



## Perancangan Mesin Penghapus Marka Jalan Bertenaga Hidrolik

**Nanang Ali Sutisna dan Muhammad Munajad**

Program Studi Teknik Mesin, President University

Jababeka, Cikarang, Bekasi, Indonesia

e-mail : nanang.ali@president.ac.id

e-mail : muhammad.munajad1996@gmail.com

### Abstrak

*Ada beberapa alasan penghapusan marka jalan, entah sudah kadaluwarsa, rusak, atau tidak lagi terlihat. Salah satu peralatan penghapus marka jalan yang paling umum adalah sistem penghapus marka jalan yang didorong tangan. Namun peralatan ini memiliki kekurangan yaitu membutuhkan waktu yang lama dalam proses penghapusan marka jalan sehingga kurang efisien. Oleh karena itu, peralatan penghapus marka jalan yang terpasang pada truk disarankan untuk menggantikan peralatan penghapus yang didorong. Peralatan tersebut menggunakan sistem gerinda dengan posisi penghapus bilah vertikal dan tenaga hidrolik untuk menggerakkan pemotong karena mampu menahan beban kejutan dan dorongan ke atas akibat proses penghapusan, memiliki perlindungan beban berlebih, dan ukuran komponen yang tidak besar. Penelitian dimulai dengan melakukan observasi terhadap peralatan penghapus manual yang ada, kemudian menentukan cutter yang dibutuhkan, dan terakhir menghitung dan memilih komponen yang dibutuhkan dari sistem hidrolik. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan spesifikasi cutter yang dipilih yaitu surface milling cutter tipe WFX12200R dari Sumitomo Electric Hardmetal Corporation dengan kecepatan putar 750 rpm, motor hidrolik dari Danfoss tipe OMR-80 dengan torsi 136 Nm dan displacement 80,3 cc / rev., dan menggunakan pompa hidrolik dari Parker tipe 0210 berkapasitas 21 cc / rev. Dari hasil perhitungan, alat ini tiga kali lebih cepat dari alat yang didorong secara manual, jumlah bilah yang digunakan lebih sedikit, dan mesin lebih awet.*

*Kata kunci : Mesin Penghapus Marka Jalan, Hidrolik, Perancangan*

### 1. Pendahuluan

Tingkat kecelakaan lalu lintas di Indonesia pada tahun 2017 tercatat mencapai 103.228 kali dan 59,07% terjadi di Pulau Jawa. Sebuah studi tentang kecelakaan lalu lintas jalan raya di Indonesia [1] menunjukkan bahwa salah satu faktor penyebab kecelakaan adalah karena infrastruktur yang meliputi daerah rawan kecelakaan yang belum tertangani dengan baik, konstruksi jalan yang buruk, kondisi jembatan yang buruk, peralatan penerangan jalan, persinyalan perangkat lalu lintas dan marka jalan.

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

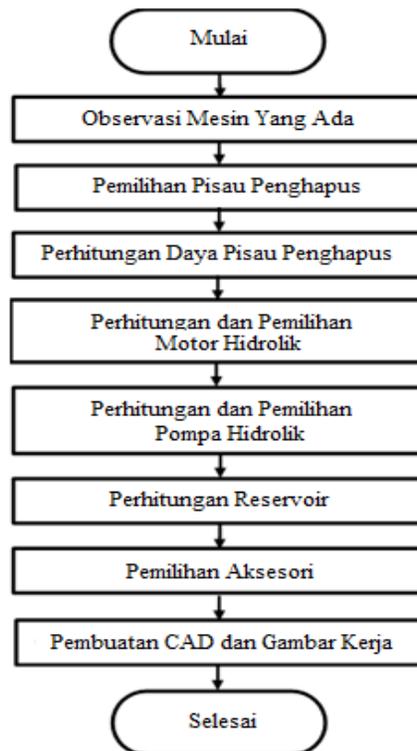
Di antara banyak metode penghapusan, *grinding* dan *water blasting* adalah metode yang paling umum [2]. Namun, penghapusan marka jalan yang ada di Indonesia menggunakan penghapus marka jalan yang didorong secara manual. Gambar 1 menunjukkan peralatan penghapus marka jalan yang didorong, di mana bilah penghapus digerakkan oleh mesin bensin dan penghapusan dilakukan dengan mendorong peralatan di sepanjang marka jalan yang akan dilepas. Berdasarkan hasil observasi lapangan, laju penghapusan alat dorong ini sangat lambat yaitu sekitar 4,17 m / menit, sehingga kurang efisien dalam menghilangkan marka jalan yang panjang. Berdasarkan fakta ini, mesin penghapus marka jalan yang lebih efisien perlu dirancang dan dibangun.



**Gambar 1. Contoh Mesin penghapus marka jalan dorong [3]**

## **2. Metodologi**

Tahapan perancangan sistem hidrolik untuk menggerakkan pisau pemotong mesin penghapus marka jalan ini dilakukan seperti yang diilustrasikan pada diagram alir di bawah ini;



### A. Observasi 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.

Tetapi mesin penghapus ini mempunyai beberapa kekuranganyaitu:

- Memerlukan waktu yang lama untuk penghapusan markajalan.
- Motor bakar sering rusak akibat dekatnya jarak antara motor bakar dan pisau penghapus, sehingga debu hasil penghapusan marka masuk ke dalam motor bakar.
- 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

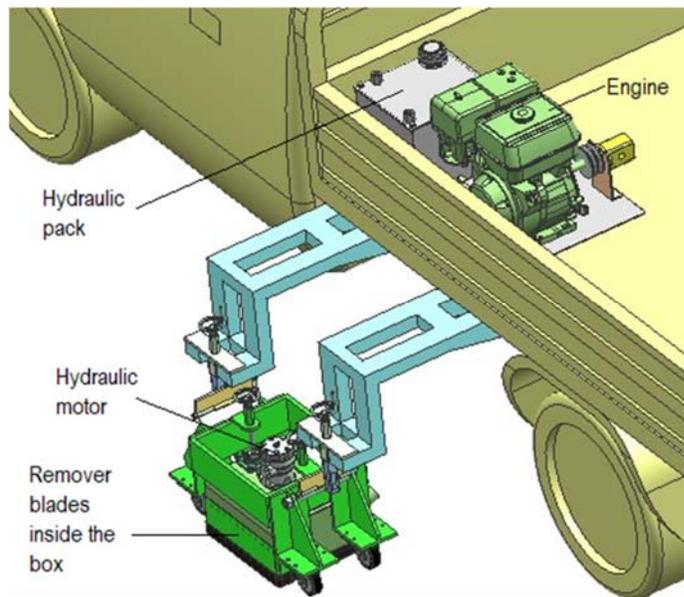
### **B. Menentukan Sumber Daya Mesin Penghapus Marka Jalan Yang Dirancang**

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.

### C. 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 [4] 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 [4]**



#### D. 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 [5]:

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

Dimana:

$$P_n = \text{Daya (kW)}$$

W = Lebar marka jalan yang dihapus (mm)

H = Tebal marka jalan yang dihapus (mm)

$f_m$  = Kecepatan pemakanan (mm/menit)

$K_c$  = Cutting force ( $N/mm^2$ )

#### E. Perhitungan 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 [8]:

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

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

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

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

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

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.

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

Besarnya laju aliran fluida pada sistem hidrolik mesin penghapus dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini [9]:



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

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

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:

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

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

Besarnya displacement pada motor hidrolik dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini, yaitu [9]:

$$Q = V_D N$$

$$V_D = \frac{Q}{N} \quad (5)$$

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:

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

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

## F. Kalkulasi Pompa Hidrolik

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

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 [12]:



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

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 pompa hidrolik yaitu:

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

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

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

Besarnya laju aliran fluida pada sistem hidrolik mesin penghapus yaitu [8]:

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

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

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:

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

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

### G. Kalkulasi Reservoir

Pada umumnya reservoir harus dapat menampung tiga kali jumlah volume fluida yang dapat disuplai pompa dalam satu menit [13], jadi besarnya volume reservoir pada sistem hidrolik mesin penghapus adalah:

$$V_R = t \cdot Q \quad (9)$$



Dimana Q adalah kebutuhan laju aliran fluida per menit, yaitu 50 l/menit.

### H. 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

## 3. Hasil dan Pembahasan

### A. Perhitungan Daya Pada Pisau Penghapus

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

$$P_n = \frac{WHf_m K_c}{60 \cdot 10^6}$$

$$P_n = \frac{(150)(7)(13560)(45)}{60 \cdot 10^6}$$

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

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.

### B. Pemilihan Motor Hidrolik

Berdasarkan perhitungan-perhitungan parameter motor hidrolik sebelumnya di bagian 2, 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 [11].

### C. Pemilihan Pompa Hidrolik

Berdasarkan perhitungan dan pemilihan parameter pompa hidrolik sebelumnya di bagian 2, didapatkan 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 [12].

### D. Perhitungan Volume Reservoir

Volume reservoir dapat dihitung dengan asumsi untuk memenuhi kebutuhan fluida dalam 3 menit menggunakan persamaan 9, sebagai berikut:

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

### E. Pemilihan Aksesoris

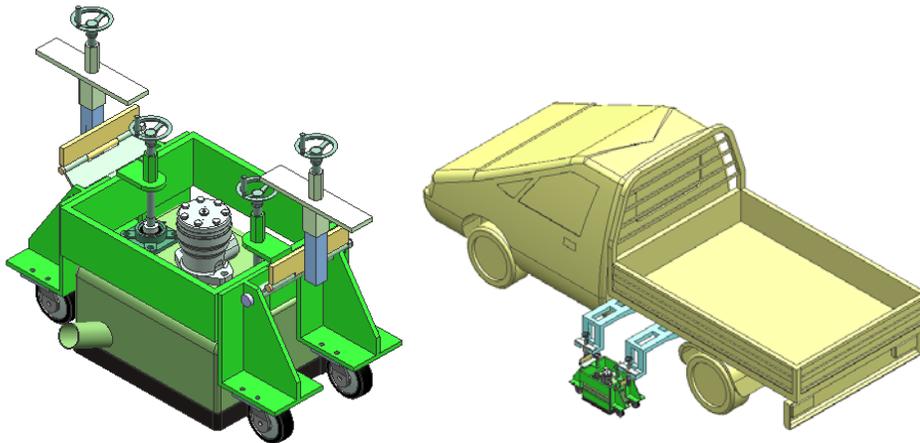
Daftar aksesoris pada sistem hidrolik untuk mesin penghapus marka jalan ini dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

**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

## F. Pembuatan Model CAD 3D dan Gambar Kerja

Tahapan terakhir dari perancangan mesin penghapus marka jalan dengan sistem hidrolik untuk penggerak pisau pemotong ini adalah membuat model 3D pada sistem CAD, dan menghasilkan gambar kerja 2D untuk digunakan dalam proses fabrikasi.



**Gambar 4. (a) Unit penghapus marka jalan dan (b) Unit penghapus marka jalan dipasang di mobil**

## 4. 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.



## Daftar Pustaka

- [1] Saputra, A.D. 2018. Studi Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas Jalan di Indonesia Berdasarkan Data KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) dari Tahun 2007-2016, War. Penelit. Perhub. 29 P. 179. <https://doi.org/10.25104/warlit.v29i2.557>. [Accessed Feb. 15, 2020].
- [2] How Are Road Markings Removed? <https://www.angloliners.co.uk/how-are-road-markings-removed/> [Accessed Oct. 28, 2020]
- [3] PT Dinamika Konstruksi Indonesia. <https://www.dikonindo.co.id/alat-konstruksi/road-milling-machine-furd-fyfb-250/> [Accessed Oct. 28, 2020]
- [4] 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).
- [5] Olteanu, E.L., Bisu, C., Tănase, I. 2013 Determination of power consumption in milling, UPB Sci. Bull. Ser. D Mech. Eng. 75 P. 211–220.
- [6] Cho, Y. K., Kabassi, Pyeon, J.H., Choi, K., Wang, C., Norton, T.. 2013. Effectiveness Study Of Methods For Removing Temporary Pavement Markings In Roadway Construction Zones, J. Constr. Eng. Manag. 139, P. 257–266. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000608](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000608).
- [7] Compressive Strength of Concrete Cube Test, Procedure, Results, (n.d.). <https://theconstructor.org/concrete/compressive-strength-concrete-cube-test/1561/> (accessed February 15, 2020).
- [8] J. Parambath. 2017. Industrial Hydraulic Systems: Theory and Practice.
- [9] Exner, H. 1991. Basic Principles and Components of Fluid Technology: Instruction and Information on the Basic Principles and Components of Fluid Technology, Mannesmann Rexroth, <https://books.google.co.id/books?id=cerGxwEACAAJ>.
- [10] Sutisna, N.A. and Firmansyah, R.A. Design Of Automatic Stamping Machine For Date And Dash Code Marking Using Pneumatic System And PLC Controller, Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics, Vol.3 No. 1, 2018, pp. 40-49
- [11] Danfoss OMR Hydraulic Motor catalogue. <http://danfoss.cohimar.com/pdf/omr.pdf> (accessed February 10, 2020)
- [12] Parker. Hydraulic Pump and Power Systems Division Product Range - HY28-2673-01/HPD/US
- [13] Totten, G.F. 2011. Handbook of hydraulic fluid technology, CRC press.