yang ditinjau dalam mengevaluasi daerah *blackspot* meliputi volume lalu lintas, kecepatan operasional, geometrik, dan perlengkapan jalan. Waktu kejadian kecelakaan tertinggi pada pukul 00.00-06.00. Tipe tabrakan didominasi oleh kecelakaan sendiri dimana faktor penyebab kecelakaan adalah kurang antisipasinya pengemudi. Volume lalu lintas dan kecepatan kendaraan yang tinggi pada km 91-93 tol Cipularang adalah salah satu penyebab utama terjadinya kecelakaan. Rata-rata kecelakaan didominasi oleh kendaraan besar dengan persentase rata-rata 14% dan memiliki nilai fatalitas korban kecelakaan yang tinggi. Hal ini disebabkan kondisi geometrik jalan baik dari aspek horizontal maupun vertikal. Usulan penanganan pada daerah *blackspot* jalan tol Cipularang KM 91-93 berdasarkan penyebab kecelakaan yang paling dominan adalah penyempurnaan rambu jalan dan penambahan fasilitas jalan untuk menekan tingkat kecelakaan dan meningkatkan keselamatan jalan.

Kata Kunci : Kecelakaan, Jalan Tol Cipularang, *Blackspot*, Analisis Pembobotan Korlantas

Abstract

The traffic accidents caused material losses as well as the human resources. The Cipularang toll road had many dispersed blackspot locations, which decreased the performance of the toll road section. In this research, an approached method was used, namely the Korlantas weighting analysis. This analysis predicted the location of the blackspot based on the fatality rate of accident on the road section. Based on Korlantas weighting analysis, the high number of accidents was generally occurred at km 91-93. The aspects reviewed in evaluating blackspot areas included traffic volume, operational speed, geometric, and road equipment. The highest accidents were occurred between 00.00 and 06.00 AM. The type of accidents was dominated by self accident, where the factor causing the accidents were the lack of anticipation of the driver. The high traffic volume and vehicle speed at km 91-93 Cipularang toll road was one of the most frequent causes of accidents. The average accident was dominated by the large vehicles with an average percentage of 14% and provided a high accident fatality value. This was caused by the geometric condition of the road, both from horizontal and vertical aspects. Based on the dominant cause of accidents at the Cipularang toll road 91-93, the recommendations given were the improvement of road signs and the addition of road facilities to reduce the level of accidents and improve road safety.

Key words: Accident, Cipularang Toll road, *Blackspot*, Korlantas Ranked Analysis

1. Pendahuluan

Kecelakaan lalu lintas merupakan salah satu penyebab kematian terbesar di Indonesia. Jumlah korban yang cukup besar akan memberikan dampak ekonomi (kerugian material) dan sosial yang tidak sedikit, berbagai usaha tindakan hingga perbaikan lalu lintas dengan melibatkan berbagai pihak yang terkait hasilnya belum sesuai yang diharapkan. Dibandingkan dengan jalan lainnya, jalan tol mempunyai resiko terjadinya kecelakaan relatif lebih tinggi. Berdasarkan informasi data kecelakaan yang diperoleh dari PT. Jasa Marga bahwa 40% penyebab kecelakaan yang terbesar

Info Makalah:

Dikirim : 07-27-19;
Revisi 1 : 02-01-20;
Revisi 2 : 02-05-20;
Diterima : 02-05-20.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 856-9990-7994
e-mail : hanafi@lecture.unjani.ac.id

disebabkan oleh faktor manusia (pengemudi), sedangkan penyebab kecelakaan yang dilakukan akibat kendaraan maupun lingkungan terutama jalan raya (geometrik) bisa dikatakan kecil.

Menurut Hauer (1997), keselamatan lalu lintas jalan adalah suatu manifestasi kejadian kecelakaan dan dampaknya. Definisi yang lebih umum dari keselamatan lalu lintas jalan adalah besar kecelakaan lalu lintas atau korban kecelakaan lalu lintas, berdasarkan jenis kecelakaan ataupun tingkat keparahannya yang diharapkan terjadi pada suatu entitas dalam kurun waktu tertentu. Rekayasa keselamatan jalan dapat didefinisikan sebagai sebuah

proses yang mengacu pada analisis terhadap kondisi jalan dan lalu lintas terkait kecelakaan, kemudian mengaplikasikan prinsip rekayasa untuk memperoleh perbaikan desain jalan maupun manajemen lalu lintas yang efisien dalam mengurangi dampak kecelakaan lalu lintas (Oglesby, 1982)

Karsaman (2007) meninjau audit keselamatan jalan untuk jalan tol di Indonesia dari berbagai aspek dapat ditarik kesimpulan, secara umum jalan tol sudah dirancang sesuai dengan ketentuan namun faktanya untuk menekan tingkat kecelakaan yang terjadi memerlukan penyempurnaan yang dapat dilaksanakan dalam jangka pendek, menengah dan panjang. Rakhmat dkk (2012) mengembangkan model prediksi kecelakaan untuk mengidentifikasi lokasi jalan yang berbahaya dengan pendekatan kinerja statistik. Terdapat beberapa metode untuk mengidentifikasi lokasi rawan kecelakaan yaitu, menggunakan analisis statistik dan analisis ekivalensi. Widianty dkk (2017) dan Mauliza dkk (2019) mengevaluasi aspek jarak pandang dan kecepatan dalam menentukan daerah rawan kecelakaan. Dalam penelitian ini menggunakan metode KORLANTAS menentukan lokasi rawan kecelakaan di jalan tol Cipularang.

2. Metode

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang jalan mengatur standarisasi jalan, hierarki dan klasifikasi jalan yang meliputi jalan umum, jalan khusus dan jalan Tol. Penanganan masalah keselamatan lalu lintas yang berkaitan dengan kecelakaan secara khusus diatur dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 1993 tentang Prasarana Jalan Raya dan Lalu lintas.

Kecelakaan merupakan fungsi dari berbagai faktor yang berinteraksi yaitu Manusia, Lingkungan jalan, dan Kendaraan. Faktor manusia sebagai pelaku jalan, baik sebagai pejalan kaki atau pengemudi merupakan faktor terbesar penyebab terjadinya kecelakaan. Karakteristik kendaraan di jalan yang berbeda-beda dari segi pengendalian, tenaga, dimensi, maupun akses pandang bisa saja menjadi pemicu terjadinya konflik di jalan. Ditambah dengan kondisi kendaraan yang senantiasa mengalami keausan pada komponennya sehingga faktor pemeliharaan kendaraan juga menjadi faktor yang harus diperhatikan di sini. Faktor lingkungan merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap respon dan tanggapan pengguna jalan dalam mengemudikan kendaraannya. Ketidaksamaan menanggulangi kondisi lingkungan jalan tertentu dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan



Gambar 1. Faktor Utama Penyebab Kecelakaan

Metode penanganan lokasi rawan kecelakaan dirancang dalam suatu tahapan yang diawali dengan identifikasi, analisis dan pemilihan penanganan. Salah satu penentuan lokasi *blackspot* berdasarkan metode pembobotan korlantas menggunakan indikator fatalitas kecelakaan. Metode ini merujuk suatu ruas jalan dapat dikatakan sebagai *blackspot* atau lokasi rawan kecelakaan apabila dalam rentang panjang jalan 0 sampai 500 meter memiliki nilai bobot kecelakaan > 30 atau masuk dalam 10 lokasi dengan peringkat teratas dalam kurun waktu 2 (dua) tahun.

Kepala Korps Lalu Lintas (2016) merujuk nilai pembobotan seperti yang telah digunakan dalam diskusi-diskusi praktis di kalangan ke-binamargaan (yang melibatkan korlantas), dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{METODE PEMBOBOTAN} = 10 \text{ MD} + 5 \text{ LB} + 1 \text{ LR} \quad (1)$$

Pada dasarnya terdapat 2 strategi dasar dalam upaya keselamatan jalan, yaitu upaya pengurangan kecelakaan dan upaya pencegahan, dimana upaya pencegahan merupakan tindakan proaktif terhadap keselamatan jalan, sementara upaya pengurangan kecelakaan lebih kepada tindakan reaktif yang dilakukan terhadap permasalahan keselamatan jalan yang ada.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis karakteristik kecelakaan meliputi jumlah kecelakaan, kelas korban kecelakaan, waktu terjadinya kecelakaan, jenis kendaraan yang terlibat, faktor cuaca, posisi lokasi kecelakaan, kronologi kecelakaan, dan faktor penyebab terjadinya kecelakaan.

Jumlah Kecelakaan

Karakteristik kecelakaan berdasarkan jumlah kecelakaan tahun 2012 – 2017 dapat dilihat pada Gambar 2. Tingginya jumlah kecelakaan dan angka kecelakaan di ruas Cipularang dari tahun 2012-2017 terjadi pada bulan maret tahun 2012 dengan angka kecelakaan menyentuh 25 kejadian dengan jumlah kejadian 81.



Gambar 2. Rekapitulasi Angka Kecelakaan Tahun 2012-2017

Waktu Terjadinya Kecelakaan

Persentase waktu terjadinya kecelakaan lalu lintas berdasarkan waktu terjadinya pada tahun 2012-2017 disajikan pada Tabel 1 dimana waktu kecelakaan tertinggi terjadi pada jam 00.00 – 06.00 dengan persentase 43%. Waktu terjadinya kecelakaan selama 6 tahun terakhir dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu Terjadinya Kecelakaan

Waktu Kecelakaan	Tahun						Rata - rata
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
00.00 – 06.00	52%	41%	40%	37%	35%	49%	43%
06.00 – 12.00	16%	20%	20%	23%	24%	20%	20%
12.00 – 18.00	18%	25%	26%	30%	28%	17%	23%
18.00 – 24.00	14%	14%	14%	10%	13%	14%	14%

Jenis Kendaraan yang Terlibat

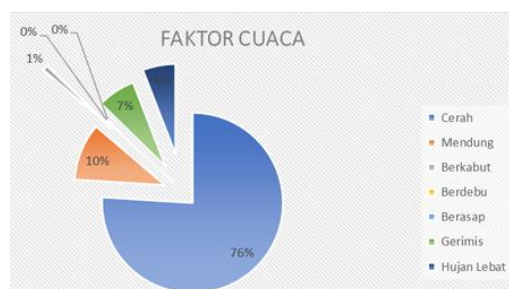
Karakteristik kecelakaan berdasarkan jenis kendaraan tahun 2012 – 2017 dapat dilihat pada Tabel 4. Dimana jenis kendaraan dengan golongan 1 yang paling banyak terlibat kecelakaan sebesar 57%. Keterlibatan pengguna jalan dalam kecelakaan di Tol Cipularang selama 6 tahun terakhir dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis Kendaraan yang Terlibat

Golongan Kend	Jenis Kend	Tahun						Rata-rata
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Golongan I	Sedan, Jip, Pick up/ truk kecil dan Bus	58%	56%	59%	56%	50%	62%	57%
Golongan II	Truk dengan 2 gandar	33%	37%	36%	38%	42%	33%	36%
Golongan III	Truk dengan 3 gandar	2%	1%	1%	0%	2%	2%	1%
Golongan IV	Truk dengan 4 gandar	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%
Golongan V	Truk dengan 5 gandar	7%	6%	4%	6%	5%	1%	5%
Golongan VI	Kendaraan Bermotor roda 2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Faktor Cuaca

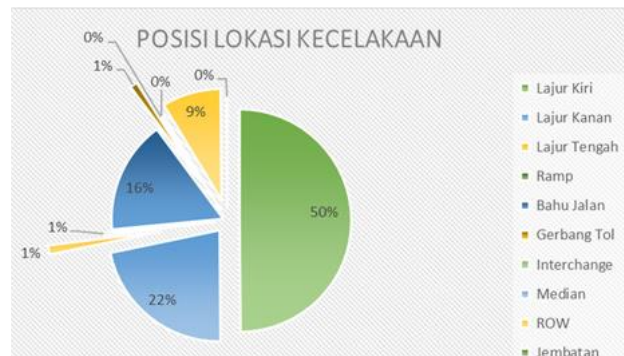
Cuaca adalah salah satu faktor terjadinya kecelakaan di Tol Cipularang. Dimana rata-rata kecelakaan terjadi pada saat kondisi cerah sebesar 76%. Factor cuaca penyebab kecelakaan di Tol Cipularang pada tahun 2012-2017 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penyebab Kecelakaan Berdasarkan Faktor Cuaca

Posisi Lokasi Kecelakaan

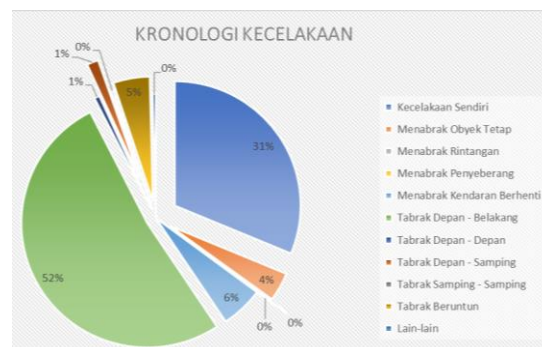
Karakteristik terjadinya kecelakaan lalu lintas di Tol Cipularang berdasarkan posisi lokasi kecelakaan yang sering terjadi kecelakaan pada lajur kiri memiliki rata-rata persentase 50%, sisanya di lajur kanan dan bahu jalan. Posisi lokasi kecelakaan pada tahun 2012-2017 dapat dilihat pada Gambar 4.



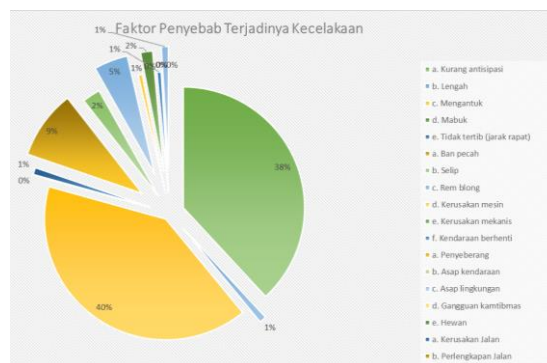
Gambar 4. Posisi Lokasi Kecelakaan

Kronologi Tabrakan dan Faktor Penyebab Terjadinya Kecelakaan

Kronologi tabrakan bertujuan untuk mengetahui tipe tabrakan yang paling dominan disuatu lokasi kecelakaan sedangkan faktor penyebab kecelakaan dimaksudkan untuk menemukan faktor dominan penyebab kecelakaan. Faktor penyebab terjadinya kecelakaan secara keseluruhan faktor kurang antisipasi (manusia/pengemudi) memiliki persentase tertinggi dalam kronologi kecelakaan lalu lintas di jalan Tol Cipularang yaitu mencapai 38% dalam 6 tahun terakhir yaitu pada tahun 2012-2017.



Gambar 5. Kronologi Kecelakaan



Gambar 6. Faktor Penyebab Kecelakaan

Volume Lalu lintas Harian Rata-rata (VLHR) dan Kecepatan Rata-rata

Volume lalu lintas digunakan untuk mengetahui volume dan tipe kendaraan yang melewati ruas jalan tertentu (Tabel 3 dan 4). Survei ini dilakukan pada ruas jalan Tol Cipularang pada jam sibuk dihari kerja. Survei kecepatan yang dilakukan adalah evaluasi antara kecepatan yang terjadi di lapangan dengan kecepatan operasional. Kecepatan di lapangan didapat dengan cara survey langsung yang dilakukan pada saat jam sibuk.

Tabel 3. Volume Lalu Lintas

Ruas Jalan	Volume Lalu Lintas		
	Arah A	Arah B	Total
Tol Cipularang	2338	2083	4421

Tabel 4. Survei Kecepatan Kendaraan di Tol Cipularang KM 92+400

Jenis Kendaraan	Kecepatan Rata – rata Tol Cipularang KM 91 - 93	
	Arah A	Arah B
Mobil Penumpang	64.03	70.72
Bus	58.98	63.66
Truk	33.56	59.87

Catatan: *) A= Arah Bandung; B= Arah Jakarta

Analisis Metode Pembobotan Korlantas

Dari data yang diperoleh, dilakukan analisis untuk menentukan *blacklink* dengan menggunakan metode pembobotan korlantas yang dimana selama 2 tahun rentang panjang jalan 0 - 500 meter memiliki nilai bobot kecelakaan >30. Tabel 5 hingga 7 menunjukkan rekapitulasi analisis pembobotan *blacklink* tingkat kecelakaan menggunakan metode pembobotan korlantas dengan rentang 2 tahun dari tahun 2012 sampai 2017.

Tabel 5. Rekapitulasi Pembobotan Tahun 2012 dan 2013

No.	KM	Tingkat Keparahannya			Pembobotan		Total
		LR	LB	MD	(10 x MD)	(5 x LB) + LR	
1	100+500	4	11	7	70	59	129
2	72	23	11	2	20	78	98
3	100	15	8	2	20	55	75
4	91+500	9	2	5	50	19	69
5	84+500	7	6	2	20	37	57
6	85	12	6	1	10	42	52
7	70	6	7	1	10	41	51
8	101	7	3	2	20	22	42
9	99+500	4	5	1	10	29	39
10	87	8	4	1	10	28	38
11	113	6	6	0	0	36	36
12	106	5	4	1	10	25	35
13	110	5	6	0	0	35	35
14	111	10	3	1	10	25	35
15	114	10	5	0	0	35	35
16	91	7	3	1	10	22	32

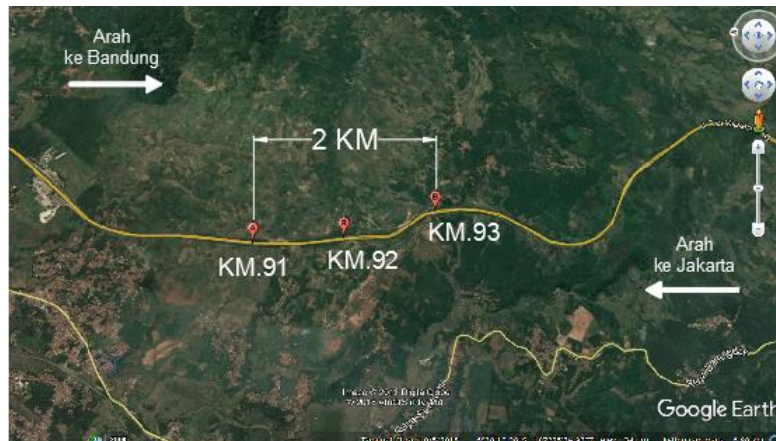
Tabel 6. Rekapitulasi Pembobotan Tahun 2014 dan 2015

No.	KM	Tingkat Keparahannya			Pembobotan		Total
		LR	LB	MD	(10 x MD)	(5 x LB) + LR	
1	89+500	16	6	2	20	46	66
2	86+500	3	6	3	30	33	63
3	97	6	8	1	10	46	56
4	114+500	6	6	2	20	36	56
5	111+500	13	8	0	0	53	53
6	93	4	3	3	30	19	49
7	113	5	8	0	0	45	45
8	99	4	6	1	10	34	44
9	108	7	5	1	10	32	42
10	99+500	1	6	1	10	31	41
11	116+500	9	6	0	0	39	39
12	100	6	2	2	20	16	36
13	92	6	3	1	10	21	31

Tabel 7. Rekapitulasi Pembobotan Tahun 2016 dan 2017

No	KM	Tingkat Keparahan			Pembobotan		Total
		LR	LB	MD	(10 x MD)	(5 x LB) + LR	
1	91	27	5	4	40	52	92
2	110	8	10	0	0	58	58
3	101	1	6	2	20	31	51
4	97	4	4	2	20	24	44
5	86	1	5	1	10	26	36
6	77	4	4	1	10	24	34
7	81+500	4	4	1	10	24	34
8	108+500	6	3	1	10	21	31

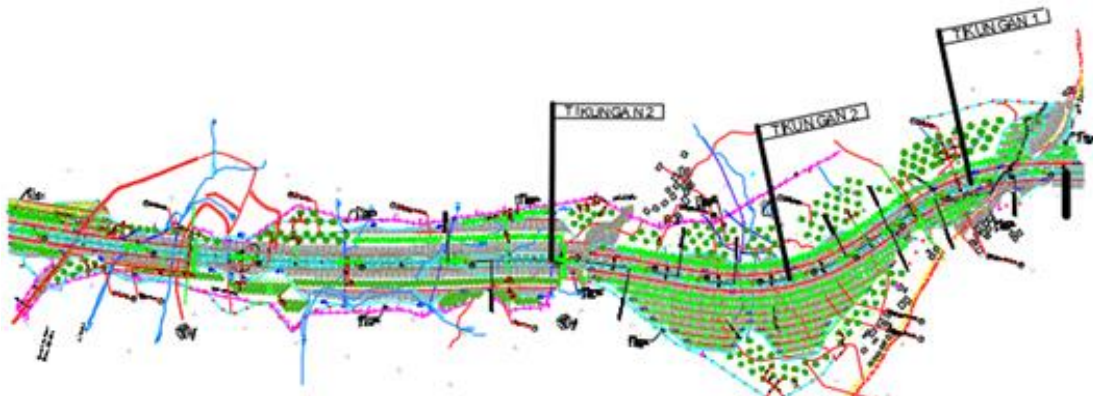
Dari hasil analisis pembobotan diatas KM 91-93 (Gambar 7) dapat dikatakan sebagai *blackspot* karena memiliki nilai bobot total kecelakaan >30.



Gambar 7. Lokasi Rawan Kecelakaan Ruas Jalan Tol Cipularang KM 91 – 93

Evaluasi Keselamatan jalan KM 91 - 93

Data teknis jalan	
Status Jalan	: Jalan Bebas Hambatan/Tol
Kelas Jalan	: Nasional
Fungsi Jalan	: Arteri Primer
Kecepatan Rencana	: 80 km/jam
Tipe Jalan	: 4/2 D
Panjang Jalan	: 2 KM
Lebar Lajur	: 360 mm
Lebar Bahu Luar	: 300 mm
Lebar Bahu Dalam	: 160 mm
Jenis Perkerasan	: <i>Rigid Pavement</i>
Medan Jalan	: Pegunungan



Gambar 8. Alinyemen Horizontal km 91 – 93

1. Evaluasi jari-jari tikungan

Membandingkan antara jari-jari tikungan eksisting lapangan dengan jari-jari tikungan rencana berdasarkan SNI Jalan Bebas Hambatan Tahun 2009 untuk tipe jalan tol antar kota. Jari-jari tikungan minimum (R_{min}) dengan kecepatan 80 KM/Jam adalah 230 meter. Sedangkan berdasarkan data alinyemen horizontal jari-jari tikungan di lapangan memenuhi standar.

2. Evaluasi superelevasi

Membandingkan antara superelevasi eksisting lapangan dengan superelevasi maksimum (e_{max}). Superelevasi maksimum menurut peraturan SNI Jalan Bebas Hambatan Tahun 2009 untuk jalan tol antar kota yaitu 8%. Dari analisis data superelevasi eksisting berdasarkan survey di lapangan menggunakan *clinometer* bahwa di tikungan KM 91-93 memenuhi aturan superelevasi maksimum (Tabel 8).

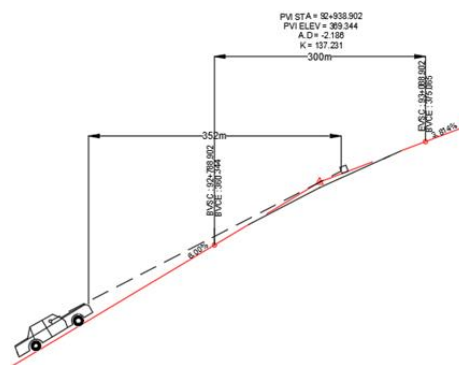
Tabel 8. Rekap Geometrik Alinyemen Horizontal KM. 91 - 93

Tikungan	1	2	3
STA Tikungan	92+903,846 - 92+751,753	92+543,182 - 92+324,375	92+140,434 - 91+789,468
Tipe Tikungane	SCS	SCS	FC
Radius	600	800	800
Kec, Rencana	80	80	80
Superelevasi	5%	4%	4%

Sumber: Hasil Analisis

3. Jarak Pandang Henti

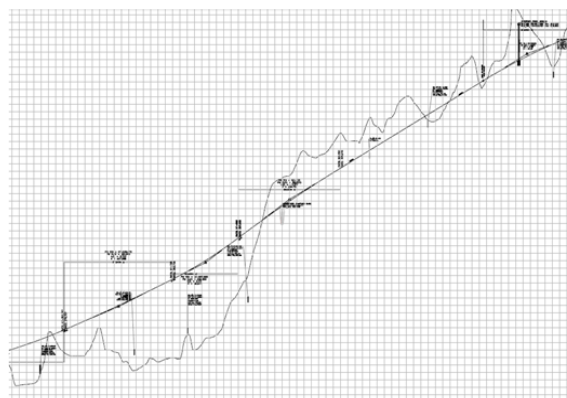
Jarak pandang henti adalah jumlah dua jarak, dimana jarak yang dilintasi kendaraan sejak saat pengemudi melihat suatu objek yang menyebabkan ia harus berhenti sampai saat rem diinjak dan jarak yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan sejak penggunaan rem dimulai. Pada kondisi ini dilihat jarak pandang henti karena berdasarkan posisi tabrakan yang dominan terjadi kecelakaan adalah tabrak depan-belakang. Berdasarkan SNI Jalan Bebas Hambatan Tahun 2009 bahwa jarak pandang henti (J_h) minimum tanpa kelandaian dan dengan kelandaian kecepatan rencana 80 KM/Jam adalah 130 m dimana jarak pandangnya memenuhi standar (Gambar 9).



Gambar 9. Jarak pandang henti berdasarkan vertikal cembung

4. Evaluasi Alinyemen Vertikal

Berdasarkan SNI Jalan Bebas Hambatan Tahun 2009 bahwa kelandaian maksimum dengan kecepatan rencana 80 KM/Jam adalah 6%. Berdasarkan analisis alinyemen vertikal kelandaian maksimum memenuhi standar (Gambar 10)



Gambar 10. Alinyemen Vertikal km 91 – 93

5. Evaluasi Pelengkap Jalan

Pentingnya Rambu dan marka jalan pada suatu jalan yang dapat mempengaruhi pengemudi untuk mempersiapkan kondisi jalan yang akan dihadapinya. Berikut hasil evaluasi rambu dan marka jalan dengan cara survey langsung di lapangan (Tabel 9 dan 10).

Tabel 9. Marka Jalan KM 91 – 93 (arah Bandung – Jakarta)

KM	Marka Jalan	Kondisi Umum		Keterangan
		Positif	Negatif	
93-91 (Arah Jakarta)	Marka Utuh	Tersedia	Mulai Memudar	Marka jalan seperti marka utuh dan marka putus-putus menjelang utuh sudah tersedia tetapi marka tepi berprofil belum tersedia dan masih terdapat kerusakan seperti cat putih yang mulai memudar.
	Marka Putus Mejelang Marka Utuh	Tersedia	Mengalami Kerusakan	
	Marka Tepi Berprofil	Belum Tersedia		
91-93 (Arah Bandung)	Marka Utuh	Tersedia	Mengalami Kerusakan	Marka jalan seperti marka utuh dan marka putus-putus menjelang utuh sudah tersedia tetapi marka tepi berprofil belum tersedia dan masih terdapat kerusakan seperti cat putih yang mulai memudar. Diperlukannya penambahan marka jalan pada titik yang diperlukan.
	Marka Putus Mejelang Marka Utuh	Tersedia	Mulai Memudar	
	Marka Tepi Berprofil	Belum Tersedia		

Tabel 10. Penerangan Jalan KM. 91 – 93 (arah Bandung – Jakarta)

KM	Lampu Penerangan Jalan	Keterangan
	Kondisi	
91-93 (Arah Bandung)	Tersedia	Lampu penerangan telah tersedia
93-91 (Arah Jakarta)	Belum Tersedia	Lampu penerangan belum tersedia

Analisis Kecelakaan dan Usulan Penanganan

Menurut Pedoman Audit Keselamatan Jalan (2005), analisis data kecelakaan dilakukan setelah tabulasi data kecelakaan yang bertujuan untuk melihat faktor dominan penyebab kecelakaan serta membuat usaha peningkatan keamanan lalu lintas melalui perbaikan penyebab kecelakaan. Tabel 11 menjelaskan hasil analisis penyebab kecelakaan dan usulan perbaikannya.

Tabel 11. Analisis dan Usulan Perbaikan Lokasi Blackspot KM 91 - 93

Analisis Penyebab Kecelakaan	Usulan Perbaikan
Faktor Penyebab: Pengemudi Penyebab Kecelakaan: Marka Jalan Marka jalan tersedia dan memenuhi standar tetapi masih terdapat kerusakan marka jalan seperti cat putih yang memudar. Dan perlu ada penambahan marka jalan pada titik yang diperlukan.	Pemeliharaan Ulang Marka Jalan Ada beberapa garis marka yang sudah mulai pudar bahkan sudah hilang agar dapat membantu pengemudi saat melintas jalan tersebut terutama pada saat malam hari. Agar pengemudi tidak bingung dan dapat melihat kondisi jalan dengan baik dan fokus saat melewatinya.
Faktor Penyebab: Pengemudi Penyebab Kecelakaan: Lampu Jalan Lampu penerangan jalan hanya tersedia di KM. 91-93 arah Bandung tetapi belum tersedia untuk arah Jakarta.	Pemasangan Lampu Penerangan di KM. 93-91 Untuk membantu penglihatan pengemudi terhadap kondisi jalan yang berada di depannya dan supaya pengemudi lebih siap saat melewati jalan tersebut. Terutama ke arah Jakarta yang masih minimnya penerangan jalan terutama di sepanjang jalan tikungan di KM. 92+800.
Faktor Penyebab: Pengemudi Penyebab Kecelakaan: Rambu Rambu minimum kecepatan belum tersedia di KM. 91-93 arah Bandung. Sehingga kecepatan kendaraan belum sesuai kecepatan operasional.	Pemasangan Rambu Minimum Kecepatan Untuk jalur yang menuju arah Bandung di sepanjang KM. 91-93 masih belum ada rambu batas minimum kecepatan. Rambu tersebut berfungsi sangat penting untuk menghindari tabrak belakang oleh kendaraan yang dibelakangnya yang memacu kendaraanya dengan kecepatan lebih tinggi.
Faktor Penyebab: Pengemudi Penyebab Kecelakaan: Pelengkap Jalan Pita Penggaduh yang tertutup sehingga tingkat kewaspadaan pengendara berkurang.	Pemeliharaan Ulang Pita Penggaduh atau <i>Rumble Strips</i> Pita penggaduh yang sudah terpasang di KM. 93+400 arah Jakarta pada saat akan memasuki jalan turunan dan lengkung horizontal di KM. 92+800 sebagian sisi pita penggaduh sudah tertutup akibat <i>overlay</i> jalan dan sudah

Analisis Penyebab Kecelakaan	Usulan Perbaikan
	mengalami retak atau pudarnya cat pada pita penggaduh. Perlunya dipelihara ulang untuk memperingatkan pengemudi yang akan melintas.
Faktor Penyebab: Pengemudi Penyebab Kecelakaan: Mengantuk Salah satu penyebab sering terjadinya kecelakaan di karenakan pengemudi kehilangan konsentrasi sehingga mengabaikan keselamatan mereka sendiri.	Pemasangan Marka Tepi Berprofil Guna mengingatkan pengemudi bahwa kendaraan yang sedang mereka bawa sudah keluar dari garis marka tepi berprofil. Dan memberi rambu peringatan guna mengingatkan pengemudi untuk beristirahat di <i>Rest area</i> terdekat.
Faktor Penyebab: Kendaraan Penyebab Kecelakaan: Rem Blong Pengemudi sering menetralkan gigi kendaraan sehingga pada saat menginjak rem tidak berfungsi(<i>loose</i>).	Dengan Memberi Jalur Penyelamat (<i>Emergency Safety Area</i>) di bagian sisi kiri jalan, secara fungsi untuk meredam laju kendaraan jika terjadi sesuatu pada kendaraan seperti rem blong. Dan pemasangan rambu peringatan seperti "Turunanan Panjang Gunakan Gigi Rendah".
Faktor Penyebab: Kendaraan Penyebab Kecelakaan: Kecepatan Kendaraan yang memacu kendaraan dengan kecepatan tinggi sehingga kecepatannya diatas kecepatan maksimum.	Pemasangan Rambu Pesan Peringatan Pesan peringatan seperti "Hati-hati Rawan Kecelakaan" dibutuhkan untuk menyadarkan pengemudi supaya pengemudi tidak melebihi batas kecepatan maksimal yang sudah ditentukan dan lebih berhati-hati.
Faktor Penyebab: Kondisi Jalan Penyebab Kecelakaan: Permukaan Jalan Salah satu penyebab terjadinya kecelakaan tunggal di karenakan kondisi jalan yang berlubang. Sehingga pengemudi sering menghindari lubang tersebut akan tetapi tidak melihat kendaraan di sampingnya.	<i>Overlay</i> atau Lapis Ulang Permukaan Jalan Masih adanya beberapa permukaan jalan yang berlubang baik kecil maupun sedang di sepanjang KM. 91-93 baik dari arah Jakarta maupun arah Bandung.

Kesimpulan

Berdasarkan data kecelakaan tahun 2012 – 2017 pada ruas jalan tol Cipularang terdapat lokasi rawan kecelakaan yang tersebar. Dari data yang dianalisis dengan metode pembobotan korlantas dapat lihat lokasi blacklink dan blackspot pada Jalan Tol Cipularang yang paling tinggi di KM 91 - 93. Jumlah kecelakaan lalu lintas di KM. 91-93 untuk tahun 2012-2017 sebanyak 87 kejadian, dengan jumlah korban kecelakaan meninggal dunia yaitu sebanyak 106 orang, korban yang mengalami luka berat sebanyak 40 orang dan korban yang mengalami luka ringan sebanyak 17 orang. Volume lalu lintas pada jam sibuk menunjukkan total volume lalu lintas 2 arah sebesar 4421 kend/jam dan rata-rata kecepatan operasional kendaraan 60 – 80 km/jam dimana kecepatan operasional masih memenuhi batas kecepatan yang ditetapkan. Aspek geometrik jalan terdapat 3 tikungan pada KM 91 – 93 dimana berdasarkan evaluasi antara lapangan sudah memenuhi spesifikasi ditinjau dari radius tikungan, kelandaian dan jarak pandang. Evaluasi keselamatan jalan pada jalan tol Cipularang KM 91 - 93 dapat disimpulkan bahwa ruas jalan tol Cipularang merupakan blacklink dan blackspot jenis kecelakaan yang dominan yaitu kecelakaan sendiri(tunggal) dan tabrak depan-belakang di sebabkan oleh pengemudi (faktor manusia) yang kurang antisipasi. Usulan penanganan untuk di daerah blackspot jalan tol Cipularang KM 91-93 berdasarkan penyebab kecelakaan yang dominan (faktor manusia), yaitu penambahan, relokasi dan penyempunaan perambuan baik rambu peringatan, rambu pengarah dan lain-lain, meningkatkan fasilitas jalan seperti pengecatan marka jalan, pemasangan guard rail pada daerah sebelum dan sesudah jembatan serta membuat kebijakan-kebijakan yang dapat menekan tingkat kecelakaan di lokasi tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT. Jasa Marga atas dukungan data dan informasi untuk penelitian ini, sehingga makalah ini dapat diselesaikan.

Daftar Notasi

MD = Korban Meninggal Dunia [jiwa]
LB = Korban Luka Berat [orang]
LR = Korban Luka Ringan [orang]
FC = Full Circle
SCS = Spiral Circle Spiral

Daftar Pustaka

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Audit Keselamatan Jalan, Pedoman Konstuksi dan Bangunan, Pd-T-17-2005
Hauer, E. (1997). The Traffic Safety Toolbox: A Primer on Traffic Safety, Institute of Transportation Engineer, Washington, DC, 1-10.
Kepala Korps Lalu Lintas. (2016). *Pedoman Penentuan dan Pengkajian Black Spot*. Markas Besar Korps Lalu Lintas: Jakarta.

- Karsaman, R. H. (2007). Audit Keselamatan Jalan Tol di Indonesia (Studi Kasus Jalan Tol Cikampek-Padalarang/Cipularang). *Journal of Civil Engineering*, 14(3), 135-142.
- Mauliza, R. I., Sabrina, T. B., dan Maulana, W. (2019). Pelanggaran Kecepatan Kendaraan pada Ruas Jalan Tol Cipularang.(Hal. 39-49). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 5(1), 39.
- Oglesby, C.H., Hicks, R.G. (1982). Highway Engineering. John Wiley & Son: Canada.
- Rakhmat, L. A., Kusumawati, A., Frazila, R. B., dan Hendarto, S. (2012). Pengembangan Model Prediksi Kecelakaan Lalu Lintas pada Jalan Tol Purbaleunyi. *Journal of Civil Engineering*, 19(3), 277-288.
- Widianty, D.; Karyawan, A.M.ID. (2017) Analisis Tingkat Penanganan Kecelakaan Pada Tikungan Berdasarkan Peluang dan Resiko Akibat Defisiensi Jarak Pandang Henti (Studi Kasus Ruas Jalan Mataram – Senggigi – Pemenang). SNITT – Politeknik Negeri Balikpapan ISBN: 978-602-51450-0-1, 301 – 311

Desain dan Implementasi Sistem Pelacak Cahaya Matahari *Dual Axis* pada *Solar Cell* Menggunakan Arduino Mega 2560

Fauzia Haz, Rendi Marselindo, dan Yuda Bakti Zainal

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

fauziahaz66@gmail.com, rendymarselindo@gmail.com, yudazainal@gmail.com

Abstrak

Dalam upaya peningkatan konversi energi listrik, pelacak matahari memainkan peran dalam menghasilkan listrik. Pelacak matahari berguna melacak matahari dan memusatkan sinar matahari secara maksimum ke modul photovoltaic (PV) untuk menghasilkan listrik. Pelacak matahari yang digunakan bisa menghasilkan listrik lebih dari jumlah listrik yang dihasilkan dari modul *photovoltaic* yang diam atau tanpa pelacak matahari. Sistem pelacak cahaya matahari pada *solar cell* sangat diperlukan untuk pengoptimalan konversi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan konversi energi matahari yang diterima oleh modul photovoltaic, merancang, membuat monitor PLTS pada lampu penerangan jalan menggunakan berbagai sensor yaitu cahaya, tegangan dan arus, menampilkan hasil pengukuran dalam LCD, HP android dan website dengan menggunakan *webserver thingspeaks* (IoT), menyimpan hasil pengukuran ke dalam kartu memori dengan modul *SD Card* untuk *offline* dan menggunakan *webserver thingspeak* untuk *online*. Desain dan implementasi sistem pelacak cahaya matahari *dual axis* pada *solar cell* untuk mengoptimasi konversi energi menggunakan arduino mega 2560 dengan *datalogger offline* dan *online* kemudian dilakukan pengujian perbandingan tegangan, arus, daya solar cell. Hasil desain sistem pelacak cahaya matahari *dual axis* pada solar cell menggunakan arduino mega 2560 menunjukkan perbedaan *error* pembacaan sensor senilai 6% dengan selisih tertinggi 2.34V, untuk perbandingan arus terdapat perbedaan nilai 53% dengan selisih tertinggi 0.21A dan perbandingan daya diperoleh perbedaan nilai 55.92% dengan selisih tertinggi 2.8VA.

Kata kunci: Arduino Mega 2560, optimasi energi surya, pelacak matahari *dual axis*

Abstract

To increase the conversion of electrical energy, solar trackers play a role in generating electricity. The solar tracker is used to track the sun and concentrating the sun's rays to the maximum in the photovoltaic (PV) module to produce electricity. The used of solar tracker is able to produce more electricity than the amount of electricity produced from idle photovoltaic modules or without the solar tracker. Sunlight tracking systems on solar cells are needed to optimize the conversion of electrical energy. This research aims to optimize the conversion of solar energy received by the photovoltaic module, design, create solar power system monitors on street lighting using various sensors such as light, voltage and current, display measurement results on LCD, Android mobile phones and websites using the thingspeaks webserver (IoT), save the measurements to a memory card with the SD Card module for offline and use the thingspeak webserver to go online. Design and implementation of dual axis solar light tracking systems on solar cells to optimize energy conversion using Arduino Mega 2560 with offline and online dataloggers then testing the voltage, current and solar cell power comparisons. The results of the design of dual axis solar light tracking systems on solar cells using Arduino Mega 2560 show differences in sensor readings errors of 6% with the highest difference of 2.34V, for current comparison there is a difference of 53% with the highest difference of 0.21A and the power ratio obtained a difference of 55.92% with the highest difference of 2.8VA.

Keywords: Arduino Mega 2560, solar energy optimization, dual axis solar tracker

1. Pendahuluan

Permintaan listrik yang meningkat dari tahun ke tahun. Ketergantungan pada penggunaan bahan bakar fosil saat ini dihadapkan pada tantangan dalam permintaan dan pertimbangan lingkungan. Teknologi energi surya adalah salah satu sumber pasokan energi masa depan yang menjanjikan karena bersih dan sangat berlimpah. Energi matahari dapat diubah menjadi listrik melalui sel surya atau yang lebih dikenal dengan *photovoltaic*.

Photovoltaic adalah suatu sistem untuk mengubah radiasi atau cahaya matahari menjadi listrik. Sistem *photovoltaic* bekerja berdasarkan efek *photovoltaic*. Efisiensi konversi energi matahari ini sangat penting. Yang mempengaruhi ke efektifan konversi energi ini paparan matahari tepat diatas modul *photovoltaic*.

Dalam upaya peningkatan konversi energi listrik, pelacak matahari memainkan peran dalam menghasilkan listrik. Pelacak matahari melacak matahari dan memusatkan sinar matahari maksimum ke modul *photovoltaic* (PV) untuk menghasilkan listrik. Pelacak matahari yang digunakan dapat menghasilkan listrik lebih dari jumlah listrik yang dihasilkan dari modul *photovoltaic* yang diam atau tanpa pelacak matahari.

Merujuk pada penelitian sebelumnya dengan judul "solar tracking system berbasis arduino uno" oleh khalid faddullah pada tahun 2017 hanya berfokus pada pergerakan *solar cell*, tidak diketahui tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh *solar cell* menggunakan sistem monitoring tegangan, arus dan

Info Makalah:

Dikirim : 11-09-2019;

Revisi 1 : 27-10-2019

Revisi 2 : 05-02-2020

Diterima : 06-02-2020

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-85255908299

e-mail : fauziahaz66@gmail.com

daya baik *offline* maupun *online* (fadhlullah, 2017). Untuk selalu mendapatkan efisiensi yang maksimum, maka posisi panel surya harus selalu mengikuti pergerakan matahari. Posisi panel surya terhadap matahari sebagai referensi secara otomatis harus dikontrol dengan suatu sistem peralatan penggerak posisi panel surya (Noer Soedjarwanto, 2015)

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan konversi energi matahari yang diterima oleh modul *photovoltaic*, merancang, membuat monitor PLTS pada lampu penerangan jalan menggunakan berbagai sensor yaitu cahaya, tegangan dan arus, menampilkan hasil pengukuran dalam LCD, HP android dan *website* dengan menggunakan *webserver thingspeak* (IoT). *Internet of Things* (IoT) dapat digunakan sebagai solusi dalam hal pengawasan, keamanan juga penindakan. metode ini dalam pelaksanaannya melakukan pemasangan suatu chip yang berisi data (Arthur Daniel Limantara, 2017), menyimpan hasil pengukuran ke dalam kartu memori dengan modul SD Card untuk *offline* dan menggunakan *webserver thingspeak* untuk *online*.

2. Metode

Perancangan dan pembuatan alat sistem pelacak cahaya matahari pada *solar cell* (*solar tracking*) dengan *interface offline* menggunakan LCD dan *interface online* menggunakan *webserver thingspeak* sehingga memudahkan pengguna untuk melihat kondisi kondisi seperti tegangan, arus dan daya. Pada perancangan sistem ini meliputi perancangan perangkat perangkat keras (*hardware*), dan perangkat lunak (*software*). Perancangan dan pembuatan rangkaian pada arduino mega 2560 dengan berbagai sensor-sensor

Proses tahapan penelitian dan pembuatan alat desain sistem pelacak cahaya matahari *dual axis* pada *solar cell* untuk mengoptimasi konversi energi listrik dengan membuat desain sistem mikrokontroler, membuat konfigurasi sistem mikrokontroler dengan sensor-sensor seperti sensor arus ACS712 05B, tegangan 25V, cahaya LDR, I2C LCD, modul SD card, modul waktu RTC DS3231 dan modul internet ESP8266. Membuat *interface online* menggunakan *webserver thingspeak* dan *offline* menggunakan modul SD Card. Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino mega 2560.

Solar cell adalah sebuah alat yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik, baik tegangan maupun arus. Sistem kontrol adalah alat yang mengontrol sebuah gerak *solar cell* yang gerakannya mengikuti arah cahaya matahari. Sistem kontrol juga menampilkan dan menyimpan besaran listrik tegangan, arus dan daya *offline* maupun *online*. *Charge controller* adalah sebuah alat yang mengatur pengisian sebuah baterai yang sumbernya dari *solar cell*. *Charge controller* bisa menurunkan (*stepdown*) maupun menaikkan (*stepup*) tegangan dan mengatur arus pengisian baterai. Baterai adalah tempat penyimpanan energi listrik yang akan digunakan pada saat tidak ada cahaya matahari ataupun pada malam hari. Beban di sini adalah sebuah lampu yang digunakan untuk penerangan malam hari.

Sensor input berupa 4 buah sensor cahaya (LDR) untuk mendeteksi cahaya matahari. Sensor arus (ACS712 05B) untuk mengukur besaran arus dari *solar cell* menuju *charge controller*. Sensor tegangan 0-25V untuk mengukur besaran tegangan yang dihasilkan *solar cell*. RTC menggunakan tipe DS3231 yang berfungsi sebagai pewaktu digital disertai dengan baterai untuk *backup* waktu pada saat tidak ada sumber listrik. *Interface offline* menggunakan LCD 16x2 yang disertai modul I2C yang menampilkan data-data sistem. *Interface online* menggunakan modul ESP8266 yang mengirimkan datanya ke *web server thingspeak* kemudian mambagikan ke aplikasi android dan *website*. *Datalogger offline* menggunakan modul SD card untuk menyimpan data-data sistem secara *offline* dan *Datalogger online* menggunakan *webserver thingspeak* untuk menyimpan data-data sistem secara *online*. Output berupa motor servo sebagai penggerak *solar cell* untuk mengarahkannya ke arah cahaya matahari dan relay 5V sebagai sakelar beban/lampu.

Diagram alir pada Gambar 1 menguraikan langkah-langkah proses kerja sistem, dimulai dari membaca sensor 4 LDR yang berfungsi untuk pergerakan motor servo. Jika rata-rata LDR atas kuang dari bawah maka servo vertikal bernilai 1 atau bergerak searah jarum jam begitu juga sebaliknya dan jika nilai LDR kanan lebih besar dari LDR kiri maka servo motor bernilai -1 atau bergerak berlawanan arah jarum jam. Pada pembacaan sensor tegangan, jika tegangan kurang dari 9V, maka alarm *undervoltage*. Jika sensor tegangan membaca lebih dari 15V, maka alarm *overvoltage*. Pada pembacaan sensor arus, jika arus lebih dari 4A, maka indikator alarm *overcurrent*. Dari sensor tegangan dan sensor arus didapatkan nilai daya dari perkalian antara arus dan tegangan. Nilai tegangan, arus dan daya ditampilkan dan disimpan baik *online* menggunakan *webserver thingspeak* dan *offline* menggunakan LCD kartu memori.

Menghitung selisih *error* tertinggi dalam persen :

$$Error(\%) = \frac{N_{sp} - N_s}{N_{sp}} \times 100 \quad (1)$$

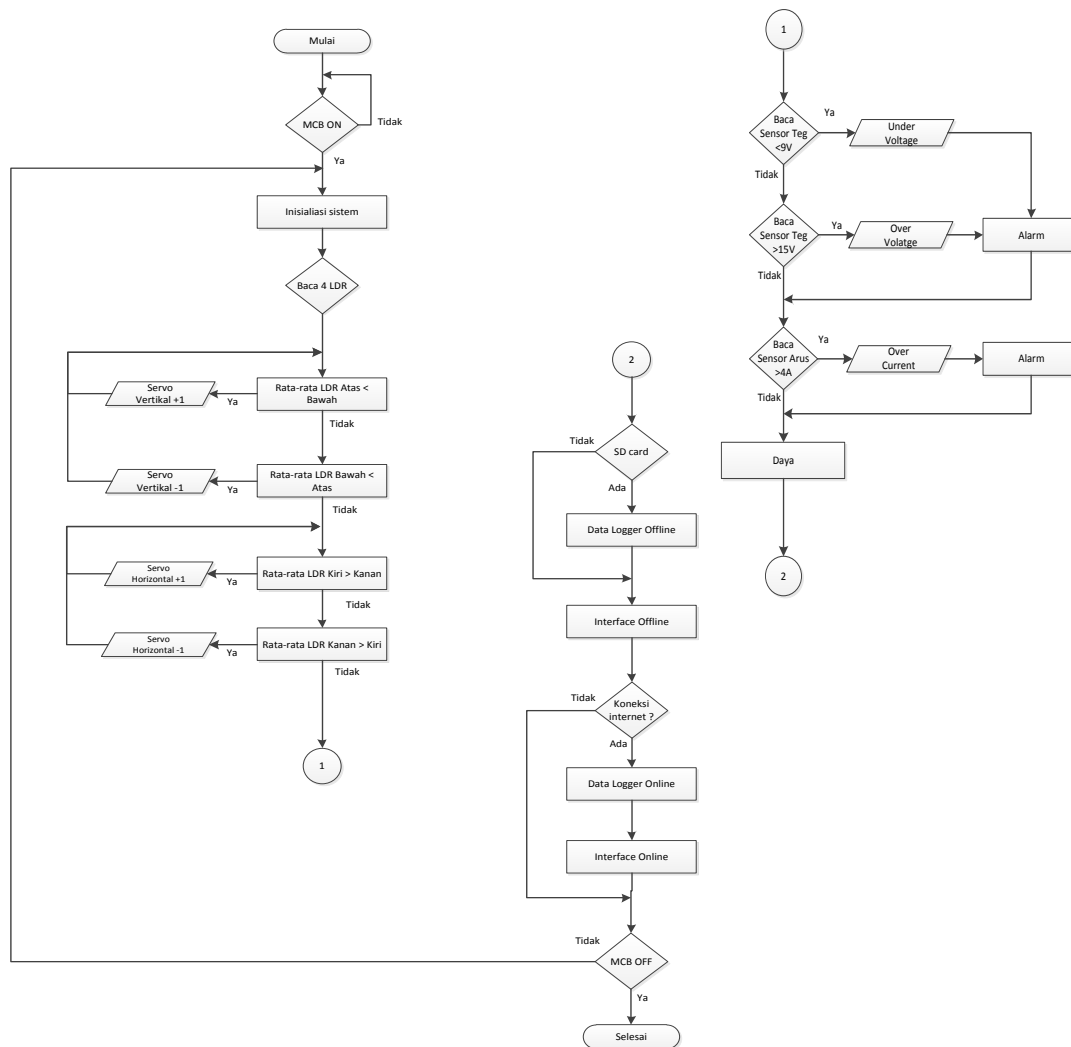
Menghitung rata-rata *error* dalam persen :

$$Error\ AVG(\%) = \frac{\sum Error\%}{\sum n} \quad (2)$$

Menghitung selisih rata-rata dalam persen :

$$Selisih\ AVG(\%) = \frac{N_{AVGs} - N_{AVGts}}{N_{AVGs}} \times 100 \quad (3)$$

N_{sp} adalah Nilai Suplai, N_s adalah nilai nilai sistem, N_{AVGs} adalah Nilai AVG sistem, N_{AVGts} adalah Nilai AVG tanpa sistem.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Kerja Sistem

3. Hasil dan Pembahasan

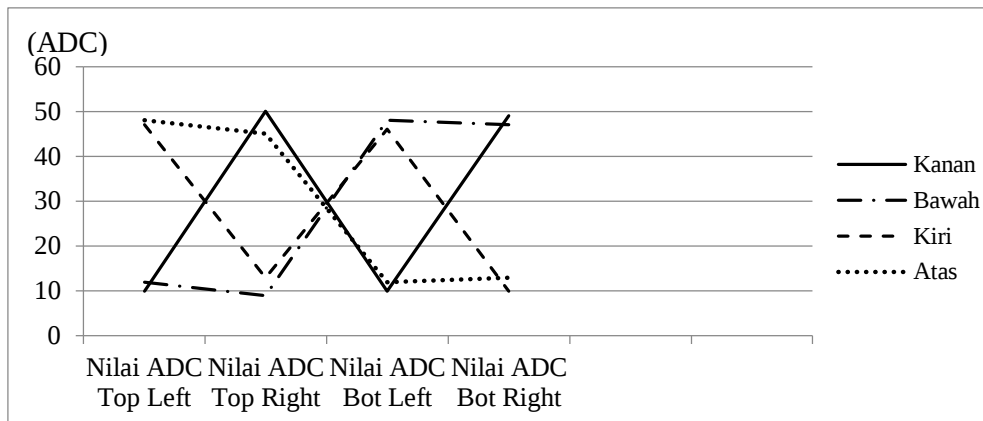
Hasil dan Pembahasan dalam jurnal ini memaparkan hasil pengujian dan analisis kinerja dari tiap-tiap bagian sistem yang saling berinteraksi sehingga terbentuklah "sistem pelacak cahaya matahari untuk pengoptimasi energi listrik dengan *datalogger* online dan *offline*". Pengujian perbandingan berguna untuk mengetahui bagaimana kinerja dan tingkat keberhasilan dari sistem tersebut.

Pengujian Hardware

Pengujian sensor LDR, *relay* dan motor servo sebagai pendeteksi intensitas cahaya ini dengan menyorot permukaan *solar cell* yang dilengkapi dengan sensor cahaya LDR. Pengujian ini membandingkan antara intensitas cahaya dari berbagai sudut, yaitu dari sudut atas, bawah, samping kanan dan samping kiri. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan data-data yang berguna bagi analisis sistem pelacak matahari pada *solar cell* dalam keadaan baik dan siap digunakan atau tidak, serta untuk mengetahui sensitifitas dan keakuratan sistem.

Tabel 1. Pengujian Sensor LDR terhadap Motor Servo

Penyorotan	Nilai ADC Top Left	Nilai ADC Top Right	Nilai ADC Bot Left	Nilai ADC Bot Right	Servo Horizontal	Servo Vertikal
Kanan	10	50	10	49	-1	
Bawah	12	9	48	47		-1
Kiri	47	13	46	10	+1	
Atas	48	45	12	13		+1



Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai ADC 4 LDR

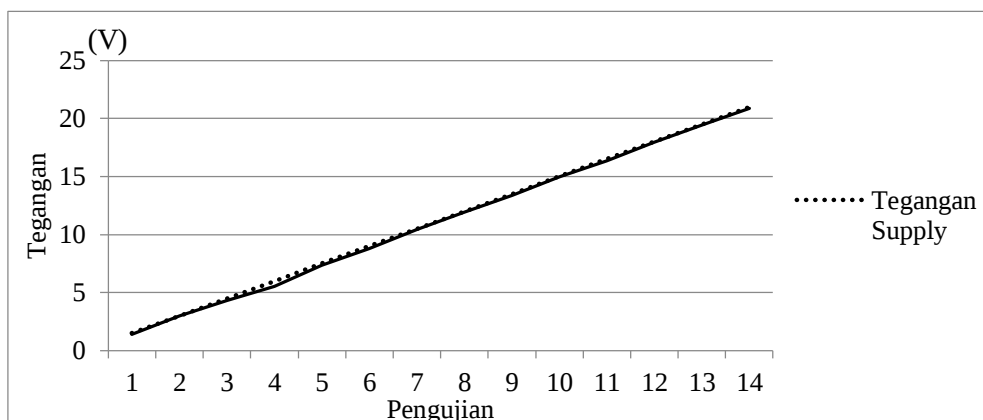
Pada Tabel 1 dan Gambar 2 dapat diperoleh jika dilakukan penyortiran dari sisi kanan, maka nilai ADC LDR kanan lebih besar dari pada nilai ADC LDR kiri, sehingga *servo* horizontal bernilai -1, begitu juga sebaliknya. Jika penyortiran dari sisi bawah, maka nilai ADC LDR atas lebih kecil dari nilai ADC LDR bawah, sehingga *servo* vertikal bernilai -1, begitu juga sebaliknya.

Pengujian sensor tegangan dan arus sebagai pendeteksi tegangan dan arus yang sebenarnya yang dikonversi agar dapat dirasakan pada sistem arduino. Pengujian ini dengan memberi tegangan secara bertahap pada sensor tegangan mulai dari 1.5 VDC sampai dengan 21 VDC dan memberikan arus dari 0A sampai dengan 4.5A. Tujuan dari pengujian ini untuk mendapatkan data-data yang berguna untuk analisis sistem pelacak cahaya pada *solar cell*, serta untuk mengetahui *sensitive* dan keakuratan sistem.

Dengan melihat Tabel 3 dan Gambar 4 yang menunjukan nilai hasil pengujian dari sensor arus sehingga diperoleh nilai *error* antara nilai *supply* arus terhadap nilai yang terbaca oleh sistem yang dibuat sebesar 3.7% dengan *error* tertinggi sebesar 0.11 A dengan menggunakan persamaan (1) dan (2).

Tabel 2. Pengujian Sensor Tegangan

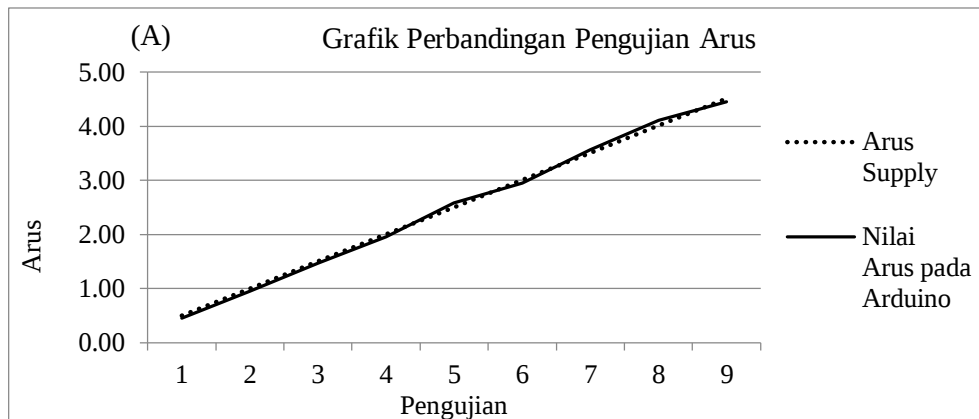
No	Tegangan Supply(V)	Nilai ADC Analisis	Nilai ADC Pada Arduino	Nilai V_{out} Analisis (V)	Nilai V_{out} Sensor 0-25V (V)	Nilai Tegangan Pada Arduino (V)
1	1.5	61	58	0.30	0.28	1.42
2	3	123	122	0.60	0.60	2.98
3	4.5	184	177	0.90	0.86	4.31
4	6	246	228	1.20	1.11	5.56
5	7.5	307	301	1.50	1.47	7.36
6	9	369	361	1.80	1.76	8.81
7	10.5	430	428	2.10	2.09	10.44
8	12	492	490	2.40	2.39	11.96
9	13.5	553	548	2.70	2.68	13.39
10	15	614	614	3.00	3.00	14.99
11	16.5	676	670	3.30	3.27	16.35
12	18	737	735	3.60	3.59	17.95
13	19.5	799	797	3.90	3.89	19.45
14	21	860	856	4.20	4.18	20.89



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Tegangan berdasarkan Analisis dan pada Arduino

Tabel 3. Pengujian Sensor Arus

No	Arus Supply (A)	Nilai ADC Analisis	Nilai ADC Pada Arduino	Nilai Arus Pada Arduino (A)
1	0.5	489	491	0.45
2	1.01	470	472	0.95
3	1.50	451	452	1.48
4	2.01	432	434	1.95
5	2.51	413	410	2.59
6	3.01	394	396	2.96
7	3.51	375	373	3.56
8	4.01	356	352	4.12
9	4.51	337	339	4.46



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai Arus berdasarkan Analisis dan pada Arduino

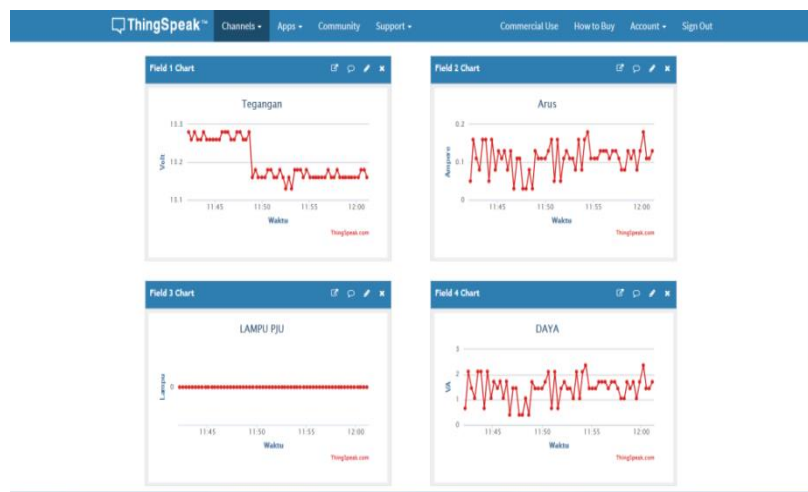
Pengujian Software

Pengujian pada tampilan *interface offline* sesuai dengan program yang dieksekusi, maka diperoleh tampilan seperti pada Gambar 5.

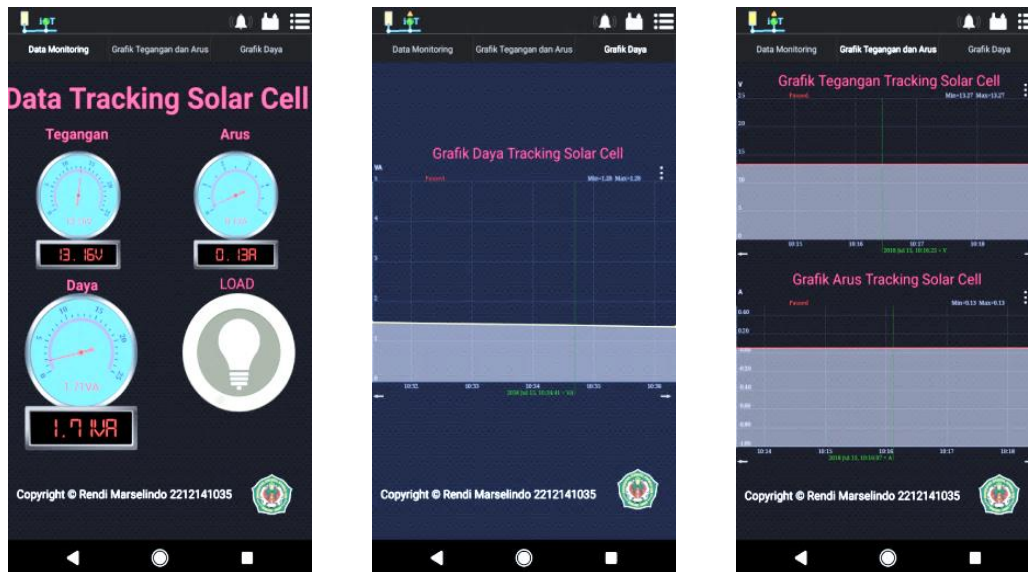


Gambar 5. Pengujian Sistem Interface Offline

Pada saat pengujian sistem berlangsung untuk mengetahui sistem *interface* dan *datalogger online* dengan melihat pada *channel solar cell* pada *website thingspeak* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan aplikasi android *virtuino* pada Gambar 7.



Gambar 6. Pengujian Sistem Interface Online Webservice Thingspeak



Gambar 7. Pengujian Sistem *Interface Online* Aplikasi Android

Pada pengujian *datalogger offline*, pada saat setelah pengujian dengan membuka *file datalog.txt* yang berada pada SD card yang ditunjukkan pada Gambar 8 yang memperoleh tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik, tegangan, arus dan daya. Data tersebut yang nanti akan diolah dengan aplikasi microsoft excel.

Date	Time	Voltage	Current	Power
15/07/2018	12:25:26	13.16	0.03	0.35
15/07/2018	12:25:48	13.18	0.03	0.35
15/07/2018	12:26:07	13.18	0	0
15/07/2018	12:26:26	13.18	0	0
15/07/2018	12:26:45	13.18	0.08	1.04
15/07/2018	12:27:03	13.16	0	0
15/07/2018	12:27:23	13.18	0.05	0.7
15/07/2018	12:27:42	13.18	0	0
15/07/2018	12:28:01	13.18	0	0
15/07/2018	12:28:19	13.16	0.05	0.7
15/07/2018	12:28:37	13.16	0.05	0.7
15/07/2018	12:28:56	13.16	0.03	0.35
15/07/2018	12:29:14	13.18	0.05	0.7
15/07/2018	12:29:32	13.16	0.08	1.04
15/07/2018	12:29:52	13.16	0.03	0.35
15/07/2018	12:30:11	13.16	0.05	0.7
15/07/2018	12:30:31	13.16	0.03	0.35
15/07/2018	12:30:53	13.18	0	0
15/07/2018	12:31:11	13.16	0.03	0.35

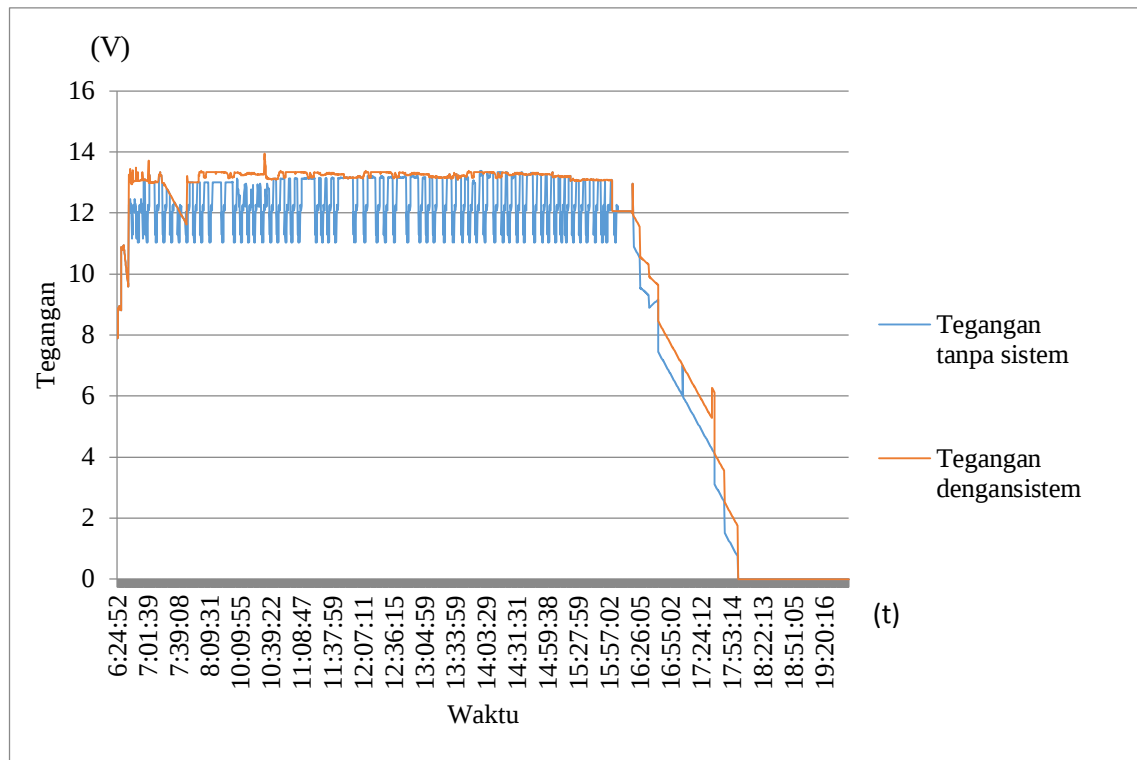
Gambar 8. Pengujian Sistem *Datalogger Offline*

Pengujian Perbandingan Sistem

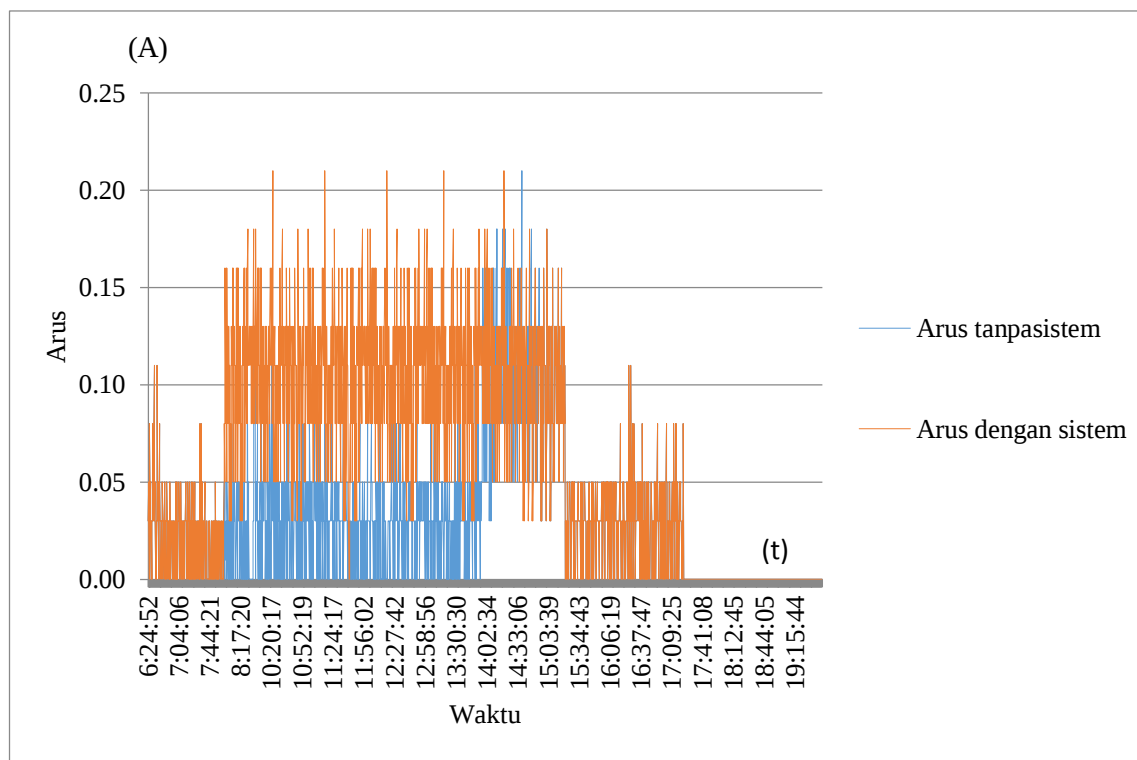
Pada Gambar 9 menunjukan grafik perbandingan tegangan tanpa sistem dan menggunakan sistem dengan perbandingan rata-rata diambil pada jam 08.00 sampai dengan 16.00. Hasil rata-rata tegangan dengan menggunakan persamaan (3) menunjukan perbedaan 6% lebih baik dengan menggunakan sistem pelacak cahaya matahari. Selisih maksimalnya sebesar 2.34V antara *solar cell* tanpa sistem dan menggunakan sistem.

Data diambil dari jam 08.00 sampai dengan 16.00, untuk *solar cell* yang menggunakan sistem nilai tegangan maksimal sebesar 13.94V pada pukul 10:32:59 dan nilai tegangan minimal 13.04V pada pukul 15:25:05 dan untuk *solar cell* yang tanpa menggunakan sistem nilai tegangan maksimal sebesar 13.38V pada pukul 13:59:02 dan nilai tegangan minimal 11.04V pada pukul 14:01:48.

Pada Gambar 10 menunjukan grafik perbandingan arus tanpa sistem dan menggunakan sistem dengan perbandingan rata-rata diambil pada jam 08.00 sampai dengan 16.00. Hasil rata-rata arus dengan menggunakan persamaan (3) menunjukan perbedaan 53% lebih baik dengan menggunakan sistem pelacak cahaya matahari. Selisih maksimalnya sebesar 0.21A antara *solar cell* tanpa sistem dan menggunakan sistem.

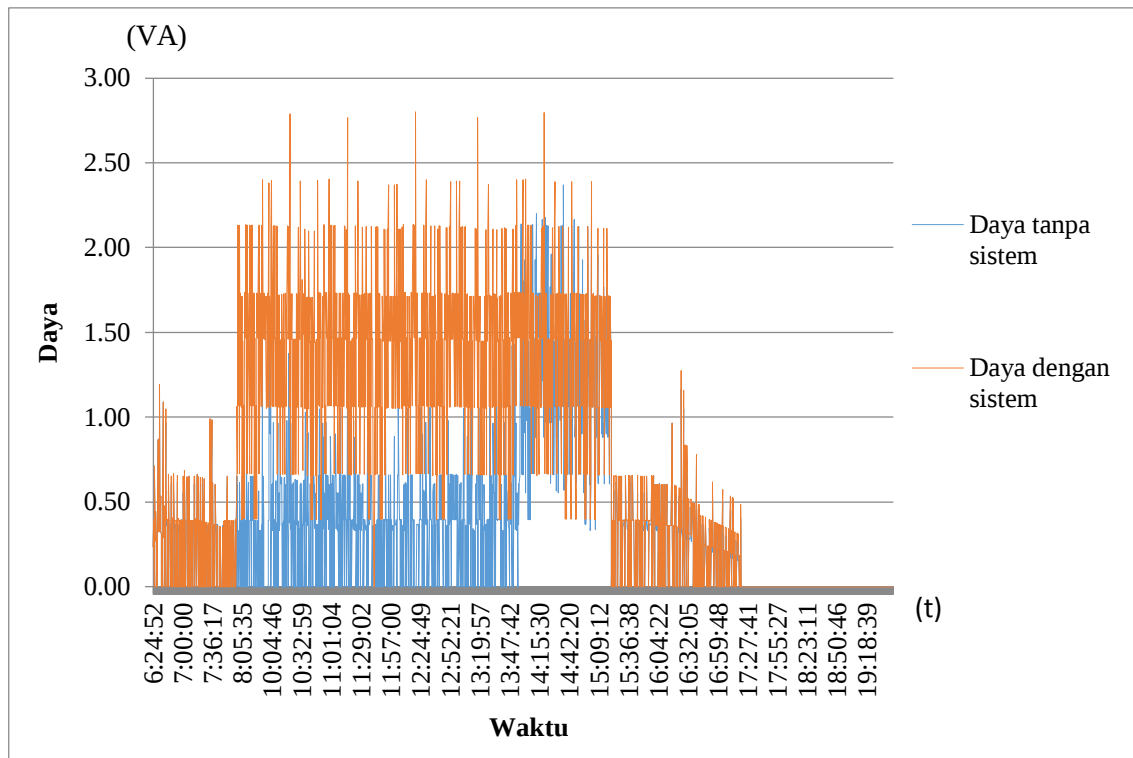


Gambar 9. Grafik Perbandingan Tegangan tanpa Sistem dan Menggunakan Sistem



Gambar 10. Grafik Perbandingan Arus tanpa Sistem dan Menggunakan Sistem

Data diambil dari jam 08.00 sampai dengan 16.00, untuk *solar cell* yang menggunakan sistem nilai arus maksimal sebesar 0.21A pada pukul 10 : 21 : 35 dan nilai arus minimal 0A pada pukul 11 : 40 : 37 dan untuk *solar cell* yang tanpa menggunakan sistem nilai arus maksimal sebesar 0.21A pada pukul 14 : 37 : 05 dan nilai arus minimal 0A pada pukul 08: 03 : 58.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Daya tanpa Sistem dan Menggunakan Sistem

Pada Gambar 11 menunjukan grafik perbandingan daya tanpa sistem dan menggunakan sistem dengan perbandingan rata-rata diambil pada jam 08.00 sampai dengan 16.00. Hasil rata-rata daya dengan menggunakan persamaan (3) menunjukan perbedaan 55.92% lebih baik dengan menggunakan sistem pelacak cahaya matahari. Selisih maksimalnya sebesar 2.8VA antara *solar cell* tanpa sistem dan menggunakan sistem.

Data diambil dari jam 08.00 sampai dengan 16.00, untuk *solar cell* yang menggunakan sistem nilai daya maksimal sebesar 2.80VA pada pukul 12:20:02 dan nilai daya minimal 0VA pada pukul 11:40:37 dan untuk *solar cell* yang tanpa menggunakan sistem nilai daya maksimal sebesar 2.37VA pada pukul 14:37:05 dan nilai daya minimal 0VA pada pukul 08:03:58.

Kesimpulan

- Terbentuk desain sistem pelacak cahaya matahari dual axis pada solar cell yang diharapkan dapat melakukan optimasi konservasi energi menggunakan arduino mega 2560 dengan datalogger offline dan online.
- Berdasarkan hasil pengujian tegangan terhadap tegangan supply yang diberikan menunjukan error tegangan 1.8 % dan selisih tertinggi sebesar 0.44V, pengujian arus terhadap arus supply yang diberikan menunjukan error arus 3.7 % dan selisih tertinggi sebesar 0.11A.
- Data-data sistem dapat dilihat secara offline dengan melihat tampilan LCD yang berada di panel. Data tersebut disimpan berserta tanggal dan waktu kejadian dalam sebuah SD card dengan nama file datalog.txt, data-data sistem dapat dilihat kemudian disimpan secara online melalui webserver thingspeak, website dan aplikasi android.
- Berdasarkan hasil pengujian perbandingan tegangan dengan sistem dan tanpa sistem diperoleh perbedaan nilai 6% dengan selisih tertinggi 2.34V Berdasarkan hasil pengujian perbandingan arus dengan sistem dan tanpa sistem diperoleh perbedaan nilai 53% dengan selisih tertinggi 0.21A Berdasarkan hasil pengujian perbandingan daya dengan sistem dan tanpa sistem diperoleh perbedaan nilai 55.92% dengan selisih tertinggi 2.8VA

Daftar Pustaka

- AI-Thinker team, "ESP-01 WiFi Module," *AI-Thinker team*, pp. 1–19, 2015.
- Arthur Daniel Limantara, Lucia Desti Krisnawati, Slamet Winardi, Sri Wiwoho Mudjanarko, "Solusi Pengawasan Kebijakan Mengatasi Kemacetan Jalan dan Parkir Kota Berbasis Internet Cerdas", 2017.
- Fadhlullah, Khalid, "Solar Tracking Sistem Berbasis Arduino Uno," 2017
- N. Soedjarwanto, "Sistem Pelacak Otomatis Energi Surya Berbasis Mikrokontroler ATmega8535," 2015.

Desain Teknis Penyediaan Air Baku Kecamatan Nangabadau – Kabupaten Kapuashulu

Roni Farfian

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

roni.farfian@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Pada kondisi eksisting, pan layanan air bersih untuk wilayah Kecamatan Nangabadau belum dapat mencapai ibukota kecamatan dan beberapa desa sekitarnya. Hal ini disebabkan oleh debit andalan sumber air baku yang relatif kurang terdistribusi ke reservoir masyarakat akibat banyaknya kebocoran pada pipa transmisi. Air baku yang digunakan berasal dari Sungai Besar dengan luas tangkapan 2,06 Km² dan debit andalan (Q90) 127,24 L / detik. Ditemukan bahwa kualitas Sungai Besar untuk air baku telah memenuhi Kualitas Kelas I, di mana air sungai dikumpulkan di bendung dan bendungan. Lebar bendung adalah 11,50 m, sedangkan ketinggian mercusuar dan tinggi bendung adalah +126,50 m dan 1,50 m. Permintaan air harian maksimum untuk masyarakat di Kota Badau hingga tahun 2031 adalah 100 L / detik. Kapasitas reservoir yang direncanakan adalah 1.300 m³. Berdasarkan simulasi hidrolis pipa, sistem transmisi air baku dari intake, reservoir, hingga IPA, menggunakan pipa HDPE-PN-8 dengan diameter 315 mm atau 12 in.

Kata kunci: Penyediaan air baku, intake bendung, kebutuhan air DMI, simulasi pipa.

Abstract

In the existing conditions, the coverage of clean water services for the Nangabadau Sub-district area has not been able to reach the subdistrict capital and several villages near the location. It was caused by the mainstay debit of raw water sources was relatively less distributed to reservoir of the communities due to the number of leaks in the transmission pipeline. The raw water used was Sungai Besar with a catchment area of 2.06 Km² and a mainstay discharge (Q90) of 127.24 L/sec. It was found that the quality of the Sungai Besar for raw water has met the Class I Quality, where the river water was collected in weir or dams. The width of weir was 11.50 m, while the lighthouse elevation and weir height were +126.50 m and 1.50 m, respectively. The maximum daily water demand for the communities in Badau City up to year 2031 was 100 L/sec. The planned reservoir capacity was 1300 m³. Based on the pipeline hydraulic simulation, the raw water transmission system from the intake, reservoir, up to the IPA, used HDPE-PN-8 pipe with a diameter of 315 mm or 12 in.

Keywords: Raw water supply, intake of weir, DMI water needs, pipe simulation

1. Pendahuluan

Air baku untuk air bersih harus memenuhi syarat baku mutu, baik dari kualitas, kuantitas, kontinuitas dan keterjangkauannya. Secara umum hambatan dari produktifitas instalasi pengolahan air adalah keterbatasan sumber air baku. Kendala yang paling sering muncul dalam persoalan ini antara lain adalah tidak terjaminnya kontinuitas penyediaan air baku pada suatu daerah disebabkan waktu musim kemarau, air permukaan mengalami penurunan debit yang signifikan. Seiring dengan era otonomi pembangunan Kabupaten Kapuas Hulu khususnya Kecamatan Badau, diperlukan terobosan-terobosan dalam upaya pemenuhan kebutuhan dasar yang menguasai hajat hidup orang banyak ini yaitu ketersediaan air. Namun unit-unit pelayanan dan distribusi PDAM yang ada di Kecamatan Badau, belum bisa dinikmati penduduk secara optimal

Pada saat ini tingkat pelayanan air bersih PDAM Kecamatan Badau terhadap masyarakat saat ini baru mencapai ± 15 % dari jumlah penduduk. Hal ini disebabkan sumber air yang digunakan yaitu dari air permukaan Sungai Besar dan Sungai Kekurak di Bukit Panggau Dulang dan Air Terjun Wong Prawan belum terbangun bangunan intake yang permanen dan sistem transmisi air baku serta sistem pengolahan air bersih yang ideal. Dari kondisi eksisting tersebut maka diperlukan perencanaan bangunan intake dan upaya sistem penyediaan air baku yang optimal bagi pemenuhan kebutuhan air bersih di Kecamatan Badau. Peta orientasi lokasi kajian dapat dilihat pada Gambar 1.

Lokasi pekerjaan secara administratif berada di Kecamatan Badau, Kabupaten Kapuas Hulu, Propinsi Kalimantan Barat. Berdasarkan Rencana Tata Ruang Kawasan Perbatasan Kalimantan – Serawak – Sabah (Kasaba), Kecamatan Badau (di Kabupaten Kapuas Hulu) berfungsi sebagai Pintu Lintas Batas (PLB) alternatif selain PLB Entikong yang sudah ada saat ini, yang mendukung fungsi kawasan perbatasan (*Border Development Center*).

Dalam perencanaan penyediaan sistem transmisi air baku di Kecamatan Badau, proyeksi pertumbuhan ekonomi di Kecamatan Badau dirujuk dari Rencana Detail Tata Ruang Kota Badau sebagai Pintu Lintas Batas Negara (PLB) dan secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1. Skenario perkembangan

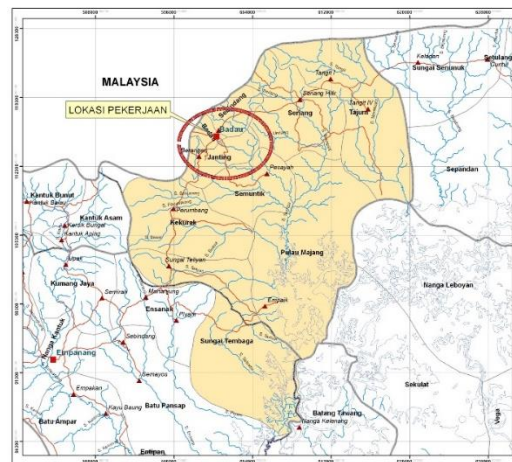
Info Makalah:

Dikirim : 04-24-19;
Revisi 1 : 07-17-19;
Diterima : 09-24-19.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-813-2122-5121
e-mail : roni.farfian@lecture.unjani.ac.id

pada rentang waktu dari tahun 2022 sampai dengan tahun 2031, dengan asumsi bahwa Kecamatan Badau menjadi kota Perbatasan (PKSN - Pusat Kegiatan Strategis Nasional) dan merupakan pintu Ekspor – Impor yang strategis dan laju pertumbuhan penduduk dengan adanya migrasi sehingga pada akhir tahun perencanaan diproyeksi menjadi dari 4072 jiwa pada tahun 2011 menjadi 78.245 jiwa.



Gambar 1. Peta Orientasi Lokasi Kajian.

Tabel 1. Skematik Skenario Perkembangan Penduduk Kota Badau

Skematik Skenario Perkembangan Penduduk Kota Badau - Tahun 2022 – 2031	
Asumsi Pertambahan - Kota Badau sudah menjadi kota perbatasan (PKSN) yang maju dan merupakan pintu ekspor-impor strategis ditandai dengan berkembangnya kawasan Industri Badau Seluas A=500 Ha dengan memerlukan tambahan pekerja 4.000 orang - Asumsi 1 pekerja terdiri dari 5 anggota keluarga (rata-rata) - Asumsi Bangkitan Kawasan Industri 4.000 x 5 → 20.000 jiwa	
Pertumbuhan Reguler Penduduk Kota sampai tahun 2026 diasumsikan memiliki pertumbuhan sebesar 6.5% karena adanya migrasi cukup besar. - Jumlah Penduduk Kota Badau Tahun 2026 → 34.502 jiwa - Total Jumlah Penduduk Kota Badau Tahun 2026 → 54.502 jiwa	
Pertumbuhan Reguler Penduduk Kota dari Tahun 2026 – 2031 diasumsikan memiliki pertumbuhan sebesar 7.5% karena adanya migrasi yang sangat besar. Jumlah Penduduk Kota Badau Tahun 2031 → 78.245 jiwa	

(Sumber: RDTR Kota Badau: 2011 – 2031)

Sehingga kebutuhan air domestik mengacu pada hasil RDTR Kota Badau tersebut di atas. Sedangkan untuk kebutuhan air non domestik diuraikan berikut ini:

Rekomendasi Kebutuhan Fasilitas Perdagangan

- Analisis kebutuhan Toko/Kios/Warung Kota Badau pada tahun 2031 berdasarkan standar kebutuhan penduduk, membutuhkan penambahan fasilitas Toko/Kios/Warung sebanyak 300 Unit yang tersebar di 5 desa.
- Pada tahun 2031 Kota Badau diperkirakan membutuhkan fasilitas pertokoan sebanyak 13 unit. Bila dibandingkan dengan kondisi eksisting tahun 2011, maka yang menjadi prioritas untuk dilakukan penambahan pertokoan adalah di Desa Badau yang merupakan pusat perdagangan dan jasa.
- Pada tahun 2031 Kota Badau memerlukan 1 unit pasar yang terletak di Desa Badau. Pasar ini merupakan pasar dengan skala pelayanan kawasan.
- Pada saat sekarang telah ada 1 buah pasar akan tetapi sifatnya masih non permanen, sehingga dibutuhkan perbaikan pasar untuk memberikan kemudahan akses bagi masyarakat untuk membeli kebutuhan hidup sehari-hari.
- Pada tahun 2031 Kota Badau memerlukan pasar lingkungan sebanyak 3 unit yang tersebar di pusat-pusat pelayanan hieraki 2 dengan skala pelayanan 25.000 jiwa penduduk.

Rekomendasi Kebutuhan Sarana Pendidikan

- Kebutuhan TK di Kota Badau diperkirakan sebanyak 75 unit.
- Kebutuhan SD pada tahun 2031 diperkirakan sebanyak 47 unit.

3. Kebutuhan SLTP di Kota Badau pada tahun 2031 diperkirakan sebanyak 16 unit.
4. Kebutuhan SMA di Kota Badau pada tahun 2031 diperkirakan sebanyak 16 unit.
5. Kota Badau hingga tahun 2031 belum membutuhkan adanya pembangunan fasilitas pendidikan berupa Perguruan Tinggi.

Rekomendasi Kebutuhan Sarana Kesehatan

1. Kebutuhan Balai pengobatan di Kota Badau pada tahun 2031 diperkirakan sebanyak 30 unit.
2. Fasilitas Kesehatan berupa puskesmas pada tahun 2031 tidak memerlukan penambahan karena kebutuhan untuk tahun 2031 sudah terpenuhi dengan jumlah fasilitas kesehatan pada tahun 2011.
3. Fasilitas kesehatan berupa Apotek di Kota Badau pada tahun 2031 diperlukan sebanyak 8 unit.
4. Analisis kebutuhan fasilitas kesehatan berupa praktek dokter di Kota Badau pada tahun 2031 diperkirakan sebanyak 15 unit.
5. Total Sarana Kesehatan yang dibutuhkan pada akhir perencanaan adalah berjumlah 60 unit sarana kesehatan.

Rekomendasi Kebutuhan Sarana Peribadatan

1. Penduduk Kota Badau mayoritas beragama Islam dan Kristen. Jumlah penduduk yang beragama Islam dan Kristen hampir sama sehingga dalam penyediaan sarana peribadatan juga harus berimbang.
2. Kebutuhan Masjid dan Mushola di asumsikan kebutuhannya pada hingga akhir tahun perencanaan 2031 sebesar 300 unit dan 30 unit. Begitu juga dengan kebutuhan tempat ibadah pada penganut agama Kristen dibutuhkan 30 Gereja dan 300 Kopel.

Kebutuhan Sarana Perbatasan Negara

Pembukaan PPLB Nanga Badau di Badau sebagai pintu keluar dan masuk Indonesia di Kalimantan akan berimplikasi akan kebutuhan berbagai fasilitas pendukung. Dalam menghitung tingkat kebutuhan akan fasilitas pendukung PPLB Badau sampai dengan akhir tahun perencanaan (tahun 2031) digunakan standar kebutuhan fasilitas PPLB yang didasarkan pada RUTR Kawasan Perbatasan. Fasilitas pendukung tersebut PPLB adalah sebagai berikut:

1. Kantor PPLB yang memiliki sarana dan prasarana lengkap.
2. PPPT sebagai fasilitas TKI terkait Badau sebagai pintu keluar dan masuk TKI secara resmi.
3. Ukuran berdasarkan standar dari kementerian Tenaga Kerja.
4. Kantor FTA sebagai kontrol.
5. Industri estate dalam mendukung dan memaksimalkan fungsi Badau, salah satunya adalah industri pengolahan sawit dengan ukuran sesuai dengan kebutuhan dalam mengolah sawit hasil perkebunan.
6. *Dry Prot* menyesuaikan dengan standar instansi terkait.
7. Terminal Internasional sesuai dengan standar instansi terkait
8. Kantor Bea Cukai sesuai dengan standar yang ada untuk mengawasi barang yang keluar masuk.
9. Kantor imigrasi untuk mempermudah pelayanan yang akan melintas melalui PPLB.
10. Asumsi kebutuhan luas untuk Perkantoran pendukung PPLB adalah 10 Ha.

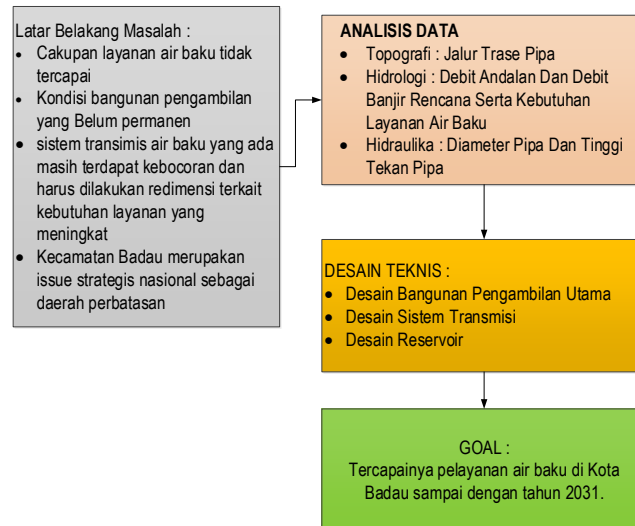
2. Metode

Metodologi penyelesaian desain teknis penyediaan air baku dapat diuraikan berikut ini.

1. Permasalahan yang ada, yaitu:
 - a. cakupan layanan air baku yang masih kurang untuk ibu kota Kecamatan Badau,
 - b. kondisi bangunan pengambilan yang belum permanen,
 - c. sistem transmisi air baku yang ada masih terdapat kebocoran dan harus dilakukan redimensi terkait kebutuhan layanan yang meningkat, dan
 - d. Kecamatan Badau merupakan issue strategis nasional sebagai daerah perbatasan.
2. Dari permasalahan tersebut di atas kemudian dilakukan survey topografi untuk mendapatkan trase jalur pipa baru.
3. Analisis hidrologi antara lain:
 - a. Debit andalan dengan metode NRECA.
 - b. Analisis frekuensi hujan dengan menggunakan metode distribusi Normal, Gumbel dan Log Pearson III. Kemudian dilakukan uji kecocokan distribusi dengan metode Smirnov-Kolmogorov dan Chi Square, dan dilanjutkan dengan pemilihan metode distribusi dengan metoda Nash–Sutcliffe efficiency coefficient (Nash and Sutcliffe, 1970).
 - c. Analisis debit banjir rencana menggunakan metode Nakayasu dengan distribusi hujan didekati dengan metode mononobe dengan durasi hujan selama 6 jam.
 - d. Analisis kebutuhan air baku adalah berdasarkan kebutuhan sesuai dengan RDTR Kota Badau. Standarisasi kebutuhan dasar pemakaian air domestik dan non domestik mengacu pada Ditjen Cipta Karya, 2000.
 - e. Analisis hidraulika pipa dengan bantuan perangkat lunak WaterCad (Epanet berbasis GIS) untuk mendapatkan diameter pipa yang optimal dan juga untuk memastikan bahwa tinggi energi adalah cukup dari bangunan intake sampai dengan rencana pengolahan air.

4. Selanjutnya desain teknis sistem transmisi air baku yang antara lain adalah sebagai berikut:
 - a. Desain Bangunan Pengambilan Utama adalah bendung dengan perencanaan mengacu pada KP Irigasi – 02 – Bangunan Utama.
 - b. Desain Jaringan Pipa Transmisi Air Baku.
 - c. Desain Reservoir yang ada.
5. Goal yang diharapkan dari kegiatan ini adalah tercapainya pelayanan air baku di Kota Badau sampai dengan tahun 2031.

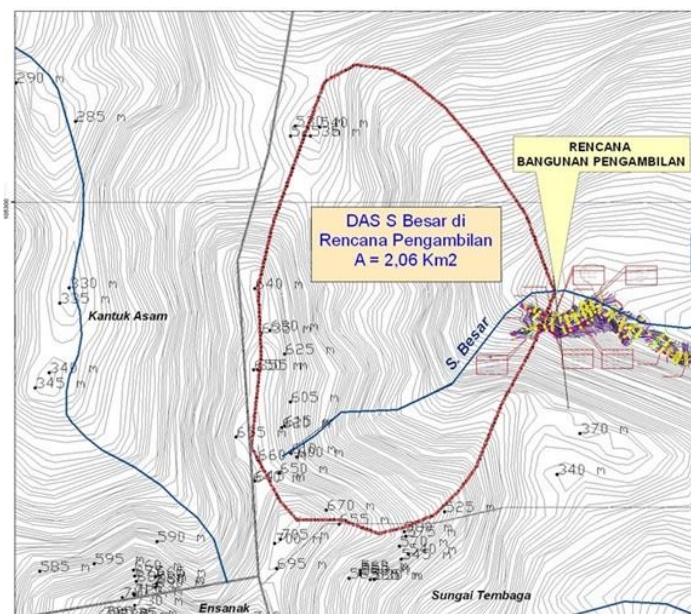
Metodologi desain teknis penyediaan air baku dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Metodologi Desain Teknis Penyediaan Air Baku Kota Badau

3. Hasil dan Pembahasan

Lokasi intake adalah di Sungai Besar dengan luas DAS adalah 2,06 Km². Berikut adalah peta daerah aliran sungai di lokasi intake yang dapat dilihat pada Gambar 3. Stasiun hujan yang digunakan dalam analisa hidrologi adalah hanya satu stasiun hujan yaitu KPH-01 – Putussibau. Data yang tersedia adalah data hujan harian selama kurun waktu 1991 sampai 2012. Sedangkan data untuk menghitung evapotranspirasi adalah data dari Stasiun Cuaca SC-08 – Putussibau. Data yang tersedia adalah data penguapan dari alat Panci Penguapan - Evaporation Pan Class A selama kurun waktu 2000 sampai dengan 2011. Data hujan bulanan dan data evaporasi bulanan rata-rata dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. DAS Sungai Besar sebagai Bangunan Pengambilan Utama

Analisis Evapotranspirasi rujukan (ET_o) berdasarkan data penguapan yang diukur dari *Pan Class A*, perhitungannya dapat menggunakan persamaan berikut

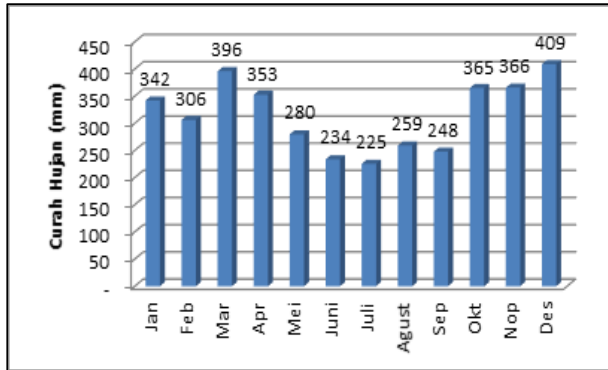
$$ET_o = K_p \times E_p \quad (1)$$

Keterangan:

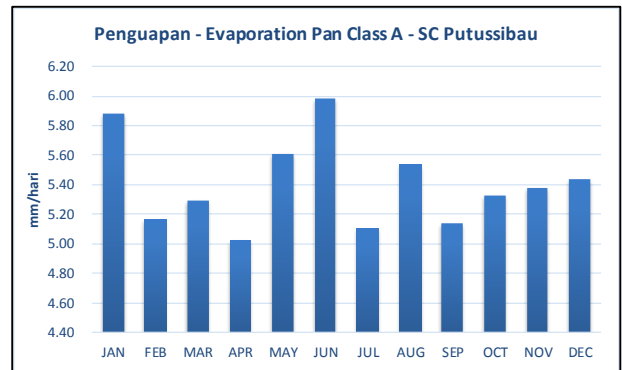
E_p : laju penguapan terukur dari panci Kelas A (mm/hari)

K_p : koefisien panci untuk tanaman rujukan. (Nilai K_p 0,65-0,85 dan diambil sebesar 0,75)

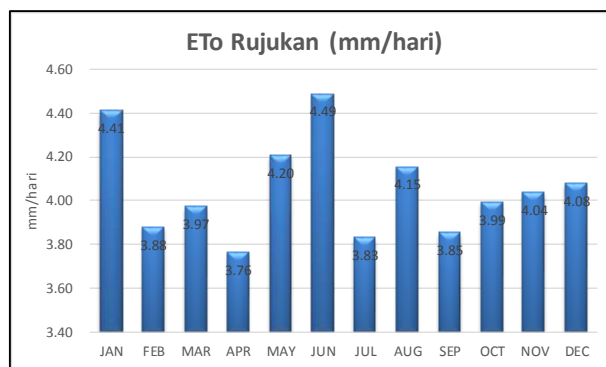
Evapotranspirasi Rujukan ET_o untuk desain teknis penyediaan air baku ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Data Hujan Bulanan Rata-rata

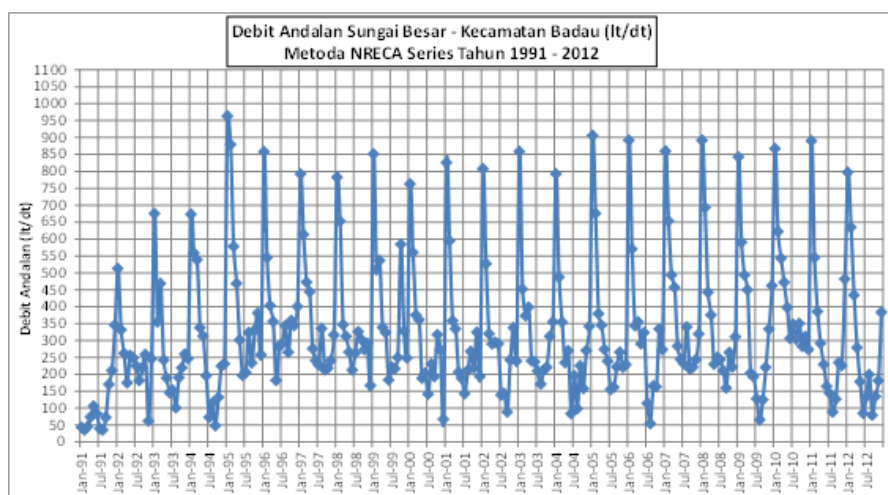


Gambar 5. Data Evaporasi

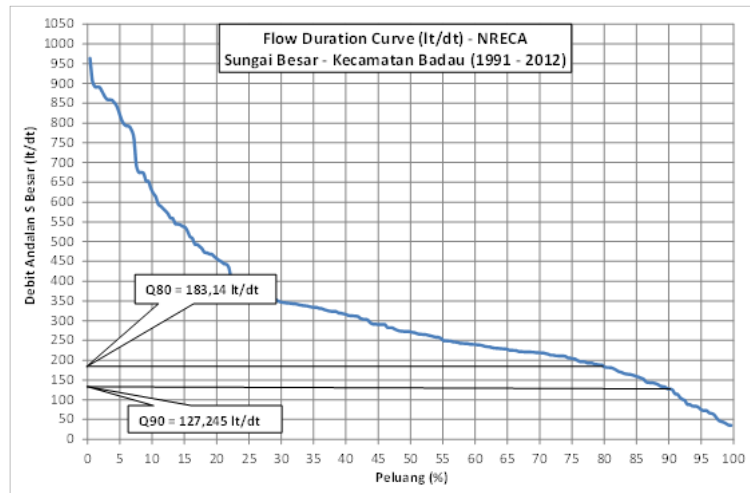


Gambar 6. Evapotranspirasi Rujukan (ET_o)

Debit Andalan yang digunakan untuk kebutuhan pemenuhan air baku adalah debit dengan peluang terjadinya 90% atau Q₉₀. Gambar 7 dan 8 merupakan debit andalan Sungai Besar sebagai sumber air baku.



Gambar 7. Debit Andalan Sungai Besar



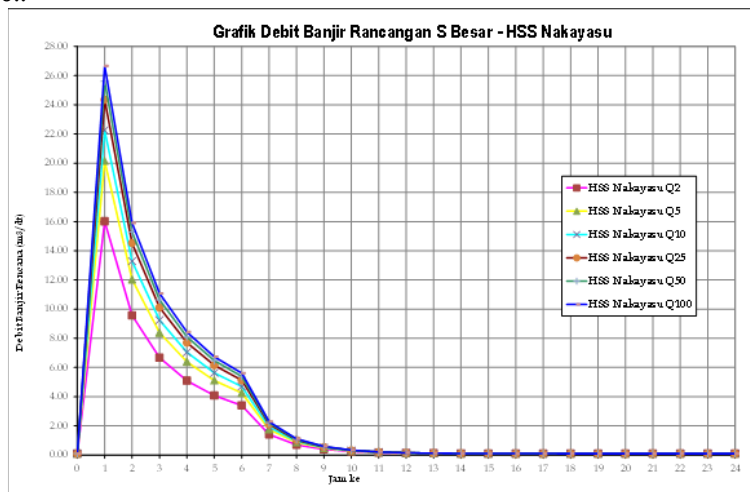
Gambar 8. Flow Duration Curve – Sungai Besar (1991 – 2012)

Hujan rencana yang terpilih adalah metode distribusi Gumbel dengan nilai hujan rencana seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Hujan Rencana

Return Period	Hujan Rencana (mm)
200	187,47
100	181,29
50	174,04
25	165,43
10	151,12
5	136,87
2	108,64

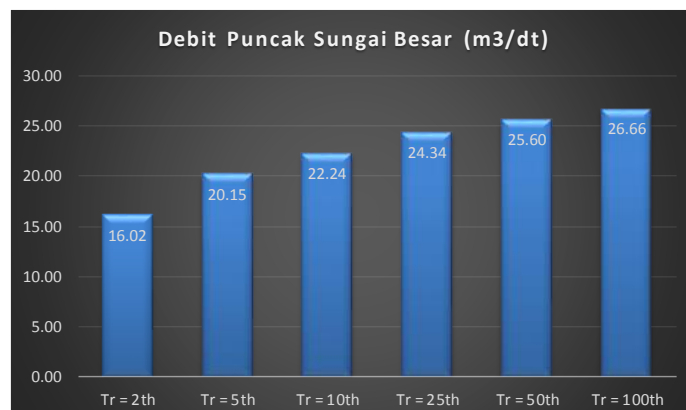
Debit banjir rencana dengan metode Nakayasu diuraikan dalam Tabel 3 dan Gambar 9 dan untuk debit puncak dapat dilihat pada Gambar 10..



Gambar 9. Hidrograf Banjir Sungai Besar

Tabel 3 Perhitungan Debit Banjir Rencana Sungai Besar

Parameter DAS			
Luas	=	2.06	km ²
Panjang Sungai Utama	=	1.51	km
a	=	3	
Ro	=	1	mm
Parameter Tg			
$T_g = 0,21 * (L^{0,7})$			
Tg	=	0.28	jam
Parameter tr			
$t_r = 0,75 * t_g$	=	0.21	jam
Parameter Tp			
$T_p = T_g + 0.8 T_r$			
Tp	=	0.45	jam
Parameter T 0.3			
$T_{0.3} = a * T_g$			
T _{0.3}	=	0.84	jam
$T_p + T_{0.3}$	=	1.29	jam
$T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3} = T_p + 2.5 T_{0.3}$	=	2.55	jam
Parameter DAS			
Luas	=	2.06	km ²
Panjang Sungai Utama	=	1.51	km
a	=	3	
Ro	=	1	mm
Parameter Tg			
$T_g = 0,21 * (L^{0,7})$			
Tg	=	0.28	jam
Parameter tr			
$t_r = 0,75 * t_g$	=	0.21	jam
Parameter Tp			
$T_p = T_g + 0.8 T_r$			
Tp	=	0.45	jam
Parameter T 0.3			
$T_{0.3} = a * T_g$			
T _{0.3}	=	0.84	jam
$T_p + T_{0.3}$	=	1.29	jam
$T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3} = T_p + 2.5 T_{0.3}$	=	2.55	jam
Parameter Qp (debit puncak)			
$Q_p = \frac{A * R_o}{3.6 (0.3 T_p + T_{0.3})}$	=	0.6	m ³ /dt
Mencari Ordinat Hidrograf			
1. $0 < t < T_p$ ----->	0 <	t	< 0.45
$Q_t = Q_{max} (t/T_p)^{2.4}$			
2. $T_p < t < (T_p + T_{0.3})$ ----->	0.45 <	t	< 1.29
$Q_t = Q_{max} (0.3)^{(t-T_p)/(T_{0.3})}$			
3. $(T_p + T_{0.3}) < t < (T_p + 2.5 T_{0.3})$ ----->	1.29 <	t	< 2.55
$Q_t = Q_{max} (0.3)^{(t-T_p) + 0.5 T_{0.3} / 1.5 T_{0.3}}$			
4. $t > (T_p + 2.5 T_{0.3})$ ----->	t >	2.55	
$Q_t = Q_{max} (0.3)^{(t-T_p) + 1.5 T_{0.3} / (2 T_{0.3})}$			



Gambar 10. Debit Puncak Sungai Besar

Analisis kebutuhan air baku domestik dan non domestik Kota Badau dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Analisis Kebutuhan Air Baku Domestik dan Non Domestik di Kota Badau

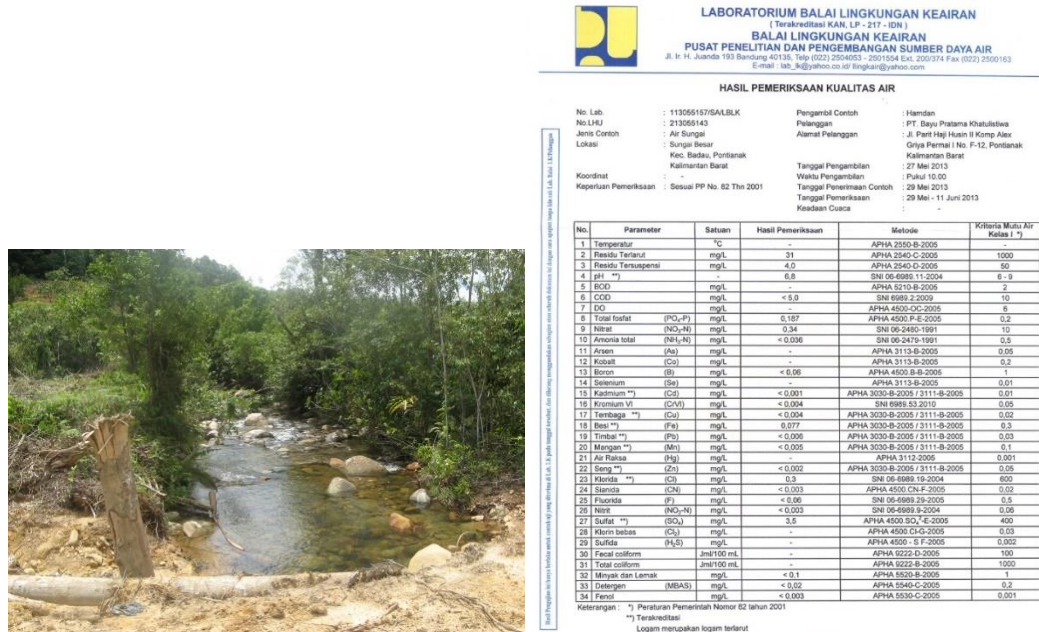
No	URAIAN	Satuan	RENCANA PENTAHAPAN					KET
			2011	2016	2021	2026	2031	
1	Kebutuhan Air							
	a. Standar Konsumsi Air Baku							
	1. Domestik (Kota Badau menjadi Kota Kecil)	lt/jwa/hari	100	100	100	100	100	Sumber Ditjen Ciptakarya :2000
	2. Non Domestik							
	a). Sarana Perdagangan							
	1. Toko/Kios/Warung dan Pertokoan (Niaga Kecil)	lt/niaga/hari	900	900	900	900	900	Sumber Ditjen Ciptakarya :2000
	2. Pasar dan Pasar Lingkungan (Niaga Besar)	lt/niaga/hari	5000	5000	5000	5000	5000	Sumber Ditjen Ciptakarya :2000
	b). Sarana Pendidikan	lt/murid/hari	5	5	5	5	5	Sumber Ditjen Ciptakarya :2000
	c). Sarana Kesehatan	lt/hari	1200	1200	1200	1200	1200	Sumber Ditjen Ciptakarya :2000
	d). Sarana Peribadatan	lt/hari	3000	3000	3000	3000	3000	Sumber Ditjen Ciptakarya :2000
	e). Sarana Pendukung Kantor PPLB Kota Badau	lt/dt/ha	10	10	10	10	10	Sumber Ditjen Ciptakarya :2000
	b. Jumlah Penduduk yang dilayani	Jiwa	4072	9767	25182	54502	78245	Analisis dan RDTR Kota Badau
	c. Kebutuhan Air Baku Domestik Rata-rata	lt/det	4.71	11.30	29.15	63.08	90.56	(a.1 x b)
	d. Kebutuhan Non Domestik yang dilayani							
	a). Sarana Perdagangan							
	1. Toko/Kios/Warung dan Pertokoan (Niaga Kecil)	Niaga	13	313	313	313	313	Analisis dan RDTR Kota Badau
	2. Pasar dan Pasar Lingkungan (Niaga Besar)	Niaga	1	4	4	4	4	Analisis dan RDTR Kota Badau
	b). Sarana Pendidikan	Murid	1474	7584	7584	7584	7584	Analisis dan RDTR Kota Badau
	c). Sarana Kesehatan	unit	28	60	60	60	60	Analisis dan RDTR Kota Badau
	d). Sarana Peribadatan	Unit	14	14	660	660	660	Analisis dan RDTR Kota Badau
	e). Sarana Pendukung Kantor PPLB Kota Badau	Ha	0	0	0	0	10	Analisis dan RDTR Kota Badau
	e. Kebutuhan Air Baku Non-Domestik							
	a). Sarana Perdagangan							
	1. Toko/Kios/Warung dan Pertokoan (Niaga Kecil)		11700	281700	281700	281700	281700	(2.a.1 x d.a.1)
	2. Pasar dan Pasar Lingkungan (Niaga Besar)		5000	20000	20000	20000	20000	(2.a.2 x d.a.2)
	b). Sarana Pendidikan		7370	37922	37922	37922	37922	(2.b x d.b)
	c). Sarana Kesehatan		33600	72000	72000	72000	72000	(2.c x d.c)
	d). Sarana Peribadatan		42000	42000	1980000	1980000	1980000	(2.d x d.d)
	e). Sarana Pendukung Kantor PPLB Kota Badau		0	0	0	0	100	(2.e x d.e)
	f). Jumlah Kebutuhan Air Baku Non - Domestik	lt/hari	99670	453622	2391622	2391622	2391722	Jumlah e
	g). Jumlah Kebutuhan Air Baku Non - Domestik	lt/det	1.15	5.25	27.68	27.68	27.68	Konversi Satuan
	f. Total Kebutuhan Air Baku (Domestik dan Non-Domestik)	lt/det	5.87	11.30	29.15	63.08	90.56	(c + e)
	g. Faktor Harian Maksimum, Fmd		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	Sumber Ditjen Ciptakarya :2000
	h. Faktor Jam Puncak, Fpeak		1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	Sumber Ditjen Ciptakarya :2000
	i. Kebutuhan Air Harian Maksimum, Qmd	lt/det	6.45	12.43	32.06	69.39	99.62	(f x g)
		m3/hari	558	1074	2770	5995	8607	Konversi Satuan
	j. Kebutuhan Air Jam Puncak, Qpeak	lt/det	7.04	13.56	34.98	75.70	108.67	(f x h)
		m3/hari	608	1172	3022	6540	9389	Konversi Satuan
2	Kapasitas Design							
	a. Unit Produksi (Reservoir)	lt/detik	6.45	12.43	32.06	69.39	99.62	(i)
	b. Unit Distribusi dan Pelayanan	lt/detik	7.04	13.56	34.98	75.70	108.67	(j)
	c. Kapasitas Reservoir (15% dari Kebutuhan Air Harian Max)	m3/hari	84	161	416	899	1,291	15% x 2.a
	Kapasitas Reservoir (Dibulatkan)	m3/hari	90	170	420	900	1,300	Pembulatan

(Sumber: Hasil Analisis)

Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan air baku tersebut di atas, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

- 1) Kebutuhan air baku domestik dan non domestik untuk Kota Badau pada akhir perencanaan yaitu tahun 2031 adalah 100,00 lt/det.
- 2) Debit andalan Sungai Besar, Q90 di Rencana Pengambilan adalah sebesar 127,24 lt/dt.
- 3) Neraca air di bendung adalah surplus yang berarti debit Sungai Besar masih bisa memenuhi kebutuhan air baku sampai dengan tahun 2031.
- 4) Diperlukan Reservoir dengan kapasitas tampung sesuai analisis di atas adalah 1300 m³/hari.

Untuk menganalisis kualitas air dari Sungai Besar maka telah diambil sample air di rencana bangunan utama untuk kemudian diperiksa di Laboratorium Balai Lingkungan Keairan – Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air – Kota Bandung. Lokasi Pengambilan Sample Air dan Hasil Uji Sample Air dapat dilihat pada Gambar 11 di bawah ini.



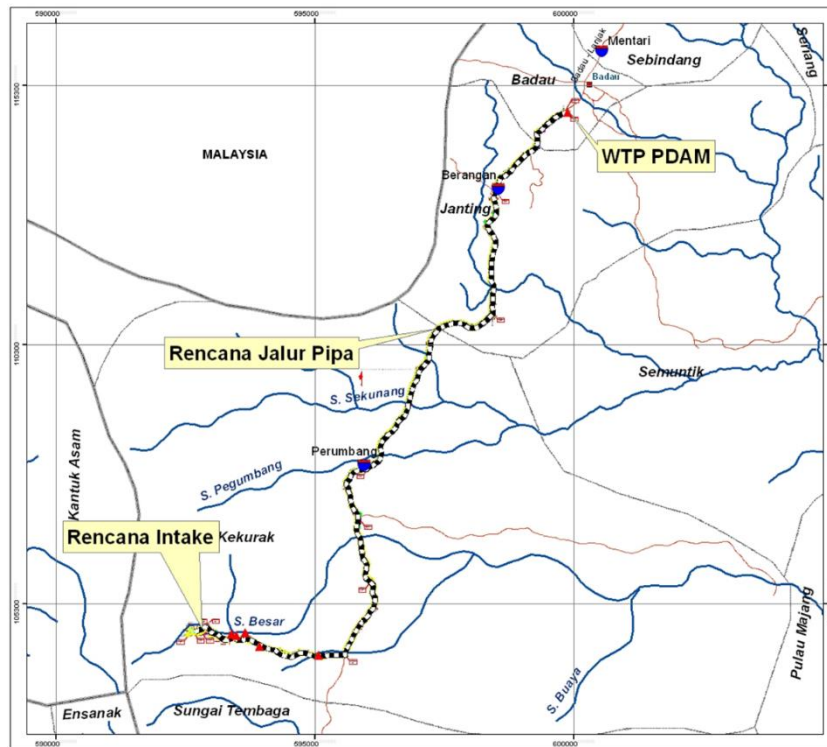
Gambar 11. Lokasi Pengambilan Sample Air dan Hasil Uji Sample Air

Pemeriksaan kualitas air mengacu pada Baku Mutu Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001. Semua parameter yang diperiksa (fisika dan kimia) memenuhi Baku Mutu Kelas I. Sebagai contoh hasil pemeriksaan untuk parameter BOD tidak ditemukan pada pemeriksaan. Kemudian parameter COD hasil pemeriksaan berada di bawah nilai 5 sedangkan kriteria Baku Mutu Kelas I adalah maksimal 10. Dapat disimpulkan bahwa Kualitas Sungai Besar untuk keperluan air baku sudah memenuhi Baku Mutu Kelas I sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001.

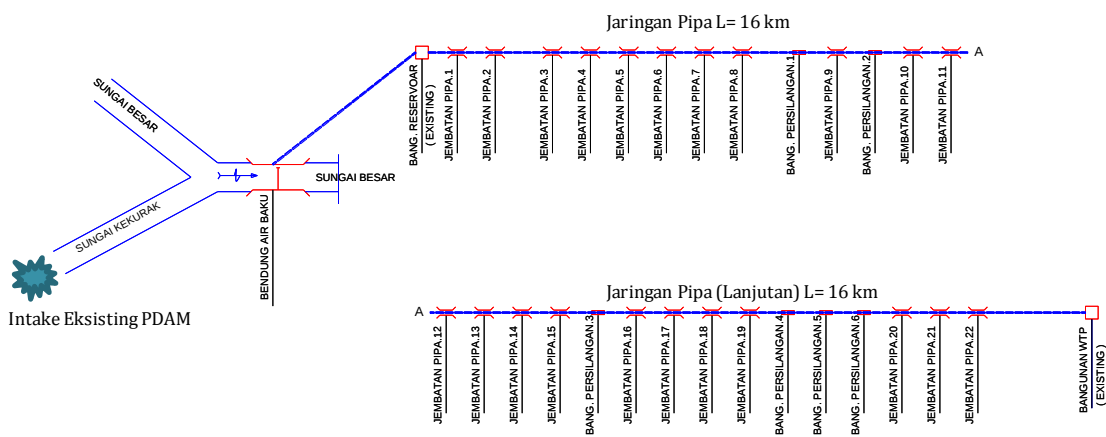
Rencana Sistem Transmisi Penyediaan Air Baku Kota Badau diuraikan berikut ini:

- 1) Sumber Air Baku adalah Sungai Besar dengan luas DAS A = 2,06 Km²
- 2) Debit Andalan Sungai Besar: Q₉₀ = 127,24 lt/dt
- 3) Jumlah Kebutuhan Air Harian Maksimum Kota Badau sampai dengan tahun 2031 adalah 99,62 lt/dt dibulatkan menjadi 100 lt/dt.
- 4) Bangunan Pengambilan berupa Bendung dengan tujuan untuk meninggikan elevasi muka air untuk inflow ke Reservoir.
- 5) Reservoir Eksisting mempunyai dimensi 10 m x 8,00 m x 2,50 m dengan kapasitas maksimum reservoir adalah 200 m³. Kapasitas Reservoir yang dibutuhkan untuk sampai tahun 2031 adalah 1.300 m³/hari. Sehingga dibutuhkan penambahan kapasitas reservoir menjadi 1.300 m³/dt
- 6) Sistem distribusi air baku akan menggunakan pipa dengan diameter sesuai dengan kebutuhan air yang terpilih. Dihitung dengan beberapa diameter alternatif, yaitu diameter D-255 atau 10" sampai dengan D-315 mm atau 12".
- 7) Jenis pipa yang akan digunakan adalah jenis HDPE-PN-8 dengan koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams C=150. Pipa HDPE mempunyai tekanan desain maksimum yang disyaratkan yaitu 8 Mpa.
- 8) Perhitungan hidrolis pipa dihitung dengan menggunakan perangkat lunak WaterCad v8i yang merupakan pengembangan dari program Epanet berbasis GIS.

Rencana lay out system transmisi air baku Kota Badau dapat dilihat pada Gambar 12 dan skema sistem transmisi air baku pada Gambar 13.



Gambar 12 Rencana Lay Out System Transimis Air Baku Kota Badau



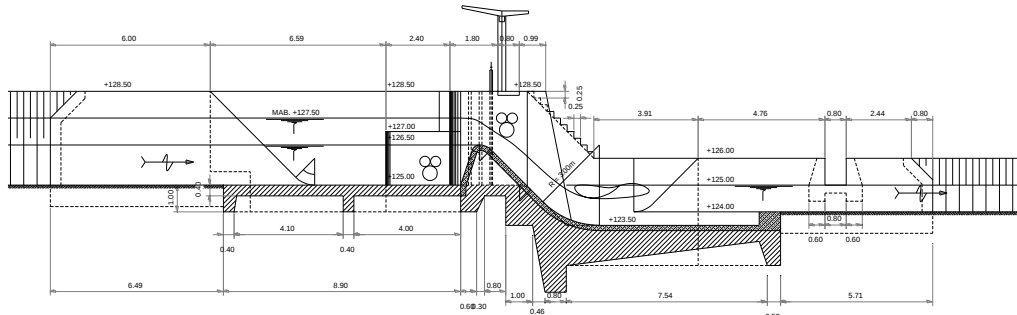
Gambar 13 Skema Sistem Transmisi Air Baku Kota Badau

Bangunan utama yang diusulkan adalah berupa bendung sederhana untuk menaikkan elevasi muka air pada sungai agar dapat diandalkan untuk masuk ke reservoir.

Berikut ini data teknis Bendung:

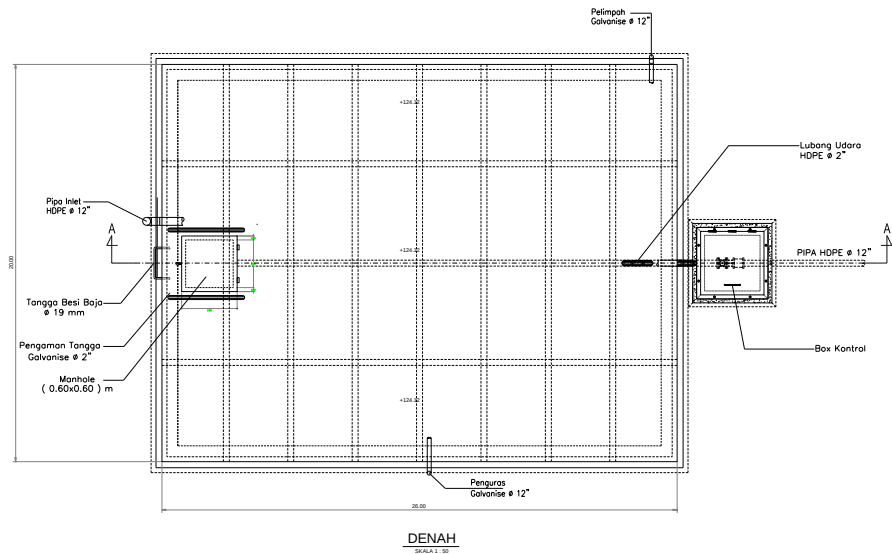
- Lebar Bendung : 11,50 m
- Tebal Pilar : 0,80 m
- Elevasi Mercu : +126,50 m
- Tinggi Bendung : 1,50 m

Debit Banjir Rencana adalah $Q_{50} = 25,60 \text{ m}^3/\text{d}$. Elevasimuka air banjir di atas mercu Bendung Badau adalah pada elevasi +127,55 m. Untuk elevasi dekzerk diambil freeboard 1 meter sehingga berada pada elevasi +128,55 m. Potongan tubuh bendung dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Hidrolis Bendung Air Baku Kota Badau

Bangunan Reservoir yang direncanakan mempunyai dimensi: $26 \times 20 \times 2,5 \text{ m} = 1.300 \text{ m}^3$. Denah bangunan reservoir dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Denah Rencana Bangunan Reservoir

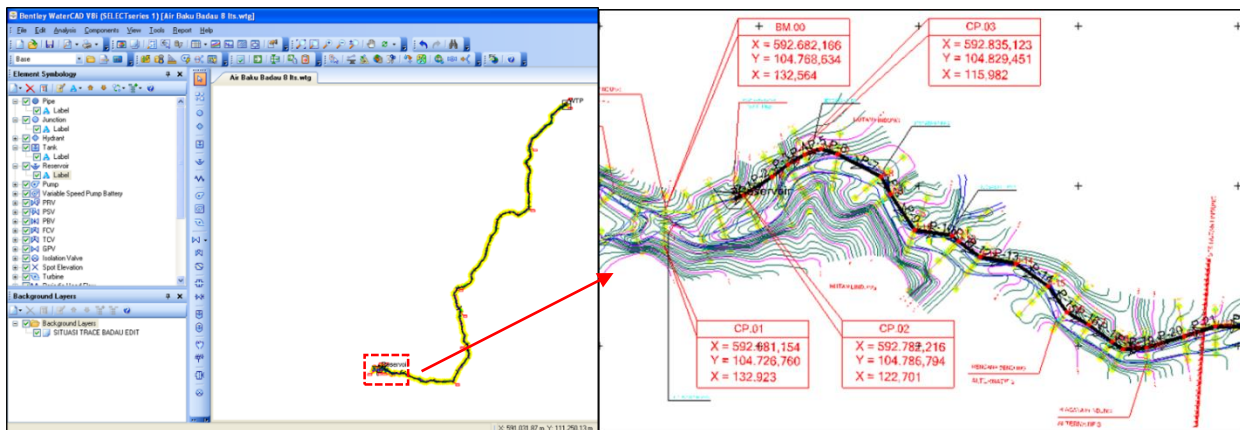
Selanjutnya adalah simulasi sistem transmisi air baku dari reservoir sampai dengan instalasi pengolahan air bersih PDAM di Kota Badau. Tabel 5 menunjukkan standarisasi simulasi yang dijadikan acuan pemodelan hidraulika pipa:

Tabel 5 Kriteria Pipa Transmisi Air Baku

No	Uraian	Notasi	Kriteria
1	Debit Perencanaan	Qmax	Kebutuhan air hari maksimum
			$Q_{\text{max}} = F_{\text{max}} \times Q_{\text{rata-rata}}$
2	Faktor Hari Maksimum	Fmax	1.10 - 1.50
3	Kecepatan aliran air dalam pipa		
	a) Kecepatan	V	0.3 - 4.5 m/dtk
4	Tekanan air dalam pipa		
	a) Tekanan minimum	Hmin	1 atm
	b) Tekanan maksimum		
	- Pipa PVC	Hmax	6 - 8 atm
	- Pipa DCIP	Hmax	10 atm
	- Pipa PE 100	Hmax	12.4 MPa
	- Pipa HDPE PN-80	Hmax	8.0 Mpa

(Sumber: Peraturan menteri Pekerjaan Umum Nomor: 18/PRT/M/2007, Tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum)

Simulasi hidraulik pipa dilakukan dengan menggunakan diameter pipa 12” atau 315 mm. Gambar 16 adalah menunjukkan jaringan pipa transmisi air baku Kota Badau dalam pemodelan WaterCad.



Gambar 16 Node dan Link Sistem Transmisi Air Baku Kota Badau

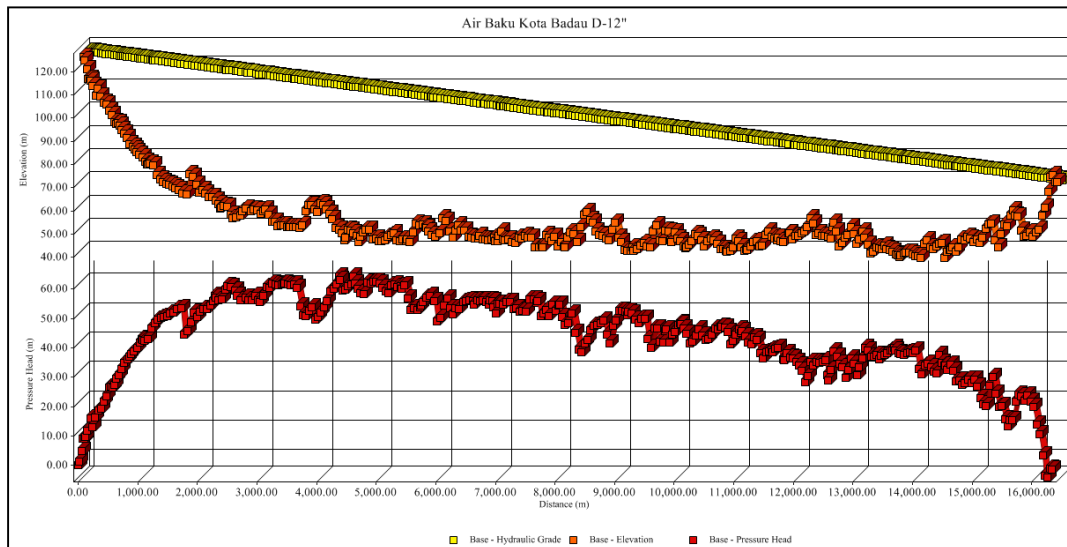
Hasil dari pemodelan hidraulika pipa untuk Air Baku Kota Badau dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Rekapitulasi Hasil Simulasi Hidrolika Pipa Air Baku Kota Badau (Pipa HDPE D-315 mm atau 12”)

	Label	Diameter (mm)	Material	Hazen-Williams C	Minor Loss Coefficient (Local)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/m)
381: P-1	P-1	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
383: P-2	P-2	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
385: P-3	P-3	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
387: P-4	P-4	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
389: P-5	P-5	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
391: P-6	P-6	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
393: P-7	P-7	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
395: P-8	P-8	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
397: P-9	P-9	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
399: P-10	P-10	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
401: P-11	P-11	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
403: P-12	P-12	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
405: P-13	P-13	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
407: P-14	P-14	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
409: P-15	P-15	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
411: P-16	P-16	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
413: P-17	P-17	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
415: P-18	P-18	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
417: P-19	P-19	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
419: P-20	P-20	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
421: P-21	P-21	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
423: P-22	P-22	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
425: P-23	P-23	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
427: P-24	P-24	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
429: P-25	P-25	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
431: P-26	P-26	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
433: P-27	P-27	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
435: P-28	P-28	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
437: P-29	P-29	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
439: P-30	P-30	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
441: P-31	P-31	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
443: P-32	P-32	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
445: P-33	P-33	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
447: P-34	P-34	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
449: P-35	P-35	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003
451: P-36	P-36	315.0	Synthetic...	150.0	0.001	93	1.19	0.003

351 of 351 elements displayed

Berdasarkan hasil running simulasi, kecepatan yang terjadi dalam pipa adalah 1,19 m/dt. Kecepatan tersebut masih berada dalam batas ijin kecepatan minimum dan kecepatan maksimum. Sebagai koreksi terhadap tekanan dalam pipa, maka berikut ini adalah profil gradien hidrolik, elevasi dan tinggi tekan di setiap joint dan pipa yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17 Profil Hidraulik Gradien, Gradien Elevasi dan Tinggi Tekan di sepanjang Sistem Transmisi Air Baku Kota Badau untuk D-355 mm

Dari hasil simulasi hidrolika untuk Sistem Air Baku Kota Badau dengan D-12" atau 315 mm, maka:

1. Reservoir dengan kapasitas 1.300 m³ mampu mensuplai air baku sampai ke instalasi pengolahan air bersih PDAM dengan mencapai kebutuhan 93 lt/dt. Sedangkan kebutuhan air baku Kota Badau sampai dengan tahap akhir perencanaan, tahun 2031 mencapai 100 lt/dt. Hal ini relatif masih bisa ditoleransi mengingat perhitungan kebutuhan air baku sampai dengan tahun 2031 banyak menggunakan asumsi.
2. Tinggi tekan maksimum atau *Pressure Head* yang terjadi adalah P=64,28 m yang masih di bawah 100 m, sehingga tidak diperlukan adanya bak pelepas tekan pada jaringan ini.
3. Tekanan maksimum di pipa adalah 0,60 Mpa yang berada di bawah tekanan desain pipa P=8 MPa.

Kesimpulan

Jaringan transmisi eksisting di Kota Badau sudah mengalami kebocoran dan perlu perbaikan sistem transmisi air baku yang optimal. Sumber air bakunya adalah Sungai Besar dengan luas DAS A = 2,06 km² dan debit andalan Q₉₀ = 127,24 lt/dt. Jumlah kebutuhan air baku untuk Kota Badau sampai tahun 2031 sebagai Pintu Lintas Batas Negara (PLB) adalah Q = 100 l/dt. Untuk pemenuhan kebutuhan air baku direncanakan dengan bangunan pengambilan berupa bendung dengan lebar: 11,50 m, Elevasi Mercu: +126,50 m, dan tinggi bendung: 1,50 m. Kapasitas reservoir sebagai tampungan air baku adalah 1.300 m³. Air baku dari sungai akan disuplai dengan sistem transmisi air baku menggunakan pipa dengan diameter D-315 mm atau 12" dengan jenis pipa HDPE-PN-8. Bangunan akhir adalah instalasi pengolahan air bersih PDAM dengan kapasitas yang ada adalah 240 m³.

Terkait dengan kebutuhan air baku yang cukup besar pada tahun rencana 2031, maka kapasitas instalasi pengolahan air bersih PDAM eksisting harus disesuaikan dengan kebutuhan tersebut. Untuk menunjang pembangunan transmisi air baku diperlukan sosialisasi kepada masyarakat tentang adanya rencana Kota Badau sebagai Pintu Lintas Batas Negara (PLB). Sehingga setelah adanya jaringan transmisi air baku maka diperlukan pembinaan dan pengarahannya terkait dengan operasi dan pemeliharaan sistem transmisi serta pemanfaatannya, sehingga bisa terpelihara dengan baik sepanjang tahun.

Ucapan Terima Kasih

Kami sebagai penulis makalah seminar ini mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini. Khususnya pada staf pengajar di Universitas Jenderal Achmad Yani, Jurusan Teknik Sipil.

Daftar Pustaka

- Tim Perumus Review Kriteria Perencanaan Irigasi, 2013, Standar Perencanaan Irigasi : Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (*Head Works*) - KP-02. Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Bappeda Kabupaten Kapuas Hulu, 2011, Rencana Detail Tata Ruang Kota Badau Tahun 2011 – 2031
- Unit Hidrologi, 2012, Balai Wilayah Sungai Kalimantan I, Jakarta

(Halaman Ini Sengaja Dibiarkan Kosong)

Pemilihan Alternatif Metode Kerja dengan Menentukan Urutan Prioritas Kriteria Fungsi pada Pekerjaan Struktur

Ni Kadek Sri Ebtha Yuni dan Nyoman Suardika

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bali, Badung, Indonesia

ebthayuni@pnb.ac.id, nsuardika@gmail.com

Abstrak

Dalam sebuah proyek, permasalahan yang umum terjadi adalah pembengkakan biaya (*cost overrun*), waktu pelaksanaan terlambat, dan mutu pekerjaan tidak sesuai dengan spesifikasi teknis yang berujung terjadinya pekerjaan ulang (*rework*). Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor seperti : *human error*, jumlah tenaga kerja kurang, perubahan disain, keterbatasan material dan alat, serta metode kerja konstruksi yang tidak tepat. Kinerja proyek dipengaruhi oleh penggunaan sumber daya dalam proyek, yang lebih dikenal dengan lima sarana manajemen konstruksi (5M) yaitu biaya (*money*), tenaga kerja (*man power*), material (*material*), metode kerja (*method*), dan alat (*machine*). Penggunaan metode kerja alternatif bisa diterapkan di berbagai proyek, seperti proyek gedung yang memiliki skala kecil, menengah hingga skala yang besar. Penelitian ini dilakukan dengan observasi langsung pada bangunan Hotel Blok A,B. Dari empat alternatif yang dibuat dan berdasarkan hasil analisis dengan metode *zero-one* dipilih metode kerja dengan menyewa *scaffolding*, bekisting dengan menggunakan triplek tegofilm, pengangkutan material menuju lantai kerja dibantu oleh *tower crane*, beton yang digunakan adalah *readymix*, pekerjaan pengecoran plat lantai, kolom dan balok menggunakan *concrete pump* sebagai alternatif terbaik. Biaya pelaksanaan lebih hemat yaitu Rp 2,454,388,265. Mutu beton terjamin dan berkualitas. Waktu pelaksanaan lebih cepat yaitu 49 hari.

Kata kunci: konstruksi, *value engineering*, *zero-one*

Abstract

In a project, the common problems that are generally occurred are cost overrun, slow implementation time as well as the quality of work that is not meet the technical specifications and lead to rework. It can be caused by several factors, such as human error, lack of workforce, changes in design, limited material or tools, and improper construction work methods. The project performance is influenced by the resources, which is known as the five construction management facilities (5M), i.e. costs (money), labor (manpower), material (material), work methods (method), and tools (machines). Alternative work methods can be applied in several projects including small, medium, and large building projects. This research was conducted by direct observation of the Blok A,B Hotel building. Among the four alternative methods and based on the results of analysis using the zero-one method, the better work method is achieved by rental scaffolding, using formwork from tegofilm plywood, transportation of material to the working floor assisted by tower cranes, using the ready mix concrete, casting work of floor plates, columns and beams using concrete pumps. The implementation cost is Rp. 2,454,388,265. The concrete quality is guaranteed and qualified. The short implementation time is reached, i.e. 49 days.

Key words : construction, value engineering, zero-one

1. Pendahuluan

Kegiatan konstruksi terdiri dari berbagai tahap mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, pemeliharaan dan operasional. Tahap yang paling menentukan adalah tahap perencanaan dan pelaksanaan konstruksi karena kualitas keseluruhan proyek sangat bergantung pada pembuatan dan manajemen pada tahap tersebut. Pelaksanaan proyek yang tidak sesuai dengan rencana, dapat mengakibatkan keterlambatan proyek, dan pembengkakan biaya (Messah dkk., 2013). Hal ini erat kaitannya dengan *human error*, jumlah tenaga kerja kurang, perubahan disain, keterbatasan material dan alat, metode kerja konstruksi yang tidak tepat dan lainnya (Emanuel, 2012). Ada tiga faktor utama yang harus menjadi pertimbangan, yaitu waktu yang sesuai rencana, biaya yang realistis dan sesuai dengan anggaran dan mutu yang dapat dipertanggungjawabkan. Faktor tersebut dipengaruhi oleh penggunaan sumber daya dalam proyek yaitu biaya (*money*), tenaga kerja (*man power*), material (*material*), metode kerja (*method*), dan alat (*machine*) (Ervianto,

2010). Dalam proses mencapai tujuan dari suatu proyek konstruksi, ada batasan yang harus dipenuhi yaitu besar biaya (anggaran) yang dialokasikan, jadwal serta mutu yang harus dipenuhi (Ervianto, 2010). Salah satu unsur manajemen konstruksi yang mempengaruhi pencapaian tujuan atau sasaran proyek adalah metode kerja yang digunakan.

Penggunaan metode kerja yang kurang tepat akan berdampak pada keterlambatan waktu penyelesaian pekerjaan, atau pembengkakan biaya atau kedua-duanya yaitu keterlambatan waktu penyelesaian pekerjaan dan pembengkakan biaya konstruksi. Sebaliknya pemilihan metode kerja yang tepat akan menghasilkan keuntungan efisiensi proses konstruksi berupa keuntungan

Info Makalah:

Dikirim : 09-16-19;
Revisi 1 : 10-25-19;
Revisi 2 : 12-10-19;
Diterima : 01-08-20.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-81916490820
e-mail : ebthayuni@pnb.ac.id

finansial dan waktu pelaksanaan dapat berjalan sesuai dengan yang direncanakan (Nurhayati, 2010). Melihat banyak indikator-indikator pencapaian proyek konstruksi, maka di dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi sebaiknya dilakukan pemilihan berbagai metode kerja alternatif yang dianggap terbaik dalam pelaksanaannya, sehingga sasaran atau tujuan akhir proyek dapat dicapai dengan penggunaan sumber daya yang efisien serta hasil yang optimal yaitu tepat biaya, mutu dan waktu.

Pemilihan keputusan dalam menentukan pilihan bisa menggunakan metode *zero one* yaitu mengurutkan prioritas kriteria. Berdasarkan penelitian Kartika (2011), metode *zero one* digunakan untuk mengevaluasi alternative pekerjaan dengan menentukan bobot dan matrik evaluasi. Penelitian Azis (2016), pada penerapan *value engineering* pekerjaan struktur balok menggunakan metode *zero one* untuk mengolah data dan mendapatkan alternative yang diinginkan. Berdasarkan uraian di atas penulis meneliti penggunaan alternative metode kerja yang dipilih pada pekerjaan plat, kolom dan balok. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kriteria fungsi dominan dalam menentukan pemilihan metode kerja pekerjaan struktur dan metode kerja yang terbaik pada pekerjaan struktur. Penelitian ini diawali dengan menentukan kriteria fungsi, kemudian perengkingan terhadap kriteria dominan. Untuk menentukan metode kerja terbaik dilakukan dengan melakukan analisis *value engineering* dimulai dari tahap informasi, analisis *zero-one*, dan tahap rekomendasi.

2. Metode

Pemilihan Metode Kerja Alternatif

Metode kerja pada hakekatnya adalah penjabaran tata cara dan teknik pelaksanaan pekerjaan, merupakan inti dari seluruh kegiatan dalam sistem manajemen konstruksi. Metode kerja pekerjaan proyek konstruksi yang baik apabila memenuhi persyaratan (Nurhayati, 2010), yaitu memenuhi persyaratan teknis, memenuhi persyaratan ekonomis, yaitu biaya murah, wajar dan efisien, memenuhi pertimbangan nonteknis lainnya, yang memuat antara lain, merupakan alternatif/pilihan terbaik dari beberapa alternatif yang telah diperhitungkan dan dipertimbangkan, masalah metode pekerjaan banyak sekali variasinya, sebab tidak ada keputusan engineer. Jadi pilihan terbaik yang merupakan tanggung jawab manajemen, dengan tetap mempertimbangkan engineering ekonomis. Memberikan arahan dan pedoman yang jelas atas urutan dan fasilitas penyelesaian pekerjaan.

Tujuan dari perencanaan metode alternatif pelaksanaan proyek adalah untuk mendapatkan gambar kerja dan urutan pelaksanaan setiap aktivitas yang akan dikerjakan berdasarkan metode yang direncanakan dan dianggap terbaik untuk mencapai sasaran proyek. Manfaat dari perencanaan metode alternatif pelaksanaan proyek adalah sebagai pedoman seorang manajer proyek dalam melaksanakan fungsi manajemen yang lainnya, seperti fungsi pelaksanaan (*do*), kontrol (*check*) dan tindakan (*action*). Metode kerja proyek konstruksi terbaik (*alternative method*) merupakan kunci untuk dapat mewujudkan seluruh perencanaan menjadi bentuk bangunan fisik. Pada dasarnya metode kerja konstruksi merupakan penerapan konsep rekayasa berpijak pada keterkaitan antara persyaratan dalam dokumen pengadaan, keadaan teknis dan ekonomis yang ada di lapangan, dan seluruh sumber daya termasuk pengalaman kontraktor. Kombinasi dan keterkaitan ketiga elemen secara interaktif membentuk kerangka gagasan dan konsep metode optimal yang diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi (Nurhayati, 2010).

Analisa Pengambilan Keputusan

Dengan banyaknya kriteria untuk menentukan pengambilan suatu keputusan maka diperlukan pengambilan keputusan multi kriteria. Salah satu cara untuk mengambil keputusan dalam sebuah penelitian adalah dengan melakukan analisa perangkingan menentukan urutan prioritas fungsi-fungsi. Analisa perangkingan adalah suatu cara yang digunakan dalam perekayasa untuk mengkaji lebih dalam semua alternatif yang dihadirkan baik secara kualitatif atau kuantitatif. Analisa perangkingan bisa dilakukan dengan metode *Zero-One* (Listiono, 2011). Dalam analisa perangkingan ini dilakukan dengan 2 cara yang disajikan saling berkaitan yaitu :

1. Perangkingan metode *zero-one*.
2. Penilaian akhir alternatif dan eksisting (pembobotan).

Perangkingan Zero-One

Sebelum kegiatan penilaian dilakukan maka terlebih dahulu ditentukan kriteria yang menjadi dasar penilaian untuk semua alternatif. Dengan dihitung bobot sementara untuk masing-masing alternatif tersebut. Untuk penentuan angka ranking dilakukan dengan cara terbalik tergantung jumlah fungsi yang dihadirkan dan perangkingan diberi nilai yang tertinggi untuk fungsi yang diprioritaskan. Kriteria-kriteria yang dipakai untuk mengevaluasi komponen-komponen/system pada rekayasa nilai proyek konstruksi perumahan di Taman Sari Metropolitan, meliputi aspek biaya, waktu pelaksanaan, kekuatan, efisiensi dan kemudahan pekerjaan (Pontoh dkk., 2013). Pada penelitian Ferdian (2015) tentang penerapan *value engineering* pondasi tiang pancang di Jembatan Lamnyong Banda Aceh, fungsi yang dianalisis adalah penghematan biaya. Penelitian Kembuan (2016) tentang penerapan *value engineering* proyek pembangunan gereja Karombasan juga mengambil kriteria penghematan biaya untuk dianalisis. Contoh kriteria fungsi alternatif seperti Tabel 1.

Tabel.1 Contoh Kriteria Fungsi Alternatif

No	Fungsi	Angka Rangking	Bobot (%)	Keterangan
1	Biaya	3	50,00	Prioritas tertinggi
2	Mutu	2	33,33	Prioritas sedang
3	Waktu	1	16,67	Prioritas rendah
Jumlah angka ranking		6		

Setelah didapatkan angka bobot di atas maka dilakukan analisa selanjutnya yaitu dengan metode *zero-one*. Metode *zero-one* adalah salah satu cara pengambilan keputusan yang bertujuan untuk menentukan urutan prioritas fungsi-fungsi (kriteria). Prinsip metode ini adalah menentukan relativitas suatu fungsi “lebih penting” atau “kurang penting” terhadap fungsi lainnya. Fungsi yang “lebih penting” diberi nilai satu (*one*), sedangkan nilai yang “kurang penting” diberi nilai nol (*zero*). Dengan menghadirkan referensi perbandingan maka akhirnya didapatkan indeks untuk masing-masing kriteria yang nantinya menjadi parameter perhitungan dalam penentuan nilai pengambilan keputusan untuk masing-masing alternatif berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Keuntungan metode ini adalah mudah dimengerti dan pelaksanaannya cepat dan mudah. Contoh preferensi alternatif untuk kriteria biaya pada Tabel 2. Hasil analisa dengan metode *zero-one* terhadap fungsi biaya dapat ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Contoh Preferensi

Alternatif	Preferensi	
A	A>B:A>C	A lebih baik dari B dan C
B	B<A : B > C	B kurang baik dari A, lebih penting dari C
C	C<A : C < B	C kurang baik dari A dan B

Tabel 3. Contoh Penilaian terhadap Fungsi

No	Alternatif	A	B	C	Jumlah	Indeks
1	A	X	1	1	3	3/6
2	B	0	X	1	2	2/6
3	C	0	0	1	1	1/6
Jumlah					6	1

Keterangan :1 = Lebih baik; 0 = Kurang baik; X = Fungsi sama

Cara pelaksanaan metode *zero-one* ini adalah dengan mengumpulkan fungsi yang tingkatannya sama, kemudian disusun dalam suatu matriks *zero-one* yang berbentuk bujur sangkar. Kemudian dilakukan penilaian fungsi-fungsi secara berpasangan, sehingga ada matriks akan terisi X. Nilai pada matriks ini kemudian di jumlah menurut baris dan dikumpulkan pada kolom jumlah. Sebagai contoh untuk matriks di atas pada baris 1 kolom 2 bernilai 1, artinya fungsi A lebih baik dari fungsi B. sebaliknya baris 2 kolom 1 bernilai 0. Dari matriks diatas diperoleh urutan prioritas adalah A, B, dan C (berdasarkan jumlah nilai). Akhirnya pemakaian metode *zero-one* ini digunakan secara terus menerus untuk semua alternatif terhadap fungsi yang dimilikinya hingga diketahui nilai indeksnya.

Penilaian Akhir Alternatif

Setelah diperoleh nilai indeks dan bobot sementara dari semua faktor untuk alternatif yang dipakai maka dilakukan pembobotan akhir dengan matrik evaluasi. Bagian dari metode ini yaitu untuk mengetahui nilai prioritas dari suatu item yang dihadirkan adalah dengan metode penilaian alternatif dan eksisting. Contoh penilaian alternatif seperti pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 nilai dari x didapat dengan hasil perkalian indeks dengan bobot sementara. Hasil total dari total (Σx) menjadi bobot total alternatif yang berfungsi menjadi suatu alat untuk mengambil keputusan yang dapat menggabungkan kriteria kualitatif (tak dapat diukur) dan kriteria kuantitatif (dapat diukur).

Tabel 4. Penilaian Alternatif

No	Alternatif Bobot	Kriteria			Total	Keterangan
		50,00	33,33	16,67		
1	Alternatif A	indeks x	indeks x	indeks x	Σx	indeks bobot
2	Alternatif B	indeks x	indeks x	indeks x	Σx	indeks bobot
3	Alternatif C	indeks x	indeks x	indeks x	Σx	indeks bobot

Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada proyek swasta yang sedang mengerjakan pekerjaan struktur, dengan menggunakan metode penelitian deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif yaitu mengidentifikasi metode kerja alternatif terbaik berdasarkan faktor-faktor kinerja proyek yang dipertimbangkan di dalam mengerjakan sebuah proyek konstruksi. Selanjutnya dilakukan penilaian terhadap metode alternatif terbaik berdasarkan nilai bobot yang diperoleh melalui analisis metode *Zero-One*.

Analisis kuantitatif dengan menentukan biaya masing-masing alternatif melalui survei harga material, upah pekerjaan, dan sewa alat. Analisis kuantitatif ini akan menjawab metode kerja yang menghasilkan biaya paling efisien, yang nantinya hasil analisis biaya ini diolah dalam perangkungan *zero-one*.

Penentuan Sumber Data

Pada penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan melalui observasi lapangan, wawancara dan *brainstorming*. Yang termasuk data primer dalam penelitian ini adalah faktor pemilihan metode kerja, perengkungan fungsi, produktifitas tenaga kerja, produktifitas alat, harga satuan alat, bahan, dan upah tenaga pekerja. Data sekunder dalam penelitian ini adalah *Shop Drawing*, *Time Schedule*, *Bill of Quantity (BQ)*.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara, *brainstorming*, survei lapangan dan observasi. Data dari wawancara berasal dari kegiatan wawancara langsung bersama unsur-unsur yang terlibat di dalam proyek mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan metode kerja dan perangkungan kriteria yang dipilih. Survei di lapangan bertujuan untuk mengumpulkan data yang benar-benar terjadi di lapangan pada pekerjaan struktur. Data yang dihasilkan akan diolah dengan program *Ms. Excel* untuk mendapatkan peringkat tertinggi dari faktor-faktor pemilihan metode kerja.

Observasi adalah metode pengumpulan data melalui pengamatan langsung atau peninjauan secara cermat dan langsung di lapangan. Pada penelitian ini pengamatan langsung dilakukan untuk memperoleh data produktivitas pekerja dan alat. Untuk mengetahui produktivitas pekerja dan alat, dilakukan pengamatan sampai pekerjaan pelat lantai, balok, dan kolom selesai dikerjakan.

3. Hasil dan Pembahasan

Faktor Pemilihan Metode Kerja pada Hotel di Uluwatu

Faktor yang diperhitungkan dalam menentukan metode kerja diperoleh melalui wawancara dengan 10 orang pihak proyek yaitu *project manager* (1 orang), *site operational manager* (1 orang), *site engineer* (1 orang), *supervisor* (4 orang), dan konsultan Manajemen Konstruksi (3 orang). Dari hasil wawancara diperoleh 10 faktor yang diperhitungkan dalam menentukan metode kerja yaitu biaya, mutu, ketersediaan alat, ketersediaan tenaga kerja, kondisi lapangan, mobilisasi alat, K3, dampak lingkungan, kemudahan pelaksanaan, dan waktu pelaksanaan. Faktor-faktor yang diperoleh melalui hasil wawancara, selanjutnya dilakukan perangkungan terhadap kriteria fungsi melalui *brainstorming* dengan *project manager*, *site operational manager*, *site engineer*, *supervisor*, dan konsultan Manajemen Konstruksi. Adapun perangkungan faktor yang diperhitungkan dalam pemilihan metode kerja dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, diperoleh urutan prioritas fungsi yang paling utama adalah biaya, dilanjutkan dengan mutu, waktu pelaksanaan, kemudahan pelaksanaan, ketersediaan alat, kondisi lapangan, ketersediaan tenaga kerja, dampak lingkungan, mobilisasi alat, dan K3. Dari sepuluh faktor dipilih empat faktor dengan prioritas tertinggi berdasarkan hasil *brainstorming*, yang akan dijadikan sebagai fungsi dalam memilih metode kerja. Adapun kriteria terpilih sebagai fungsi analisis *zero-one* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Perangkungan Faktor Pemilihan Metode Kerja

No	Kriteria Faktor	Jumlah Total	Prosentase (%)	Rangking
1	Biaya	10	15,15	1
2	Mutu	9	13,64	2
3	Waktu pelaksanaan	8	12,12	3
4	Kemudahan pelaksanaan	7	10,61	4
5	Ketersediaan alat	6	9,09	5
6	Kondisi lapangan	6	9,09	6
7	Ketersediaan tenaga kerja	6	9,09	7
8	Dampak lingkungan	5	7,58	8
9	Mobilisasi alat	5	7,58	9
10	K3	4	6,06	10
	Total	66	100,00	

Tabel 6. Kriteria Terpilih sebagai Fungsi Analisis *Zero-One*

No	Fungsi	Bobot (%)	Keterangan
1	Biaya	40,00	Tinggi
2	Mutu	30,00	Sedang
3	Waktu pelaksanaan	20,00	Sedang
4	Kemudahan pelaksanaan	10,00	Rendah

Metode Kerja Alternatif

Pada pembangunan Hotel di Uluwatu terdiri dari beberapa Blok. Dalam penelitian ini yang dianalisis adalah pembangunan pada hotel Block A,B,H yang memiliki luas bangunan dan tipe bangunan sama. Pemilihan metode kerja alternatif berdasarkan penghematan biaya yang paling efektif dan waktu pelaksanaan paling cepat. Penerapan metode kerja alternatif dilakukan pada pekerjaan struktur lantai II dan III yang terdiri dari pekerjaan plat lantai, balok dan kolom. Penerapan metode kerja yang dipilih dibatasi pada pengadaan perancah, penggunaan bahan bekisting kolom, penggunaan jenis alat untuk pengecoran plat lantai, kolom dan balok, pengangkutan material menuju lantai kerja. Berdasarkan batasan tersebut maka alternatif-alternatif yang dipilih dapat dilihat pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Metode Kerja Alternatif

No.	Uraian
Alternatif (I) Block A	
a.	Pekerjaan perancah dilakukan dengan cara menyewa <i>scaffolding</i> .
b.	Bekisting kolom menggunakan triplek <i>tego film</i> .
c.	Pengangkutan material menuju lantai kerja dibantu oleh TC (<i>tower crane</i>).
d.	Beton yang digunakan adalah <i>readymix</i> K-350.
e.	Pekerjaan pengecoran plat lantai dan balok menggunakan kombinasi anatar CP (<i>concrete pump</i>) dengan TC (<i>tower crane</i>), sedangkan untuk pengecoran kolom menggunakan CP (<i>concrete pump</i>).
f.	Jam kerja yang diterapkan adalah selama 8 jam.
Alternatif (II) Block H	
a.	Pekerjaan perancah dilakukan dengan cara menyewa <i>scaffolding</i> .
b.	Bekisting kolom menggunakan triplek <i>tego film</i> .
c.	Pengangkutan material menuju lantai kerja dibantu oleh TC.
d.	Beton yang digunakan adalah <i>readymix</i> K-350.
e.	Pekerjaan pengecoran plat lantai, kolom dan balok menggunakan CP (<i>concrete pump</i>).
f.	Jam kerja yang diterapkan adalah 8 jam.
Alternatif (III) B	
a.	Pekerjaan perancah dilakukan dengan cara menyewa <i>scaffolding</i> .
b.	Bekisting kolom menggunakan <i>plywood</i> biasa.
c.	Pengangkutan material menuju lantai kerja dibantu oleh TC.
d.	Beton yang digunakan adalah <i>readymix</i> K-350
e.	Pekerjaan pengecoran plat lantai, balok dan kolom menggunakan TC
f.	Jam kerja yang diterapkan adalah 8 jam

Dari ketiga alternatif selanjutnya dilakukan analisis terhadap waktu penyelesaian pekerjaan dengan observasi lapangan dan analisis terhadap biaya melalui survei harga.

Total Waktu Pelaksanaan Masing-Masing Alternatif

Untuk mengetahui produktivitas masing-masing alternatif maka diperoleh melalui observasi secara langsung dengan mengamati waktu penyelesaian pekerjaan. Observasi ini dilakukan pada beberapa item pekerjaan. Total pelaksanaan waktu pelaksanaan ditinjau dari pekerjaan bekisting, pembesian, dan pengecoran. Data yang diperoleh adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan dalam satuan jam yang kemudian dikonversikan menjadi hari. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh data waktu total masing-masing alternatif dapat dilihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8. Total Waktu Pelaksanaan Masing-masing Alternatif

No	Item Pekerjaan	Total Waktu (Hari)		
		Alt I	Alt II	Alt III
A	Lantai I			
1	Pas.Skafolding	2	2	2
2	Bekisting & pembesian plat & balok	15	11	13
3	Pengecoran plat & balok	2	1	2
4	Bekisting kolom	4	4	5
5	Pembesian kolom	8	7	9
6	Pengecoran kolom	2	1	1
B	Lantai II			
1	Pas.Skafolding	2	2	2
2	Bekisting & pembesian plat & balok	12	10	12
3	Pengecoran plat & balok	1	1	2
4	Bekisting kolom	5	4	5
5	Pembesian kolom	5	5	6
6	Pengecoran kolom	1	1	1
	Total	59	51	61

Berdasarkan tabel di atas, waktu pelaksanaan pekerjaan yang paling cepat adalah menggunakan metode alternatif II dengan waktu total 51 hari, kemudian dilanjutkan berturut-turut dengan alternatif I dengan waktu 59 hari dan alternatif 3 dengan waktu 61 hari.

Perbandingan Masing-Masing Alternatif

Perbandingan masing-masing alternatif yang ditinjau dari 4 fungsi terpilih, yaitu penghematan biaya, mutu, waktu pelaksanaan, kemudahan pelaksanaan.

Biaya

Penelitian ini hanya memperhitungkan biaya langsung, yaitu biaya bahan, upah dan alat. Untuk memperoleh harga bahan dan upah dilakukan survei langsung ke toko bangunan dan mandor lapangan. Pengadaan alat di lapangan dilakukan dengan cara menyewa dalam waktu per hari. Dari hasil survei tersebut, dilanjutkan dengan melakukan analisis biaya pada masing-masing alternatif. Dilanjutkan dengan membandingkan masing-masing alternatif. Perbandingan biaya langsung terdiri dari biaya bahan, upah dan alat. Alternatif dengan biaya paling hemat dipilih sebagai alternatif terbaik dari fungsi penghematan biaya. Adapun perbandingan biaya langsung masing-masing alternatif dapat dilihat pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Perbandingan Biaya Langsung

No	Alternatif	Total Biaya (Rp)	Bobot (%)	Ket.
1	I	2.530.368.265	33,95	Tertinggi
2	II	2.454.388.265	32,93	Sedang
3	III	2.468.688.932	33,12	Sedang

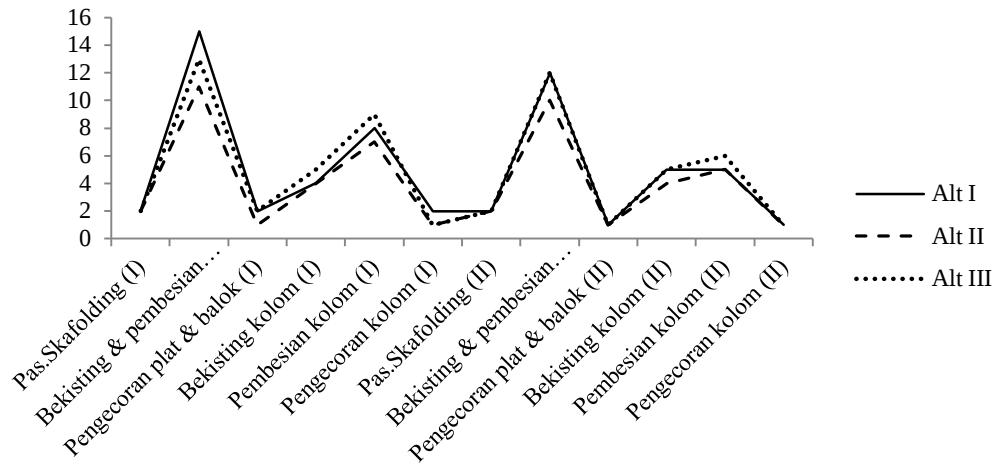
Dapat disimpulkan bahwa alternatif yang menghasilkan biaya langsung paling hemat adalah alternatif II, yaitu sebesar Rp. 2,454,388,265. Hal ini karena alternatif II dapat menghemat biaya sewa alat saat pekerjaan pengecoran.

Perbandingan Mutu

Mutu yang dibandingkan pada penelitian ini adalah mutu beton dengan sistem *readymix* dan hasil pekerjaan. Pada ketiga alternatif sama-sama menggunakan beton *readymix* dengan mutu K 300. Berdasarkan hasil ceklist pekerjaan beton dinilai dari kesesuaian mutu beton dan permukaan beton. Ketidaksesuaian permukaan beton dengan alternatif I & II tidak ditemukan pada semua pekerjaan. Sementara pada alternatif III, ketidaksesuaian ada pada satu kolom dan beberapa bagian dari plat lantai, yang disebabkan oleh sisa bekisting masih menempel pada beton. Alternatif dengan menggunakan bekisting tegofilm menghasilkan permukaan beton rata tanpa ada sisa bekisting yang menempel.

Perbandingan Waktu Pelaksanaan (Durasi)

Adapun durasi waktu pelaksanaan yang dihasilkan pada penyelesaian masing-masing pekerjaan sesuai dengan alternatif terpilih dapat dilihat pada Tabel 8. Total Waktu Pelaksanaan Masing-Masing Alternatif. Perbandingan waktu pelaksanaan pekerjaan digambarkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Waktu Pelaksanaan

Berdasarkan data pada Gambar 1 maka dapat disimpulkan bahwa pekerjaan struktur paling cepat diselesaikan dengan menggunakan alternatif II. Dilanjutkan dengan alternatif I dan alternatif III.

Kemudahan Pelaksanaan

Alternatif yang menghasilkan durasi terpendek dinilai memiliki tingkat kemudahan pelaksanaan yang paling baik, sehingga alternatif yang memiliki tingkat kemudahan paling baik adalah dengan menggunakan alternatif II.

Penilaian dengan Metode Zero-One

Tahap selanjutnya adalah penilaian terhadap masing-masing alternatif berdasarkan kriteria yang telah dibobotkan sebelumnya dengan menggunakan metode *zero-one* sehingga diperoleh nilai indeks masing-masing alternatif. Dalam menentukan penilaian terhadap suatu alternatif, perlu disusun preferensi alternatif agar dalam melakukan penilaian memiliki acuan yang jelas. Tahap selanjutnya dilakukan analisis pada masing-masing kriteria fungsi.

Fungsi Kriteria Penghematan Biaya

Berdasarkan hasil analisis biaya diperoleh bahwa alternatif yang menghasilkan biaya langsung paling hemat adalah alternatif II, yaitu sebesar Rp. 2,454,388,265. Hal ini karena alternatif II dapat menghemat biaya sewa alat saat pekerjaan pengecoran. Dengan kondisi tersebut dapat dibuat preferensi penghematan biaya dapat dilihat pada Tabel 10 berikut :

Tabel 10. Preferensi Penghematan Biaya

Alternatif	Preferensi	Keterangan
I	$I < II, : I < III :$	Alt I kurang baik dari alt II, III
II	$II > I : II > III$	Alt II lebih baik dari alt I & III
III	$III > I : III < II$	Alt III lebih baik dari alt I, dan kurang baik dari alt II

Berdasarkan preferensi penghematan biaya selanjutnya dilakukan analisis penilaian dengan menggunakan metode *zero one*, dapat dilihat pada Tabel 11 berikut :

Tabel 11. Penilaian Zero One Fungsi Penghematan Biaya

Alt	I	II	III	Jumlah	Indeks
I	X	0	0	0	0/3
II	1	X	1	2	2/3
III	1	0	X	1	1/3

Fungsi Kriteria Mutu

Berdasarkan hasil ceklist pekerjaan beton dinilai dari kesesuaian mutu beton dan permukaan beton. Pada alternatif III terdapat ketidaksesuaian permukaan beton akibat adanya sisa bekisting yang menempel. Berdasarkan kondisi tersebut preferensi kriteria mutu dapat dilihat pada Tabel 12 berikut :

Tabel 12. Kriteria Mutu

Alternatif	Preferensi	Keterangan
I	$I = II : I > III$	Alt I, II, sama & lebih baik dari alt III
II	$II = I : II > III$	Alt II, I, sama & lebih baik dari alt III
III	$III < I : III < II$	Alt III kurang baik dari I & II

Berdasarkan preferensi kriteria mutu selanjutnya dilakukan analisis penilaian dengan menggunakan metode *zero one*, dapat dilihat pada Tabel 13 berikut :

Tabel 13. Penilaian *Zero-One* Fungsi Kriteria Mutu

Alt	I	II	III	Jumlah	Indeks
I	X	0,5	0	1/2	1/2
II	0,5	X	0	1/2	1/2
III	0	0	X	0	0

Fungsi Kriteria Waktu Pelaksanaan

Berdasarkan hasil analisis bahwa pekerjaan struktur paling cepat diselesaikan dengan menggunakan alternatif I. Dilanjutkan dengan alternatif II dan alternatif III. Preferensi waktu pelaksanaan dapat dilihat pada Tabel 14 berikut :

Tabel 14. Preferensi Waktu Pelaksanaan

Alternatif	Preferensi	Keterangan
I	$I < II : I > III$	Alt I kurang baik dari alt II, dan lebih baik dari alt III
II	$II > I : II > III$	Alt II lebih baik dari alt I, III
III	$III < I : III < II$	Alt III kurang baik dari alt I & II

Berdasarkan preferensi waktu pelaksanaan selanjutnya dilakukan analisis penilaian dengan menggunakan metode *zero one*, dapat dilihat pada tabel 15 berikut :

Tabel 15. Penilaian *Zero-One* Fungsi Kriteria Waktu Pelaksanaan

Alt	I	II	III	Jumlah	Indeks
I	X	0	1	1	1/3
II	1	X	1	2	2/3
III	0	0	X	0	0

Fungsi Kriteria Kemudahan Pelaksanaan

Alternatif yang menghasilkan durasi terpendek dinilai memiliki tingkat kemudahan pelaksanaan yang paling baik, sehingga alternatif yang memiliki tingkat kemudahan paling baik adalah menggunakan alternatif I. Preferensi kemudahan pelaksanaan dapat dilihat pada Tabel 16 berikut :

Tabel 16. Preferensi Kemudahan Pelaksanaan

Alternatif	Preferensi	Keterangan
I	$I < II : I > III$	Alt I kurang baik dari alt II, dan lebih baik dari alt III
II	$II > I : II > III$	Alt II lebih baik dari alt I, III
III	$III < I : III < II$	Alt III kurang baik dari alt I & II

Berdasarkan preferensi kemudahan pelaksanaan selanjutnya dilakukan analisis penilaian dengan menggunakan metode *zero one*, dapat dilihat pada Tabel 17 berikut :

Tabel 17. Penilaian *Zero-One* Fungsi Kriteria Kemudahan Pelaksanaan

Alt	I	II	III	Jumlah	Indeks
I	X	0	1	1	1/3
II	1	X	1	2	2/3
III	0	0	X	0	0

Penilaian Akhir (Pembobotan)

Penilaian akhir metode *zero one* adalah menentukan bobot berdasarkan index dari masing-masing alternatif.

Bobot = (Index x Bobot fungsi). Adapun penilaian masing-masing alternative dapat dilihat pada Tabel 18 berikut:

Tabel 18. Penilaian Masing-masing Alternatif

No	Alternatif	Kriteria Fungsi				Bobot (%)
		A	B	C	D	
1	I	40	30	20	10	25,00
		0/3	1/2	1/3	1/3	
		0	15	6,67	3,33	
2	II	2/3	1/2	2/3	2/3	61,67
		26,67	15	13,33	6,67	
3	III	1/3	0/2	0/3	0/3	13,36
		13,36	0	0	0	

Berdasarkan hasil wawancara, bahwa kriteria prioritas fungsi adalah penghematan biaya, mutu, waktu pelaksanaan, dan kemudahan pelaksanaan. Dari tabel di atas diperoleh bahwa alternatif II merupakan alternatif terbaik yang memiliki keunggulan bobot total tertinggi yaitu 61,67 %. Nilai bobot tersebut diperoleh berdasarkan analisis matrik evaluasi perengkungan dengan kriteria penghematan biaya 26,67%, mutu 15%, waktu pelaksanaan 13,33 % dan kemudahan pelaksanaan 6,67%

Kesimpulan:

Faktor dominan pemilihan metode kerja dan pemilihan alternatif terbaik untuk pekerjaan struktur pada proyek Hotel di Uluwatu adalah penghematan biaya, mutu, waktu pelaksanaan, kemudahan pelaksanaan. Dari hasil analisis diperoleh bahwa alternatif II yaitu metode kerja dengan menyewa scaffolding, bekisting menggunakan triplek tegofilm, pengangkutan material menuju lantai kerja dibantu oleh *tower crane*, beton yang digunakan adalah readymix, pekerjaan pengecoran plat lantai, kolom dan balok menggunakan *concrete pump* adalah metode kerja yang terbaik. Dengan menggunakan alternatif II biaya pelaksanaan adalah Rp 2.454.388.265, mutu beton terjamin dan hasil pengecoran tidak ada ketidaksesuaian. Dalam pemilihan metode kerja disesuaikan dengan kondisi lapangan.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam melakukan penelitian. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada tim project proyek Hotel di Uluwatu, atas bantuan dalam mengumpulkan data-data.

Daftar Pustaka

- Azis, S. 2016. Penerapan Rekayasa Nilai (Value Engineering) pada Pekerjaan Struktur Balok dan Kolom Gedung Poliklinik Universitas Brawijaya Malang. *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI 2016*
- Emanuel, F.G.A. 2012. *Studi Perbandingan Produktivitas dan Harga pada Pekerjaan Pasangan Bata Ringan dan Bata Merah*. Jogyakarta: Universitas Atma Jaya.
- Ervianto, W. 2010. *Manajemen Proyek Konstruksi*. Edisi 1. Yogyakarta: ANDI
- Ferdian, J., Isya, M., dan Rani, H. A. (2015). Penerapan Value Engineering Pekerjaan Bangunan Bawah Jembatan Pada Pekerjaan Pondasi Tiang Pancang (Studi Kasus: Penggandaan Jembatan Lamnyong Banda Aceh). Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala.
- Kartika, D. (2011). Penerapan Value Engineering Pada Proyek Pembangunan Puskesmas di Blitar. *Spectra*, 9(17), 48-57.
- Kembuan, A. S., Tjakra, J., dan Walangitan, D. R. (2016). Penerapan Value Engineering pada Proyek Pembangunan Gereja GMIM Syaloom Karombasan. *Jurnal Sipil Statik*, 4(2), 95 - 103
- Listiono, A. (2011). Aplikasi Value Engineering terhadap Struktur Pelat dan Balok pada Proyek Pembangunan Gedung Asrama Putra SMP MTA Gemolong. Laporan Tugas Akhir, NS-F.Teknik Jur.Teknik Sipil-I.0106028-2011, Surakarta
- Messah, Y. A., Widodo, T., dan Adoe, M. L. (2013). Kajian Penyebab Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Konstruksi Gedung Di Kota Kupang. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(2), 157-168.
- Nurhayati. 2010. *Manajemen Proyek*. Jogyakarta: Graha Ilmu.
- Pontoh, M. M., Tarore, H., Mandagi, R. J., dan Malingkas, G. Y. (2013). Aplikasi rekayasa nilai pada proyek konstruksi perumahan (studi kasus perumahan taman sari metropolitan Manado PT. Wika realty). *Jurnal Sipil Statik*, 1(5), 328 – 334.

(Halaman Ini Sengaja Dibiarkan Kosong)

Penerapan Sistem *Hybrid* pada Kepala Pilar Jembatan

Prima Sukma Yuana dan Boy Raja Agustinus Sihotang

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

prima.s.yuana@gmail.com, boyraja1996.br@gmail.com

Abstrak

Pemilihan metode konstruksi jembatan yang efektif sangat diperlukan untuk menghindari kemacetan selama proses konstruksi. Salah satu tipe struktur jembatan adalah sistem *hybrid* pada pilar jembatan. Sistem struktur *hybrid* mengkombinasikan material beton bertulang dengan baja. Sistem *hybrid* memiliki kelebihan dibandingkan beton bertulang karena tidak memerlukan pengecoran pada bagian kantilever kepala pilar sehingga proses ereksi menjadi lebih cepat. Pemodelan sistem *hybrid* pada pilar jembatan yaitu dengan merencanakan kepala pilar menggunakan rangka baja sedangkan badan pilar menggunakan beton bertulang. Kepala pilar dimodelkan terpisah dengan badan pilar, dan reaksi dari rangka baja akan disalurkan pada beton menggunakan shear stud. *Shear stud* perlu dipasang karena berfungsi untuk transfer gaya sehingga gaya yang bekerja pada struktur atas dapat tersalurkan sampai dengan pondasi.

Kata kunci: *hybrid*, pilar, jembatan

Abstract

The selection of effective bridge construction method should be conducted to prevent the traffic congestion during the construction. One of the bridge structures is hybrid system on the pier. In this research, a hybrid system combined reinforced concrete material with steel material. The hybrid system did not involve a casting process in the pier head cantilever, therefore, the implementation was faster than conventional concrete pier. The hybrid pier model was arranged separately using a steel frame on the pier head and reinforced concrete on the pier body. A shear stud was installed to transfer forces so that the forces acting on the upper structure can be channeled up to the foundation.

Keywords: *hybrid*, pier, bridge

1. Pendahuluan

Mayoritas pembangunan infrastruktur di Indonesia dilaksanakan dengan menggunakan konstruksi beton bertulang. Pemilihan tersebut berdasar dari melimpahnya bahan pembentuk beton bertulang di Indonesia. Salah satu proyek infrastruktur yang banyak dibuat saat ini adalah pembangunan jembatan layang yang tentunya memiliki konstruksi berupa *pier* dan girder. Jembatan layang dibuat sebagai salah satu cara untuk mengurai kepadatan lalu lintas. Khusus pembangunan di jalur yang rawan macet, diprediksi pengecoran kantilever beton akan menambah tingkat kemacetan dan juga menyebabkan terjadinya keterlambatan proyek, sehingga untuk mengantisipasi kemacetan yang mungkin terjadi perlu dibuat alternatif lain dalam pemilihan tipe struktur atas dan pilar yang sekarang sudah mulai digunakan yaitu sistem *hybrid*. (Dosen & Harapan, n.d.)

Sistem struktur *hybrid* mengkombinasikan material beton bertulang dengan baja. Sistem ini memiliki kelebihan dibandingkan beton bertulang karena tidak memerlukan pengecoran pada bagian kantilever kepala pilar. Pengecoran kantilever kepala pilar biasanya akan menimbulkan masalah pada lalu lintas di bawahnya, terutama apabila jembatan dibuat sejajar dengan jalan yang dilintasi. Pada pelaksanaannya, kepala pilar yang menggunakan struktur baja akan dipabrikasi secara terpisah, proses perangkaan kepala pilar dilakukan ketika volume lalu lintas relatif rendah, biasanya dini hari. Proses ereksi yang cepat merupakan keunggulan sistem ini karena tidak lagi dilakukan pengecoran pada bagian kantilever kepala pilar.

2. Metode

Studi ini menggunakan data perencanaan Jembatan *Off Ramp* Sukaraja sebagai data sekunder dalam membuat model. Jembatan ini terletak di daerah Ciawi-Jawa Barat. Lokasi studi dapat dilihat pada Gambar 1. Data yang digunakan pada penerapan sistem *hybrid* pada Jembatan *Off Ramp* Sukaraja berupa gambar teknis yang terdiri dari *layout* jembatan, gambar potongan jembatan, dan dimensi eksisting masing-masing pilar. *Layout* jembatan dan potongan memanjang jembatan disajikan pada Gambar 2 dan 3.

Info Makalah:

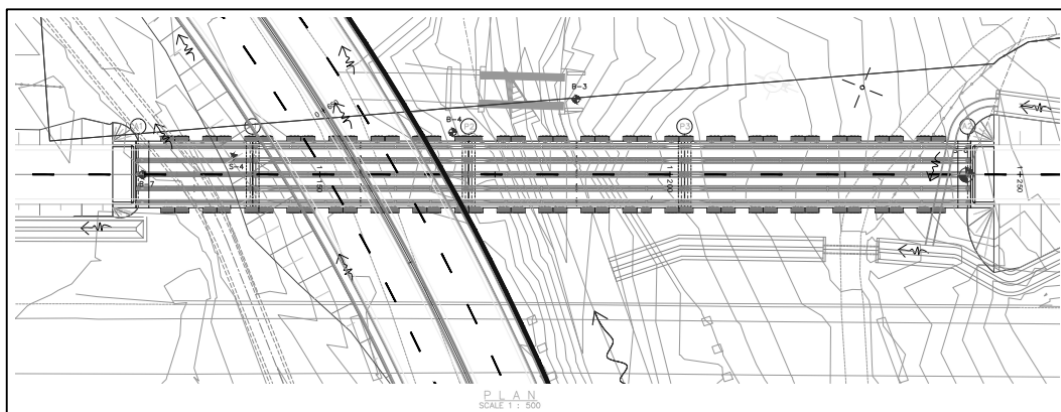
Dikirim : 08-16-19;
Revisi 1 : 10-21-19;
Revisi 2 : 02-05-20;
Diterima : 02-05-20.

Penulis Korespondensi:

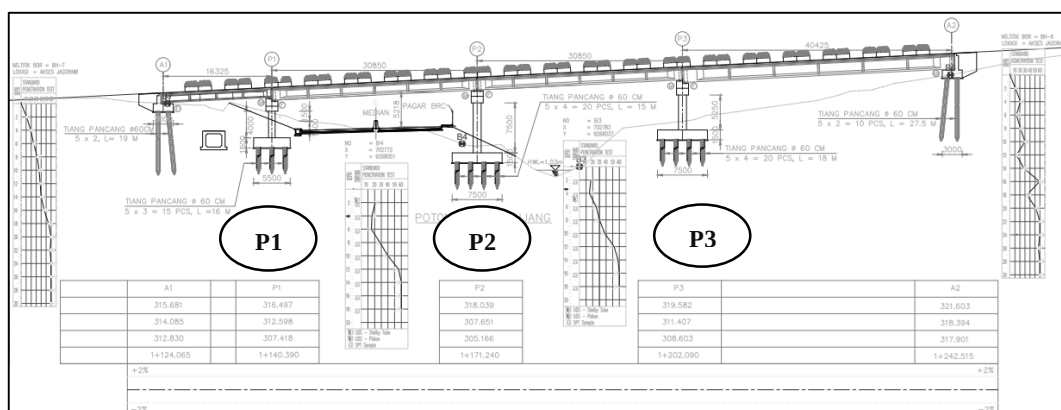
Telp : +62-8535-2337-730
e-mail : prima.s.yuana@gmail.com



Gambar 1. Lokasi Studi Kasus

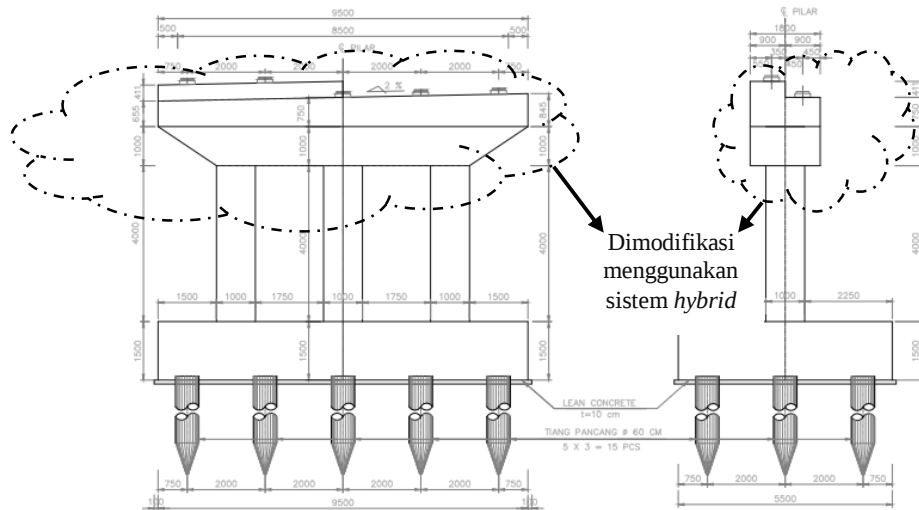


Gambar 2. Layout Jembatan

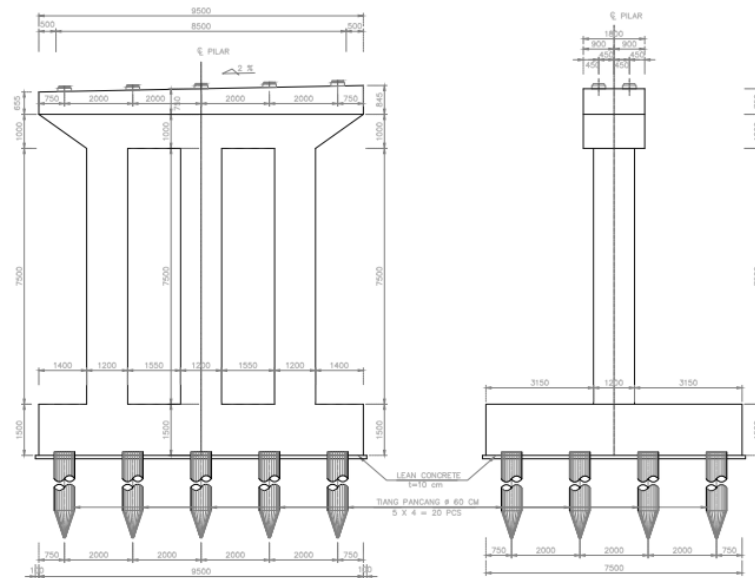


Gambar 3. Potongan Memanjang Jembatan

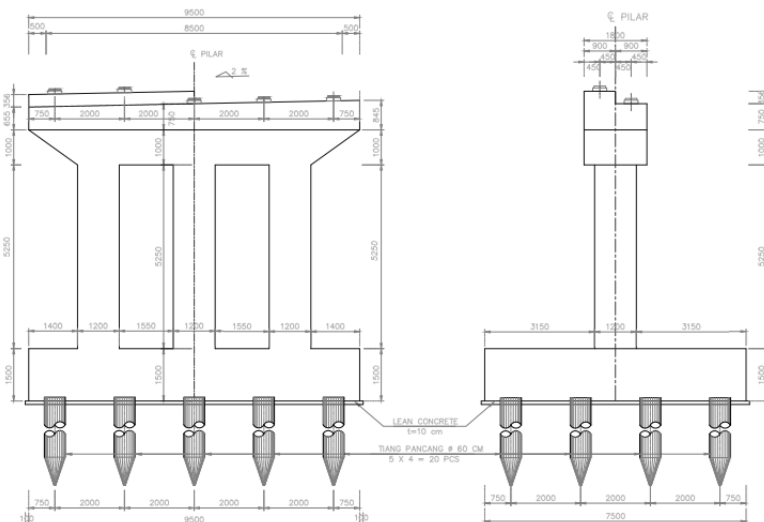
Jembatan *Off Ramp* Sukaraja memiliki tiga pilar terdiri dari empat bentang dengan tiga pilar yaitu P1, P2, dan P3 seperti ditunjukkan pada gambar 3. Ketiga kepala pilar tersebut akan dimodifikasi menggunakan sistem *hybrid*. Dimensi awal ketiga pilar dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan 6.



Gambar 4. Dimensi Awal Pilar P1



Gambar 5. Dimensi Awal Pilar P2



Gambar 6. Dimensi Awal Pilar P3

Dalam permodelan pilar jembatan yang menggunakan sistem *hybrid*, rangka baja sebagai kepala pilar dimodelkan terpisah dengan badan pilar yang menggunakan konstruksi beton bertulang. Reaksi dari rangka baja disalurkan pada beton menggunakan *shear-stud*. Selain itu, *shear-stud* juga berguna untuk memberikan kekangan lateral pada struktur. Kuat geser nominal *shear-stud* tunggal, Q_n yang tertanam pada pelat beton solid atau pelat beton komposit dengan pelat baja, dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$Q_n = 0,5A_{sa}\sqrt{f'_cE_c} \leq R_gR_pA_{sa}F_u \quad (1)$$

Catatan: Diameter dari suatu angkur *steel headed stud* tidak boleh lebih besar dari 2,5 kali ketebalan logam dasar yang digunakan untuk yang dilas, kecuali jika dilas pada bagian sayap balok secara langsung melalui badan.

Ketentuan untuk nilai R_g dan R_p ditabulasikan sebagai berikut pada Tabel 1.

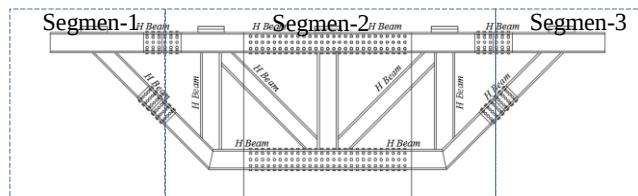
Tabel 1. Bantuan Praktis Menentukan R_g dan R_p

Kondisi	R_g	R_p
Tanpa pelat baja	1,0	0,75
Memakai pelat baja yang rusuknya paralel dengan arah profil balok		
– $W_r/h_r \geq 1,5$	1,0	0,75
– $W_r/h_r < 1,5$	0,8**	0,75
Memakai pelat baja yang rusuknya tegak lurus profil balok. Jumlah <i>shear stud</i> pada setiap rusuknya		
– 1 (satu)	1,0	0,6*
– 2 (dua)	0,85	0,6*
– 3 (tiga)	0,7	0,6*

Setelah memperoleh kuat geser nominal *shear-stud* tunggal maka jumlah *shear-stud* yang dipasang pada penampang baja kepala pilar dapat dihitung berdasarkan persamaan (2).

$$n = \frac{T_u}{Q_n} \quad (2)$$

Pada pelaksanaannya, konstruksi kepala pilar yang menggunakan rangka baja akan dibagi menjadi tiga segmen. Sistem sambungan yang digunakan terdiri dari sambungan las dan sambungan baut mutu tinggi (A325) dengan mekanisme slip-kritis, yang dirancang sekuat profil baja yang disambunginya. Skema pemodelan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Sambungan pada Kepala Pier.

Kuat tumpu rencana beton, $\phi_c P_n$ dengan $\phi_c = 0,65$, kuat tumpu beton dapat ditingkatkan karena adanya pengaruh kekangan (*confinement*) yang dapat dihitung berdasarkan persamaan (3) dan persamaan (4).

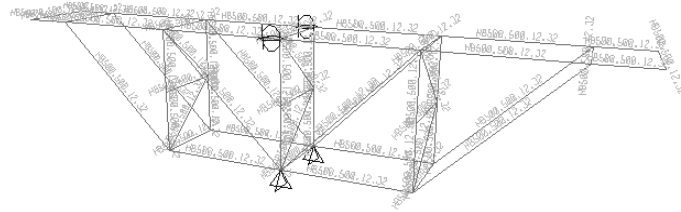
$$P_n = 0,85f'_cA_1\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7f'_cA_1 \quad (3)$$

$$R = \frac{P_u}{\phi_c P_n} \leq 1 \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Permodelan Kepala Pilar

Pemodelan kepala pilar dibuat terpisah menggunakan rangka baja. Tumpuan pada rangka baja yang kenyataannya adalah *shear stud* berfungsi sebagai penyalur beban dari baja ke beton. *Shear-stud* tersebut dimodelkan sebagai tumpuan sendi dan rol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Permodelan Kepala Pier.

Reaksi tumpuan sendi-rol pada kepala pilar akibat beban dari struktur atas tersebut kemudian akan digunakan untuk memperoleh kekuatan *shear-stud* tunggal dan menghitung jumlah *shear-stud* yang akan digunakan pada rancangan kepala pilar. Reaksi tumpuan akibat beban yang diterima kepala pilar juga akan digunakan sebagai beban pada badan pilar, yang nantinya reaksi tersebut dibutuhkan untuk memperoleh jumlah kebutuhan tulangan yang akan digunakan pada badan pilar sehingga dapat diatur konfigurasi terhadap kepala pilar.

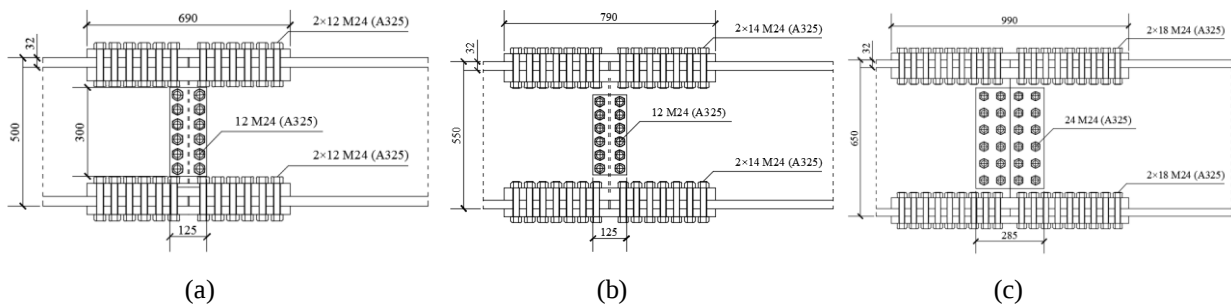
Sambungan Baut pada Kepala Pilar

Perancangan sambungan baut pada profil H-Beam dengan mutu baja $F_y = 250$ MPa dan $F_u = 410$ MPa direncanakan akan dipasang pada bagian kantilever kepala pilar. Berdasarkan analisis diperoleh profil seperti ditabulasikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Profil Baja pada Rancang Kepala Pilar

Jenis Struktur	Profil Rencana
Pilar P1	H-Beam 500.500.12.32
Pilar P2	H-Beam 550.550.12.32
Pilar P3	H-Beam 650.650.12.32

Berdasarkan perhitungan, jumlah baut untuk pelat sayap dan pelat badan dapat ditentukan. Pelat sambungan untuk sayap dan badan dipilih agar luas pelat sama atau lebih besar dari komponen yang disambung, sekaligus mengantisipasi pengaruh adanya reduksi luas akibat adanya lubang baut. Berikut detail sambungan pada pilar P1, P2, dan P3 yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Detail Sambungan Baut: (a) Pilar P1 (b) Pilar P2 dan (c) Pilar P3

Sambungan Las

Sambungan las digunakan untuk menyambung ketiga segmen pada kepala pilar yang dipabrikasi terpisah dengan lokasi konstruksi jembatan, sambungan las yang digunakan adalah tipe las tumpul (*butt weld*) pada kondisi *full penetration*. Mutu las yang digunakan pada rancang $F_{EXX} = 430$ MPa dengan $F_{nw} = 258$ MPa. Dengan panjang las perlu yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Panjang Las Perlu pada Profil

Jenis Struktur	Panjang Las Perlu (mm)
Pilar P1	2976
Pilar P2	3276
Pilar P3	3876

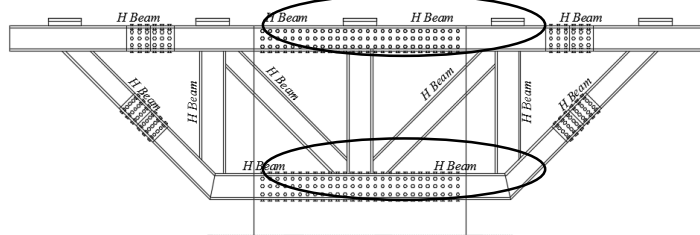
Kebutuhan Shear Connector

Shear connector atau *shear-stud* digunakan untuk mentransfer gaya lateral (horizontal) dari elemen baja ke beton. Pada perancangan ini digunakan *shear-stud* dengan diameter 16 mm dan kuat tarik $F_u = 450$ MPa. Berdasarkan analisis diperoleh jumlah *shear-stud* yang diperlukan pada masing-masing pilar yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah *Shear-Stud* yang Dibutuhkan Profil

Jenis Struktur	Jumlah <i>Shear-stud</i>
Pilar P1	138
Pilar P2	156
Pilar P3	180

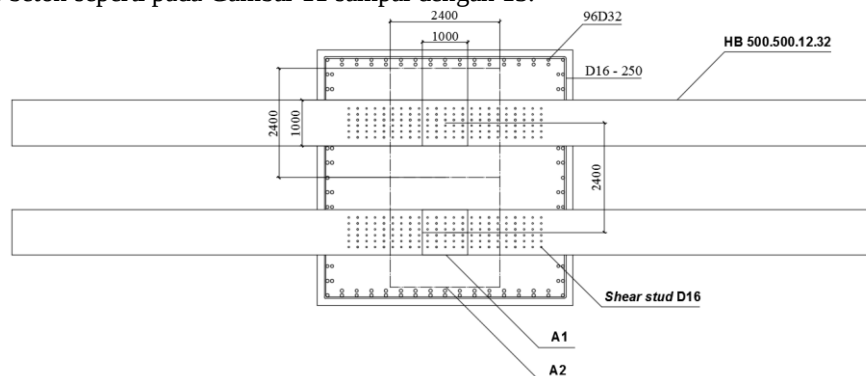
Shear-stud direncanakan dipasang pada segmen kedua kepala pilar yang ditunjukkan pada Gambar 10.



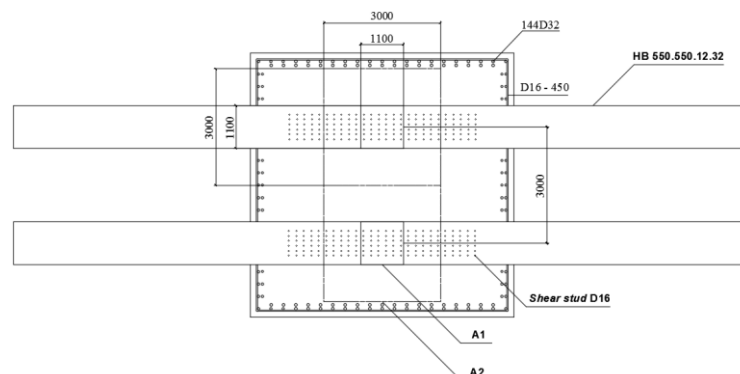
Gambar 10. Letak Pemasangan *Shear-Stud* pada Kepala Pilar

Tumpuan Struktur Baja pada Beton

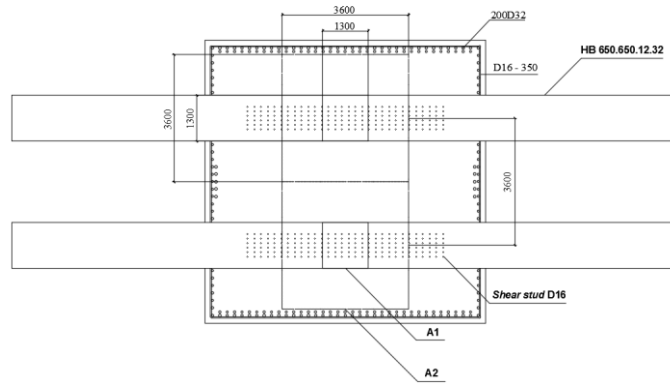
Transfer gaya dari struktur baja ke beton dianggap terjadi pada bidang permukaan beton seluas (A_2) di bawah permukaan bidang tumpu baja (A_1). Permukaan itu terjadi akibat distribusi gaya tumpu, yaitu sebagai luasan bawah piramida terpancung (A_2), dan bagian atasnya berupa bidang tumpu (A_1). Sisi miring yang menghubungkannya mempunyai rasio horizontal:vertikal sebesar 2:1. Denah dan potongan luasan A_1 dan A_2 untuk perhitungan mekanisme transfer gaya baja ke beton seperti pada Gambar 11 sampai dengan 13.



Gambar 11. Bidang Tumpu Baja (A_1) dan Bidang Evaluasi Tumpu Beton (A_2) Pilar P1



Gambar 12. Bidang Tumpu Baja (A_1) dan Bidang Evaluasi Tumpu Beton (A_2) Pilar P2



Gambar 13. Bidang Tumpu Baja (A₁) dan Bidang Evaluasi Tumpu Beton (A₂) Pilar P3

Kebutuhan Tulangan Badan Pilar

Setelah dilakukan analisis terhadap badan pilar, diperoleh nilai gaya dalam yang terjadi pada pilar akibat beban yang didistribusikan pada kepala pilar dan berat kepala pilar itu sendiri. Berikut kebutuhan tulangan badan pilar yang ditunjukkan pada Tabel 5 sampai dengan 7.

Tabel 5. Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pilar P1

Bagian Pilar	Tulangan Longitudinal	Tulangan Geser
Kolom	96D32	D16 – 250
Pile Cap	29D25	D32 – 150

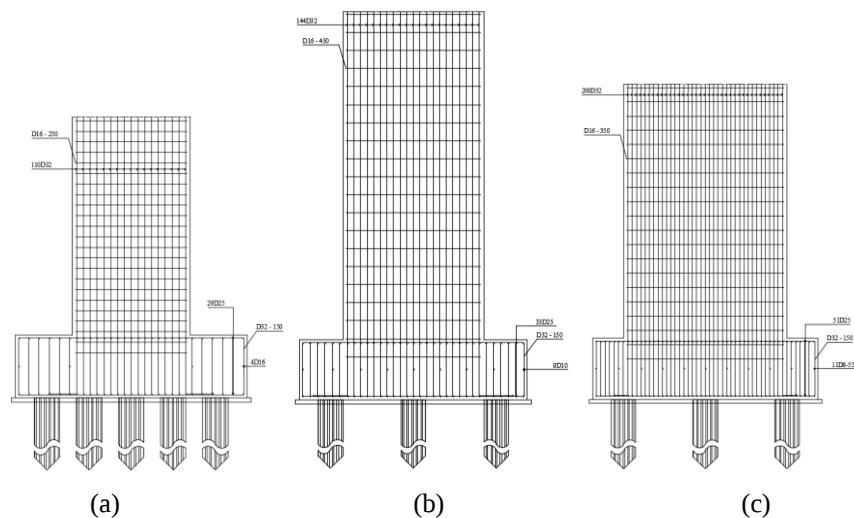
Tabel 6. Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pilar P2

Bagian Pilar	Tulangan Longitudinal	Tulangan Geser
Kolom	144D32	D16 – 450
Pile Cap	33D25	D32 – 150

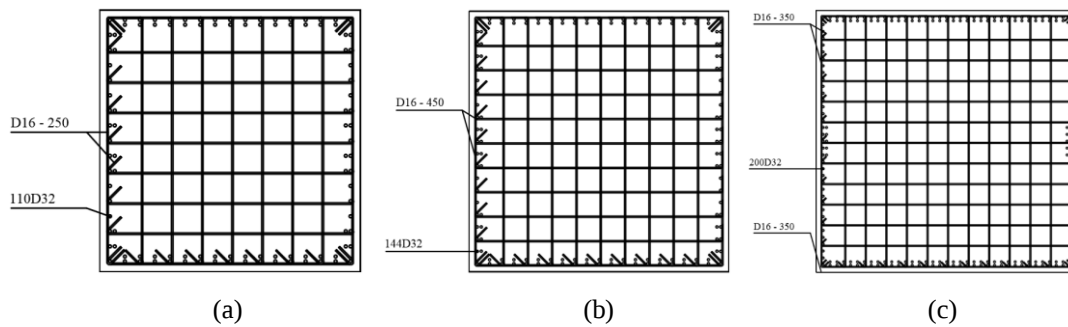
Tabel 7. Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pilar P3

Bagian Pilar	Tulangan Longitudinal	Tulangan Geser
Kolom	200D32	D16 – 350
Pile Cap	51D25	D32 – 150

Skema penulangan badan pilar dan kolom pilar dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 14. Skema Penulangan Badan Pilar: (a) Pilar P1 (b) Pilar P2 dan (c) Pilar P3



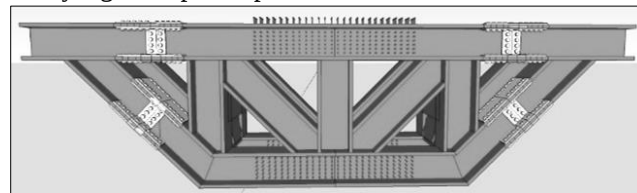
Gambar 15. Skema Penulangan Kolom Pilar: (a) Pilar P1 (b) Pilar P2 dan (c) Pilar P3

Metode Pelaksanaan Konstruksi

Metode pelaksanaan konstruksi pilar dengan metode *hybrid* adalah sebagai berikut:

1. Pabrikasi Struktur Baja Kepala Pilar

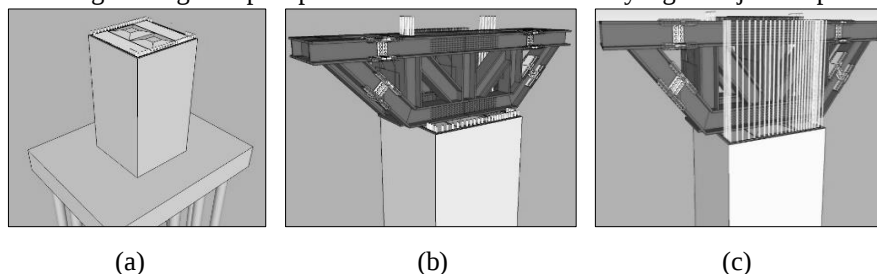
Pada tahap awal bagian tengah kepala pilar disambung terlebih dahulu kemudian dilakukan pengelasan semua bagian kepala pilar. Setelah dilakukan pengelasan sesuai rencana, kemudian kepala pilar dibagi menjadi tiga segmen sekaligus dipasang sambungan baut mutu tinggi sesuai rencana. Berikut rancang kepala pilar yang sudah dipabrikasi yang ditampilkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Rancang Kepala Pilar Setelah Dipabrikasi.

2. Pengecoran Kepala Pilar Terhadap Kolom

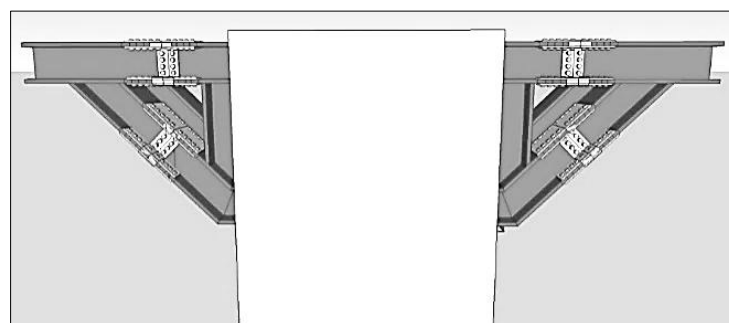
Berikut gambaran tahap konstruksi tumpuan pilar hingga kepala pilar terpasang dan diatur konfigurasi tulangan sebelum bagian tengah kepala pilar dicor secara keseluruhan yang ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Pengecoran Kepala Pilar: (a) Tumpuan (b) Pemasangan dan (c) Konfigurasi Tulangan

3. Pemasangan Segmen Kantilever Rangka Baja

Berikut gambaran tahap akhir dimana kepala pilar sudah terpasang sesuai rencana terhadap badan pilar yang ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Lengan Kantilever Baja yang Sudah Tersambung Sesuai Rencana

Kesimpulan

Sistem struktur *hybrid* mengkombinasikan material beton bertulang dengan baja. Sistem *hybrid* memiliki kelebihan dibandingkan beton bertulang karena tidak memerlukan pengecoran pada bagian kantilever kepala pilar sehingga proses ereksi menjadi lebih cepat. Hal ini efektif untuk mencegah timbulnya kemacetan terutama apabila jembatan dibuat sejajar dengan jalan yang dilintasi.

Struktur kepala pilar dibagi menjadi tiga segmen. Segmen kedua atau bagian tengah kepala pilar ditanam bersama kolom beton. Oleh karena itu untuk mekanisme transfer gaya perlu dipasang *shear-stud* sehingga gaya yang bekerja dapat tersalurkan sampai dengan pondasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak yang terlibat dalam proses studi ini, baik berupa bantuan dalam pengumpulan data, maupun atas diskusinya yang bermanfaat.

Daftar Notasi

A_{sa}	= Luas Penampang <i>Shear Stud</i> [mm ²]
E_c	= Modulus Elastisitas Beton [MPa]
F_u	= Kuat Tarik Minimum <i>Shear Stud</i> [MPa]
T_u	= Kuat Tarik Maksimum Baja [kN]
Q_n	= Kuat Geser Nominal <i>Shear-Stud</i> Tunggal [kN]
f'_c	= Mutu Beton [MPa]
$\phi_c P_n$	= Kuat Tumpu Rencana Beton [kN]
A_1	= Luas Tumpu Baja [mm ²]
A_2	= Luas Tumpu Kritis Beton [mm ²]
P_u	= Reaksi Tumpuan Kepala Pilar Rangka Baja [kN]
R	= Rasio Kuat Tumpu Rencana Beton

Daftar Pustaka

- Dosen, W. D., & Harapan, U. P. (n.d.). *Desain & Konstruksi Hybrid Pier Proyek LRT Palembang*. 1–11.
- Dewobroto, W. (2016). *Struktur Baja – Perilaku, Analisis & Rancang – AISC 2010, Edisi ke-2*, Penerbit Jurusan Teknik Sipil UPH, Tangerang.
- AISC. (2010). *Specification for Structural Buildings*, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago(IL).
- ACI. (2011). *Building Code Requirements for Reinforcement Concrete and Commentary –ACI 318-11/ACI 318R-11*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- Badan Standarisasi Nasional. (2005). SNI 1725:2016 Tentang Pembebanan Untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI 2847:2013 Tentang Perencanaan Struktur Beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 1729:2016 Tentang Perencanaan Struktur Baja. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 2833:2016 Tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

(Halaman Ini Sengaja Dibiarkan Kosong)

Pengaruh H₂O₂ dalam Metode Koagulasi Pengolahan Air Payau Menggunakan Koagulan PAC dan Aluminium Sulfat

Bambang Hari Prabowo, Zahra Nursaidah, dan Febby Safitri

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

bambang.hari@lecture.unjani.ac.id; zahranursaidah1@gmail.com; febby114@gmail.com

Abstrak

Air payau adalah air yang disebabkan oleh intrusi air laut ke sumber air tawar, dengan komposisi kandungan garam antara 0,5 - 30 g per Liter. Di daerah-daerah tertentu sering digunakan oleh penduduk di sekitar pantai sebagai kebutuhan sehari-hari, seperti mandi, mencuci pakaian dan lainnya. Air payau masih sulit diolah menjadi air tawar. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menemukan metode alternatif yang dapat digunakan untuk pengolahan air payau. Studi ini menguji efisiensi mengurangi salinitas air payau, dan untuk mengurangi nilai TDS, TSS, pH, dan cadangan Kekeruhan menggunakan koagulasi dengan metode koagulan. Variasi yang digunakan untuk koagulasi adalah kecepatan pengadukan 100 rpm dan dosis koagulan 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm dan 100 ppm. Hasil yang diperoleh pada penggunaan koagulan PAC dengan pengurangan TDS sebesar 19,94%, TSS sebesar 38,09%, Kekeruhan 85,83%, kadar Na 0,64% dan kadar Mg sebesar 11,61%. Sedangkan penggunaan koagulan aluminium sulfat dengan reduksi TDS 17,59%, TSS 38,74%, Kekeruhan 85,10%, kadar Mg 53,79% dan kadar Na 40,12%, koagulan aluminium sulfat dan PAC tidak mempengaruhi penurunan ukuran Cl.

Kata kunci: koagulasi, air payau, PAC, aluminium sulfat, TDS.

Abstract

Brackish water is water caused by intrusion of sea water into fresh water sources, with a composition of salt content between 0.5 - 30 g per Liter. In certain areas often used by residents around the coast as daily necessities, such as bathing, washing clothes and others. Brackish water is still difficult to be processed into fresh water. Therefore, efforts are needed to find alternative methods that can be used for brackish water treatment. This study examines the efficiency of reducing brackish water salinity, and to reduce the value of TDS, TSS, pH, and Turbidity reserves using coagulation with coagulant methods. Variations used for coagulation are the stirring speed of 100 rpm and coagulant doses of 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm and 100 ppm. The results obtained on the use of PAC coagulants with a reduction in TDS of 19.94%, TSS of 38.09%, Turbidity of 85.83%, Na levels of 0.64% and Mg levels of 11.61%. While the use of aluminum sulfate coagulant with TDS reduction of 17.59%, TSS 38.74%, Turbidity 85.10%, Mg levels of 53.79% and Na levels of 40.12%, aluminum sulfate coagulants and PAC did not affect the decrease in Cl measure.

Keywords: Coagulation, brackish water, PAC, aluminium sulfate, TDS.

1. Pendahuluan

Menurut Alaerts dan Santika (Yulianti, 2006), jenis partikel koloid merupakan penyebab kekeruhan dalam air (efek *tyndal*) yang disebabkan oleh penyimpangan sinar nyata yang menembus suspensi tersebut. Partikel-partikel koloid tidak terlihat secara visual sedangkan larutannya (tanpa partikel koloid) yang terdiri dari ion-ion dan molekul-molekul tidak pernah keruh. Larutan tidak keruh jika terjadi pengendapan (presipitasi) yang merupakan keadaan kejenuhan dari suatu senyawa kimia.

Partikel koloid dalam air sulit mengendap secara normal (Yulianti, 2006). Partikel koloid mempunyai muatan, penambahan koagulan akan menetralkan muatan tersebut. Partikel netral akan saling berikatan membentuk flok-flok besar dari partikel koloid yang berukuran sangat kecil. Hal ini disebut sebagai proses flokulasi.

Koagulasi diartikan sebagai proses kimia fisik dari pencampuran bahan kimia kedalam bentuk larutan tercampur. Flokulasi adalah proses penambahan flokulan pada pengadukan lambat untuk meningkatkan saling hubung antar partikel yang goyah sehingga meningkatkan penyatuannya (aglomerasi) (Yulianti, 2006).

Untuk mendorong pembentukan agregat partikel maka harus diambil langkah-langkah tertentu guna mengurangi muatan atau mengatasi pengaruh muatan partikel (Yulianti, 2006). Pengaruh muatan dapat diatasi dengan : (1) penambahan ion berpotensi menentukan muatan sehingga terserap atau bereaksi dengan permukaan koloid untuk mengurangi muatan permukaan, atau penambahan elektrolit yang akan memberikan pengaruh mengurangi ketebalan lapisan difusi listrik sehingga mengurangi zeta potensial, (2) penambahan molekul organik berantai panjang (polimer) yang sub-bagiannya dapat diberi muatan sehingga disebut polielektrolit, hal ini menyebabkan penghilangan partikel melalui adsorpsi dan pembuatan penghubung (*bridging*), dan (3) penambahan bahan kimia yang membentuk ion-ion yang terhidrolisis oleh logam.

Info Makalah:

Dikirim : 10-24-19;

Revisi 1 : 12-16-19;

Revisi 2 : 01-27-20;

Diterima : 02-11-20.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-8172-2950-8

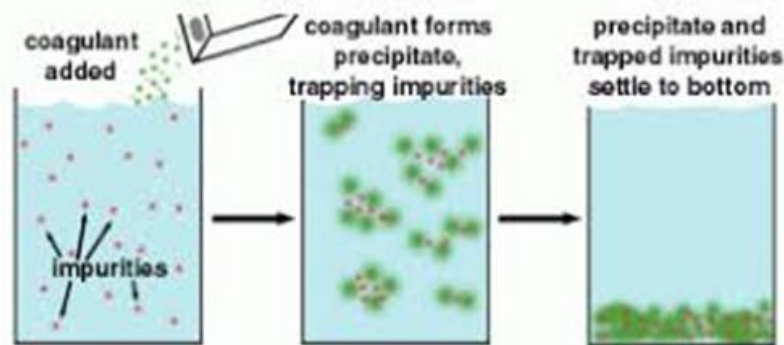
e-mail : bambang.hari@lecture.unjani.ac.id

Dua gaya yang menentukan kekokohan koloid adalah, (1) gaya tarik menarik antar partikel yang disebut dengan gaya Van der Waals, cenderung membentuk agregat yang lebih besar, (2) gaya tolak menolak yang disebabkan oleh pertumpangtindihan lapisan tanda elektrik yang bermuatan sama yang mengakibatkan kekokohan dispersi koloid (Yulianti, 2006).

Agar proses destabilisasi efektif, molekul polimer harus mengandung kelompok kimia yang dapat berinteraksi dengan permukaan partikel koloid. Pada saat terjadi kontak antara molekul polimer dengan partikel koloid, beberapa dari kelompok kimia pada polimer terserap ke permukaan partikel, meninggalkan molekul polimer yang tersisa pada larutan. Apabila terjadi kontak antar molekul polimer yang tersisa dengan partikel keduanya yang memiliki permukaan adsorpsi yang kosong, maka akan terjadi ikatan. Partikel polimer kompleks akan terbentuk dengan polimer sebagai penghubung. Jika partikel kedua tidak dapat berikatan, maka seiring dengan waktu bagian polimer yang tersisa perlahan akan terserap pada permukaan partikel yang lain, sehingga polimer tidak dapat lagi berfungsi sebagai penghubung.

Dosis polimer yang berlebih akan mengakibatkan koloid menjadi stabil kembali karena tidak adanya ruang untuk membentuk penghubung antar partikel. Pada kondisi tertentu, suatu sistem yang telah didestabilisasi dan membentuk agregat dapat menjadi stabil kembali dengan meningkatkan agitasi, akibat putusnya polimer permukaan partikel dan proses berulang antara polimer tersisa dengan permukaan partikel (Yulianti, 2006).

Koagulasi adalah proses penambahan koagulan kedalam air baku yang menyebabkan terjadinya destabilisasi dari partikel koloid agar terjadi agregasi dari partikel yang telah terdestabilisasi tersebut. Dengan penambahan koagulan, kestabilan koloid dapat dihancurkan sehingga partikel koloid dapat menggumpal (Yulianti, 2006). Mekanisme Proses koagulasi dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Koagulasi (Leeuwen, 1999).

Tujuan dari koagulasi adalah mengubah partikel padatan dalam air baku yang tidak bisa mengendap menjadi mudah mengendap. Hal ini karena adanya proses pencampuran koagulan kedalam air baku sehingga menyebabkan partikel padatan yang mempunyai berat ringan dan ukurannya kecil menjadi lebih berat dan ukurannya besar (flok) yang mudah mengendap (Hendricks, 2006).

Proses koagulasi dapat dilakukan melalui tahap pengadukan antara koagulan dan air baku netralisasi muatan. Prinsip dari koagulasi yaitu didalam air baku terdapat partikel-partikel padatan yang sebagian besar bermuatan listrik negatif. Partikel-partikel ini cenderung untuk saling tolak menolak satu sama lainnya sehingga tetap stabil dalam bentuk tersuspensi atau koloid dalam air. Netralisasi muatan negatif partikel-partikel padatan dilakukan dengan pembubuhan koagulan bermuatan positif ke dalam air diikuti dengan pengadukan secara tepat (Metcalf and Eddy, Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 1991).

Bila garam-garam logam tertentu seperti koagulan PAC ditambahkan maka pembentukan presipitat akan terjadi dengan cepat. Koloid dapat berlaku sebagai inti kondensasi dalam presipitat tersebut dalam koloid ikut terjaring ketika presipitat tersebut mengendap. Pengendapan partikel dengan cara ini disebut sebagai koagulasi *sweepflock* (Susanto, 2008).

2. Metode

Koagulan yang digunakan adalah koagulan yang banyak dijual dipasar secara bebas yaitu tawas dan PAC dan harganya yang terjangkau. Air payau dilakukan analisis awal terlebih dahulu dengan mengukur turbiditas, TDS, TSS, pH, kadar natrium, kadar magnesium dan kadar klorida. Air payau (sample) dimasukkan ke dalam 5 gelas kimia sebanyak 1000 ml, kemudian ditambahkan H₂O₂ 5% sebanyak 5 ml. Dilakukan pengadukan dengan kecepatan 100 rpm selama 5 menit, kemudian diendapkan selama 2 jam setelah itu memasukan koagulan tawas dengan dosis 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm, dan 100 ppm. Melakukan pengadukan kembali dengan kecepatan 100 rpm selama 5 menit. Dilanjutkan dengan pengendapan selama 120 menit. Kemudian dilakukan analisis, dengan mengukur turbiditas, TDS, TSS, pH, kadar Na, kadar Mg dan Cl dari setiap variasi dosis. Kemudian melakukan analisis dengan langkah yang sama dengan menggunakan koagulan PAC.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Data Hasil Analisis Air Payau Sebelum Menggunakan Koagulan Alumunium Sulfat.

Sampel	pH	TDS (ppm)	TSS (gram)	Turbiditas (NTU)
Sampel 1	8	8639	0,1131	2,97
Sampel 2	8	8243	0,116	3,57
Sampel 3	8	9691	0,1156	6,04
Sampel 4	8	9162	0,118	2,97
Sampel 5	8	8836	0,1115	3,86

Tabel 2. Data Hasil Analisis Air Payau Sebelum Menggunakan Koagulan PAC

Sample	pH	TDS (ppm)	TSS (gram)	Turbiditas (NTU)
Sample 1	8	8496	0,0995	1,84
Sample 2	8	9863	0,1195	3,01
Sample 3	8	9817	0,0908	2,74
Sample 4	8	9211	0,1024	5,08
Sample 5	8	9293	0,0833	4,2

Berikut ini Tabel data hasil analisis akhir pada pengolahan air payau menggunakan koagulan Alumunium Sulfat:

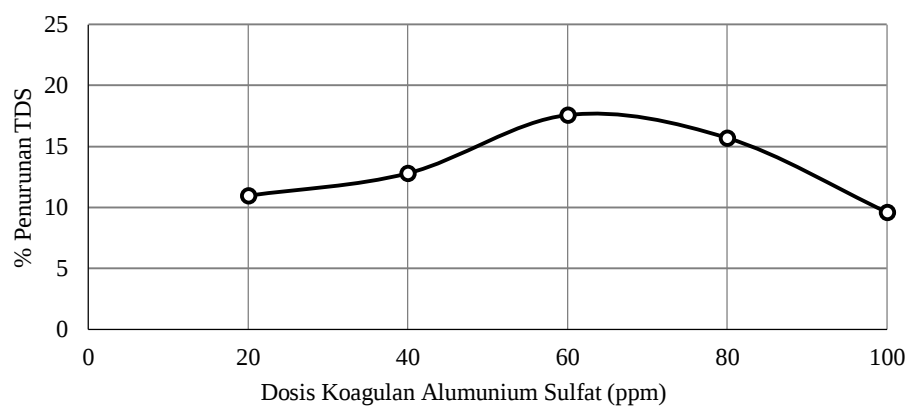
Tabel 3. Data Hasil Analisis Air Payau Setelah Menggunakan Koagulan Alumunium Sulfat.

Dosis koagulan (ppm)	pH	TDS (ppm)	TSS (gram)	Turbiditas (NTU)	% TDS	% Turbiditas	% TSS
20	7	7693	0,1556	0,93	10,95	68,69	27,31
40	7	7188	0,1695	0,82	12,80	77,03	31,56
60	7	7986	0,1887	0,9	17,59	85,10	38,74
80	7	7723	0,1815	0,75	15,71	74,75	34,99
100	7	7989	0,1651	0,82	9,59	78,76	32,47

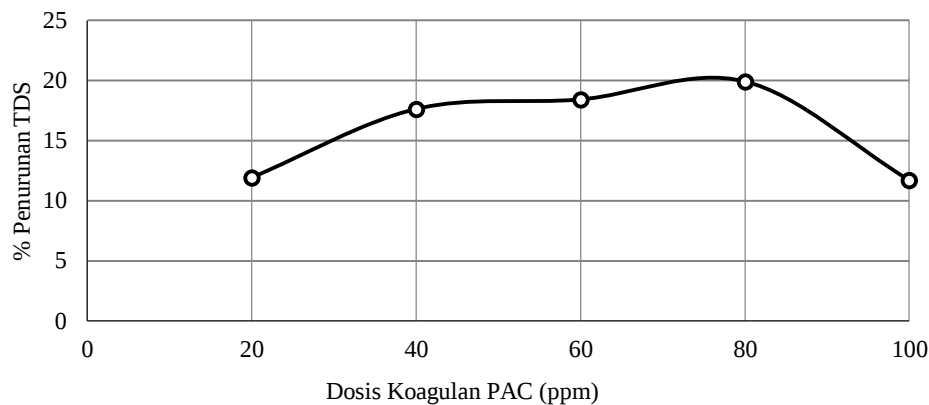
Berikut adalah Tabel data hasil analisis akhir pada pengolahan air payau menggunakan koagulan PAC :

Tabel 4. Data Hasil Analisis Air Payau Setelah Menggunakan Koagulan PAC

Dosis koagulan (ppm)	pH	TDS (ppm)	TSS (gram)	Turbiditas (NTU)	% TDS	% Turbiditas	% TSS
20	7	7480	0,1318	0,78	11,96	57,61	24,51
40	7	8122	0,173	0,71	17,65	74,75	30,92
60	7	7859	0,1425	0,75	18,45	75,18	36,28
80	7	7688	0,1654	0,72	19,94	85,83	38,09
100	7	7237	0,1273	0,7	11,75	83,33	34,56

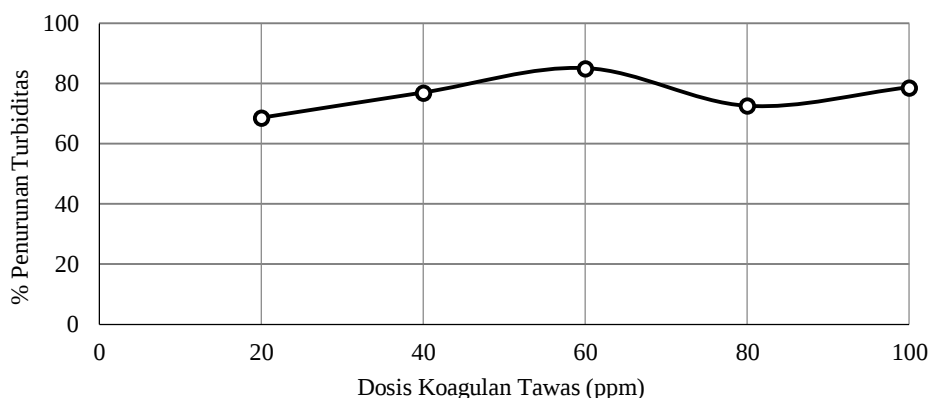


Gambar 2. Dosis koagulan Alumunium Sulfat terhadap % penurunan TDS

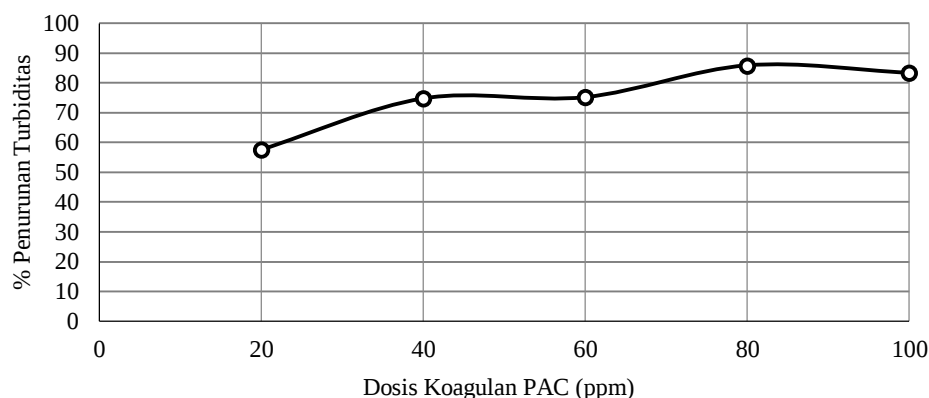


Gambar 3. Dosis koagulan PAC terhadap % penurunan TDS

TDS atau *Total Dissolved Solid* merupakan indikator dari jumlah partikel atau zat tersebut, baik berupa senyawa organik maupun non-organik. Zat atau partikel padat terlarut yang ditemukan dalam air dapat berupa natrium, kalsium, magnesium, kalium, karbonat, nitrat, bikarbonat, klorida dan sulfat. Koagulan dapat memengaruhi nilai TDS yang akan semakin besar atau semakin kecil, sampai pada batas kadar koagulan yang sesuai dengan kebutuhan air payau tersebut, sehingga dapat menurunkan kadar salinitas air payau. Pada gambar 2. dengan penambahan koagulan tawas dengan konsentrasi koagulan 20 ppm – 60 ppm nilai persentase penurunan TDS semakin meningkat. Pada konsentrasi koagulan 80 ppm dan 100 ppm mengalami penurunan, dikarenakan koagulan yang ditambahkan pada air payau berlebih dan terjadi deflokulasi, sehingga akan terbentuk kembali koloid dalam air, hal ini memungkinkan nilai TDS menjadi semakin bertambah. Hasil yang mendekati optimum pada penambahan koagulan tawas yaitu pada 60 ppm sebesar 17,59% . sama halnya dengan koagulan PAC dilihat pada gambar 3. konsentrasi 20 ppm – 80 ppm penurunan TDS semakin meningkat dan pada konsentrasi 100 ppm terjadi penurunan. Hasil yang mendekati optimum pada penambahan koagulan tawas yaitu pada 80 ppm sebesar 19,94%.

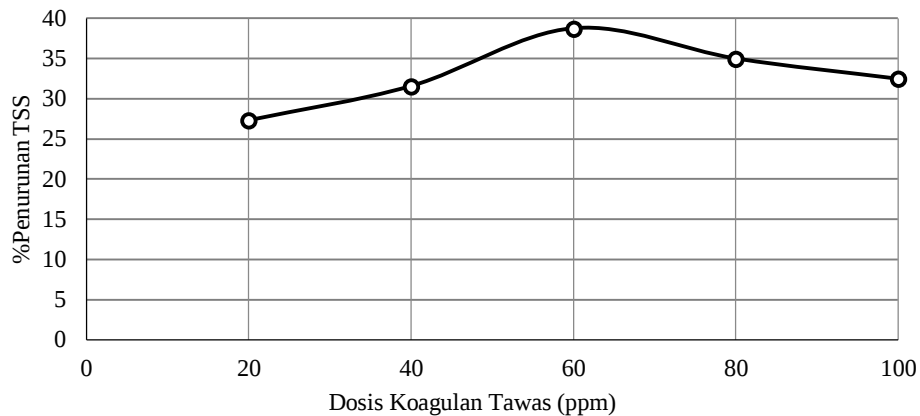


Gambar 4. Dosis koagulan Aluminium Sulfat terhadap % penurunan Turbiditas

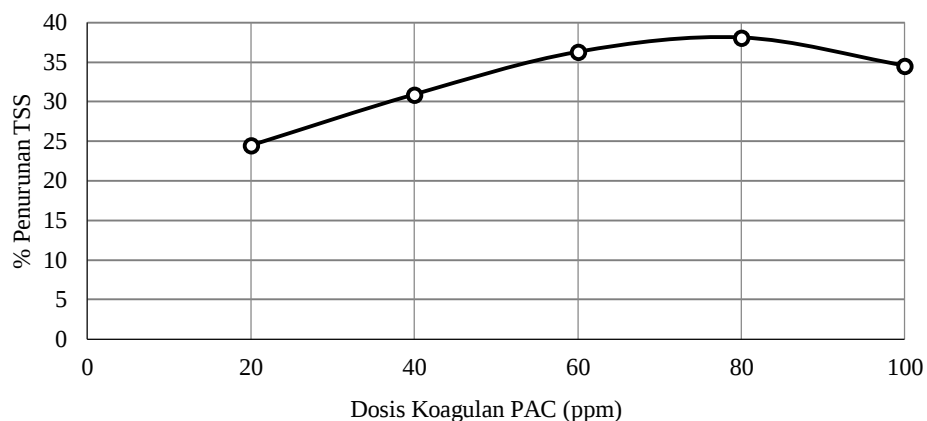


Gambar 5. Dosis koagulan PAC terhadap % penurunan Turbiditas

Pada Gambar 4. dan Gambar 5. diatas dapat dilihat pengaruh konsentrasi koagulan Tawas dan PAC terhadap turbiditas sampel, penurunan nilai kekeruhan dari air payau menjadi jernih, disebabkan oleh pengikat zat-zat koloid dan atau zat tersuspensi oleh bahan kimia koagulan (Al^{3+}) dapat membentuk flok-flok. pengotor yang terdapat dalam air payau terlihat menjadi flok-flok sehingga mudah untuk di endapkan. Pada Gambar 4. dan Gambar 5. diatas menghasilkan nilai yang fluktuatif, pada rentang dosis koagulan tawas 20 ppm – 60 ppm nilai persentase penurunan tubiditas semakin meningkat. Pada konsentrasi 80 ppm dan 100 ppm mengalami penurunan. Dikarenakan Koagulan dapat mempengaruhi nilai turbiditas yang akan semakin besar atau semakin kecil, sampai pada batas kadar koagulan yang sesuai dengan kebutuhan air payau tersebut. Hasil yang mendekati optimum ditunjukan pada dosis koagulan tawas 60 ppm sebesar 85,10%. Sama halnya dengan koagulan PAC dilihat pada gambar 5. konsentrasi 20 ppm – 80 ppm mengalami peningkatan penurunan nilai persentase turbiditas. dan pada konsentrasi 100 ppm terjadi penurunan. Untuk koagulan PAC menghasilkan nilai yang mendekati optimum pada dosis koagulan 80 ppm yaitu 85,83%.



Gambar 6. Dosis koagulan Alumunium Sulfat terhadap % penurunan TSS



Gambar 7. Dosis koagulan PAC terhadap % penurunan TSS

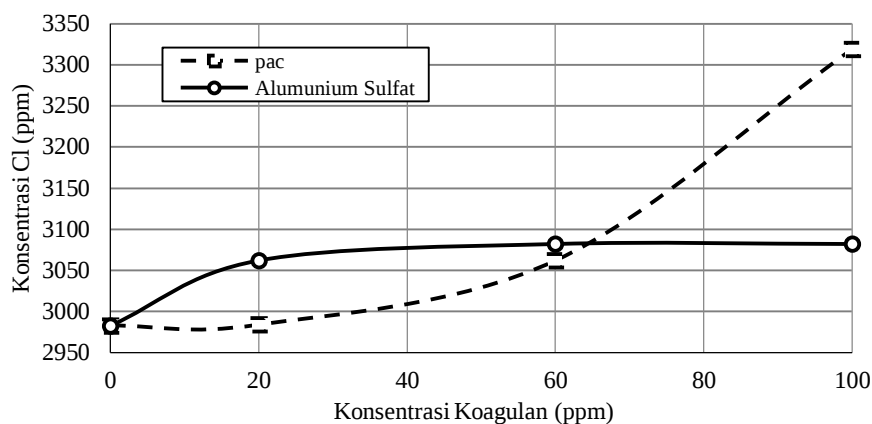
Total Suspended Solid (TSS) atau padatan tersuspensi total adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 μ m atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Dari Gambar 6. penambahan dosis koagulan alumunium sulfat pada rentang 20 ppm – 60 ppm nilai persentase penurunan TSS semakin meningkat. nilai TSS dipengaruhi oleh kadar koagulan yang ditambahkan. Hal ini dapat dijelaskan dengan semakin banyak koagulan yang ditambahkan maka semakin banyak pula partikel koloid dalam air payau dan membentuk flok sehingga nilai penurunan TSS menjadi meningkat. Pada dosis 80 ppm – 100 ppm terjadi penurunan, dikarenakan jumlah TSS yang terbentuk menjadi sedikit hal ini diduga terjadi proses adsorpsi kation yang berlebih oleh partikel koloid dalam air sehingga menyebabkan deflokulasi atau restabilisasi koloid kembali. Tidak semua partikel ini dapat diendapkan karena gaya gravitasi, sebagian partikel masih dapat disaring, dan tertahan oleh medium penyaring.

Hasil yang mendekati optimum pada penambahan koagulan tawas 60 ppm yaitu 38,74%, dan pada koagulan PAC 80 ppm yaitu 38,09%.

Berikut adalah Tabel data hasil analisis kadar garam pada pengolahan air payau menggunakan koagulan PAC dan Alumunium sulfat :

Tabel 5. Data hasil analisis kadar garam pada pengolahan air payau menggunakan koagulan PAC dan Alumunium sulfat

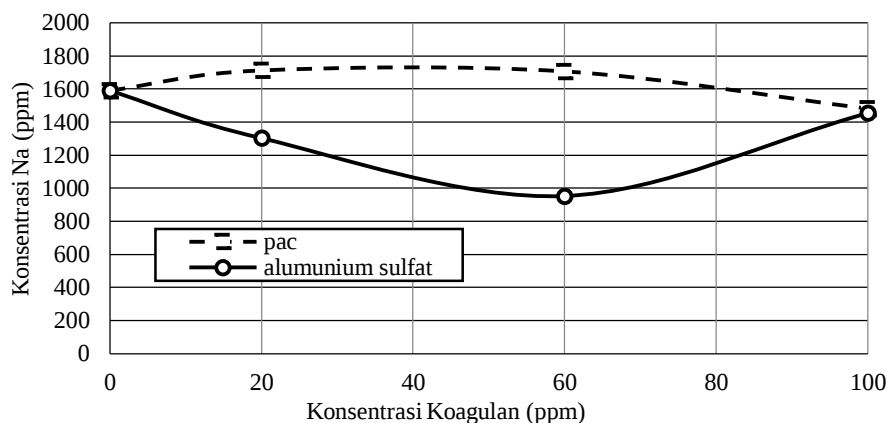
Jenis Koagulan	[Koagulan] Ppm	[Klorida] ppm	[Natrium] ppm	[Magnesium] ppm	%Cl	%Na	%Mg
Sample Awal	0	2983	1591	177,57	-	-	-
PAC	20	2964	1712	177,18	0,64	-7,61	0,22
	60	3062	1706	181,05	-2,65	-7,23	-1,96
	100	3319	1482	156,96	-11,26	6,85	11,61
Alumunium Sulfat	20	3062	1303	125,37	-2,65	18,10	29,40
	60	3082	952,71	82,06	-3,32	40,12	53,79
	100	3082	1455	169,51	-3,32	8,55	4,54



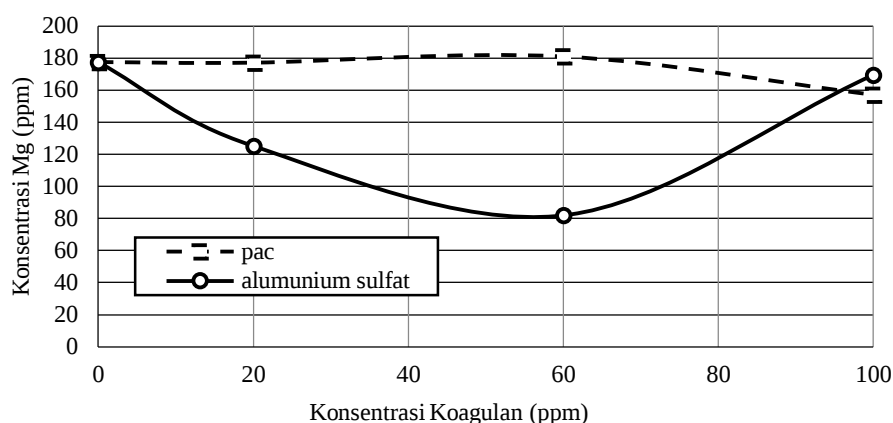
Gambar 8. Konsentrasi Koagulan terhadap Konsentrasi Cl

Kemampuan penurunan konsentrasi klorida menggunakan koagulan PAC dan alumunium sulfat tidak mempengaruhi penurunan konsentrasi klorida pada air payau. Pada kisaran konsentrasi koagulan PAC 60 sampai 100 ppm konsentrasi klorida justru bertambah, dikarenakan pada koagulan PAC mengandung Cl yang menyebabkan konsentrasi Cl bertambah. Sedangkan untuk hasil dari koagulan alumunium sulfat terdapat kenaikan konsentrasi klorida yang sedikit disebabkan karena adanya estimasi ketidakpastiaan pengukuran. Untuk penurunan konsentrasi Cl pada air payau yaitu menggunakan metode titrasi argentometri.

Pada penurunan konsentrasi Na menggunakan koagulan PAC dan alumunium sulfat, dapat dilihat dari Gambar 8. alumunium sulfat lebih efektif untuk penurunan konsentrasi Na dibanding menggunakan koagulan PAC. Karena pada penambahan koagulan alumunium sulfat senyawa $(SO_4)^{2-}$ dapat mengikat Na^+ membentuk senyawa Na_2SO_4 yang mampu mengendap, sehingga menurunkan konsentrasi Na pada air payau yang menghasilkan hasil yang optimum pada penambahan koagulan 60 ppm yang dapat menurunkan konsentrasi Natrium sampai dengan 40,12%. Sedangkan pada koagulan PAC penurunan konsentrasi natrium, pada penambahan koagulan 100 ppm hanya mampu menurunkan kadar Na sekitar 6,85%. Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan alat MP-AES.



Gambar 9. Konsentrasi Koagulan terhadap Konsentrasi Na



Gambar 10. Konsentrasi Koagulan terhadap Konsentrasi Mg

Gambar 10. menunjukkan kurva kemampuan koagulan alumunium sulfat yang lebih efektif untuk menurunkan konsentrasi Mg dibanding menggunakan koagulan PAC, karena pada penambahan koagulan alumunium sulfat, senyawa $(\text{SO}_4)^{2-}$ dapat mengikat Mg^{+} terbentuk senyawa MgSO_4 , sehingga mampu menurunkan konsentrasi Mg pada air payau. Hasil yang optimum pada penambahan koagulan 60 ppm yang dapat menurunkan konsentrasi Magnesium sampai dengan 53,79%. Sedangkan pada koagulan PAC untuk menurunkan konsentrasi Magnesium, pada penambahan koagulan 100 ppm hanya mampu menurunkan kadar Mg sekitar 11,61%. Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan alat MP-AES.

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah kami lakukan dapat disimpulkan bahwa koagulan alumunium sulfat mampu menurunkan TDS sebesar 17,59%, Turbiditas sebesar 85,10% dan TSS sebesar 38,74% pada penggunaan alumunium sulfat sebesar 0,06 gram (60 ppm). Sedangkan untuk koagulan PAC mampu menurunkan TDS sebesar 19,94% , Turbiditas sebesar 85,83% dan TSS sebesar 38,09% pada penggunaan PAC sebesar 0,08 gram (80 ppm).

Kedua koagulan baik alumunium sulfat dan koagulan PAC cukup baik menurunkan kadar Mg dan Na air payau. Koagulan alumunium sulfat memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan koagulan PAC. Alumunium sulfat mampu menurunkan Na sebesar 40,12% dan Mg sebesar 53,79% pada penggunaan alumunium sulfat 0,06 gram (60 ppm). Sedangkan untuk penggunaan koagulan PAC mampu menurunkan kadar Na 6,85% dan Mg sebesar 11,61% pada penggunaan PAC sebesar 0,1 gram (100 ppm). Koagulan alumunium sulfat dan PAC tidak dapat menurunkan kadar Cl dalam air payau.

Daftar Pustaka

- Hendricks, D. W. (2006). *Water Treatment Unit Process : Physical and Chemical*. Florida: CRC Press.
- Leeuwen, J. H. Van. (1999). *Sustainable Education On Engineering Sustainability* (1 ed.). Armidale: University of New England.
- Metcalf and Eddy, I., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (1991). *Wastewater Engineering* (3 ed.). Singapore: McGraw Hill International Edition.
- Susanto, R. (2008). *Optimasi Koagulasi-Flokulasi Dan Analisis Kualitas Air Pada Industri Semen*. UIN Syarif Hidayatullah.
- Yulianti, S. (2006). *Proses Koagulasi-Flokulasi pada Pengolahan Tersier Limbah Cair*. Institut Pertanian Bogor.

(Halaman Ini Sengaja Dibiarkan Kosong)

Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Cangkang Bekicot terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi

La Ifa, Muhamad Awalul Agus, Karim Kasmudin, dan Andi Artiningsih

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

la.ifa@umi.ac.id, muhawalulagus3@gmail.com, kasmudinkarim@gmail.com, andi.artiningsih@umi.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mempelajari efektivitas kitosan yang dibuat dari cangkang keong (*Achatina Fullica*) selama proses adsorpsi logam tembaga (Cu (II)) dalam air lindi. Kitosan dideproteinisasi dengan 2 N natrium hidroksida, didemineralisasi dengan 1 N hidrogen klorida, dan dideasetilasi dengan 50% Sodium hidroksida. Larutan campuran dipanaskan pada suhu 90°C selama 1 jam dan diaduk menggunakan pengaduk magnetik. Kemudian larutan dipisahkan dan dikeringkan dalam oven untuk mendapatkan kitosan padat. Analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) menunjukkan bahwa tingkat deasetilasi kitosan adalah sebesar 78,06%. Kitosan dilarutkan dalam air dengan konsentrasi 10.000 mg / L. Larutan kitosan dalam volume tertentu, yang divariasikan dari 2 hingga 10 mL, ditambahkan ke dalam 1 L air lindi dan diaduk selama 15 menit. Kadar Cu dalam sampel air lindi diuji menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometric* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume peningkatan volume kitosan mengurangi konsentrasi ion logam dalam air lindi. Dengan menambahkan 10 mL larutan kitosan 10.000 mg / L ion Cu teradsorpsi sebesar 82,52% dalam air lindi.

Kata kunci: Adsorben, Air lindi, cangkang bekicot, kitosan, logam Cu

Abstract

This research studied the effectiveness of chitosan prepared from the snail shells (*Achatina Fullica*) during the adsorption process of copper metal (Cu (II)) in leachate water. The chitosan was deproteinized with 2 N sodium hydroxide, demineralized with 1 N hydrogen chloride, and deacetylated with 50% Sodium hydroxide. The mixture solution was heated at 90°C for 1 hour and stirred using a magnetic stirrer. Then the solution was separated and dried in the oven to obtain a solid chitosan. The Fourier Transform Infra Red (FTIR) analysis showed that the degree of chitosan deacetylation was 78.06%. The chitosan was dissolved in water with a concentration of 10,000 mg/L. A certain volume of chitosan solution, which was varied from 2 to 10 mL, was added into 1 L of leachate water and stirred for 15 minutes. The Cu levels in the leachate water samples were tested using Atomic Absorption Spectrophotometric (AAS). The results showed that the volume of the increase of chitosan volume reduced the metal ion concentration in leachate water. By adding 10 mL of 10.000 mg/L chitosan solution adsorbed 82.52% of Cu (II) ion in leachate water.

Keywords: Adsorbent, chitosan, Cu metal, leachate water, snail shell

1. Pendahuluan

Sampah adalah sesuatu bahan yang tidak difungsikan, sesuatu yang harus dibuang, dan biasanya berasal dari aktifitas manusia (termasuk kegiatan industri) (Herlandien, 2013). Sebagian sampah anorganik yang terdapat di tempat pembuangan akhir (TPA) Antang Makassar mengandung logam berat. Komponen air lindi (leachate) diantaranya adalah Cu(II), berasal dari sampah alat-alat listrik, pipa, dan kawat (Himmah, dkk., 2009; Sari dan Afdal, 2017). Hal ini berpotensi terjadinya pencemaran Cu(II) pada air sumur gali. Air sumur gali disekitar TPA Antang Makassar pada radius 1-5 kilo meter mengandung logam Cu(II), umumnya melampaui kadar ambang batas untuk keperluan air minum yakni diatas 0,02 mg/L (Asriani, 2017).

Lindi adalah cairan yang merembes melewati tumpukan sampah, mengandung zat terlarut dan tersuspensi yang sangat halus sebagai hasil penguraian sampah oleh mikroba (Irhamni, dkk., 2017). Keberadaan lindi dapat menyebabkan pencemaran tanah karena mengandung beberapa senyawa kimia organik dan anorganik serta sejumlah pathogen (Susanto, 2004; Himmah, dkk., 2009). Pada konsentrasi 0,01 mg/L fitoplankton akan mati karena Cu(II) menghambat aktivitas enzim dalam pembelahan sel fitoplankton (Palar, 2004).

Pengolahan lindi TPA sebagian besar masih menggunakan teknologi system kolam yaitu kolam penampungan, kolam anaerobik, kolam aerobik, kolam stabilisasi, *wet land* membutuhkan waktu yang relatif lama antara 30-50 hari. Said dan Hartaja (2018) mengolah air lindi menggunakan proses biofilter anaerob-aerob dan denitrifikasi dapat mereduksi polutan organik, menurunkan *Chemical Oksigen Demand* (COD) dan mereduksi nitrit, namun belum dapat mereduksi logam-logam berat yang terkandung dalam air lindi.

Pada penelitian ini menggunakan metode adsorpsi dengan menggunakan adsorben. Salah satu adsorben yang dapat digunakan adalah kitosan. Kitosan bisa diperoleh melalui deasetilasi kitin. Kitin merupakan bahan organik utama

Info Makalah:

Dikirim : 03-30-19;

Revisi 1 : 04-30-19;

Revisi 2 : 07-22-19;

Diterima : 09-23-19.

PenulisKorespondensi:

Telp : +62-8124-2165-289

e-mail : la.ifa@umi.ac.id

yang terdapat pada kelompok hewan crustacea, insekta, fungi, Mollusca dan arthropoda. Salah satu sumber kitin adalah cangkang bekicot.

Cangkang bekicot merupakan limbah, dapat mencemari lingkungan, mengandung zat kitin sekitar 70% - 80% (Srijanto, 2013). Kitin tersebut dapat diolah menjadi kitosan untuk menyerap logam berbahaya seperti logam tembaga. Kitosan memiliki pasangan elektron bebas dari nitrogen dan oksigen yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk membentuk kompleks dengan Cu(II). Darjito, dkk., (2006) melakukan penelitian menggunakan kitosan-alumina untuk mengadsorpsi Cd(II) dengan mempelajari pengaruh pH dan waktu kontak. Nurhayat dan Sutrisno (2014) menggunakan adsorben ampas tebu untuk menyerap Cu(II). Proses adsorpsi tergolong metode pemisahan yang efektif dalam pengolahan air limbah karena lebih ekonomis (Nurhayati, dkk., 2018) dan cocok untuk air dengan konsentrasi logam rendah (Yuan dan Liu, 2013).

Kelebihan adsorben kitosan adalah karena merupakan biopolimer yang sumbernya melimpah dan terbarukan serta memiliki banyak kegunaan seperti kosmetik, kesehatan, adsorben ion logam, farmasi, dan pengawet makanan. Kitosan mudah larut dalam asam organik seperti asam formiat, asam asetat, dan asam sitrat (Mekawati, 2000).

Karakteristik kimia yang paling penting dari kitosan diantaranya adalah derajat deasetilasi. Derajat deasetilasi berkaitan dengan kemampuan kitosan untuk membentuk interaksi isoelektrik dengan molekul lain dan berpengaruh terhadap daya guna kitosan dalam aplikasinya. Kitosan memiliki derajat deasetilasi lebih dari 70% (Aspari dkk., 2010). Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan penelitian tentang pembuatan kitosan seperti kulit udang (Harjanti, 2014), cangkang kepiting (Trisnawati, dkk., 2013), cangkang bekicot (Andhika, dkk., 2018), sisik ikan (Ifa dkk., 2018). Pemanfaatan kitosan sebagai adsorben logam berat telah banyak dilakukan Supriyanti, dkk., (2018), menggunakan kitosan dari cangkang rajungan untuk menyerap logam timbal (Pb). Penelitian ini menggunakan metode baru dalam pengolahan air lindi TPA yang terletak di Antang Makassar, menggunakan metode adsorpsi dengan memanfaatkan limbah cangkang bekicot dengan mengolah kitin yang terkandung pada cangkang bekicot menjadi kitosan, untuk dijadikan adsorben dalam menyerap Cu(II) pada air lindi.

2. Metode

Pembuatan Kitosan

Bahan utama yang digunakan adalah cangkang bekicot, sampel air lindi dengan kadar Cu(II) 0,0572 mg/L yang diperoleh dari TPA Antang Makassar, natrium hidroksida (NaOH), hidrogen klorida (HCl), dan asam asetat (CH₃COOH).

Penelitian ini terdiri dari dua tahapan, yakni pembuatan kitosan dari cangkang bekicot dan penerapan kitosan sebagai penyerap Cu(II). Pembuatan kitosan dari cangkang bekicot dilakukan melalui beberapa tahapan. Sebelum diproses, cangkang bekicot dipreparasi dengan cara pencucian, pengeringan, penghancuran dan pengayakan. Isolasi kitosan dilakukan melalui tahap deproteinasi, demineralisasi dan deasetilasi. Cangkang bekicot sebanyak 50 gr deproteinasi menggunakan larutan NaOH 2N dengan rasio 1:6 (b/v). Campuran dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu 90°C selama 1 jam dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, kemudian dipisahkan dan dikeringkan di dalam oven (Rahayu, 2004). Selanjutnya proses demineralisasi dengan menggunakan HCl 1 N dengan rasio 1:12 (b/v). Pengadukan dilakukan selama 1 jam pada suhu ruang yang selanjutnya dipisahkan dan dikeringkan dengan oven. Selanjutnya, proses deasetilasi dengan menggunakan NaOH 50% dengan perbandingan 1:10 (b/v) kemudian dipanaskan pada suhu 70-80°C selama 90 menit. Campuran dipisahkan kemudian dikeringkan dengan oven dan diperoleh kitosan dengan bobot 32,550 gr. Kitosan hasil dianalisa dengan teknik *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui adsorbansi sebagai data perhitungan derajat deasetilasi.

Kitosan 10.000 mg/L dengan volume masing-masing: (2, 4, 6, 8 dan 10) mL dilarutkan kedalam 1 L sampel air lindi, kemudian diaduk selama 15 menit, setelah itu disaring. Selanjutnya kadar Cu(II) dari sampel tersebut diukur dengan menggunakan AAS, metode uji SNI 06-6989.6: 2009 di laboratorium Balai Besar Hasil Perkebunan Makassar.

Perhitungan derajat deasetilasi kitosan.

Derajat asetilasi kitosan dihitung dengan menggunakan metode garis Moore dan Robert dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Khan dkk., 2002):

$$DD = 100 - \left[\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{100}{1,33} \right] \quad (1)$$

dimana A1655 adalah Absorbansi pada panjang gelombang 1655 cm⁻¹ untuk serapan gugus asetamida (CH₃COONH) dan A3450 adalah adsorbansi pada panjang gelombang 3450 cm⁻¹ untuk serapan gugus hidroksi/amin (-OH, NH₂). Nilai absorbansi A1655 dan A3450, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A_{1655} = \log \left[\frac{DF_2}{DE} \right] \quad (2)$$

$$A_{3450} = \log \left[\frac{AC}{AB} \right] \quad (3)$$

Keterangan :

A_{1655} = Absorbansi panjang gelombang 1655 cm^{-1} untuk serapan gugus hidroksi/amin ($-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$).

A_{3450} = Absorbansi panjang gelombang 3450 cm^{-1} untuk serapan gugus asetamida ($\text{CH}_3\text{COONH}-$).

DE = Titik pertemuan antara kurva dengan garis A_{1655} ketika ditarik garis secara *vertical*.

DF_2 = Titik pertemuan antara garis A_{1655} dengan garis diagonal yang ditarik dari titik peak terendah menuju peak titik tertinggi pada area gugus hidroksi/amin ($-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$).

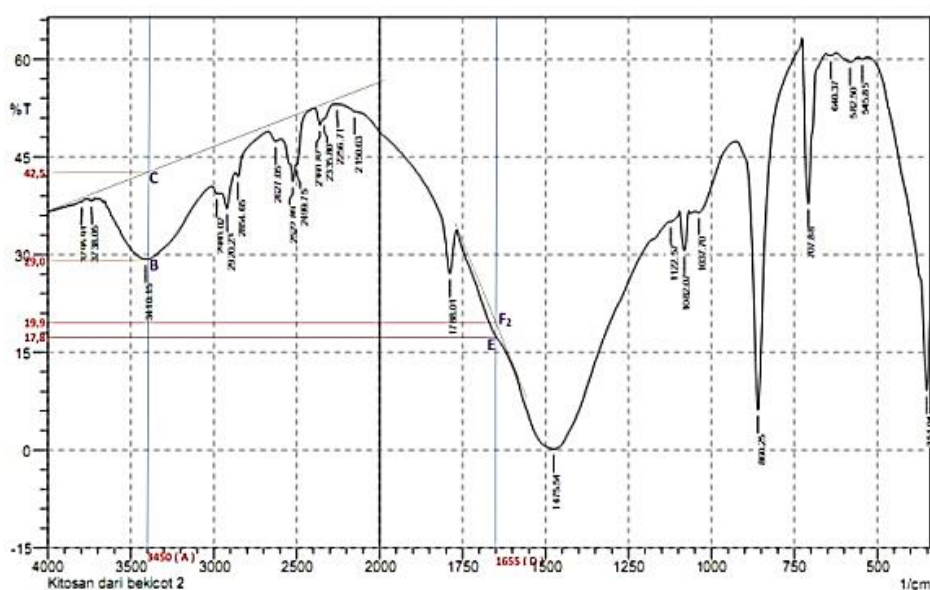
AB = Titik pertemuan antara kurva dengan garis A_{3450} ketika ditarik garis secara *vertical*.

AC = Titik pertemuan antara garis A_{3450} dengan garis diagonal yang ditarik dari titik peak terendah menuju peak titik tertinggi pada area gugus asetamida ($\text{CH}_3\text{COONH}-$).

3. Hasil dan Pembahasan

Nilai Derajat Deasetilasi Kitosan

Gambar 1 hasil uji FTIR, menunjukkan bahwa kitosan hasil penelitian mengandung gugus OH^- dengan adanya peak 3450 cm^{-1} yang berguna untuk melepaskan gugus asetil dari gugus asetamida dan menghasilkan gugus amina (NH_2) yang memiliki kemampuan untuk mengikat logam. Data pada Gambar 1 digunakan untuk menghitung derajat deasetilasi kitosan.



Gambar 1. Hasil uji FTIR

Berdasarkan data pada Gambar 1, diketahui bahwa:

DF_2 = 19,9

DE = 17,8

AC = 42,5

AB = 29,0

Absorbansi A_{1655} dan A_{3450} dihitung menggunakan persamaan (2) dan (3). Diperoleh hasil bahwa A_{1655} adalah sebesar 0,033 sedangkan A_{3450} adalah sebesar 0,146. Dengan menggunakan persamaan (1), maka derajat deasetilasi (DD) kitosan adalah sebesar 78,062% dan telah memenuhi standar dari segi derajat deasetilasi, lebih dari 70% (Apsari dkk., 2010). Menurut Asni dkk., (2014), kitosan yang mempunyai derajat deasetilasi lebih dari 60% dapat digunakan sebagai adsorben. Hasil dari penelitian ini mendekati hasil yang diperoleh dari peneliti-peneliti terdahulu, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Derajat Deasetilasi Kitosan Peneliti Terdahulu

Peneliti (Tahun)	Nilai DD (%)
Trisnawati, dkk., 2013;	77,84%
Hajrianti, 2014	70,34%
Waryani dkk., 2014	75,13%;
Ifa dkk., 2018	73,40%.
Aspari dkk., 2010	83,30%
Penelitian ini	78,06%

Derajat deasetilasi berkaitan dengan kemampuan kitosan untuk membentuk interaksi isoelektrik dengan molekul lain dan berpengaruh terhadap daya guna kitosan dalam aplikasinya. Besarnya derajat deasetilasi hasil kitosan akan berpengaruh terhadap performanya sebagai adsorben ion logam. Tingginya derajat deasetilasi kitosan, maka makin banyak gugus $-NH_2$ sebagai tempat terjadinya penjerapan, sehingga semakin besar kemampuan kitosan dalam mengikat ion logam.

Performa Kitosan pada Penurunan Kadar Cu(II) dalam Air Lindi

Performa kitosan diuji cobakan pada penjerapan Cu(II) dalam air lindi. Data karakteristik hasil pengujian kitosan pada sampel air lindi dari hasil analisis AAS dengan variasi penambahan larutan kitosan sebanyak (2, 4, 6, 8, dan 10) ml ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Karakteristik Cu(II) dalam Air Lindi Setelah Penambahan Larutan Kitosan

Volume kitosan (ml)	Parameter Cu(II) (mg/L)
2	0,0296
4	0,0116
6	0,0113
8	0,0102
10	0,0100

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa kadar Cu(II) pada sampel cenderung menurun dengan bertambahnya larutan kitosan yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan banyaknya kitosan memungkinkan luas permukaan kitosan banyak tersedia, sehingga terjadi peningkatan bidang aktif pada kitosan menyebabkan banyak Cu(II) yang diserap. Bertambahnya volume atau massa kitosan, mengakibatkan luas permukaan kontak adsorben semakin besar. Dari Tabel 2, menunjukkan bahwa kitosan mampu menyerap Cu(II) sebesar 0,0100 mg/L atau terjadi penurunan kadar Cu(II) sebesar 82,52% pada volume 10 mL. Hasil penelitian terhadap daya serap ini lebih besar dari hasil penelitian Darjito dkk., (2006) yakni 78,34%. Batas kandungan Cu(II) yang diperbolehkan yaitu 0,02 mg/L (Asriani, 2017). Kitosan yang dibuat dari bekicot dapat digunakan sebagai adsorben Cu(II) pada air lindi TPA Antang Makassar.

Pada volume 4 mL sampai 8 mL diperoleh jumlah Cu(II) yang terjerap terjadi penurunan. Ini disebabkan kemungkinan sudah mulai terpenuhinya gugus aktif pada permukaan adsorben sehingga kesempatan terjadinya ikatan antara Cu(II) dengan situs aktif menjadi kecil. Pada volume kitosan 8 mL sampai 10 mL diperoleh jumlah Cu(II) yang relatif konstan, disebabkan mulai terjadi kesetimbangan antara adsorbat yang terserap dengan adsorbat sisa dalam larutan sehingga penambahan volume tidak akan menambah jumlah Cu(II) yang terjerap. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Darjito dkk. (2006), banyaknya kitosan yang digunakan berbanding lurus dengan efisiensi penurunan kadar logam yang diadsorpsi. Semakin besar volume kitosan yang digunakan maka akan semakin tinggi juga nilai daya adsorpsi terhadap kadar logam (Supriyanti dkk., 2018).

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan dari data yang didapat, maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar volume kitosan yang ditambahkan semakin efektif dalam menyerap logam Cu(II). Kitosan yang diperoleh dari cangkang bekicot (*Achatina fulica*) telah memenuhi standar dari segi derajat deasetilasi sebesar 78,06% dan dapat digunakan sebagai adsorben. Keefektifan penjerapan kitosan pada air lindi yaitu penambahan adsorben kitosan 10 mL dengan kadar Cu(II) sebesar 0.0100 mg/L atau terjadi penurunan kadar Cu(II) sebesar 82,52%.

Daftar Pustaka

- Andhika, B., & Syauqiah, I. (2018). Pemanfaatan Kitosan Dari Limbah Cangkang Bekicot (*Achatina Fulica*) Sebagai Adsorben Logam Berat Seng (Zn). *Konversi*, 5(1), 22-26.
- Apsari, Ajeng, T., dan Dina, F. (2010). Studi Kinetika Penjerapan Ion Khromium dan Ion Tembaga Menggunakan Kitosan Produk dari Cangkang Kepiting. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro
- Asni, N., Saadilah, M.A., dan Saleh, D. (2014). Optimalisasi Sintesis Kitosan dari Cangkang Kepiting Sebagai Adsorben Logam Berat Pb(II). *Spektra : Jurnal Fisika & Aplikasinya*, 15(1), 18-25
- Asriani. (2017). Identifikasi Logam Tembaga (Cu) Pada Zonasi Radius 1-5 Km Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang Makassar Terhadap Pengaruh Kualitas Air Sumur Gali. Skripsi. Universitas Islam Negeri Makassar
- Darjito, Purwonugroho, D, dan Nisa, S.N. (2006). Kajian Adsorpsi Cd (II) pada Kitosan-Alumina. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(3), 238 – 244
- Harjanti, R. S. (2014). Kitosan dari Limbah Udang sebagai Bahan Pengawet Ayam Goreng. *Jurnal Rekaya Proses* 8(1), 12–19.
- Herlandien, Y.L. (2013). Pemanfaatan Arang Aktif Sebagai Absorban Logam Berat Dalam Air Lindi Di TPA Pakusari Jember, Skripsi, Jember: Universitas Jember.

- Himmah, Aminuddi, dan Milala. (2009). Potensi Limbah Air Lindih oleh Psedemonas Flouresens sebagai Prebiotik Tanaman“, Skripsi, Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Ifa. L., Artiningsih, A., Julniar, dan Suhaldin. (2018). Pembuatan Kitosan Dari Sisik Ikan Kakap Merah. *Journal of Chemical Process Engineering*, 3(1), 47-50
- Irhamni, Pandia, S., Purba, E., dan Hasan, W. (2017). Kandungan Logam Berat pada Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Kota Banda Aceh, Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana (SNP) Unsyiah, Banda Aceh, A19-A22
- Khan, T.A., Peh, K.K., dan Ch'ng, H.S. (2002). Reporting Degree of Deacetylation Values of Chitosan: The Influence of Analytical Methods. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5, 205–212
- Mekawati, Fachriyah, E., dan Sumardjo, D. (2000). Aplikasi Kitosan Hasil Tranformasi Kitin Limbah Udang (*Penaeus merguensis*) untuk Adsorpsi Ion Logam Timbal. *Jurnal Sains dan Matematika*, 8 (2), 51-54.
- Nurhayati, I., dan Sutrisno, J. (2014). Pemanfaatan limbah ampas tebu Sebagai Penyerap Logam Berat Cu. *Wahana*, 63(2), 27- 32.
- Nurhayati, I., Sutrisno, J., dan Zainudin, M.S. (2018). Pengaruh Konsentrasi Dan Waktu Aktivasi Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Ampas Tebu Dan Fungsinya Sebagai Adsorben Pada Limbah Cair Laboratorium. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 16 (1), 64-71
- Palar, H. (2004). Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: PT. Rineka Cipta, 1994.
- Rahayu, L. H., dan Purnavita, S. (2007). Optimasi Pembuatan Kitosan dari Kitin Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) Untuk Adsorben Ion Logam Merkuri. *Reaktor*, 11(1), 45-49.
- Said, N. I., dan Hartaja, D. R. K. (2018). Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob dan Denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*, 8(1), 1-20
- Sari, R. N., dan Afdal, A. (2017). Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 6(1), 93-99.
- Srijanto, B. (2003). Kajian pengembangan teknologi proses produksi kitin dan kitosan secara kimiawi. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia* (Vol. 1, pp. F011-F015).
- Supriyantini, E., Yulianto, B., Ridlo, A., Sedjati, S., dan Nainggolan, A. C. (2018). Pemanfaatan Chitosan Dari Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(1), 23-28.
- Susanto, P. J., Ganefati P. S., Muryani, S., dan Istiqomah, H. S., (2004) Pengolahan Lindi (Leachate) dari TPA dengan Menggunakan Sistem Koagulasi – Biofilter Anaerobic. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5, 167 – 173
- Trisnawati, E., Andesti, D., & Saleh, A. (2013). Pembuatan kitosan dari limbah cangkang kepiting sebagai bahan pengawet buah duku dengan variasi lama pengawetan. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(2), 17-26
- Waryani, S. W., Silvia, R., & Hanum, F. (2014). Pemanfaatan Kitosan Dari Cangkang Bekicot (*Achatina Fulica*) Sebagai Pengawet Ikan Kembung (*Rastrelliger sp*) dan Ikan Lele (*Clarias batrachus*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(4), 51-57.
- Yuan, L., & Liu, Y. (2013). Removal of Pb (II) and Zn (II) from aqueous solution by ceramisite prepared by sintering bentonite, iron powder and activated carbon. *Chemical engineering journal*, 215, 432-439.

(Halaman Ini Sengaja Dibiarkan Kosong)

Prototipe Sistem Kontrol PH Air Berbasis Mikrokontroler Arduino dengan Visualisasi *Visual Basic* pada *Final Waste Water Treatment*

Maulani Kapiudin, Tenang Sembiring, dan Hilman Najmi Aulia

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani

maulani151@gmail.com, gtsembiring@gmail.com

Abstrak

Limbah cairan terkontaminasi hasil dari proses manufaktur harus diolah dan dikontrol kandungan pH-nya. Parameter yang digunakan adalah derajat keasaman dan kebasaan dari sebuah limbah cairan terkontaminasi tersebut. Pengolahan cairan terkontaminasi dilakukan dengan cara mencampurkan cairan terkontaminasi dengan cairan kimia menjadi air bersih yang memenuhi standar baku mutu air bersih. Sistem kontrol pH air berbasis mikrokontroler ini menjadi sebuah alat pengontrol yang bertujuan untuk melakukan pengambilan sample yang dapat direkam secara otomatis. Sistem kontrol pH air ini menggunakan mikrokontroler Arduino dengan visualisasi menggunakan perangkat *visual basic*. Proses monitoring dari kandungan pH meter ini akan ditampilkan secara periodik berdasarkan sampel dengan waktu yang telah ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat sistem kontrol pH air dengan basis Mikrokontroler Arduino dengan visualisasi *visual basic* ini dapat membantu pengguna untuk mendapatkan hasil pengukuran pH air yang akurat, dan dengan mudah memonitoring serta mengatur hasil dari pencampuran cairan terkontaminasi dengan cairan kimia menjadi air bersih yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan (pH normal 6-7).

Kata kunci: Arduino, Limbah, pH meter, *Visual Basic*

Abstract

The contaminated liquid waste resulting from the manufacturing process must be treated and controlled by its pH content. The parameters used were the acidity and basicity of a contaminated liquid waste. Recontamination liquid processing was carried out by mixing the contaminated liquid with chemicals to meets clean water quality standards. The microcontroller-based water pH control system became a control device to take samples that are automatically recorded. This water pH control system used an Arduino microcontroller with visualization using a visual basic device, where the monitoring process of the pH meter content was displayed periodically based on samples with a predetermined time. The test results showed that the water pH control system based on Arduino Microcontroller with visual basic visualization could help users to get the accurate water pH measurement results, and easily monitored as well as regulated the results of mixing contaminated liquid with chemical liquid into clean water in accordance with desirable criteria (normal pH 6-7).

Key Word: Arduino, liquid waste, pH meter, Visual Basic

1. Pendahuluan

Limbah cairan terkontaminasi hasil dari proses industri manufaktur harus diolah dan dikontrol kandungan pH-nya, Pengolahan cairan terkontaminasi dilakukan dengan cara mencampurkan cairan terkontaminasi dengan cairan kimia yang kemudian limbah cairan terkontaminasi ini dibuang ke kawasan industri menjadi air bersih yang memenuhi standar baku mutu air bersih. Hal tersebut sesuai dengan peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Tentunya dalam proses pengolahan limbah tersebut harus memiliki sebuah sistem pengontrol yang bertujuan untuk memeriksa hasil dari pencampuran cairan kimia dan cairan terkontaminasi apakah kandungan pH air bersih sesuai dengan kriteria yang ditentukan atau tidak (pH air normal berkisar 6-7) (Rukmasari, dkk., 2014; Sabiq dan Budisejati, 2017). Menurut Novita sari dan Nirmala (2018), sistem kontrol pH air berbasis mikrokontroler diperlukan sebagai sistem pengendali (kontrol).

Sistem kontrol pH air ini menggunakan komponen utama Mikrokontroler Arduino dan hasilnya ditampilkan pada *visual basic* dengan menggunakan mikrokontroler maka pengambilan sampel record dapat secara otomatis sehingga menghemat waktu proses pengukuran limbah buang berupa cairan terkontaminasi. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem kontrol pH air dan merealisasikan sistem record pH air secara otomatis dan hemat waktu dengan menggunakan Mikrokontroler Arduino dan hasilnya ditampilkan pada *visual basic*. Pengontrolan pH ini difokuskan pada instalasi pH *Final Treatment WWT*.

Hasil pengujian sistem kontrol pH air menggunakan mikrokontroler dan *visual basic* mendapatkan pH air yang akurat dan mudah monitoring, mengatur hasil campuran air terkontaminasi dengan cairan kimia menjadi air bersih dengan pH normal 6-7.

Info Makalah:

Dikirim : 12-13-19;

Revisi 1 : 12-31-20;

Revisi 2 : 01-20-20;

Diterima : 02-11-20.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-812-1889-2640

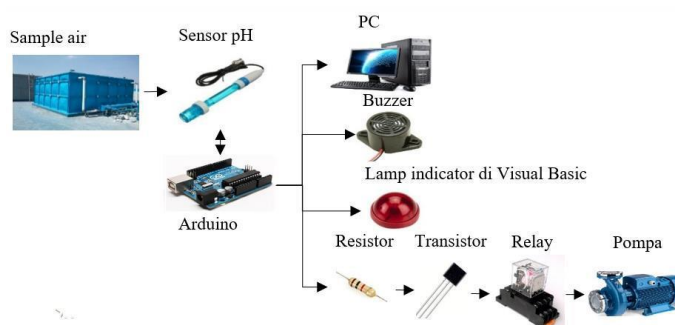
e-mail : maulani151@gmail.com

2. Metode

Penelitian ini diawali dengan studi literatur berkaitan dengan karakteristik perangkat interface yang dapat mendeteksi proses limbah air industri dan aspek-aspek yang berkaitan dengan penggunaan mikrokontroler dengan Android

Perancangan Alat

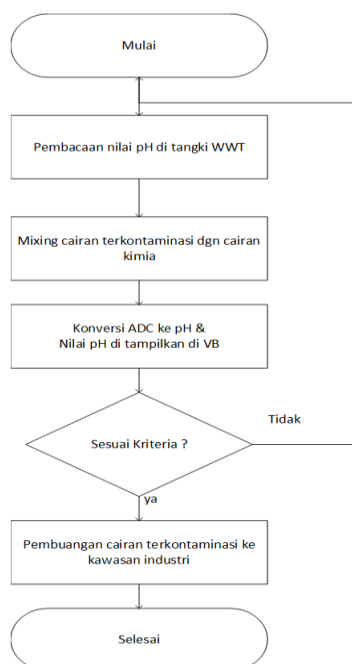
Perancangan alat prototipe kontrol pH air limbah diperlihatkan pada gambar di bawah ini. Alat ini terdiri dari Sensor pH, arduino, buzzer, lamp indicator, pompa air relay, resistor, transistor dan Laptop. Proses kerja alat dimulai dari *set point* yang telah ditentukan. *Set point* tersebut akan menjadi acuan Arduino untuk mengeksekusi langkah berikutnya. Apabila nilai *set poin* yang ditentukan telah sama, maka Arduino hanya akan menjalankan instruksi di *visual basic* untuk menampilkan nilai pH yang diukur. Sedangkan apabila nilai *set poin* yang di tentukan kondisinya lebih atau kurang, maka arduino akan menginstruksikan *visual basic* untuk menampilkan nilai yang diukur dan menyalakan pompa air. Nilai dari set poin yang telah ditentukan adalah pH dengan nilai 6-7 (Kharisma dan Setiyansah,2017). Alat yang digunakan untuk mendeteksi pH adalah sensor kontrol pH Air. Berikut adalah diagram skematik yang dirancang (Gambar 1).



Gambar 1. Prototipe Kontrol pH Air Limbah

Flowchart

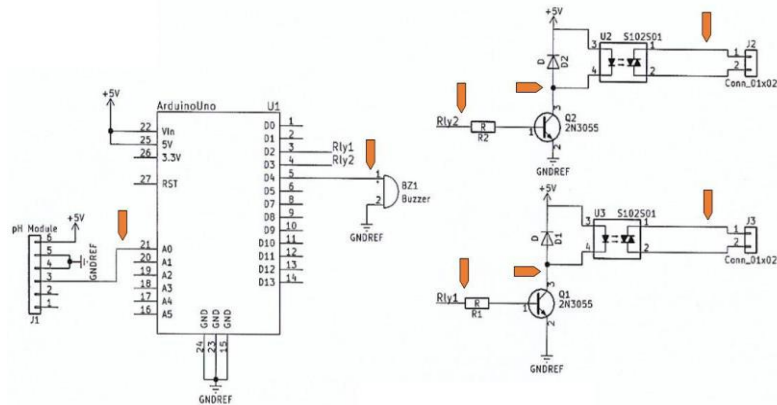
Cairan terkontaminasi dikumpulkan menjadi satu tempat yang dinamakan WWT 1. Dari WWT 1 kemudian disalurkan kembali ke *final treatment* untuk diolah lebih lanjut. Sensor pH akan membaca besar nilai pH di tangki *final treatment*. Sensor pH ini akan mengkonversi data pH yang bernilai analog menjadi digital. Nilai yang diukur oleh sensor pH ini akan dimunculkan di *visual basic* yang akan menampilkan nilai aktual dari pengukuran pH oleh sensor pH.



Gambar 2. Flowchart Prototipe Kontrol pH Air Limbah

Kriteria yang ditetapkan adalah pH tidak boleh bernilai lebih besar dari 7 atau lebih kecil dari 6. Apabila nilai sesuai dengan kriteria, maka akan dilanjutkan ke proses selanjutnya dan air dianggap telah memenuhi persyaratan air bersih. Air hasil olahan *final treatment* ini disalurkan ke kawasan industri. Apabila nilai pH tidak sesuai dengan kriteria yang di tentukan tersebut, maka sensor akan mengulang proses pengukuran dan mengaktifkan motor pencampur zat kimia penetralisir pH. *Flowchart* tersebut digambarkan pada Gambar 2 di bawah ini.

Pengujian Rangkaian kontrol pH air berbasis mikrokontroler Arduino dengan visualisai *visual basic*



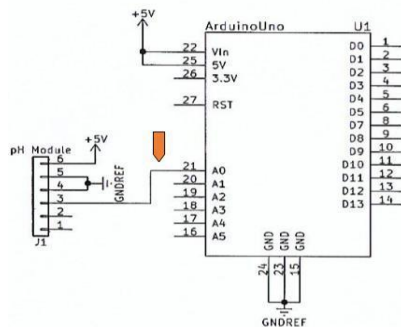
Gambar 3. Pengukuran Kontrol pH Air Limbah

Seperti yang tampak pada Gambar 3, pengukuran dilakukan di beberapa titik yaitu :

- Pengukuran dilakukan pada input pH module terhadap arduino
- Pengukuran pada buzzer
- Pengukuran pada resistor
- Pengukuran pada transistor
- Pengukuran relay

3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran Pada pH Module



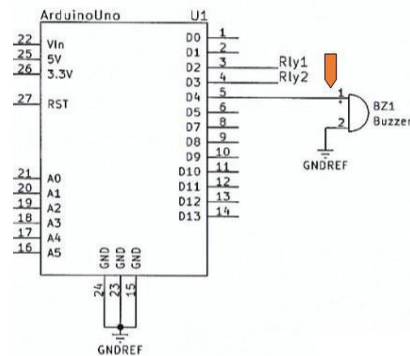
Gambar 4. Pengukuran pada pH Module

Pengukuran pada input pH modul (Gambar 4) dimaksudkan untuk menguji cara kerja pH modul. Pengukuran diuji dalam keadaan sensor diberi cairan terkontaminasi dan sensor diberikan air non terkontaminasi. Pada pengukuran input pH ini, percobaan dilakukan 2 kali. Ini dimaksudkan untuk mengecek *repetability* dari sensor pH. Berikut adalah hasil pengukuran pada kaki sensor (Tabel 1).

Tabel 1 Pengukuran terhadap Input pH Modul

No	Media	Keasaman (pH)	Vout <Volt>
1	Air kontaminasi 1	4,5	4,09
2	Air non kontaminasi 1	6,3	1,6
3	Air kontaminasi 2	5,3	3,7
4	Air non kontaminasi 2	6,5	1,13
5	Air kontaminasi 3	4,7	4,25

Pengukuran pada Buzzer



Gambar 5. Pengukuran pada Buzzer

Pengukuran pada buzzer dimaksudkan untuk menguji cara kerja dari Arduino memberi output ke buzzer. Pengukuran diuji dalam keadaan sensor diberi cairan terkontaminasi dan sensor diberikan air non terkontaminasi (Gambar 5). Dalam pengukuran *input buzzer* ini, percobaan dilakukan 2 kali. Ini dimaksudkan untuk mengecek *repetability* dari output Arduino.

Selain itu pengecekan ini dimaksudkan untuk membuktikan program di Arduino. Program tersebut diatur agar Arduino mengeluarkan *output* untuk buzzer di pin D4 dan arduino bekerja ketika sensor mendeteksi air terkontaminasi oleh cairan kimia (pH air kurang dari 6). Hasil pengukuran tegangan output pada buzzer untuk Vout sama dengan nol buzzer tidak berbunyi yang artinya bahwa cairan tidak terkontaminasi (Tabel 2).

Tabel 2 Pengukuran terhadap Buzzer

No	Media	Keasaman (pH)	Vout Buzzer<Volt>
1	Air kontaminasi 1	4,5	4,1
2	Air non kontaminasi 1	6,3	0
3	Air kontaminasi 2	5,3	3,8
4	Air non kontaminasi 2	6,5	0
5	Air kontaminasi 3	4,7	4,2

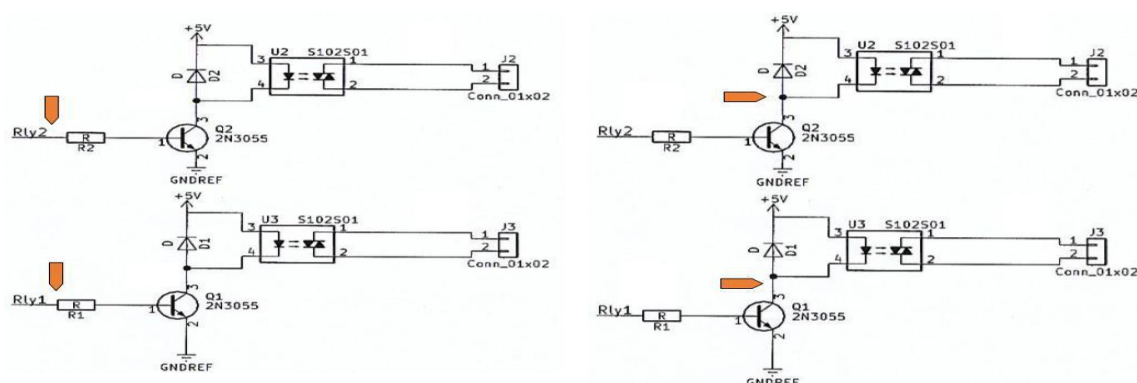
Pengukuran pada Relay

Sebelum pengukuran dilakukan pada pin relay, pengukuran dilakukan di beberapa pin sebagai berikut :

1. Pengukuran di pin resistor
2. Pengukuran di transistor

Hal ini dilakukan untuk memastikan komponen bekerja sesuai dengan yang diharapkan.

Pengukuran pada resistor



Gambar 7 Pengukuran pada Resistor & Transistor

Sebelum dilakukan pengukuran terhadap relay, pengukuran dilakukan pada kaki resistor R1 dan R2. Pengukuran pada resistor ini dimaksudkan untuk menguji cara kerja dari Arduino memberi output ke relay. Pengukuran diuji dalam keadaan sensor diberi cairan terkontaminasi dan sensor diberikan air non terkontaminasi. Pada pengukuran

input resistor ini, percobaan dilakukan 2 kali. Ini dimaksudkan untuk mengecek *repetability* dari *output* Arduino. Selain itu pengecekan ini dimaksudkan untuk membuktikan program di Arduino. Program tersebut diatur agar Arduino mengeluarkan output untuk relay di pin D1 dan D2.

Cara kerja dari arduino memberi output pada relay ini adalah arduino akan bekerja ketika sensor mendeteksi air terkontaminasi oleh cairan kimia (pH air kurang dari 6). Pada kondisi ini disebut aktif *high* dan memberikan tegangan 5V ke resistor dan resistor meneruskan ke transistor yang selanjutnya akan mengaktifkan relay. Begitupun sebaliknya arduino tidak akan bekerja ketika sensor mendeteksi air yang tidak terkontaminasi (pH air normal 6-7). Pada kondisi ini disebut aktif *low* dan tidak memberikan tegangan ke resistor. Hasil pengujian di resistor ditunjukkan pada Tabel 3. Kesimpulan dari Tabel hasil pengukuran tegangan pada resistor terlihat bahwa Vout resistor bernilai nol ketika pH air 6-7 atau pH air normal (tidak terkontaminasi).

Tabel 3 Pengukuran Tegangan pada Resistor

No	Media	Keasaman (pH)	Vout Resistor <Volt>
1	Air kontaminasi 1	4,5	4,4
2	Air non kontaminasi 1	6,3	0
3	Air kontaminasi 2	5,3	4,2
4	Air non kontaminasi 2	6,5	0
5	Air kontaminasi 3	4,7	5

Pengukuran Pada Transistor

Sebelum dilakukan pengukuran terhadap relay, pengukuran dilakukan pada kaki transistor Q1 dan Q2. Pengukuran pada transistor ini dimaksudkan untuk menguji cara kerja dari Arduino memberi output ke relay. Pengukuran diuji dalam keadaan sensor diberi cairan terkontaminasi dan sensor diberikan air non terkontaminasi. Pada pengukuran transistor ini, percobaan dilakukan 2 kali. Ini dimaksudkan untuk mengecek *repetability* dari *output* Arduino.

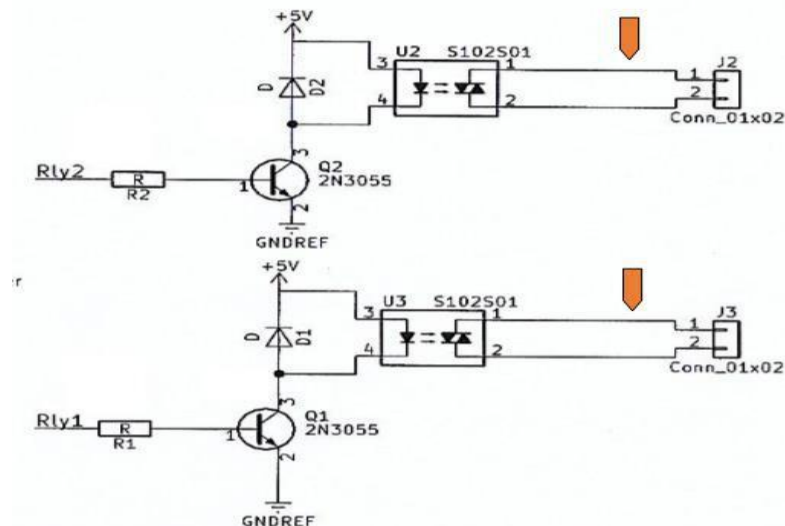
Selain itu pengecekan ini dimaksudkan untuk membuktikan program di Arduino. Program tersebut diatur agar Arduino mengeluarkan output untuk relay di pin D1 dan D2. Cara kerja dari arduino memberi output pada relay ini adalah arduino akan bekerja ketika sensor mendeteksi air terkontaminasi oleh cairan kimia (pH air kurang dari 6). Pada kondisi ini disebut aktif *high* dan memberikan tegangan 5V ke resistor dan resistor meneruskan ke transistor yang selanjutnya akan mengaktifkan relay. Begitupun sebaliknya arduino tidak akan bekerja ketika sensor mendeteksi air yang tidak terkontaminasi (pH air normal 6-7). Pada kondisi ini disebut aktif *low* dan tidak memberikan tegangan ke resistor maupun transistor. Berikut adalah hasil pengujian di transistor (Tabel 4). Kesimpulan dari tabel pengukuran Kesimpulan dari Tabel hasil pengukuran tegangan Vout pada Transistor terlihat bahwa Vout transistor bernilai nol ketika pH air 6-7. atau pH air normal (tidak terkontaminasi).

Tabel 4 Pengukuran pada Transistor

No	Media	Keasaman (pH)	Vout Transistor (Volt)
1	Air kontaminasi 1	4,5	4,4
2	Air non kontaminasi 1	6,3	0
3	Air kontaminasi 2	5,3	4,2
4	Air non kontaminasi 2	6,5	0
5	Air kontaminasi 3	4,7	5

Pengukuran pada relay

Pengecekan ini dimaksudkan untuk membuktikan program di Arduino. Program tersebut diatur agar Arduino mengeluarkan output untuk relay di pin D1 dan D2. Pengecekan tegangan di relay dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Gambar 8). Cara kerja dari arduino memberi output pada relay ini adalah arduino akan bekerja ketika sensor mendeteksi air terkontaminasi oleh cairan kimia (pH air kurang dari 6). Pada kondisi ini disebut aktif *high* dan memberikan tegangan 5V ke resistor dan resistor meneruskan ke transistor yang selanjutnya akan mengaktifkan relay. Begitupun sebaliknya, Arduino tidak akan bekerja ketika sensor mendeteksi air yang tidak terkontaminasi (pH air normal 6-7) dalam kondisi ini disebut aktif *low*, dan tidak memberikan tegangan ke resistor maupun transistor dan relay pun tidak akan bekerja. Berikut adalah hasil pengujian pada relay (Tabel 5). Kesimpulan dari Tabel hasil pengukuran tegangan pada relay terlihat bahwa Vout relay bernilai nol ketika pH air 6-7 atau pH air normal (tidak terkontaminasi).



Gambar 8. Pengukuran Tegangan pada Relay

Tabel 5 Pengukuran Tegangan pada Relay

No	Media	Keasaman (pH)	Vout Q	Vout Relay (Volt)
1	Air kontaminasi 1	4,5	4,4	2,15
2	Air non kontaminasi 1	6,3	0	0
3	Air kontaminasi 2	5,3	4,2	2,16
4	Air non kontaminasi 2	6,5	0	0
5	Air kontaminasi 3	4,7	5	2,17

Pengujian pada pompa air

Pompa air akan bekerja ketika arduino memberi *trigger* pada relay. Arduino akan bekerja ketika sensor mendeteksi air terkontaminasi oleh cairan kimia (pH air kurang dari 6). Pada kondisi ini disebut aktif *high* dan memberikan tegangan 5V ke resistor dan resistor meneruskan ke transistor dan akan mengaktifkan relay yang selanjutnya relay akan mengaktifkan pompa air. Begitupun sebaliknya, arduino tidak akan bekerja ketika sensor mendeteksi air yang tidak terkontaminasi (pH air normal 6-7). Pada kondisi ini disebut aktif *low* dan tidak memberikan tegangan ke resistor maupun transistor dan relay pun tidak akan bekerja. Berikut adalah hasil pengujian pada pompa air (Tabel 6).

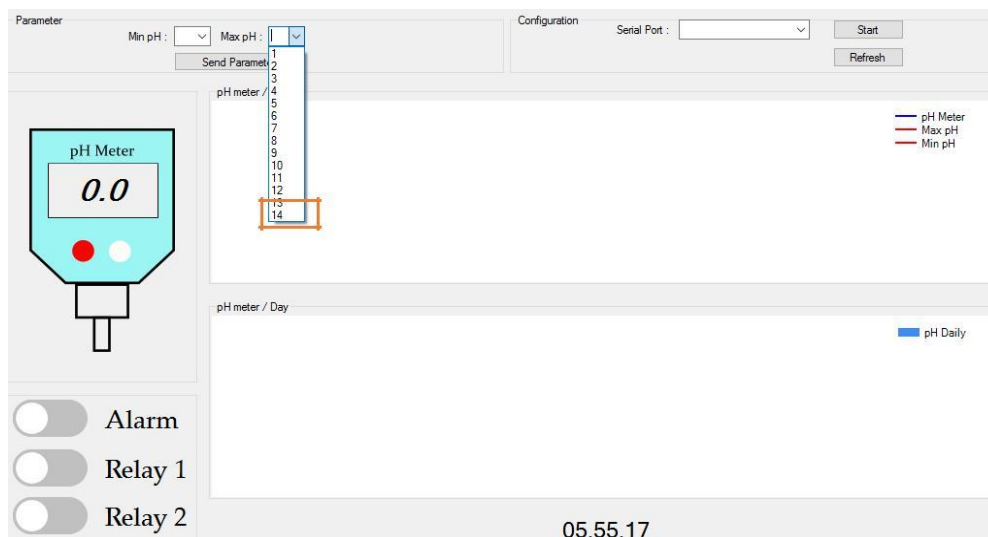
Tabel 6 Pengujian pH pada Pompa Air

No	Media	pH	Kondisi Pompa
1	Air kontaminasi 1	4,5	<i>On</i>
2	Air non kontaminasi 1	6,3	<i>Off</i>
3	Air kontaminasi 2	5,3	<i>On</i>
4	Air non kontaminasi 2	6,5	<i>Off</i>
5	Air kontaminasi 3	4,7	<i>On</i>

Pengujian pada visual basic

Pengujian pada *visual basic* ini dimaksudkan untuk menguji sinkronisasi antara program di arduino dan di tampilan *visual basic*. Pada program di arduino, nilai maksimal pH yang dapat di tampilkan adalah 14. Nilai maksimum pengukuran di *visual basic* adalah nilai maksimum analog arduino (1023) dibagi oleh 73,07 dan akan menghasilkan nilai 14. Dan nilai ini akan ditampilkan di *visual basic* (Gambar 9).

pH meter akan menunjukkan hasil pengukuran dari cairan terkontaminasi, apabila cairan terkontaminasi yang terukur pada pH meter bernilai dibawah 6 maka relay akan berwarna hijau yang selanjutnya akan membunyikan alarm. Hal ini sesuai dengan output mikrokontroler arduino yang akan menyalakan dan membunyikan buzzer apabila cairan terkontaminasi yaitu nilai pH kurang dari 6.



Gambar 9 Tampilan di Visual Basic

Kesimpulan

Hasil dari pembuatan rangkaian kontrol pH air berbasis Mikrokontroler Arduino dengan visualisasi *visual basic* dapat disimpulkan bahwa pompa air akan bekerja ketika Arduino memberi *trigger* pada relay. Arduino akan bekerja ketika sensor mendeteksi air terkontaminasi oleh cairan kimia (pH air kurang dari 6). Pada kondisi ini disebut aktif *high* dan memberikan tegangan 5V ke resistor dan resistor meneruskan ke transistor dan akan mengaktifkan relay yang selanjutnya relay akan mengaktifkan pompa air. Begitupun sebaliknya arduino tidak akan bekerja ketika sensor mendeteksi air yang tidak terkontaminasi (pH air normal 6-7). Pada kondisi ini disebut aktif *low* dan tidak memberikan tegangan ke resistor maupun transistor dan relay pun tidak akan bekerja.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Jenderal Achmad Yani Atas dukungan Finansial dalam menyelesaikan penelitian ini

Daftar Pustaka:

- Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2014). Peraturan Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 2014,” Tentang Baku Mutu Air Limbah.”, Jakarta.
- Kharisma, R.S. dan Setiyansah, A., (2017), Pembuatan Sistem Pendeteksi pH Air Menggunakan Atmega8”, Jurnal DASI, Universitas AMICOM Yogyakarta.
- Novitasari, D. A. A., dan Nirmala, D. T. I. Rancang Bangun Sistem Monitoring pada Limbah Cair Industri Berbasis Mikrokontroler dengan Antarmuka Website. *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi*, 6(3), 43-53
- Rukminasari, N., Nadiarti, N., dan Awaluddin, K. (2014). Pengaruh derajat keasaman (pH) air laut terhadap konsentrasi kalsium dan laju pertumbuhan Halimeda sp. *Jurnal Administrasi dan Kebijakan Kesehatan Indonesia*, 24(1), 28-34.
- Sabiq, A., dan Budisejati, P. N. (2017). Sistem Pemantauan Kadar pH, Suhu dan Warna pada Air Sungai Melalui Web Berbasis Wireless Sensor Network. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 5(3), 94-100.