

PERHITUNGAN SISTEM HIDROLIK UNTUK PENGGERAK PISAU PADA MESIN PENGHAPUS MARKA JALAN

Nanang Ali Sutisna^{1,a}, Muhammad Munajad^{2,b}

^{1,2}Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, President University Jl. Ki Hajar Dewantara, Jababeka Education Park, Bekasi, 17550, Indonesia

^a nanang.ali@president.ac.id, ^b muhammad.munajad1996@gmail.com

Abstrak.

Salah satu alat yang sangat penting (vital) dan krusial dalam pekerjaan marka jalan adalah mesin penghapus marka jalan. Pada umumnya, mesin yang digunakan untuk menghapus marka jalan adalah mesin penghapus marka jalan dorong. Tetapi, mesin penghapus marka jalan dorong mempunyai kekurangan yaitu memerlukan waktu yang lama dalam proses penghapusan marka jalan, sehingga kurang efisien. Karena itu, mesin penghapus marka jalan truk menjadi salah satu opsi untuk menggantikan mesin penghapus marka jalan dorong. Mesin penghapus marka jalan ini menggunakan sistem grinding dengan posisi pisau penghapus vertikal dengan tenaga hidrolik sebagai penggerak pisaunya karena dapat meredam beban kejut dan dorongan ke atas dari proses penghapusan, memiliki *overload protection*, dan ukuran komponen tidak terlalu besar. Kajian ini dimulai dengan melakukan observasi terhadap mesin jalan dorong yang sudah ada, kemudian menentukan pisau penghapus dan menghitung daya yang dibutuhkan, selanjutnya menentukan komponen dan menghitung sistem hidrolik yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan spesifikasi pisau penghapus dan sistem hidrolik yang dibutuhkan yaitu *surface milling cutter* tipe WFX12200R dari Sumitomo Electric Hardmetal Corporation dengan kecepatan putar 750 rpm, motor hidrolik Danfoss dengan kode OMR-80 dengan torsi 136 Nm dan *displacement* 80.3 cc/putaran, serta pompa hidrolik Parker tipe 0210 dengan *displacement* 21 cc/putaran. Dari hasil pengujian di lapangan, kelebihan dari mesin ini adalah tiga kali lebih cepat dari mesin penghapus marka jalan dorong, mata pisau yang dipakai lebih sedikit, mampu menahan beban kejut dan gaya dorong keatas akibat dari proses penghapusan, dan motor bakar sebagai sumber daya pada mesin lebih tahan lama.

Kata kunci. *Mesin Penghapus Marka Jalan, Sistem Hidrolik, Grinding, Perancangan.*

Abstract.

One of very important and vital tool in road marking is road mark erasing machines. In general, the machine used to repair road markings is a road marking erasing machine that is pushed manually. However, this machine has a disadvantage that requires a long time in the process of erasing the road marking, so making it less efficient. Therefore, the truck road mark erasing machine is one of the options to replace the erasing machine that is pushed manually. The machine uses a grinding system with a vertical blade eraser position and hydraulic power to drive the blades as it is able to withstand shock loads and thrust upwards due to the removal process, having overload protection, and the size of components are not large. The study started with doing observation to the existing manual erasing machine, then determining the required blades and calculating as well as selecting the required components of the hydraulic system. Based on the calculation, the blade specification was obtained and selected, i.e surface milling cutter of type WFX12200R from Sumitomo Electric Hardmetal Corporation having rotation speed 750 rpm, hydraulic motor from Danfoss of type OMR-80 having torque 136 Nm dan displacement 80.3 cc/rev., and using hydraulic pump from Parker of type 0210 having displacement 21 cc/rev. From the test result in the field, this machine is three times faster than the manually pushed machine, less number of the blade used, and the engine as a resource on the machine is more durable.

Keywords: *Road Marking Erasing Machine, Hydraulic System, Grinding, Design.*

Pendahuluan

Tingkat kecelakaan lalu lintas di Indonesia pada tahun 2017 tercatat mencapai 103.228 kali dan 59,07% terjadi di Pulau Jawa [1]. Sebuah studi tentang kecelakaan lalu lintas jalan di Indonesia [2] menunjukkan bahwa salah satu faktor penyebab kecelakaan disebabkan oleh prasarana yang meliputi daerah rawan kecelakaan belum ditangani dengan baik, konstruksi jalan yang kurang baik, kurang baiknya kondisi jembatan, alat penerangan jalan, alat pemberi isyarat lalu lintas dan marka jalan.

Marka jalan yang sudah rusak atau bertumpuk-tumpuk perlu diperbaiki karena marka jalan yang buruk membahayakan pengemudi jalan, sehingga marka jalan perlu dihapus dan diganti dengan marka jalan yang baru.

Mesin penghapus marka jalan yang ada selama ini menggunakan mesin penghapus yang didorong. Gambar 1 di bawah ini memperlihatkan mesin penghapus marka jalan dorong, dimana pisau penghapus digerakkan oleh sebuah motor bakar dan penghapusan dilakukan dengan cara mendorong mesin tersebut sepanjang marka jalan yang akan dihapus. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, laju penghapusan mesin dorong ini sangat lambat yaitu sekitar 4,17 m/menit, sehingga kurang efisien untuk menghapus marka jalan yang panjang. Berdasarkan kenyataan di lapangan tersebut, sebuah mesin penghapus marka jalan yang lebih efisien perlu dirancang dan dibuat.

Obeservasi Mesin Penghapus Marka Jalan Dorong

Mesin penghapus marka jalan yang telah ada dan banyak digunakan memiliki spesifikasi sebagai mana diuraikan pada tabel 1. Mesin ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain konstruksinya sederhana sehingga mudah pembuatan dan perawatannya serta harganya lebih murah.



Gambar 1. Mesin penghapus jalan dorong

Tetapi mesin penghapus ini mempunyai beberapa kekurangan yaitu:

- Memerlukan waktu yang lama untuk penghapusan marka jalan.
- Motor bakar sering rusak akibat dekatnya jarak antara motor bakar dan pisau penghapus, sehingga debu hasil penghapusan marka masuk ke dalam motor bakaran
- Seringnya penggantian belt karena umur belt yang pendek.
- Belt sering slip dan motor bakar rentan rusak karena terkena beban kejut dari proses

- penghapusan
- Jumlah mata pisau yang banyak sehingga memerlukan persediaan untuk penggantian jika rusak
- Hanya mengandalkan berat mesin untuk meredam getaran dan gaya dorong keatas, sehingga hasil penghapusan marka jalan kurang bersih
- Karena menggunakan tipe pisau horisontal dan jenis pisau flail it, penghapusan kurang bersih.

Tabel 1. Mesin Penghapus Marka Jalan Dorong

No	Data	Spesifikasi
1	Sumber Daya	Motor bakar
2	Tipe	Honda GX-390 11.7 Hp
3	Transmisi Daya	V Belt
4	Tipe Pisau	Horisontal
5	Jenis Mata Pisau	Flail It
6	Jumlah Mata Pisau	50 Pisau
7	Kecepatan Pemakanan	4,17 m/menit

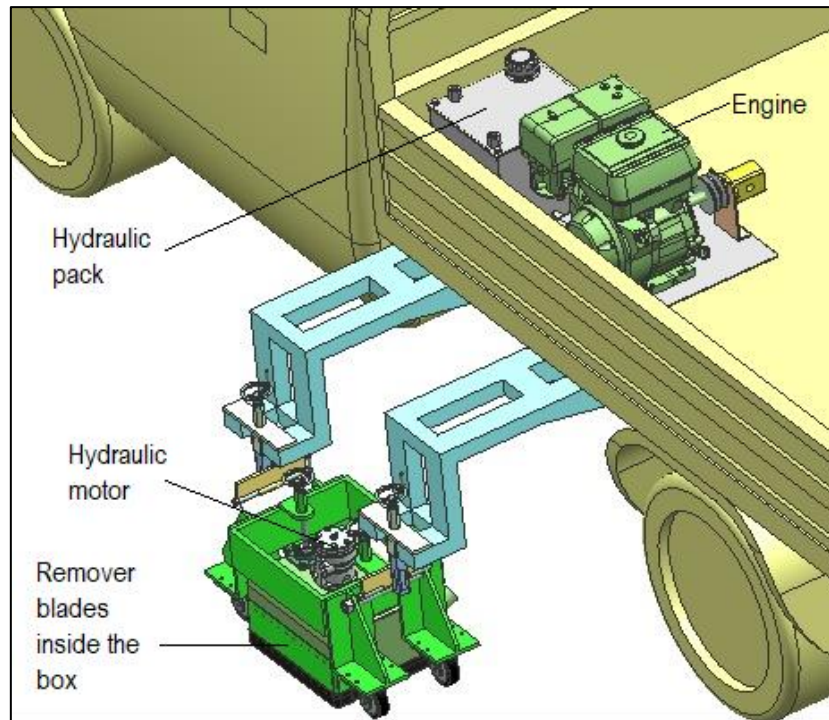
Mesin Penghapus Marka Jalan Yang Dirancang

Mesin penghapus marka jalan yang dirancang akan ditempatkan di samping mobil truk atau mobil pickup dan bergerak bersamaan dengan mobil tersebut, karena itu kecepatan mobil harus disesuaikan dengan kecepatan kerja mesin penghapus marka jalan. Gambar 2 memperlihatkan mesin penghapus marka jalan yang diikatkan ke mobil. Di atas bak mobil terdapat motor bakar dan hydraulic pack sedangkan unit penghapus marka jalan ada di sampingnya.

Pompa hidrolik yang merupakan satu unit di dalam *hydraulic pack* digerakkan oleh sebuah motor bakar yang keduanya terletak di atas bak mobil, kemudian aliran fluida hidrolik ini diteruskan ke motor hidrolik di unit penghapus jalan yang diikatkan di samping bak mobil yang mana motor hidrolik akan menggerakkan pisau penghapus marka jalan (*road mark remover blades*).

Sebelum melakukan perhitungan, terlebih dahulu perlu menentukan jenis sumber daya untuk menggerakkan pisau penghapus. Pemilihan sumber daya dalam rancangan mesin penghapus marka jalan ini perlu memperhatikan beberapa faktor yaitu:

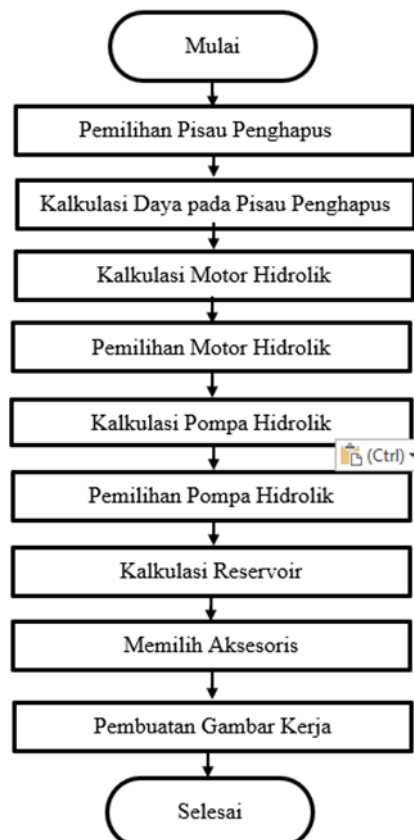
- Torsi atau daya yang dibutuhkan untuk menghapus marka jalan
- Dapat meredam beban kejut dari proses penghapusan
- Tahan terhadap debu hasil penghapusan marka jalan
- Terdapat overload protection
- Ukuran komponen tidak terlalu besar
- Dapat mentransmisikan daya dari bak truk ke pisau penghapus



Gambar 2. Mesin penghapus marka jalan dipasang di mobil truk

Setelah mempertimbangkan hal diatas, maka sumber daya yang menggunakan sistem hidrolik lebih tepat untuk mesin penghapus marka jalan jenis truk ini.

Tahapan perhitungan komponen-komponen mesin penghapus marka jalan ini dilakukan sebagaimana digambarkan dalam diagram alir di bawah ini:



Pemilihan Pisau Penghapus

Spesifikasi yang sesuai untuk penghapusan marka jalan, yaitu:

- Dapat menghapus material marka jalan dan concrete
- Mempunyai sifat yang keras diluar dan lunak dibagian dalam
- Dapat menghapus marka jalan dengan lebar 150 mm Dapat menghapus marka jalan dengan tebal 7 mm

Dari kebutuhan diatas, maka diputuskan menggunakan pisau penghapus yang digunakan untuk proses surface milling dengan diameter 200 mm. Dari spesifikasi yang diberikan diatas, maka pisau penghapus akan menggunakan *surface milling cutter* yang diproduksi oleh Sumitomo Electric Hardmetal Corporation [3] dengan kode WFX12200R tipe standar sebagaimana terlihat pada gambar 3. Kecepatan rotasi yang disarankan untuk memotong benda kerja selain metal kurang lebih 750 rpm.



Gambar 3. Pisau penghapus marka jalan WFX12200R [3]

Perhitungan Daya Pada Pisau Penghapus

Daya yang pada sebuah mesin menentukan batas pemakanan yang bisa dilakukan. Ketika mesin penghapus menghapus marka jalan, perlu dikalkulasikan estimasi daya yang dibutuhkan agar mesin dapat bekerja maksimal agar menghindari kekurangan atau kelebihan daya. Berikut cara mengestimasi daya yang dibutuhkan mesin penghapus [4]:

$$P_n = \frac{WHf_mK_c}{60.10^6} \quad (1)$$

Dimana:

P_n = Daya (kW)

W = Lebar marka jalan yang dihapus (mm)

H = Tebal marka jalan yang dihapus (mm)

f_m = Kecepatan pemakanan (mm/menit)

K_c = Cutting force (N/mm^2)

Lebar marka jalan yang akan dihapus yaitu 150 mm dengan ketebalan 7 mm, kecepatan penghapusan yaitu 13,56 m/menit [5]. Untuk cutting force yaitu 45 N/mm^2 [6]. Dengan menggunakan persamaan 1, maka daya yang dibutuhkan pisau penghapus sebesar:

$$P_n = \frac{WHf_mK_c}{60.10^6}$$

$$P_n = \frac{(150)(7)(13560)(45)}{60.10^6}$$

$$P_n = 10,678 \text{ kW}$$

Membandingkan kecepatan pemakanan f_m pada mesin penghapus marka jalan ini yaitu sebesar 13,56 m/menit dengan penghapus marka jalan tipe dorong yaitu sebesar 4,17 m/menit (tabel 1) maka kecepatan pengerjaan dengan mesin penghapus marka jalan tipe truk ini adalah lebih dari tiga kali kecepatan mesin penghapus tipe dorong.

Perhitungan dan Pemilihan Motor Hidrolik

Torsi Pada Motor Hidrolik

Besarnya kecepatan sudut dengan kecepatan rotasi pisau penghapus sebesar 750 rpm adalah:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} N$$

$$\omega = 78,57 \text{ rad/detik}$$

Dan besarnya daya output pada motor hidrolik yaitu [7]:

$$P_{out M} = T \cdot \omega \quad (2)$$

dimana $P_{out M}$ adalah sama dengan daya yang dibutuhkan pisau penghapus, sehingga torsi adalah:

$$T = \frac{P_{out M}}{\omega} \quad (3)$$

$$T = \frac{(10678 \text{ Watt})}{78,57 \text{ rad/detik}}$$

$$T = 135,93 = 136 \text{ Nm}$$

Daya Input pada Motor Hidrolik

Dengan asumsi bahwa pada sistem ini dalam keadaan setimbang, maka daya input sama besarnya dengan daya output, yaitu sebesar 10,678 kW.

Tekanan yang Bekerja pada Motor Hidrolik

Mesin penghapus marka jalan termasuk kedalam jenis aplikator machine tools [8]. Maka tekanan maksimal yang bekerja pada sistem hidrolik sebesar 200 bar atau $2e^7$ Pa. Dalam kajian ini, tekanan yang ditetapkan adalah sebesar 130 bar atau $1.3e^7$ Pa.

Laju Aliran Fluida pada Motor Hidrolik

Besarnya laju aliran fluida pada sistem hidrolik mesin penghapus dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini [7]:

$$P_{in M} = p \cdot Q$$

$$Q = \frac{P_{in M}}{p} \quad (4)$$

Dimana:

$P_{in M}$ = Daya input hidrolik motor (Watt)

p = Tekanan (Pa)

Q = Laju aliran fluida ($m^3/detik$)

Sehingga, besarnya laju aliran fluida pada sistem hidrolik mesin penghapus yaitu:

$$Q = \frac{10678 \text{ Watt}}{1.3e^7 \text{ Pa}}$$

$$Q = 0.000821 \frac{m^3}{detik} = 8.21e^{-4} \frac{m^3}{detik} = 49,26 \text{ l/menit}$$

Displacement pada Motor Hidrolik

Besarnya displacement pada motor hidrolik dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini, yaitu [7]:

$$Q = V_D N$$

$$V_D = \frac{Q}{N} \tag{5}$$

Dimana:

- Q = Laju aliran fluida ($m^3/detik$)
- V_D = Displacement (m^3/rev)
- N = Kecepatan rotasi pada hidrolik motor (rps)

Sehingga, besarnya displacement pada motor hidrolik yaitu:

$$V_D = \frac{8,21e^{-4} \frac{m^3}{detik}}{12.5 \text{ rps}}$$

$$V_D = 6,57e^{-5} \frac{m^3}{rev}$$

Berdasarkan perhitungan-perhitungan parameter motor hidrolik dia atas, didapatkan spesifikasi untuk pemilihan motor hidrolik dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi motor hidrolik

No	Parameter	Simbol	Nilai	Unit	Keterangan
1	Kecepatan rotasi	N	750	rpm	Spec pisau WFX12200R
2	Torsi	T	136	Nm	Persamaan 3
3	Tekanan	p	130	bar	Ditetapkan berdasarkan jenis aplikasi
4	Laju aliran fluida	Q	50	lpm	Persamaan 4
5	Displacement	V_D	65,7	cc/rev	Persamaan 5

Berdasarkan tabel 2 diatas, maka dipilihlah motor hidrolik Danfoss dengan kode OMR-80 yang memiliki *displacement* 80,3 cc/rev [9].

Kalkulasi dan Pemilihan Pompa Hidrolik

Daya Input pada Pompa Hidrolik

Dengan asumsi bahwa pada sistem ini dalam keadaan setimbang, maka daya input sama besarnya dengan daya output, yaitu sebesar 10.680 Watt.

Displacement pada Pompa Hidrolik

Kecepatan rotasi pompa hidrolik diambil sebesar 2500 rpm atau 41,67 rps berdasarkan nilai spesifikasi pompa hidrolik Parker, yaitu maksimum 3500 rpm. Sehingga, besarnya displacement pada pompa hidrolik dapat dihitung dengan persamaan 7 yaitu [10]:

$$P_{in P} = V_D p N \quad (6)$$

Dimana:

- $P_{in P}$ = Daya input hidrolik pompa (Watt)
- p = Tekanan pada sistem hidrolik (Pa)
- V_D = Displacement pompa hidrolik (m^3/rev)
- N = Kecepatan rotasi pada pompa hidrolik (rps)

Sehingga, besarnya displacement pada motor hidrolik yaitu:

$$V_D = \frac{P_{in P}}{p N} \quad (7)$$

$$V_D = \frac{10678 \text{ Watt}}{(1.3e^7 \text{ Pa})(41.67 \text{ rps})}$$

$$V_D = 1,97e^{-5} \frac{m^3}{rev} = 20 \text{ cc/rev}$$

Laju Aliran Fluida pada Pompa Hidrolik

Besarnya laju aliran fluida pada sistem hidrolik mesin penghapus yaitu [7]:

$$P_{in P} = p Q$$

$$Q = \frac{P_{in P}}{p} \quad (8)$$

Dimana:

- $P_{in P}$ = Daya input pompa hidrolik (Watt)
- p = Tekanan (Pa)
- Q = Laju aliran fluida ($m^3/detik$)

Sehingga, besarnya laju aliran fluida pada sistem hidrolik mesin penghapus yaitu:

$$Q = \frac{10678 \text{ Watt}}{1,3e^7 \text{ Pa}}$$

$$Q = 0,000821 \frac{m^3}{detik} = 8,21e^{-4} \frac{m^3}{detik} = 49,26 \text{ l/menit}$$

Berdasarkan perhitungan dan pemilihan parameter pompa hidrolik di atas, didapatlah spesifikasi pompa hidrolik sebagaimana tercantum dalam tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Spesifikasi pompa hidrolik

No	Parameter	Simbol	Nilai	Unit	Keterangan
1	Kecepatan rotasi	N	2500	rpm	Sumber: Spesifikasi pompa hidrolik Parker
2	Torsi	T	136	Nm	Sama dengan torsi motor hidrolik di tabel 2
3	Tekanan	p	130	bar	Sama dengan tekanan motor hidrolik di tabel 2
4	Laju aliran fluida	Q	50	lpm	Persamaan 8
5	Displacement	V_D	20	cc /rev	Persamaan 7

Berdasarkan tabel 3 diatas, maka dipilihlah pompa hidrolik Parker kode 0210 dengan displacement 21 cc/rev [10].

Kalkulasi Reservoir

Pada umumnya reservoir harus dapat menampung tiga kali jumlah volume fluida yang dapat disuplai pompa dalam satu menit [11], jadi besarnya volume reservoir pada sistem hidrolik mesin penghapus adalah:

$$V_R = t.Q$$

Dimana Q adalah kebutuhan laju aliran fluida per menit, yaitu 50 l/menit, dengan demikian volume reservoir dapat dihitung dengan asumsi untuk memenuhi kebutuhan fluida dalam 3 menit, sebagai berikut:

$$V_R = 3 \text{ menit} \times 50 \text{ l/menit} = 150 \text{ l}$$

Pemilihan Aksesoris

Berdasarkan perhitungan motor hidrolik dan pompa hidrolik sebelumnya sebagaimana terlihat pada tabel 3, digunakan spesifikasi berikut untuk menentukan pemilihan aksesoris:

- Tekanan (P) 130 bar
- Laju aliran fluida (Q) 50 lpm

Daftar aksesoris pada sistem hidrolik untuk mesin penghapus marka jalan ini dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Spesifikasi aksesoris hidrolik

No	Aksesoris	Kode	Spesifikasi	Size of Connection	Produsen
1	Check Valve	C1020	57 LPM	1/2"	Parker
2	Flow Control	F1020	57 LPM	1/2"	Parker
3	Relief Valve	RV-04T-30	50 LPM	1/2"	Hydro Tech
4	Directional Control Valve	DM-3D6-03-T-30	100 LPM	1/2"	Hydro Tech
5	Pressure Gauge	113-11-241	Ø60 mm	1/2"	Hydro Tech
6	Filler Filter	AB-1166	Ø60 mm	1/2"	Hydro Tech
7	Suction Filter	W-04	1/2"	1/2"	Hydro Tech

Kesimpulan dan Saran

Dari perhitungan pada pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa rancangan mesin penghapus marka jalan tipe truk ini dapat dibuat dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Pisau penghapus yang dibutuhkan yaitu *surface milling cutter* tipe WFX12200R dari Sumitomo Electric Hardmetal Corporation dengan kecepatan putar 750 rpm dan laju penghapusan 13,56 m/menit, lebih dari tiga kali laju mesin penghapus dorong yang hanya memiliki laju penghapusan 4,17 m/menit.
2. Daya yang dibutuhkan untuk proses penghapusan adalah 10,678 kW, dimana daya ini digunakan untuk menentukan kebutuhan motor hidrolik dan pompa hidrolik yaitu yang memiliki torsi 136 Nm. Dengan demikian dipilihlah motor hidrolik Danfoss kode OMR-80 dengan torsi 136 Nm dan *displacement* 80.3 cc/putaran, serta pompa hidrolik Parker tipe 0210 dengan *displacement* 21 cc/putaran.
3. Kebutuhan reservoir adalah yang memiliki volume 150 l sedangkan kelengkapan assesoris hidrolik seperti check valve, flow control, relief valve, directional control valve, pressure gauge, dan filter ditentukan berdasarkan tekanan desain 130 bar dan laju aliran fluida 50 lpm

Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan pada dua hal: pertama mengenai kontrol otomatis pada laju penghapusan, dimana pada rancangan sekarang tergantung kepada pengemudi mobil truk /pickup untuk mengendalikan kecepatan mobilnya, dan kedua mengenai faktor keamanan dari pengoperasian mesin ini.

References

- [1] Subdirektorat Statistik Transportasi, Statistik Transportasi Darat, 2017.
- [2] Saputra, A.D. Studi Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas Jalan di Indonesia Berdasarkan Data KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) dari Tahun 2007-2016, War. Penelit. Perhub. 29 (2018) 179. <https://doi.org/10.25104/warlit.v29i2.557>. (accessed February 15, 2020).
- [3] Misumi South East Asia. WFX-R For SEC-Wave Mill WFX Model (WFX12200R), <https://sg.misumi-ec.com/vona2/detail/223004951208/?HissuCode=WFX12200R> . (accessed February 10, 2020).
- [4] Olteanu, E.L., Bisu, C., Tănase, I. Determination of power consumption in milling, UPB Sci. Bull. Ser. D Mech. Eng. 75 (2013) 211–220.
- [5] Cho, Y., Kabassi, K., Pyeon, J.H., Choi, K., Wang, C., Norton, T. Effectiveness study of methods for removing temporary pavement markings in roadway construction zones, J. Constr. Eng. Manag. 139 (2013) 257–266. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000608](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000608).
- [6] Compressive Strength of Concrete Cube Test, Procedure, Results, (n.d.). <https://theconstructor.org/concrete/compressive-strength-concrete-cube-test/1561/> (accessed February 15, 2020).
- [7] PARAMBATH, J. Industrial Hydraulic Systems: Theory and Practice, in: 2017.
- [8] Exner, H. Basic Principles and Components of Fluid Technology: Instruction and Information on the Basic Principles and Components of Fluid Technology, Mannesmann Rexroth, 1991. <https://books.google.co.id/books?id=cerGxwEACAAJ>.
- [9] Danfoss OMR Hydraulic Motor catalogue. <http://danfoss.cohimar.com/pdf/omr.pdf> (accessed February 10, 2020)
- [10] Parker. Hydraulic Pump and Power Systems Division Product Range - HY28-2673-01/HPD/US
- [11] Totten, G.E. Handbook of hydraulic fluid technology, CRC press, 2011.