

Analisis RAB dan energi listrik piezoelektrik inovasi beton pracetak vulkanisasi karet dengan alat piezoelektrik

Eldisya Martha Jebatu^{1*}, David Suwarno Kusweanto², Elisabeth Pilisra Amelina³

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katholik Soegijapranata, Kota Semarang, Indonesia

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katholik Soegijapranata, Kota Semarang, Indonesia

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katholik Soegijapranata, Kota Semarang, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Vehicle volume

Road

Piezoelectricity

Precast concrete

Rubber vulcanized asphalt

Corresponding Author:

Eldisya Martha Jebatu

eldisjebatu80@gmail.com

Abstract

Semarang City is a metropolitan city that is rapidly developing because it is supported by good road and transportation infrastructure. The large volume of motorized vehicles, reaching 1.9 million, has positive and negative impacts. The positive impact is economic growth with the mobilization of people and goods. Meanwhile, the negative impact is environmental problems, such as air pollution and monoxide gas emissions, which contribute to global warming. Therefore, piezoelectricity is a futuristic innovation that converts the magnitude of vibrations caused by motorized vehicles on the road into alternative electrical energy, using precast pavement to mitigate road repairs and rubber vulcanized asphalt to reduce pollution. The method used is quantitative analysis to determine the volume of the vehicle, compare the amount of electrical energy needed with the electrical energy produced, and determine the cost of the work required. The research approach uses case studies, namely the Jalan Gombel Lama and Jalan Setia Budi sections, which are some of the most vehicle-heavy roads in Semarang City. The research results show that motorized vehicles on Jalan Gombel Lama can produce an average of 4.65 Kilowatts/hour of electrical energy and 6.42 Kilowatts/hour on Jalan Setia Budi. Precast concrete can shorten repair time to 3 days for every 10 m² because it can be done segmentally (separately). This second innovation can be combined with rubber vulcanized asphalt material, reducing secondary pollution caused by vehicle wheels and the road. The cost of implementing this environmentally friendly futuristic innovation is 1,218,226 rupiah/m², but the desired aspect that results is invaluable. The recommendation of this research is the application of applied innovation to find out measurements measurably and empirically.

Keywords: Vehicle volume, road, piezoelectricity, precast concrete, rubber vulcanized asphalt.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia

All rights reserved

Pendahuluan

Jalan sebagai penunjang infrastruktur

Jalan dan moda transportasi darat merupakan infrastruktur penunjang aktivitas perekonomian dan penggerak pembangunan baik skala nasional maupun regional. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik

(2022; PUPR, 2022) hingga tahun 2021 kondisi jalan nasional di Indonesia mengalami peningkatan hingga 91,81% atau 46.964,78 km. Akses jalan tersebut digunakan untuk pengangkutan barang, jasa, dan akses pariwisata antar wilayah, sehingga mampu berkontribusi dalam peningkatan

Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar 9,45% (BPS, 2022).

Dalam skala regional, Kota Semarang merupakan kota metropolitan yang memiliki perkembangan transportasi yang pesat. Berdasarkan data Statistik Kota Semarang memiliki panjang jalan hingga tahun 2022 839,90 km. Dengan adanya infrastruktur jalan yang memadai, meningkatkan laju pertumbuhan ekonomi Kota Semarang hingga tahun 2022 mencapai 5,73% (BPS Kota Semarang, 2023).

Dibalik potensi perkembangan jalan, ternyata jalan memiliki dampak negatif lanjutan seiring dengan peningkatan jumlah moda transportasi darat. Berdasarkan data yang dipublikasi Korps Lalu Lintas Kepolisian Negara Republik Indonesia (Korlantas Polri, 2023) jumlah kendaraan bermotor Jawa Tengah didominasi berada di wilayah Kota Semarang yakni 1.914.150 kendaraan atau 9,24%. Hal ini sebanding dengan jumlah kecelakaan yang melibatkan kendaraan bermotor mencapai 1.570 jiwa dan mengakibatkan kerugian materiil hingga 615 juta rupiah (BPS, 2022). Tidak hanya itu, meningkatnya volume kendaraan bermotor juga berdampak terhadap lingkungan. Beberapa diantaranya pencemaran udara oleh emisi kendaraan bermotor, kemacetan pada titik tertentu, polusi suara, dan eksplorasi bahan bakar berlebihan (BAPPENAS, 2023).

Beragam cara telah diupayakan Pemerintah Kota Semarang dalam rangka mengurangi dampak negatif kendaraan bermotor, sehingga pelayanan transportasi darat menjadi optimal dan ramah lingkungan. Menurut *Institute for Transportation and Development Policy* (ITDP, 2017) fokus perbaikan transportasi Kota Semarang dilakukan dengan cara mendorong penggunaan transportasi publik, koordinasi kelembagaan angkutan umum, dan sistem integrasi transportasi terpadu. Untuk mendukung penerapan kebijakan tersebut, dilakukan berbagai penelitian dalam bidang transportasi.

Negara, dkk. (2012) melakukan penelitian mengenai kandungan nilai oktan bahan bakar pada kendaraan yang menyimpulkan bahwa terdapat pengaruh dalam nilai oktan yang dimiliki bahan bakar terhadap kadar emisi yang dihasilkan. Semakin padat dan laju kecepatan jalan, maka semakin besar emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan. Oleh karena itu, ITDP (2023) memberikan rekomendasi untuk melakukan pengujian efektivitas dan efisiensi rute transportasi umum yang ada di wilayah Kota Semarang. Hasil survei tersebut diantaranya penyediaan ruang publik, Ruang Terbuka Hijau Publik (RTHP), fasilitas pejalan kaki dan sepeda, dan fasilitas halte.

Rencana perkembangan futuristik tersebut idealnya mulai didukung untuk menerapkan transportasi hijau (*green transportation*) yang ramah lingkungan. Transportasi ramah lingkungan dan berkelanjutan dilakukan melalui inovasi pemanfaatan potensi volume kendaraan bermotor yang ada di Kota Semarang untuk menghasilkan energi, menggunakan material konstruksi jalan ramah lingkungan, dan mendorong penggunaan transportasi publik. Material konstruksi ramah lingkungan yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal vulkanisasi karet, dan perkerasan pracetak. Sementara itu, alat pengubah energi statis kendaraan yang menghasilkan getaran menggunakan adalah piezoelektrik.

Ketiga inovasi tersebut akan diaplikasikan pada ruas Jalan Gombel yang memiliki volume kendaraan yang besar. Jalan Gombel pada Gambar 1 diharapkan dapat menjadi acuan pengembangan ruas jalan yang ada di Kota Semarang dengan volume kendaraan yang besar kedepannya. Penelitian ini mengharapkan hasil akhir berupa hasil listrik yang dihasilkan dengan piezoelektrik dan berapa biaya yang diperlukan untuk mengintegrasikan ketiga inovasi ini.



Gambar 1. Site Jalan Gombel

Kajian Pustaka

Konstruksi Jalan

Prasarana dan fasilitas yang membentuk suatu jalan, seperti bangunan jalan bantu dan perlengkapan lalu lintas lainnya, merupakan bagian dari sistem transportasi darat. Penyediaan fasilitas dan infrastruktur ini sangat penting bagi kebutuhan manusia karena menghubungkan wilayah dan memfasilitasi arus barang dan jasa yang berkaitan dengan pangan, kesehatan, dan kebutuhan serta tujuan ekonomi lainnya (Efendi, dkk., 2023). Oleh karena itu konstruksi jalan terus dikembangkan inovasinya agar memenuhi segala kebutuhan dan memiliki daya tahan yang baik. Lapisan tanah dasar, lapisan bawah pondasi, lapisan pondasi, dan lapisan permukaan merupakan beberapa lapisan yang membentuk suatu jalan. Karena kurangnya data dan peralatan percobaan laboratorium untuk mengevaluasi CBR konstruksi eksisting, maka bahaya penurunan kualitas yang tidak sesuai dengan umur desain merupakan risiko terbesar dalam konstruksi jalan (Zainuddin, 2016). Risiko alam, sosial, politik, ekonomi, hukum, keselamatan dan kesehatan kerja, manajerial, teknis, budaya, logistik, dan lingkungan merupakan beberapa variabel risiko yang mempengaruhi pelaksanaan proyek pembangunan jalan. bahaya yang

terkait dengan desain dan teknologi, tenaga kerja, dan kontrak (Hidayati, dkk., 2017).

Konstruksi Hijau

Konstruksi jalan memerlukan pengelolaan yang baik untuk mempertahankan kekuatan dan fungsinya. Pengelolaan tersebut berupa perbaikan, peningkatan maupun pemeliharaan jalan yang tidak lepas dari kegiatan konstruksi yang memberikan dampak positif dan dampak negatif yang cukup besar, untuk meminimalkan dampak negatif tersebut perlu dikembangkan konsep *green road construction* didukung dengan kebijakan dari pemerintah (Sari, dkk., 2020).

Subkategori dalam kategori material dan sumber daya alam serta teknologi perkerasan jalan merupakan subkategori pemeringkatan jalan ramah lingkungan yang kurang umum digunakan. Subkategori ini membutuhkan teknologi berbiaya rendah dan mudah diterapkan. Penggunaan teknologi campuran untuk material perkerasan jalan berenergi rendah, penerangan hemat energi untuk operasi konstruksi malam hari, dan daur ulang komponen yang telah dibongkar adalah beberapa contohnya (Lawalata, 2019).

Aspal Vulkanisasi Karet

Peningkatan mutu pada campuran aspal (*bitumen*) merupakan salah satu cara untuk mengurangi kerusakan jalan yang diakibatkan oleh beban berlebih yang mempercepat kerusakan jalan. Menambahkan polimer atau sisa ban bekas ke dalam campuran aspal merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas material, meskipun harga polimer masih terbilang mahal di Indonesia.

Kualitas fisik produk karet yang dihasilkan dapat diprediksi dengan menggunakan karakteristik vulkanisasi. Sistem vulkanisasi kompon yang digunakan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap sifat vulkanisasi kompon karet. Jika dibandingkan dengan sistem vulkanisasi tradisional dengan sistem vulkanisasi semi-efisien, tingkat ikatan silang antara molekul karet yang dijembatani oleh belerang akan

lebih tinggi pada sistem vulkanisasi tradisional (Prastanto, dkk., 2018). Hal tersebut dikarenakan jumlah sulfur yang ditambahkan lebih tinggi pada sistem konvensional daripada semi efisien. Kombinasi aspal modifikasi karet mempunyai kualitas lebih dibandingkan campuran aslinya, seperti peningkatan kepadatan, pengurangan rongga, dan peningkatan nilai stabilitas sebesar 8,39%. Dengan komponen karet ideal sebesar 8%, maka campuran aspal modifikasi karet mencapai kadar aspal optimal sebesar 6,25% (Sulaiman, dkk., 2018).

Penambahan aspal akan menaikkan nilai berat jenis, titik lunak, titik nyala, dan titik bakar, serta menurunkan nilai penetrasi dan daktilitas, menurut tinjauan parameter reologi dasar (Indriyati dan Susanto, 2015). Saat membuat aspal karet, kecepatan putaran mesin *agitator*, suhu, dan waktu pencampuran semuanya berperan besar dalam proses penggabungan komponen karet dengan aspal panas (Prastanto, dkk., 2018)

Piezoelektrik

Sensor silikon atau germanium yang disebut piezoelektrik dapat menghasilkan energi listrik ketika dibelokkan (*direct* piezoelektrik), dan akan dibelokkan ketika diberi tegangan (*inverse* piezoelektrik) (Rahmawati, dkk., 2021).

Sistem mekanik piezoelektrik akan mendapat tekanan dari ban yang lewat, yang akan mengubah energi mekanik menjadi energi getaran yang akan ditransfer ke sistem kantilever, membelokkan material piezoelektrik, dan menghasilkan tegangan listrik. Sistem pemanen energi diperlukan karena tegangan keluaran bahan piezoelektrik yang merupakan rangkaian sinyal impuls tidak dapat digunakan secara langsung. Modul pengisian daya, media penyimpanan, dan konverter energi membentuk sistem pemanenan energi.. (Yulia., dkk 2016).

Perkerasan Pracetak

Perkerasan kaku dapat dipahami sebagai bentuk solusi permasalahan beban lalu lintas yang bertambah dan menuntut kinerja serta durabilitas konstruksi jalan yang tinggi. Namun perkerasan pracetak ini memiliki kendala dalam proses pelaksanaan yang membutuhkan waktu lama. Oleh sebab itu industri konstruksi telah mengembangkan inovasi perkerasan pracetak untuk mereduksi waktu pelaksanaan.

Perkerasan pracetak dapat digunakan dalam 74,30% waktu pengoperasian dibandingkan dengan perkerasan beton biasa. Namun, karena sambungan antar panel relatif dekat, perkerasan pracetak masih mempunyai masalah kemudahan servis tertentu. Perkerasan pracetak terbukti lebih berhasil dan efisien untuk pekerjaan peningkatan jalan, dengan skor 58,43% dibandingkan dengan 41,58% untuk beton biasa (Nuroji, dkk., 2020).

Metode

Penelitian ini termasuk ke dalam kategori penelitian kuantitatif yang dianalisis dengan menggunakan ukuran yang ada. Data yang diambil ialah data primer (volume kendaraan Jalan Gombel) dan data sekunder (*output* listrik piezoelektrik dan HSPK 2023). Pengambilan data volume kendaraan dilakukan dengan pengamatan setiap dua jam sekali selama 15 menit pada Jalan Gombel.

Analisis RAB dilakukan dengan menggunakan *plugin SketchUp Quantifier* untuk menghitung volume pengerjaan dan biaya pengerjaan. Plugin SketchUp yang disebut Quantifier dapat digunakan untuk menghitung pengeluaran, luas, volume, panjang, dan berat. Pilih item dalam model Anda untuk menerima laporan sekarang. Lama pengerjaan dianalisis dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Project*.

Volume kendaraan digunakan sebagai basis untuk menghitung energi yang dihasilkan oleh piezoelektrik. *Break Event Point* (BEP) dianalisis dengan menggunakan hasil analisis RAB energi yang dihasilkan Piezoelektrik.

Hasil dan Pembahasan

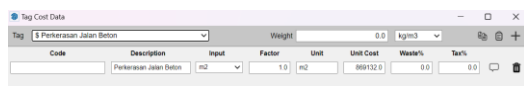
RAB

RAB atau rencana anggaran biaya dalam melakukan pekerjaan Jalan Gombel Lama dan Jalan Setia Budi dilakukan dengan menggunakan *plugin Quantifier* pada *SketchUp*. Setiap komponen yang akan dilakukan pekerjaan dimasukkan ke dalam *Outliner* untuk bisa dilakukan perhitungan. Adapun *outliner* RAB ini dapat dilakukan pada Gambar 2.



Gambar 2. Outliner RAB *Quantifier*

Nilai harga satuan harus dimasukkan terlebih dahulu ke dalam *Quantifier* agar dapat dihitung harganya. Harga satuan pekerjaan ini diambil dari buku HSPK Kota Semarang Tahun 2023. Contoh nilai satuan yang dimasukkan ke dalam *Quantifier* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh Nilai Satuan *Quantifier*

Setelah semua nilai satuan dan objek telah dimasukkan, maka *Quantifier* bisa langsung menghasilkan rencana anggaran biaya secara otomatis. Hasil rencana anggaran biaya ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Name	Total Length (m)	Total Area (m ²)	Total Volume (m ³)	Total Surface Area (m ²)	Total Cost (Rp.)
Bongkar Beton Jalan Gombel Lama	1451.27	13184.09	13147.41	29970.63	2,793,324,859.80
Bongkar Beton Jalan Setia Budi	1451.34	13406.57	13411.66	30582.93	2,849,468,016.10
Persiapan Jalan Gombel Lama	1451.27	13184.09	13147.41	29970.63	15,557,227.48
Persiapan Jalan Setia Budi	1451.34	13406.57	13411.66	30582.93	15,819,758.12
Baja Jalan Gombel Lama	109551.49	1095.51	8.51	3431.84	1,273,174,082.45
Baja Jalan Setia Budi	107140.50	1071.40	8.32	3356.31	1,245,154,318.75
Perkerasan Jalan Gombel Lama	1451.27	13078.62	42998.15	13341.18	11,367,049,543.49
Perkerasan Jalan Setia Budi	1451.28	13364.96	776.93	13612.15	11,615,914,925.07
Piezoelektrik Jalan Setia Budi	1642.00	1642.00		1642.00	492,600,000.00
Piezoelektrik Jalan Gombel Lama	1642.00	1642.00		1642.00	492,600,000.00
	228683.76	85075.83	96910.05	158132.61	32,160,662,731.28

Gambar 4. Rencana Anggaran Biaya Jalan Gombel Lama dan Jalan Setia Budi

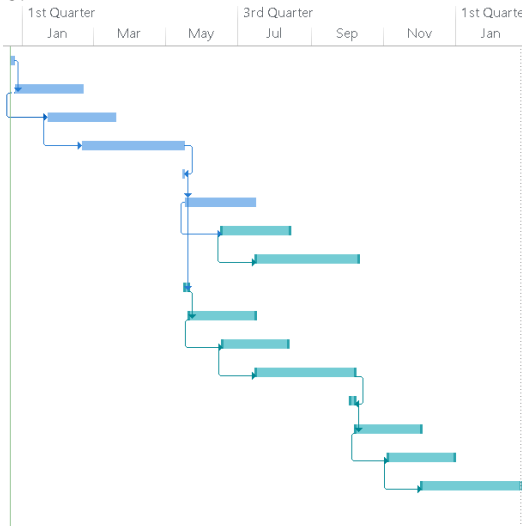
Total biaya yang dikeluarkan untuk Jalan Gombel Lama dan Jalan Setia Budi menurut *plugin Quantifier* ialah sebesar 32 miliar rupiah. Ini berarti untuk setiap 1 m² jalan, biaya yang dikeluarkan sebesar 1.218.226 rupiah. Dalam jangka waktu yang pendek inovasi ini lebih mahal dibandingkan dengan penggunaan aspal biasa, sistem pracetak yang dilakukan akan mempercepat waktu perbaikan dan biaya perbaikan yang ada. Perbaikan jalan biasa dilakukan dengan sistem tambal yang berlangsung selama 5 hari untuk setiap 10 m² sedangkan *precast* dapat menghemat waktu perbaikan menjadi sehari atau dua hari saja.

Lama Pekerjaan

Data HSPK Kota Semarang tahun 2023 juga digunakan untuk melakukan analisis lama pekerjaan dengan menggunakan *Microsoft Project*. Susunan daftar pekerjaan yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 5.

Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
	Penyiapan Bahu Jalan Se	2 days	Fri 12/22/23	Mon 12/25/23	
	Pembongkaran Beton Jal	42 days	Fri 12/22/23	Wed 2/21/24	1
	Pembesian Jalan Setia B.	42 days	Mon 1/22/24	Tue 3/19/24	25S+21 days
	Pembetonan Jalan	63 days	Tue 2/20/24	Thu 5/16/24	35S+21 days
	Penyiapan Bahu Jalan Se	2 days	Wed 5/15/24	Thu 5/16/24	4FF
	Pembongkaran Beton Jal	42 days	Fri 5/17/24	Mon 7/15/24	5
	Pembesian Jalan Setia B.	42 days	Mon 6/17/24	Tue 8/13/24	65S+21 days
	Pembetonan Jalan	63 days	Tue 7/16/24	Thu 10/10/24	75S+21 days
	Penyiapan Bahu Jalan Gc	2 days	Fri 5/17/24	Mon 5/20/24	5
	Pembongkaran Beton Jal	40 days	Tue 5/21/24	Mon 7/15/24	9
	Pembesian Jalan Gombel	40 days	Tue 6/18/24	Mon 8/12/24	105S+20 days
	Pembetonan Jalan	60 days	Tue 7/16/24	Mon 10/7/24	115S+20 days
	Penyiapan Bahu Jalan Gc	2 days	Fri 10/4/24	Mon 10/7/24	12FF
	Pembongkaran Beton Jal	40 days	Tue 10/8/24	Mon 12/2/24	13
	Pembesian Jalan Gombel	40 days	Tue 11/5/24	Mon 12/30/24	145S+20 days
	Pembetonan Jalan	60 days	Tue 12/3/24	Mon 2/24/25	155S+20 days

Gambar 5. Susunan Pekerjaan Microsoft Project Hasil dari perhitungan lama pekerjaan Microsoft Project dapat dilihat pada Gambar 6.

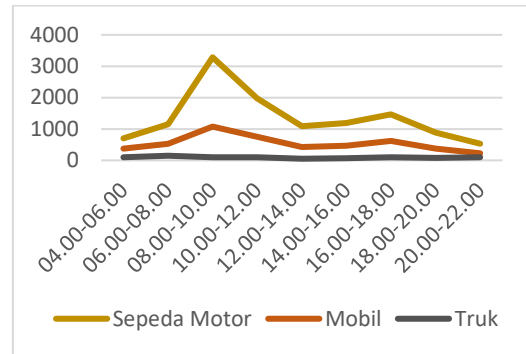


Gambar 6. Contoh Nilai Satuan Quantifier

Lama pekerjaan semua ruas jalan ialah selama 14 bulan. Hal ini dikarenakan pekerjaan jalan harus dilakukan secara bertahap agar pengendara masih dapat melalui jalan dengan nyaman. Perencanaan perubahan jalan ini dilakukan dengan perubahan salah satu ruas satu jalan terlebih dahulu dan setelahnya ruas yang lainnya dilakukan pekerjaan.

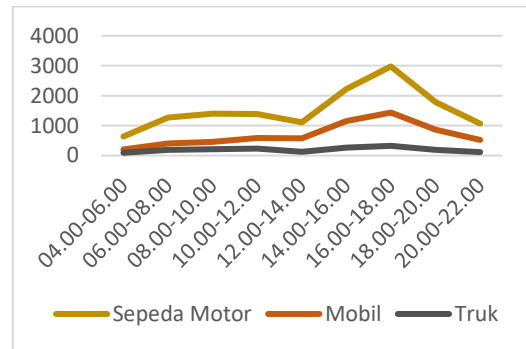
Volume Lalu Lintas dan Energi Piezoelektrik

Volume Jalan Gombel Lama dan Jalan Setia Budi diukur selama tujuh hari, dari tanggal 27 November 2023 sampai tanggal 3 Desember 2023. Pada hari biasa (Senin-Jumat) rata-rata volume penggunaan Jalan Setia Budi dapat dilihat pada Gambar 7.



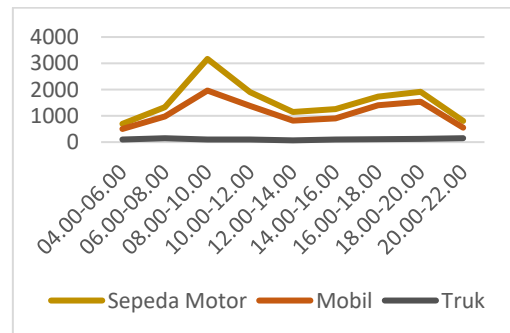
Gambar 7. Volume Kendaraan Jalan Gombel Lama Pada Hari Biasa

Puncak volume kendaraan sepeda motor dan mobil pribadi terjadi pada pukul 08.00-10.00 sedangkan truk mengalami puncak volume pada pukul 20.00-22.00. Rata-rata volume kendaraan pada Jalan Setia Budi di hari biasa dapat dilihat pada Gambar 8.



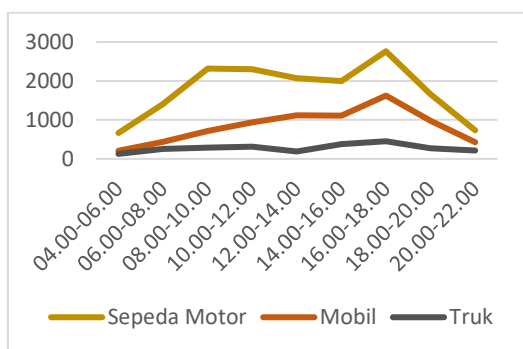
Gambar 8. Volume Kendaraan Jalan Setia Budi Pada Hari Biasa

Puncak volume kendaraan sepeda motor, mobil pribadi, dan truk terjadi pada pukul 16.00-18.00. Rata-rata volume kendaraan pada Jalan Gombel Lama di akhir minggu dapat dilihat pada Gambar 9.



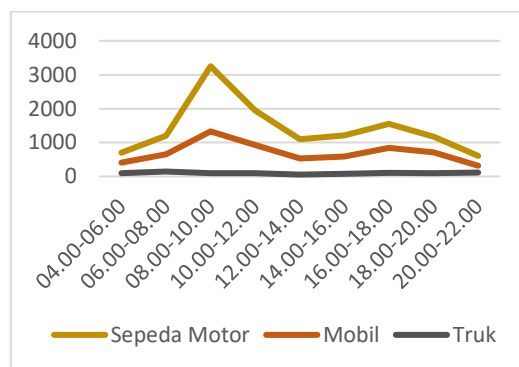
Gambar 9. Volume Kendaraan Jalan Gombel Lama Pada Akhir Minggu

Puncak volume kendaraan pada akhir minggu memiliki pola yang relatif sama dibandingkan dengan hari biasa. Secara umum, semua jenis kendaraan mengalami peningkatan volume di akhir minggu dibandingkan dengan hari biasa. Terdapat peningkatan volume mobil pribadi hingga lebih dari dua kali lipat dibandingkan dengan hari biasa. Rata-rata volume kendaraan pada Jalan Setia Budi di akhir minggu dapat dilihat pada Gambar 10.

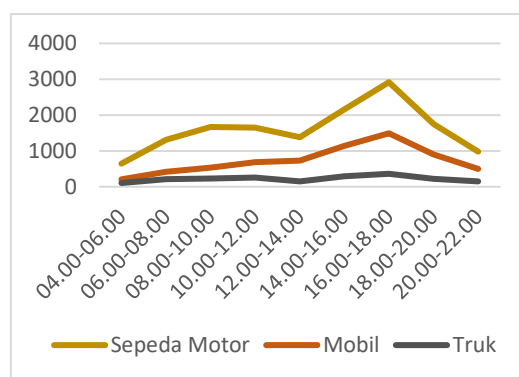


Gambar 10. Volume Kendaraan Jalan Setia Budi Pada Akhir Minggu

Puncak volume kendaraan pada akhir minggu memiliki pola yang berbeda terutama pada volume pengendara motor dibandingkan dengan hari biasa. Secara umum, semua jenis kendaraan mengalami peningkatan volume di akhir minggu dibandingkan dengan hari biasa. Terjadi peningkatan volume sepeda motor lebih dari dua kali lipat pada pukul 08.00-14.00. Perhitungan energi yang dihasilkan oleh piezoelektrik dilakukan dengan menggunakan rata-rata volume kendaraan selama tujuh hari, Rata-rata volume kendaraan di Jalan Gombel Lama dan Jalan Setia Budi selama tujuh hari dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Rata-Rata Volume Kendaraan Jalan Gombel Lama Selama Tujuh Hari



Gambar 12. Rata-Rata Volume Kendaraan Jalan Setia Budi Selama Tujuh Hari

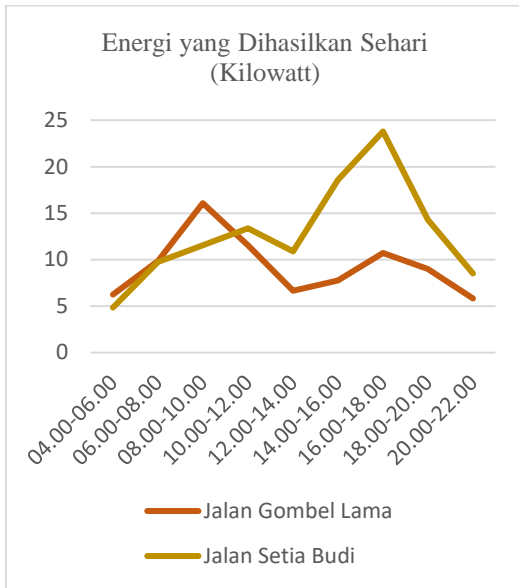
Setiap jenis kendaraan akan menghasilkan jumlah energi yang berbeda. Semakin besar kendaraan, semakin besar juga energi yang dihasilkan. Besar energi yang dihasilkan setiap jenis kendaraan untuk satu alat Piezoelektrik dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Energi yang Dihasilkan Kendaraan

Sepeda Motor	Mobil Pribadi	Truk
4,34 Joule	17,36 Joule	208,32 Joule

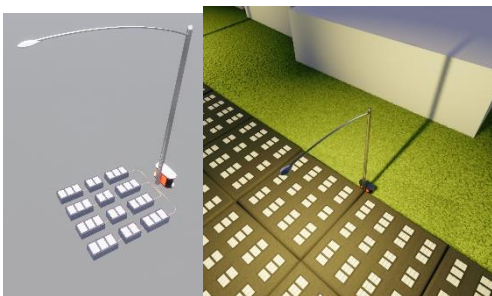
Sumber: Walubita et al., 2018

Perhitungan energi yang dihasilkan pada Jalan Gombel Lama dan Jalan Setia Budi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Energi yang Dihasilkan Jalan Gombel Lama dan Jalan Setia Budi dalam Sehari

Pada pukul 08.00-10.00, Jalan Gombel Lama menghasilkan lebih banyak energi dibandingkan dengan Jalan Setia Budi. Pada waktu lainnya, Jalan Setia Budi menghasilkan energi yang lebih banyak dibandingkan dengan Jalan Gombel Lama. Hal ini dikarenakan secara umum, Jalan Setia Budi memiliki volume kendaraan yang lebih padat dibandingkan dengan Jalan Gombel Lama. Rata-rata energi yang dihasilkan Jalan Gombel Lama sebesar 4,65 Kilowatt untuk setiap jamnya sedangkan Jalan Setia Budi menghasilkan 6,42 Kilowatt setiap jamnya. Energi yang dihasilkan oleh piezoelektrik akan digunakan untuk lampu jalanan seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Penggunaan Energi Piezoelektrik untuk Penerangan Jalan

Pada rangkaian sistem piezoelektrik dihubungkan kepada baterai untuk menyimpan energi pada lampu penerangan jalan. Setiap lampu memerlukan energi sebesar 200-watt sehingga seluruh jalan Gombel Lama memerlukan 16,42 kilowatt, sedangkan Jalan Setia Budi memerlukan 16,72 kilowatt. Hal ini menunjukkan bahwa ada kekurangan energi yang dihasilkan piezoelektrik dan sebaiknya dipenuhi melalui sumber energi lainnya. Sumber energi yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi ini, sebaiknya merupakan sumber energi yang berkelanjutan.

Kesimpulan dan Saran

Inovasi futuristik material konstruksi ramah lingkungan merupakan solusi permasalahan lingkungan yang diakibatkan adanya transportasi di Kota Semarang. Ketiga inovasi yang ditawarkan meliputi penggunaan aspal vulkanisasi karet, perkerasan pracetak, dan piezoelektrik. Penerapan ketiga inovasi tersebut didasari pada tiga poin penting yakni pemanfaatan jumlah volume kendaraan yang besar untuk menghasilkan energi, ketersediaan bahan aspal vulkanisasi, dan mitigasi risiko rusaknya jalan akibat intensitas penggunaan jalan yang tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume maksimal kendaraan yang melintasi ruas Jalan Gombel berkisar antara pukul 08.00-10.00 dan 16.00-18.00 WIB pada hari biasa dan akan bertambah pada akhir pekan. Getaran kendaraan pada struktur perkerasan jalan tersebut menghasilkan energi yang berbeda-beda dengan memanfaatkan piezoelektrik. Motor menghasilkan 4,34 joule, mobil sebesar 17,36 joule, dan truk 208,32 joule. Energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk sistem penerangan jalan dalam jumlah kecil.

Volume kendaraan yang padat menyebabkan kerusakan jalan di beberapa titik. Solusi yang ditawarkan adalah penggunaan beton pracetak. Penggunaan beton pracetak pada perbaikan jalan dapat mempercepat pekerjaan tanpa mengganggu

aktivitas rute transportasi dengan waktu yang singkat dibandingkan metode perkerasan aspal konvensional.

Dalam penelitian ini terdapat beberapa rekomendasi. Pertama, penelitian ini menggunakan pendekatan empiris, sehingga diperlukan pengembangan uji coba pada titik tertentu untuk mengetahui perbandingan energi riil dan empiris. Selain itu, diperlukan penambahan sumber energi listrik lain sehingga mampu memenuhi kebutuhan penerangan jalanan. Penulis juga mengharapkan adanya pengembangan lanjutan mengenai pemanfaatan aspal vulkanisasi karet pada beberapa ruas jalan dengan mempertimbangkan potensi kuantitas, kandungan kimiawi, serta potensi polusi rendah yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik Kota Semarang. (2023). Kota Semarang Dalam Angka. Semarang: Badan Pusat Statistik Kota Semarang, ISSN 0215-594X, 285.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2022). Banyaknya Kecelakaan Lalu Lintas di Wilayah Hukum Polres Semarang 2020-2022. Diambil dari: <https://semarangkab.bps.go.id/indicator/34/356/1/banyaknya-kecelakaan-lalu-lintas-di-wilayah-hukum-polres-semarang.html>.
- Badan Pusat Statistik Republik Indonesia/ BPS RI. (2022). Konstruksi Dalam Angka. Jakarta: Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, ISSN 2548-2696, 2.
- Efendi, M. F. Manggala, A. S. Alihudien, Arief. (2023). Perencanaan Konstruksi Jalan Serta Drainase (Studi Kasus Gunung Kapur Desa Grenden Kecamatan Puger Kabupaten Jember). *Jurnal Smart Teknologi*, 4(6), 743, ISSN: 2774-1702.
- Hidayati, Rahmi. Natalia, Monika. Adibroto, Fauna. Mafriyal. Yurisman. Saskia, Rizkina. (2017). Analisis Variabel-Variabel Risiko pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Jalan. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 14(2), 56, ISSN: 1858-3695.
- Indriyati, E. W. Susanto, H. A. (2015). Kajian Sifat-Sifat Reologi Aspal dengan Penambahan Limbah Ban Bekas. *Dinamika Rekayasa*, 11(1), 28, ISSN: 1858-3075.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat / PUPR. (2022). Informasi Statistik Infrastruktur. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, ISBN 978-979-8230-34-9, 41-47.
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional/ BAPPENAS. (2023). Rencana kerja pemerintah tahun 2024: Mempercepat Transformasi Ekonomi yang Inklusif dan Berkelanjutan. Jakarta: Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional, 82
- Korps Lalu Lintas Kepolisian Negara Republik Indonesia. (2023, Desember 22). Jumlah Data Kendaraan Polda Jawa Tengah. Diambil dari: <http://rc.korlantas.polri.go.id:8900/eri2017/laprekappolres.php?kdpolda=9&poldanya=JAWA%20TENGAH>
- Lawalata, G. M. (2019). Pemingkatan Jalan Hijau Untuk Mendukung Implementasi Program Konstruksi Jalan Berkelanjutan. *Jurnal Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia*, 5(1), 29-30.
- Negar, I. P. S., Suyasa, I. W. B., Suarna, I. W. (2012). Pengaruh Nilai Oktan Bahan Bakar dan Putaran Mesin pada Kendaraan Bermotor Terhadap Karakteristik Emisi Gas Buangan. *Ecotrophic* 4(2), ISSN 1907-5626, 106-111.
- Nuroji. Setiadji, B. H. Aktorima, Wahyu. (2020). Perbandingan Perkerasan Kaku Pracetak dan Beton Konvensional dengan Menggunakan Analytical Hierarchy Process (AHP). *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 212.
- Prastanto, Henry. Firdaus, Yusef. Puspitasari, Santi, Ramadhan, Arief. Falaah, A. F. (2018). Studi Kinerja Kompon Karet Alam tanpa Bahan Pengisi sebagai Bahan Pemodifikasi Aspal Panas. *Jurnal Penelitian Karet*, 36(2), 159, 163.
- Rahmawati, Diana. Ulum, Miftachul. Farisal, Muhammad. Joni, Koko. (2021). Lantai Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik dengan Buck Converter LM2596. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 7(3), 85, ISSN 2443-2318.
- Sari, Adria. Yossyafra. Adji, B. M. (2020). Asesmen Tingkat Pemahaman Penyelenggara Jalan Kota Terhadap Kriteria Green Roads Construction Di Kota Payakumbuh Tahun 2019. *Rang Teknik Jurnal*, 3(2), 207. DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v3i2.1782> , diunduh pada 25 Desember 2023.
- Sulaiman, Suherman. Utami, Retno. Yulianti, N.P. (2018). Karakteristik Asphalt Concrete Wearing Course akibat penambahan Karet Alam Padat SIR20 dengan Metode Eksperimental. *Jurnal Politeknik Negeri Bandung: Industrial Research Workshop and National Seminar*, 9, 203. DOI: <https://doi.org/10.35313/irwns.v9i0.1070> , diunduh pada 25 Desember 2023.
- Walubita, L. F., Sohoulane Djebou, D. C., Faruk, A. N. M., Lee, S. I., Dessouky, S., & Hu, X. (2018). Prospective of societal and environmental benefits of piezoelectric technology in road energy harvesting. *Sustainability*, 10(2), 383.

Yulia, Elfi. Putra, E.P. Ekawati. Estiyanti. Nugraha. (2016). Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor. *J.Oto.Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, 8(1), 106, ISSN: 2085-2517.

Zainuddin. (2016). Analisa Faktor Risiko Pada Proyek Kontruksi Jalan Raya (Studi Kasus; Proyek Pembangunan Jalan Perdesaan - Bojonegoro). *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 73-75, 81.

<https://ojs.ejournalunigoro.com/index.php/DeTeksi/article/view/107>, diunduh pada 24 Desember 2023.

Lampiran

1. Jenis Pekerjaan : **Penyiapan Badan Jalan**
Satuan Pekerjaan : m²

Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A. Urahan Tenaga					
1. Pekerja	L.01	OH	0,0002	120.000,00	24,00
2. Mandor	L.14	OH	0,0001	145.000,00	14,50
Jumlah Harga Urahan Tenaga					38,50
B. Bahan					
Jumlah Harga Bahan					-
C. Peralatan					
1. Motor grader >100 HP	E.30	jam	0,0003	548.600,00	164,58
2. Vibratory roller 5-8 ton	E.41	jam	0,0016	392.200,00	627,52
3. Alat bantu	E.50	set	0,0001	50.000,00	5,00
Jumlah Harga Peralatan					1.042,10
D. Jumlah (A+B+C)					1.080,60
E. Overhead & Profit				10% x D	108,06
F. Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					1.188,66

Lampiran 1. HSPK Kota Semarang 2023 Penyiapan Badan Jalan

22. Jenis Pekerjaan : **Bongkar beton dengan Jack Hammer**
Satuan Pekerjaan : m²

Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A. TENAGA KERJA					
1. Pekerja	L.01	OH	0,960	120.000,00	115,20,00
2. Mandor	L.14	OH	0,200	145.000,00	29,00,00
Jumlah Harga TENAGA KERJA					144,20,00
B. Bahan					
Jumlah Harga BAHAN					-
C. PERALATAN					
1. Jack hammer	E.29	jam	0,160	50.300,00	8,048,00
2. Papan Ondem (Baja keras)	E.73	buah	0,050	25.000,00	1.250,00
3. Gerangi Besi	E.74	buah	0,100	3.500,00	350,00
4. Papan beton (Baja keras)	E.75	buah	0,200	15.000,00	3.000,00
Jumlah Harga ALAT					12,648,00
D. Jumlah (A+B+C)					156,848,00
E. Overhead & Profit				10% x D	15,684,80
F. Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					172,532,80

Lampiran 2. HSPK Kota Semarang 2023 Bongkar Beton dengan Jack Hammer

12. Jenis Pekerjaan : **Pembesian dengan baja tulangan polos U-24**
Satuan Pekerjaan : kg

Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
A. TENAGA KERJA					
1. Pekerja	L.01	OH	0,700	120.000,00	84,000,00
2. Tukang besi	L.04	OH	0,700	145.000,00	101,500,00
3. Kepala Tukang	L.13	OH	0,070	135.000,00	9,450,00
4. Mandor	L.14	OH	0,070	145.000,00	10,150,00
Jumlah Harga TENAGA KERJA					205,100,00
B. Bahan					
1. Baja tulangan polos U-24	M.145	kg	1,00	14.250,00	14.250,00
2. Kawat pengikat	M.143	kg	1,0	20.420,00	20.420,00
Jumlah Harga BAHAN					34.670,00
C. PERALATAN					
Jumlah Harga ALAT					-
D. Jumlah (A+B+C)					239,770,00
E. Harga per kg					17,333,80
F. Overhead & Profit				10% x E	1,733,38
G. Harga Satuan Pekerjaan (E+F)					19,067,18

Lampiran 3. HSPK Kota Semarang 2023 Pembesian

K. Harga Satuan Pembangunan Tipologi Jalan (dalam rupiah/meter persegi bangunan)

Nomor	Tipologi Jalan	Harga
1.	Perkerasan jalan beton K-300 t=15 cm termasuk bekisting, beton k-100, dowel	424.849
2.	Perkerasan jalan beton K-300 t=20 cm termasuk bekisting, beton k-100, dowel	488.318
3.	Perkerasan jalan beton K-250 t=15 cm termasuk bekisting, beton k-100, dowel	416.576
4.	Perkerasan jalan beton K-250 t=20 cm termasuk bekisting, beton k-100, dowel	477.288

Lampiran 4. HSPK Kota Semarang 2023 Perkerasan Jalan