

## SEMI-OTOMATIS SISTEM Pengereman *AUTONOMOUS VEHICLE* MENGUNAKAN PNEUMATIK SILINDER BERBASIS MIKROKOTROLLER

Teguh Arifianto<sup>1)\*</sup>, Royyan Ghozali<sup>2)</sup>, Akhwan<sup>3)</sup>, Sunardi<sup>4)</sup>, Willy Artha Wirawan<sup>5)</sup>  
Email: teguh@ppi.ac.id<sup>1)\*</sup>, royyan.tep1818@taruna.api.ac.id<sup>2)</sup>, akhwan@ppi.ac.id<sup>3)</sup>,  
sunardi@ppi.ac.id<sup>4)</sup>, willy@pengajar.ppi.ac.id<sup>5)</sup>

<sup>1,2,3,4)</sup> Program Studi Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

<sup>5)</sup> Program Studi Teknologi Mekanika Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun  
Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan Lor, Kec. Manguharjo, Madiun, Jawa Timur 63161

### ABSTRAK

Autonomous vehicle merupakan moda transportasi masa depan yang menerapkan image processing dan computer vision untuk pengenalan objek maupun kendali pada motor. Transportasi ini dapat beroperasi sendiri sehingga kendaraan ini mengutamakan keamanan dalam berkendara. Jika pada kendaraan konvensional, sistem pengereman dikendalikan oleh pengemudi. Namun, pada kendaraan autonomous, sistem pengereman akan bekerja pada keadaan tertentu. Penelitian ini memodifikasi pengereman mekanik yang ada pada kendaraan autonomous agar dapat bekerja secara semi otomatis dengan menggunakan aktuator pneumatik silinder berukuran 50x50mm. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan sensor warna pixycam dan micro lidar vl5310x sebagai input pada mikrokontroler arduino. Input pada mikrokontroler arduino ini menjadi parameter perintah untuk mengaktifkan solenoid valve agar udara bertekanan dapat menggerakkan pneumatik silinder. Hasil dari penelitian ini adalah pemakaian silinder pneumatik berukuran 50x50mm dapat menarik pedal rem pada sarana autonomous dengan tangki udara bervolume 0,16m<sup>3</sup> dan tekanan sebesar 6 bar.

Kata kunci: autonomous vehicle, pengereman, semi otomatis, mikrokontroler, pneumatik.

### ABSTRACT

*Autonomous vehicle is a future mode of transportation that applies image processing and computer vision for object recognition and motor control. This transportation can operate alone so this vehicle prioritizes safety in driving. If on a conventional vehicle, the braking system is controlled by the driver. However, in autonomous vehicles, the braking system will work in certain circumstances. This study modifies the existing mechanical braking on autonomous vehicles so that they can work semi-automatically using a cylinder pneumatic actuator measuring 50x50mm. In addition, this study also uses the pixycam color sensor and micro lidar vl5310x as input to the arduino microcontroller. The input to the Arduino microcontroller is a command parameter to activate the solenoid valve so that compressed air can move the pneumatic cylinder. The result of this research is the use of a pneumatic cylinder measuring 50x50mm can pull the brake pedal on an autonomous means with an air tank with a volume of 0,16m<sup>3</sup> and a pressure of 6 bar.*

*Keywords: autonomous vehicle, braking, semi-automatic, microcontroller, pneumatic.*

## 1. PENDAHULUAN

*Autonomous vehicle* adalah salah satu moda transportasi kendaraan cerdas yang menggabungkan ilmu teknik *autonomous vehicle*, geografi, elektronik, dan teknik komputer yang terintegrasi dan dilengkapi dengan fitur yang menggunakan otomatisasi untuk navigasi tanpa *input* manusia [1]. *Autonomous vehicle* menggunakan motor listrik industri sebagai pengganti dari motor bakar yang dapat mengurangi polusi udara.

*Autonomous vehicle* ini dirancang untuk kendaraan yang dapat beroperasi sendiri. Faktor utama dalam mengendarai kendaraan ini adalah faktor keamanan dan keselamatan. Sistem rem merupakan salah satu elemen sangat penting dalam suatu kendaraan. Rem adalah sebuah perangkat pengubah energi dari energi kinetik menjadi energi panas [2] yang dapat berfungsi untuk mengurangi dan atau menghentikan laju kendaraan. *Autonomous vehicle* yang mempunyai berat dan dapat bergerak dengan kecepatan tertentu akan menghasilkan sebuah energi yaitu energi kinetik. Untuk menghentikan *autonomous vehicle* tersebut diperlukan energi. Sistem rem pada *autonomous vehicle* berfungsi mengubah energi kinetik yang menyebabkan *autonomous* bergerak ke dalam bentuk energi panas.

Jika pada kendaraan konvensional, sistem pengereman dikendalikan oleh pengemudi, Namun, pada kendaraan *autonomous*, sistem pengereman akan bekerja pada keadaan tertentu. Syarat rem yang baik yaitu rem dapat bekerja dengan cepat dan baik, mempunyai daya tahan yang cukup, mudah diperbaiki, dan mudah disetel. Penelitian ini merancang sistem pengereman yang akan bekerja pada keadaan kendaraan yang akan berhenti jika terdapat perintang di depan dan berhenti pada tempat yang telah direncanakan.

Selain itu penelitian ini memodifikasi mekanisme pengereman mekanik yang ada pada kendaraan *autonomous* dengan aktuator pneumatik silinder. Untuk mekanisme pengereman, *input* berasal dari sensor warna kamera yang terhubung dengan *mikrokontroller* yang akan membaca warna tertentu pada area *stopping point*. Sedangkan mekanisme pengereman untuk menghindari tabrakan, *input* dan perintahnya berasal dari sensor.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1. State of the Art

Penelitian terkait pengontrolan silinder pneumatik melalui *mikrokontroller* yaitu mengendalikan lengan robot untuk pemisahan barang [3]. Tujuan dari penelitian tersebut adalah mengaplikasikan lengan

robot untuk proses pemindahan barang yang dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh memanfaatkan fasilitas *human machine interface*. Robot tersebut membutuhkan kontrol sebagai pengatur proses produksi seperti *mikrokontroller arduino uno* dan *programmable logic control*.

Penelitian terdahulu terkait pengujian pengereman pada sarana yaitu penggunaan rem depan pada jarak berhenti becak motor [4]. Penelitian ini memberikan gambaran tentang perhitungan pengereman oleh kedua roda depan becak. Semakin besar gaya tekan pada tuas rem, maka akan semakin besar tekanan hidrolis pada sistem rem cakram yang terdapat pada kedua roda depan becak motor.

Pada perhitungan kebutuhan kompresor dan perhitungan gaya yang keluar dari silinder pneumatik, penulis menggunakan penelitian sistem pneumatik pada mesin pres briket *blothong* [5]. Penelitian tersebut membahas tentang perencanaan penumatik mulai dari item pneumatik hingga sistem kontrolnya dalam suatu lingkup kerja.

Modul terkait aktuator yang sesuai dengan kebutuhan dalam penelitian ini adalah rangkaian dasar pneumatik [6]. Modul ini membahas tentang komponen kontrol pneumatik yaitu silinder dan katup.

Ada beberapa jenis silinder yaitu silinder kerja tunggal dan kerja ganda.

## 2.2. Mobil Listrik Golfcart V6

Mobil listrik yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah *golfcart* tipe *villager 6*. Alasan digunakannya sarana ini adalah karena bobotnya yang tidak terlalu berat dan mudah untuk dimodifikasi.



Gambar 1. Mobil *golfcart* V6

Berikut adalah data spesifikasi *golfcart* tipe *villager 6*:

Tabel 1. Spesifikasi mobil *golfcart* V6

Horse Power	3,7 hp (2,7)kW; Rata-rata – 20 hp (14,9)kW; Peak
Baterai	8-6 V Lead Acid
Speed	Range 16 mph/ 25 Kmh
Brakes	Tromol Mekanik
Ban	18x8,50-8 Tubeless

Body Mobil	120,1 cm x 315 cm
Jarak Sumbu	250,2 cm
Roda	
Berat Kosong	443 kg
Berat Maksimal	668 kg

### 2.3. Rem Tromol

Rem tromol adalah sistem pengereman pada kendaraan yang menggunakan gesekan antara kampas dengan sebuah komponen berbentuk mangkuk. Di dalam *cover* tromol terdapat sepatu rem atau *brake shoe*. Perbedaan antara rem cakram terdapat pada arah gesekan. Rem cakram memiliki arah gesekan yang saling menjepit atau mendekati sehingga pada rem cakram piringan terdapat ditengah dua kampas. Pada rem tromol, arah gesekan saling menjauh sehingga tromol yang terhubung dengan roda diletakkan di sisi luar dari dua kampas rem.



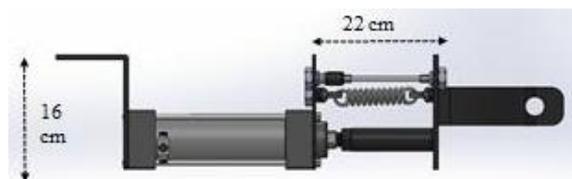
Gambar 2. Rem tromol

### 2.4. Pneumatik Silinder

Pneumatik silinder adalah aktuator yang menggunakan kekuatan udara yang bertekanan untuk menghasilkan kekuatan

dalam gerakan bolak balik piston secara linier [7]. Pneumatik silinder dapat digunakan untuk mendorong mesin pemotong, peredam getaran, pintu penyortiran, menjepit benda, dan lain sebagainya. Fungsi dasar pneumatik silinder ini mengkonversi tekanan udara menjadi energi gerak.

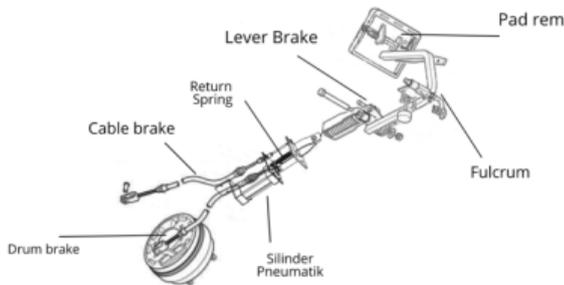
Terdapat dua tipe pneumatik silinder yaitu silinder kerja tunggal dan ganda. Silinder kerja tunggal menggunakan kekuatan udara bertekanan untuk mendorong sebuah piston ke dalam satu arah dan untuk mengembalikan piston menggunakan pegas ke posisi semula. Silinder kerja ganda menggunakan udara bertekanan untuk mendorong piston keluar dan mengembalikan ke posisi semula.



Gambar 3. Pneumatik silinder

Pneumatik silinder akan ditempatkan tepat dibawah *return spring*. Plat depan terpasang pada bagian belakang *lever brake* yang berfungsi sebagai pendorong. Plat penahan pneumatik silinder terpasang di sela-sela kabel rem. Penempatan pneumatik silinder yang demikian akan memungkinkan sarana *autonomous* untuk dioperasikan baik

pada mode otomatis tanpa *driver* ataupun secara manual dengan *driver*.



**Gambar 4.** Letak pneumatik silinder pada sarana

## 2.5. Selenoid Valve

*Selenoid valve* (katup listrik) adalah katup yang dapat dikendalikan dengan arus listrik AC maupun DC melalui seleonoida atau kumparan [8]. Dalam mengontrol sistem fluida, penggunaan *selenoid valve* sering digunakan hal tersebut. *Selenoid valve* berkerja secara elektro mekanik dimana *selenoid valve* mempunyai kumparan sebagai penggeraknya. Ketika kumparan mendapatkan suplay tegangan baik AC atau DC, maka kumparan akan berubah menjadi medan magnet sehingga dapat menggerakkan piston yang berada di dalamnya.



**Gambar 5.** Selenoid valve

## 2.6. Kamera Pixy

Sensor kamera *pixy* CMUCam5 ini menggunakan algoritma berbasis warna untuk mendeteksi benda, *tracking*, dan dilengkapi dengan sensor gambar. Kamera *pixy* ini memudahkan *mikrokontroller* dalam proses pembacaan data yang berupa pengolahan citra sehingga dideteksi oleh kamera. Proses pengiriman data pada kamera ke *mikrokontroller* ini dapat dilakukan dengan jalur komunikasi data diantaranya SPI, I2C, digital *out*, analog *out*, dan UART serial.

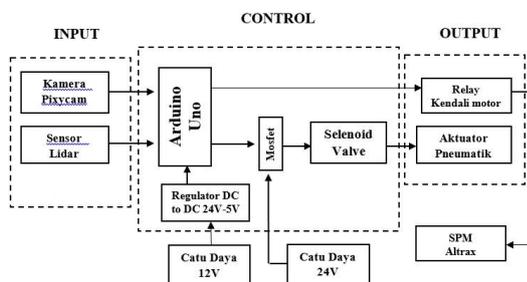
Kamera ini mempunyai kelebihan yaitu dapat melakukan pengolahan citra yang terintegrasi dan dapat melacak warna tertentu dalam kurun waktu yang bersamaan dengan kecepatan 50 fps (*frame per second*) tetapi hanya dibatasi dengan tujuh warna yang berbeda.



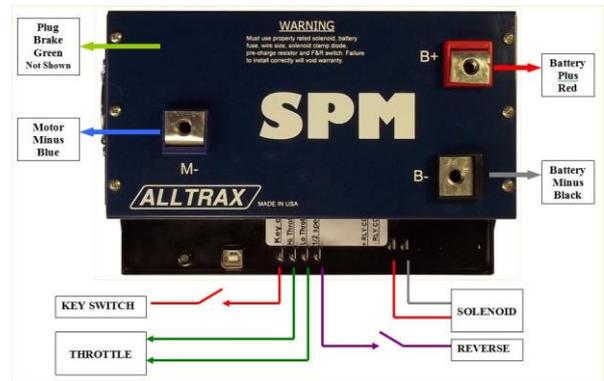
**Gambar 6.** Kamera *pixy* CMUCam5

## 2.7. Konsep Kerja Alat

Sensor *micro lidar* dan kamera *pixy* masing-masing terhubung pada pin analog dan berkomunikasi dengan *arduiuno* menggunakan UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*). *Board arduino* menggunakan catu daya 12V yang diturunkan dengan regulator DC ke DC menjadi 5V. Sedangkan *solenoid valve* menggunakan catu daya 24V yang tertahan oleh *high power mosfet switch*. *Output* dari hasil deteksi sensor *micro lidar* dan kamera *pixy* akan memberi tegangan sinyal pada *mosfet* untuk melepaskan tegangan yang tertahan menuju *solenoid valve*. *Output* tersebut juga akan *trigger* NO (*Normally Open*) pada *relay* menuju sistem kendali motor. Sistem kendali motor disini adalah sebuah *controller unit* bernama *SPM ALLTRAX* yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan pembalik polaritas motor pada sarana.



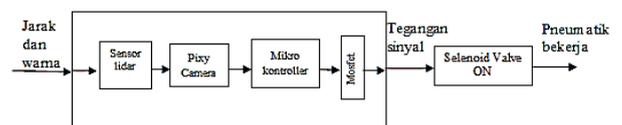
Gambar 7. Konsep kerja alat



Gambar 8. Controller unit SPM ALLTRAX

## 2.8. Sistem Kendali Pengereman

Sistem kendali pada pengereman sarana *autonomous* ini menggunakan sistem *loop* terbuka (*open loop*). Sistem kendali ini keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengendalian. Keluaran sistem kendali ini tidak diukur atau diumpan-balikan untuk dibandingkan dengan masukan. *Set point* atau tujuan utama dalam sistem ini adalah menekan pedal rem secara otomatis pada parameter kondisi tertentu. Sensor akan membaca parameter sebagai *input* yang akan diproses oleh *mikrokontroler* untuk menjadi *output* perintah mengaktifkan *solenoid valve*.

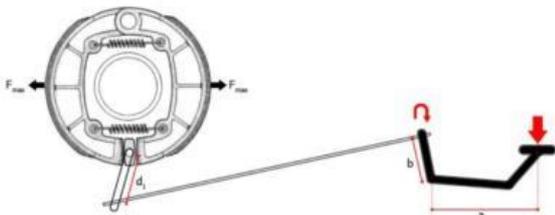


Gambar 9. Alur sistem kendali pengereman

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1. Pemilihan Pneumatik Silinder

Untuk menentukan kebutuhan pneumatik silinder yang tepat dalam penelitian ini yaitu menghitung gaya perbandingan dari pedal rem (persamaan 1).



**Gambar 10.** Gaya pada pedal rem [9]

$$K = \frac{a}{b} \quad (1)$$

dimana,

$K$  = gaya pada pedal

$a$  = jarak dari pedal rem ke tumpuan

$b$  = jarak dari *pushrod* ke tumpuan.

Dalam penelitian ini jarak dari pedal ke tumpuan sebesar 40, jarak dari *pushrod* ke tumpuan sebesar 8, maka didapatkan gaya pada pedal sebesar 5. Sehingga didapat perbandingan gaya pada pedal rem sebesar 5:1.

Untuk mencari gaya yang dikeluarkan pengendara untuk menekan pedal rem, penulis melakukan percobaan dengan menempatkan batangan rek seberat

10kg pada pedal rem. Dari hasil percobaan tersebut, untuk menarik pedal rem dan mendorong penahan dibutuhkan minimal gaya yang sama seperti yang diberikan batangan rel pada pedal. Dari percobaan tersebut didapatkan bahwa batangan rel seberat 10kg mampu menekan pedal rem.

Setelah itu menggunakan persamaan (2) untuk mengetahui gaya yang keluar dari pedal rem [10].

$$FK = F \times \frac{a}{b} \quad (2)$$

dimana,

$FK$  = gaya yang dihasilkan dari pedal rem (kgf)

$F$  = gaya yang menekan pedal rem (kgf)

$\frac{a}{b}$  = perbandingan tuas pedal rem.

Gaya yang menekan pedal rem sebesar 10kgf, perbandingan tuas pedal rem sebesar 5, maka didapatkan gaya yang dihasilkan dari pedal rem sebesar 50kgf.

Dari percobaan dan perhitungan tersebut, penulis menggunakan pneumatik silinder berukuran 50x50mm dengan diameter piston sebesar 50mm, dan panjang batang pendorong 50mm. Berikut adalah gaya piston silinder dari berbagai ukuran pada tekanan 1-10 bar (tabel 1).

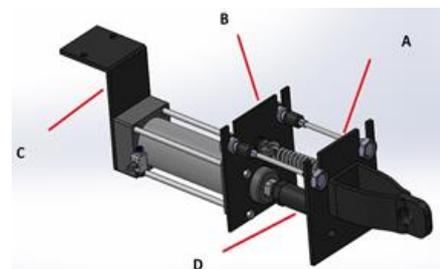
**Tabel 2.** Indeks kekuatan tekanan pneumatik

Diameter Piston (mm)	Tekanan Kerja (bar)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Gaya Piston (kgf)									
6	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
25	4	9	13	17	21	24	30	34	38	42
35	8	17	26	35	43	52	61	70	78	86
40	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
50	17	35	53	71	88	106	124	142	159	176
70	34	69	104	139	173	208	243	278	312	346
100	70	141	212	283	353	424	495	566	636	706
140	138	277	416	555	693	832	971	1110	1248	1386
200	283	566	850	1133	1416	1700	1983	2266	2550	2832
250	433	866	1300	1733	2166	2600	3033	3466	3800	4332

Dari tabel 1, dapat diketahui bahwa pneumatik silinder dengan diameter piston 50mm mampu menghasilkan gaya >50kgf dengan tekanan kerja 3 bar.

### 3.2. Pengujian Alat pada Sarana Berjalan

Untuk menempatkan pneumatik silinder sebagai penarik kabel rem, penulis membuat dudukan dari plat besi dengan rancangan menggunakan *autocad* seperti pada gambar (11).



**Gambar 11.** Desain konstruksi pneumatik silinder

keterangan:

- A = plat pendorong pengait kabel rem
- B = plat penahan pneumatik silinder terhadap kabel rem
- C = plat dudukan yang tertempel pada sarana

D = *as* besi untuk menambah panjang *bore* pneumatik.

Hasil rancangan pada gambar (11) diletakkan dan disesuaikan dengan penempatan ruang kosong yang berada di bawah sarana (gambar 12). Untuk penempatan sensor mini lidar vl5310x, penulis menemukannya pada bagian depan mobil untuk mendeteksi rintangan (gambar 15).



**Gambar 12.** Penempatan pneumatik

Untuk memastikan bahwa pemasangan alat tidak mengganggu pengoperasian sarana ketika keadaan mengerem normal, penulis melakukan percobaan dengan menginjak pedal rem dan mengamati bagian bawah sarana.

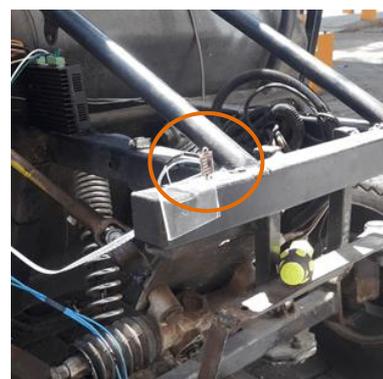


**Gambar 13.** Posisi pneumatik mengikuti tarikan rem



**Gambar 14.** Posisi pneumatik kembali seperti semula

Dari percobaan tersebut didapat bahwa ketika pedal ditarik batang pneumatik akan ikut tertarik bersama penahan kabel rem, dan akan seketika kembali ketika pedal dilepaskan. Maka dapat disimpulkan bahwa pemasangan silinder pneumatik tidak akan mengganggu pengoperasian sarana secara manual.

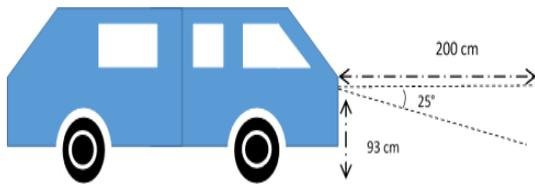


**Gambar 15.** Letak sensor lidar

Penempatan sensor lidar diperlukan tinggi yang tepat agar pancaran laser dari sensor tidak memantul ke tanah. Untuk mencari tinggi menggunakan persamaan (3).

$$\tan 25^\circ = \frac{\text{tinggi}}{\text{jarak maksimal sensor}} \quad (3)$$

Jarak maksimal sensor lidar yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 200cm. Dari persamaan (3), diperoleh tinggi sebesar 93cm dari permukaan tanah.



**Gambar 16.** Sudut pembacaan sensor

Sensor warna *pixycam* diletakkan di bagian bawah sarana untuk mendeteksi *signature colour* pada area jalan (gambar 17). *Mikrokontroller* diletakkan pada bagian depan tempat duduk *driver* sarana agar lebih mudah dalam mengaktifkan dan menonaktifkannya (gambar 18).



**Gambar 17.** Letak kamera *pixy*



**Gambar 18.** Letak mikrokontroller

### 3.3. Pengujian Alat pada Sarana Berjalan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja alat secara keseluruhan saat sarana dikemudikan. Pengujian dilakukan dengan dua cara yaitu berhenti pada *stopping point* dan berhenti apabila mendeteksi rintangan.

#### 3.5.1 Berhenti pada *Stopping Point*

Pada kondisi ini, sarana diharapkan berhenti pada marka jalan berwarna yang telah disimpan sebagai *signature colour* pada *pixy camera*. Pengujian dilakukan pada kecepatan maksimal 10km/jam dimana *driver* hanya menginjak pedal gas tanpa menginjak pedal rem.



**Gambar 19.** Sarana berhenti pada marka jalan berwarna

Pengujian dilakukan untuk mengetahui fungsi sensor warna *pixycam* dalam menangkap marka warna pada jalur dalam kecepatan tertentu. Jarak pengereman pada percobaan ini didapat dengan mengukur selisih letak sarana setelah berhenti total dengan batas warna pada marka jalan.

Dari pengujian tersebut, diperoleh data yaitu dengan beban 1 orang ( $\pm 60$ kg) dengan kecepatan 10km/jam (tabel 2) dan beban 3 orang ( $\pm 180$ kg) dengan kecepatan 10km/jam (tabel 3).

**Tabel 2.** Beban dengan satu orang

Percobaan	Jarak Pengereman
1	178cm
2	169cm
3	Tidak berhenti
4	Tidak berhenti

Percobaan	Jarak Pengereman
5	Tidak berhenti
6	177cm
7	195cm
8	Tidak berhenti
9	Tidak berhenti
10	188cm

**Tabel 3.** Beban dengan tiga orang

Percobaan	Jarak Pengereman
1	212cm
2	Tidak berhenti
3	Tidak berhenti
4	220cm
5	222cm
6	Tidak berhenti
7	220cm
8	224cm
9	222cm
10	Tidak berhenti



**Gambar 20.** Pedal rem tertarik ke bawah

Dari tabel (2) dan tabel (3) tersebut diketahui bahwa jarak pengereman lebih jauh dan masih terdapat sarana belum berhenti setelah melewati marka. Hal ini disebabkan karena respon kamera yang lebih lambat dari sensor mini lidar v15310x. Penggunaan *pixycam* sebagai pendeteksi marka kurang berfungsi secara maksimal karena kamera mendeteksi warna dengan corak yang mendekati dan kamera tidak bisa menangkap blok warna marka.

### 3.5.2 Berhenti Apabila Mendeteksi Rintangan

Pada pengujian ini untuk menguji sensor mini lidar pada sarana apabila terdapat rintangan. Pengujian dilakukan dengan kecepatan 10km/jam dimana *driver* hanya menginjak pedal gas tanpa menginjak pedal rem.



**Gambar 21.** Pengujian sarana apabila terdapat rintangan

Dari pengujian tersebut, diperoleh data yaitu dengan beban 1 orang ( $\pm 60\text{kg}$ ) dengan kecepatan 10km/jam (tabel 4) dan beban 3 orang ( $\pm 180\text{kg}$ ) dengan kecepatan 10km/jam (tabel 5).

**Tabel 4.** Beban dengan satu orang

Percobaan	Jarak dari Target	Jarak Pengereman
1	47 cm	143 cm
2	45 cm	145 cm
3	45 cm	145 cm
4	39 cm	151 cm
5	38 cm	152 cm
6	32 cm	158 cm
7	30 cm	160 cm
8	25 cm	165 cm
9	25 cm	165 cm
10	23 cm	167 cm
11	19 cm	171 cm
12	11 cm	179 cm
13	5 cm	185 cm
14	2 cm	188 cm
15	Menabrak target	> 200cm
16	45 cm	145 cm
17	44 cm	146 cm
18	35 cm	155 cm
19	33 cm	157cm

Percobaan	Jarak dari Target	Jarak Pengereman
20	25 cm	165 cm

**Tabel 5.** Beban dengan tiga orang

Percobaan	Jarak dari Target	Jarak pengereman
1	22 cm	168 cm
2	20 cm	170 cm
3	22 cm	168 cm
4	15 cm	175 cm
5	11 cm	179 cm
6	12 cm	178 cm
7	4 cm	186 cm
8	2 cm	188 cm
9	Menabrak target	>200 cm
10	26 cm	164 cm
11	26 cm	164 cm
12	22 cm	168 cm
13	20 cm	170 cm
14	19 cm	171 cm
15	15 cm	175 cm
16	14 cm	176 cm
17	11 cm	179 cm
18	5 cm	185 cm
19	3 cm	187 cm
20	2 cm	188 cm
21	Menabrak target	> 200 cm

Pengujian dilakukan untuk mengetahui fungsi dari sensor v15310x dalam mendeteksi rintangan dengan kecepatan tertentu. Pada percobaan ini sarana dijalankan pada kecepatan 10 km/jam menuju target yang berjarak sekitar 30 meter. Data pada tabel 4 dan tabel 5 menunjukkan selisih jarak sarana dari target setelah sarana berhenti total dan jarak pengereman yang diperoleh dari *range* maksimal pembacaan sensor dikurangi dengan jarak dari target.

Dari data pada tabel 4 dan tabel 5 menunjukkan bahwa jarak pengereman semakin jauh seiring beberapa kali percobaan. Hal ini dikarenakan tekanan udara pada *air reservoir* yang juga berkurang seiring pemakaian. Oleh karena itu, ketika kemampuan dorong pneumatik semakin berkurang yang diindikasikan dengan semakin jauhnya jarak pengereman, *air reservoir* harus dipompa kembali dengan kompresor. Penambahan beban muatan pada sarana juga dapat mempengaruhi jarak pengereman sarana karena semakin berat beban kendaraan maka jarak tempuh kendaraan akan bertambah di sebabkan oleh kelembaban bergerak [4].

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemakaian pneumatik silinder berukuran 50x50mm dengan tekanan kerja 6 bar mampu menarik pedal rem pada sarana *autonomous* dengan berat kosong sebesar 443kg dan berat maksimal sebesar 668kg;
2. Penggunaan sensor mini lidar v15310x efektif digunakan untuk mendeteksi rintangan di depan sarana pada kecepatan 10km/jam ;
3. Penempatan pneumatik silinder menggunakan dudukan yang terbuat dari plat besi yang disesuaikan dengan ruang kosong pada bagian bawah mobil sehingga tidak mengganggu pengereman sarana secara manual.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. G. Choi., K. I. Lim., dan J. H. Kim, “Lane Change and Path Planning of Autonomous Vehicle using GIS”, *The 12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2015)*, 28-30 Oktober 2015, Goyang City, Korea, pp.163-166.
- [2] C. Sutowo., E. Diniardi., S. Yulianto., dan H. Prianto., “Perencanaan Sistem Pengereman Otomatis Sepeda Motor dengan Menggunakan Aktuator Rem Tromol”, *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3, (1), pp.35-41, (2009).
- [3] William., B. Kartadinata., dan L. Wijayanti., “Pengendalian Lengan Robot untuk Proses Pemindahan Barang”, *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 21, (1), pp.69-78, (2019).
- [4] Zulhaji., Darmawang., M. A. S. Mandra., dan A. Isma., “Jarak Berhenti Becak Motor Dengan Menggunakan Rem Depan”, *Prosiding Seminar Nasional LP2M UNM*, 31 Agustus-1 September 2019, Makassar, Indonesia, pp.-702-707.
- [5] Darto., “Perencanaan dan Simulasi Sistem Pneumatik pada Mesin Pres Briket Blothong Berbantuan Perangkat Lunak”, *Jurnal Teknologi dan Manajemen Informatika (JTMI)*, 1, (1), pp.5-11.
- [6] T. Maryono., “Rangkaian Dasar Pneumatik Komponen Kontrol Pneumatik”, *Modul Pembelajaran Dasar-Dasar Pneumatik SMKN 2 Sukaharjo*, p.63.
- [7] S. W. Nasution., Muhaimin., dan S. Azmi., “Rancang Bangun Stempel Otomatis dan Penghitung Produksi Barang Menggunakan Elektro Pneumatik Berbasis Smart Relay SR2B121FU”, *Jurnal TEKTRONIKA*, 3, (1), pp.27-33, (2019).

- [8] R. Shaputra., P. Gunoto., dan M. Irsyam., “Kran Air Otomatis pada Tempat Berwudhu Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino Uno”, *Sigma Teknika*, 2, (2), pp.192-201, (2019).
- [9] A. L. Subramanyam., dan S. Banik., “Maximum brake force calculations for Drum Brakes”, url: <https://www.intent-design.com/img/pdf/Drum-Brake-Calculation.pdf>, diakses tanggal 06 Agustus 2021.
- [10] Qomaruddin., dan T. Hidayat., “Analisa Gaya Sistem Rem Depan Daihatsu Xenia Tipe R Tahun 2012”, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Informatika*, 15 September 2016, Kudus, Indonesia, pp.96-101.