

## Perancangan *Suctioning* dan Koefisien Gesek Roda *Prototype* Robot Pembersih Kaca

\*Ermanu Hanindityo<sup>1</sup>, Toni Prahasto<sup>2</sup>, Munadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [ermanu\\_hanindityo@yahoo.com](mailto:ermanu_hanindityo@yahoo.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pusat massa dari mobil pembersih kaca pada posisi *horizontal* dan *vertical* pada saat menempel pada dinding. Mengetahui gaya hisap ( $F_s$ ) yang dibutuhkan untuk menahan beban maksimum dari mobil pembersih kaca. Mengetahui koefisien gesek ( $\mu$ ) pada roda saat diam, maju – mundur dan naik – turun. Hasil perhitungan pusat massa pada saat posisi *horizontal* ( $x = 121,8$  dan  $y = 47,5$ ), dan pada posisi *vertical* ( $x = 47,5$  dan  $y = 121,8$ ). Untuk kebutuhan gaya hisap pada saat posisi *horizontal* dengan beban 1.090 kg membutuhkan gaya hisap sebesar 10.693 N, saat posisi *vertical* dengan beban 1.660 kg membutuhkan gaya hisap sebesar 16.284 N. Sedangkan nilai koefisien gesek dari tiap roda pada saat menempel pada kaca dalam keadaan *horizontal* diam dan *vertical* diam adalah  $\mu_s = 0,44$  dan  $\mu_s = 0,29$ . Adapun untuk keadaan *horizontal* bergerak maju dan mundur adalah  $\mu_k = 0,015$  dan  $\mu_k = 0,017$ , dan dalam keadaan *vertical* bergerak naik dan turun adalah  $\mu_k = 0,24$  dan  $\mu_k = 0,29$ .

**Kata kunci:** *Wall Climber Robot, Suctioning, dan Koefisien Gesek*

### Abstract

*This research aims to know the center of mass of the car glass cleaner on the horizontal and vertical position when attached to the wall knowing the suction force ( $F_s$ ) is needed to withstand the maximum load of the car cleaning glass. Knowing a coefficient of friction ( $\mu$ ) on the wheel while still going forward-backward, and up-down. The results of the calculation of the center of mass at the time of the horizontal position ( $x = 121,8$  dan  $y = 47,5$ ), and the vertical position ( $x = 47,5$  dan  $y = 121,8$ ). For the needs of the suction force at the time of the horizontal position with a load of 1,090 kg require suction force of 10 693 N, while the vertical position with a load of 1,660 kg require a suction force of 16,284 N. While the value of the coefficient of friction of each wheel when stuck on the window in a quiescent horizontal state and quiescent vertical is  $\mu_s = 0,44$  and  $\mu_s = 0,29$ . As for the state to move forward and backward horizontal are  $\mu_k = 0,015$  and  $\mu_k = 0,017$ , and in a state of moving vertically up and down is  $\mu_k = 0,24$  and  $\mu_k = 0,29$ .*

**Keywords:** *Wall Climber Robot, Sutioning, and Coefficcition Friction.*

## 1. PENDAHULUAN

Di kota-kota besar tentu sudah banyak bangunan gedung perkantoran, hotel, dan apartemen. Dalam perawatan bangunan tersebut, tentu bukanlah hal yang mudah. Perawatan terutama pembersihan pada bagian kaca luar yang terdapat pada gedung bertingkat tersebut. Pada saat ini pembersihannya masih menggunakan cara manual atau konvensional yaitu dengan menggunakan *lift* yang menggantung di luar gedung. *Lift* ini sangat kurang pengamannya bagi operator. Meskipun alat ini sudah menyebabkan banyak kecelakaan kerja, akan tetapi alat ini tetap menjadi alat satu-satunya untuk membersihkan kaca pada gedung bertingkat. Gambar 1 menunjukkan pembersihan kaca gedung pada masa sekarang.



**Gambar 1.** Pembersihan kaca gedung bertingkat pada masa sekarang

*Wall Climber Robot* adalah sebuah robot yang dapat berjalan atau merayap di dinding, baik untuk permukaan rata dan tidak rata. Macam – macam *Wall Climber Robot* ada yang beroda dan berkaki. Untuk system *Wall Climber Robot* yang menggunakan roda agar dapat berjalan pada dinding adalah menggunakan system *vacuum*, dan magnet. Aplikasi dari *Wall Climber Robot* sudah banyak digunakan pada dunia industry, terutama digunakan untuk inspeksi pada pipa-pipa bertekanan yang susah dijangkau oleh operator.

Berdasarkan uraian singkat di atas, dijelaskan bahwa perkembangan dunia robotic saat ini sangat dapat membantu pekerjaan manusia. Dengan adanya fenomena pada *Wall Climber Robot*, maka perlu dikaji secara dalam guna mendapatkan aplikasi – aplikasi yang dapat membantu kinerja dari manusia. Oleh karenanya, dalam penelitian ini dilakukan pembuatan Robot Pembersih Kaca dengan konsep *Wall Climber Robot* dengan system *vacuum*.

Saat ini *City Climber Robot* ini telah dikembangkan sampai generasi ke-4. Konsep robot ini adalah dengan menggunakan daya tarik aerodinamis, yang mana mencapai keseimbangan yang baik antara kekuatan gaya tekan dan mobilitas robot. Robot ini dapat berjalan di dinding pada permukaan yang rata dan pada permukaan tidak rata.

Bagian-bagian *City Climber Prototype I* adalah kipas *vacuum*, *Seal*, ruang *vacuum* dengan bulu fleksibel disampingnya, dan internal 3 roda penggerak. *City Climber Prototype II* menggunakan desain pengaturan/modulasi dan digunakan untuk transisi dari dinding pada permukaan yang raata. Setiap pengaturan dapat dioperasikan sendiri-sendiri dan desain bentuk segitiga untuk menghasilkan tenaga putaran yang dibutuhkan.



Gambar 2. *City Climber Robot*

*City Climber Prototype III* menggunakan 6 roda untuk sistem penggerak untuk meningkatkan kontak gesekan saat manaiiki dinding vertikal. Untuk *City Climber Prototype IV* menggunakan dua versi pengaturan dengan mekanisme gandingan. Tiap pengaturan dapat dioperasikan sendiri-sendiri dapat digunakan untuk transisi dari tanah ke dinding dengan mudah. Dari generasi I-IV ini masih menggunakan sistem mekanisme *vacuum*, Karena dengan mekanisme *vacuum* ini paling mudah untuk dianalisa, diaplikasikan dan mampu menahan beban yang lebih berat.

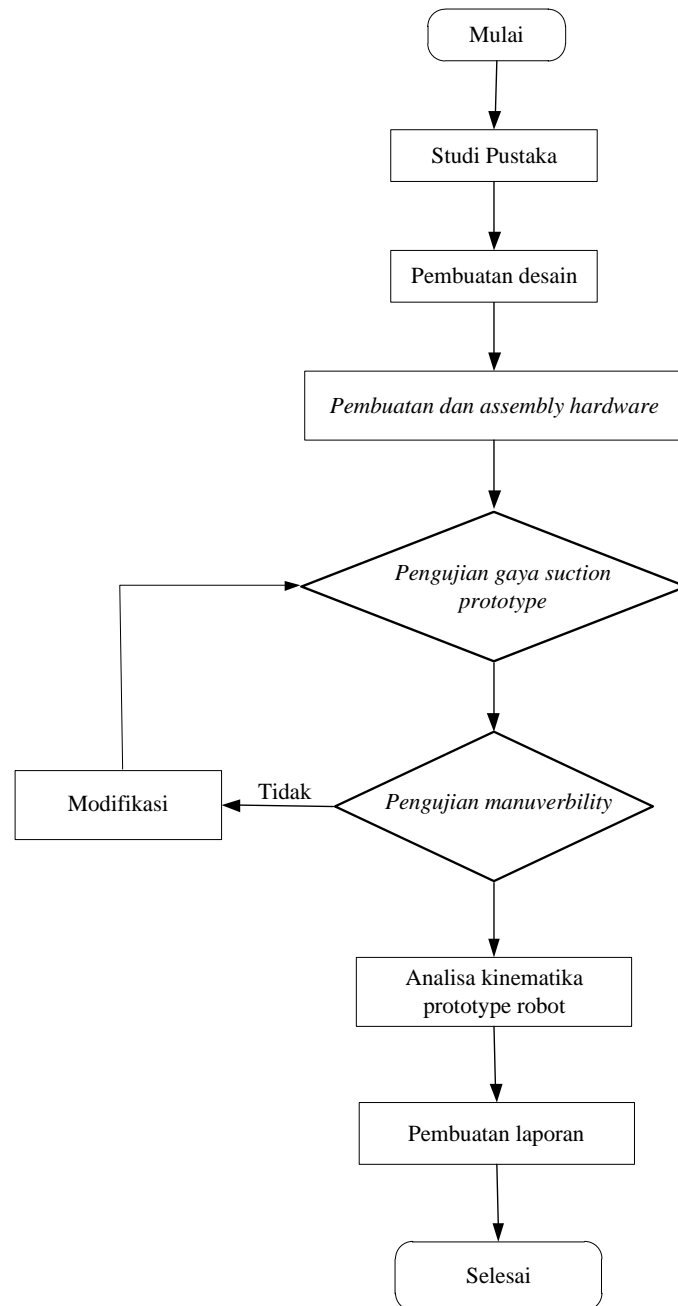
Mekanisme *vacuum* adalah hal terpenting pada saat pernacangan robot agar dapat melekat pada permukaan atau pada saat mendaki dinding. Mekanisme *vacuum* ini menggunakan kipas *vacuum* sehingga menyebabkan tekanan menjadi rendah pada ruang *vacuum* fleksible agar bisa menempel pada berbagai macam permukaan. Dasar mekanisme *vacuum* adalah daya tarik aerodinamis.

Berdasarkan penelitian yang sudah ada dan kurangnya alat bantu yang dapat membersihkan kaca pada gedung bertingkat, maka penulis merancang sebuah *prototype robot pembersih kaca*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pusat massa dari desain *prototype robot pembersih kaca* ini pada saat menempel pada dinding dengan keadaan *horizontal* dan *vertical*. Mengetahui gaya hisap yang dibutuhkan agar robot pembersih kaca ini dapat menempel pada kaca dalam keadaan *horizontal* dan *vertical*. Gaya hisap ini dihasilkan dari EDF (*Electric Duct Fan*). Mengetahui koefisien gesek roda pada *prototype robot pembersih kaca* pada saat menempel pada dinding dengan keadaan *horizontal* dan *vertical*. Dan mengetahui besar kecepatan pada tiap roda agar dapat melakukan manuver sesuai dengan lintasan yang sudah ditentukan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Diagram Alir pembuatan *prototype robot pembersih kaca*

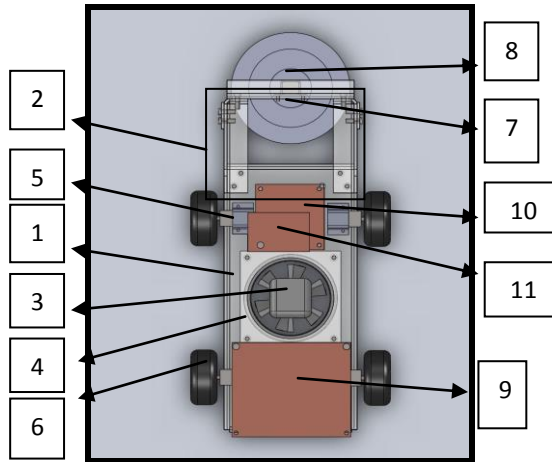
Dalam pembuatan *prototype robot pembersih kaca* ini dilakukan beberapa tahapan. Dimulai dari pembuatan desain, pembuatan *prototype*, pengujian *prototype*, hingga proses analisa kinematik. Proses analisa kinematik meliputi pusat massa, *suctionin*, karakteristik *prototype robot*, *trajectory*, dan *manuverbility*. Gambar 3 dibawah ini merupakan diagram alir pembuatan *prototype robot pembersih kaca*.



**Gambar 3.** Diagram alir pembuatan *prototype* mobil pembersih kaca

## 2.2 Desain *Prototype* Robot Pembersih Kaca

Dalam pembuatan *prototype* robot pembersih kaca penulis melakukan pendesaianan *chassis* dan struktur yang digunakan untuk menopang system pembersih kaca. Pada tahapan pembuatan desain ini digunakan *Software* SolidWorks. Pada SolidWorks desain ini dibuat dengan sudut pandang yang jelas yaitu sudut pandang *isometric*. Hal ini dilakukan agar dalam pembuatan *prototype* ini lebih jelas dan mengurangi kesalahan dalam proses pembuatannya. Desain akhir *prototype* kaca ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini.



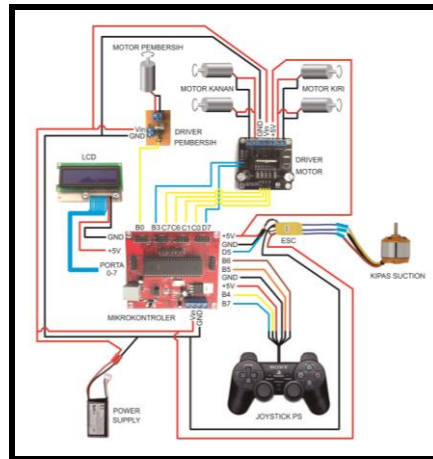
Gambar 4. Desain *Prototype* Robot Pembersih Kaca

Keterangan Gambar 4.

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1 : <i>Chassis</i>                           | 7 : Motor pembersih                |
| 2 : Struktur penompang sistem pembersih kaca | 8 : Pad pembersih                  |
| 3 : Kipas <i>suction</i>                     | 9 : Mikrokontroler                 |
| 4 : Dudukan kipas <i>suction</i>             | 10 : <i>Driver motor</i> penggerak |
| 5 : Motor penggerak                          | 11 : <i>Driver motor</i> pembersih |
| 6 : Roda                                     |                                    |

### 2.3 Desain *Hardware* Elektronika *Prototype* Robot Pembersih Kaca

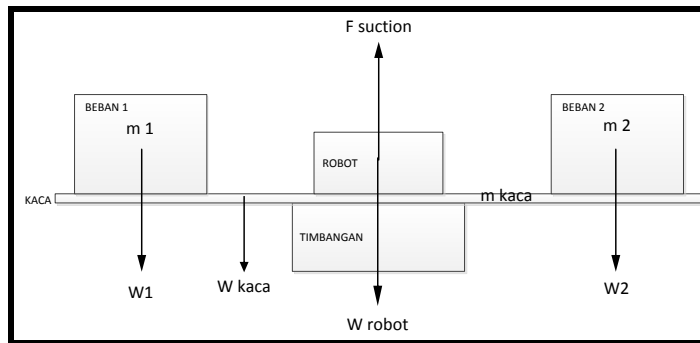
Untuk sistem elektronis *prototype* robot pembersih kaca ini terdiri dari atas beberapa komponen elektronika. Beberapa komponen elektronika tersebut disusun untuk membentuk sebuah diagram desain *hardware prototype* robot pembersih kaca. Diagram desainnya bisa dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Desain *hardware* Elektronika *Prototype* Robot Pembersih Kaca

### 2.4 Metode Pengujian gaya hisap

Proses pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya *suction* ( $F_{\text{suction}}$ ) yang digunakan untuk menahan *prototype* robot pembersih kaca agar tidak terjungkal saat berjalan di bidang *vertical*. Yang selanjutnya hasil dari pengujian ini digunakan untuk analisa *suctioning* pada *prototype* robot pembersih kaca. Proses pengujian ini dilakukan sederhana dikarenakan keterbatasan metode dan alat yang ada ditunjukkan pada Gambar 6.



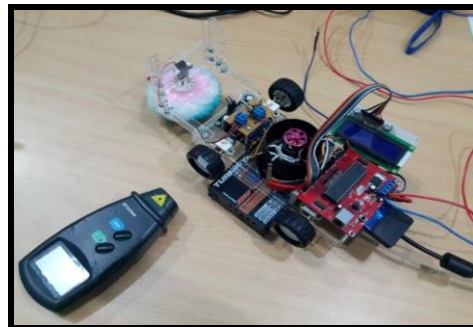
**Gambar 6.** DBB Pengujian gaya *suction*

Metode pengujian yang dilakukan yaitu dengan menempelkan *prototype* robot pembersih kaca pada sebuah kaca yang diletakkan di atas timbangan. Diketahui berat kaca ( $W_{kaca}$ ) tidak mencukupi sehingga kaca ikut terangkat saat *prototype* robot ditarik ke atas maka ditambahkan beban 1 yang mempunyai  $W1$  dan beban 2 yang mempunyai  $W2$ . Sesuai dengan beberapa nilai PWM yang ditampilkan secara bertahap *prototype* robot ditarik ke atas hingga hampir terlepas. Nilai  $F_{suction}$  didapatkan dari:  $W_{total} = W1 + W2 + W_{robot} + W_{kaca}$ . Setelah  $W_{total}$  diletakkan di atas timbangan kemudian melakukan setting nol sehingga didapatkan:  $W_{total} = 0$ .

### 2.5 Metode Pengujian *manuverability*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui batas kemampuan *prototype* robot pembersih kaca bergerak melintasi lintasan yang telah yaitu pada permukaan kaca yang dipasang secara *vertical*. Pergerakan *prototype* robot pada permukaan kaca dibatasi oleh garis lurus yaitu berupa jalan lurus *horizontal*, jalan lurus *vertical*, dan dibatasi oleh garis lengkung yaitu berupa rotasi searah jarum jam, rotasi berlawanan arah jarum jam.

Dalam pengujian ini juga didapatkan hubungan perbandingan antara PWM dengan kecepatan rotasi yang dihasilkan oleh motor DC. Sehingga dengan hasil analisa perhitungan kecepatan pada tiap roda dapat dengan langsung dikonversikan ke dalam nilai PWM. Nilai PWM ini selanjutnya digunakan sebagai input pemrograman mikrokontroler

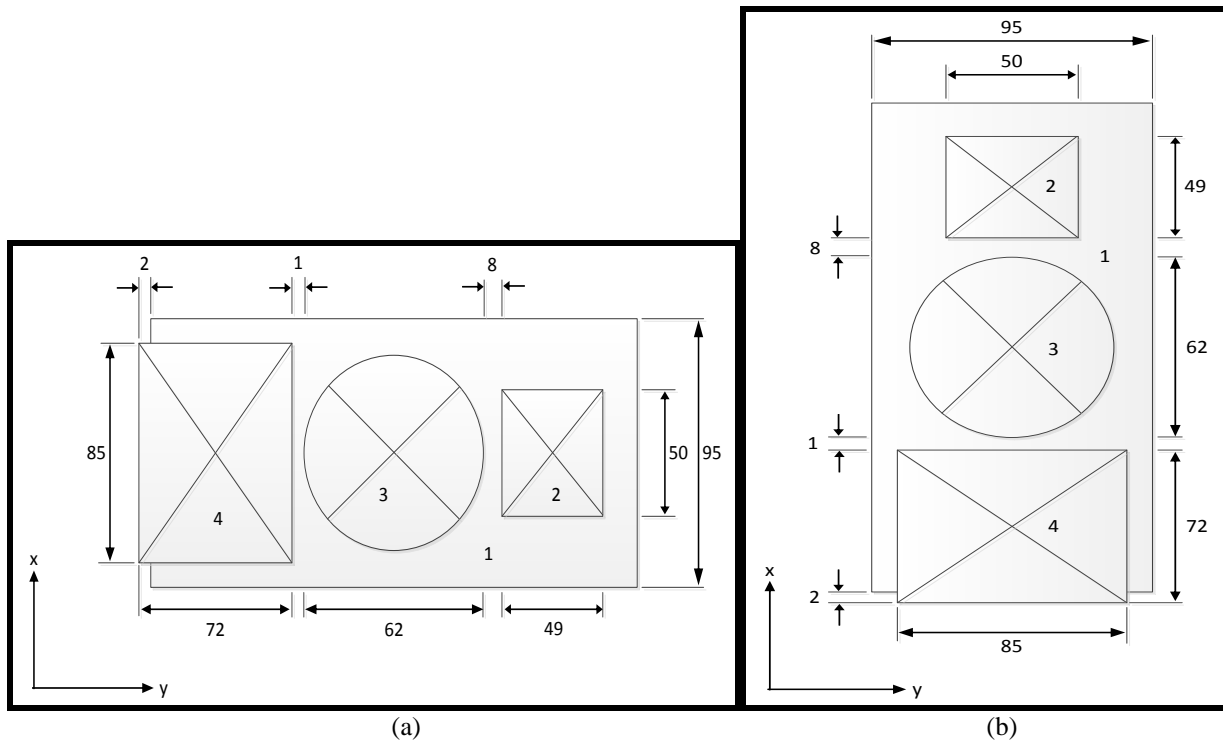


**Gambar 7.** Proses pengujian kecepatan rotasi motor DC

## 3. HASIL-HASIL PENELITIAN

### 3.1 Titik Pusat Massa dari *Prototype* robot pembersih kaca

Titik pusat massa adalah titik tangkap dari resultan gaya-gaya berat pada setiap komponen dimana jumlah momen gaya terhadap titik pusat (pusat massa) sama dengan nol. Pada saat menentukan pusat massa robot pada posisi *horizontal* dan *vertical*, sebelumnya dari chassis robot dibagi menjadi 3 bagian. Chassis robot ini dibagi menjadi 3 bagian karena beban dari setiap bagian berbeda dan bentuknya tidak persegi, sehingga tidak bisa langsung diambil titik tengah dari chassis sebagai pusat massa.



Gambar 8. Pusat massa robot dengan posisi (a) *horizontal*, (b) *vertical*

Keterangan:

1. Chassis
2. Driver
3. EDF ( *Electronic Duct Fan* )
4. Mikrokontroler

Untuk pusat massa pada robot dengan posisi *horizontal* terletak pada sumbu  $(x,y) = (99,13 ; 47,5)$ , dan untuk posisi *vertical* terletak pada sumbu  $(x,y) = (47,5;99,13)$ . Untuk variasi kedua adalah robot ini ditambahkan alat pembersih (*pad*) yang berguna untuk membersihkan kaca. Dengan adanya tambahan alat pembersih ini maka pusat massa dari robot ini juga berubah. Pusat massa pada robot dengan tambahan pembersih untuk posisi *horizontal* terletak pada sumbu  $(x,y) = (121,8;47,5)$ , dan untuk posisi *vertical* terletak pada sumbu  $(x,y) = (47,5;121,8)$ .

### 3.2 Analisa Suctioning

Analisa *suctioning* ini bertujuan untuk mengetahui gaya hisap yang dibutuhkan untuk menahan mobil pembersih kaca, maka EDF (*Electric Duct Fan*) diprogram dengan nilai PWM sebesar  $850-2350 \mu_s$ . Beban dari mobil pembersih ini jika tanpa menggunakan pembersih adalah  $W=4,081N$ , untuk posisi *horizontal* gaya hisap yang dibutuhkan adalah sebesar  $F_{suction} = 10,026N$ , dan untuk posisi *vertical* membutuhkan gaya hisap sebesar  $F_{suction} = 17,403N$ . Beban total dari mobil pembersih ini adalah  $W= 4,768N$ , untuk posisi *horizontal* gaya hisap yang dibutuhkan adalah sebesar  $F_{suction} = 10,693 N$ , dan untuk posisi *vertical* membutuhkan gaya hisap sebesar  $F_{suction} = 16,284 N$

### 3.3 Analisa Gaya Gesek Statik dan Kinetik pada roda kendaraan pembersih kaca

Gaya gesek dan kinetik dari mobil pembersih kaca ini terjadi pada roda mobil, karena roda berusaha untuk menahan agar tidak turun, dan terjadi gesekan pada saat mobil pembersih kaca ini berjalan. Arah gesekan ini selalu berlawanan dengan arah gaya benda. Variasi analisa pada gaya gesek statik dan kinetik ini dibedakan berdasarkan adanya pembersih dengan tanpa pembersih.

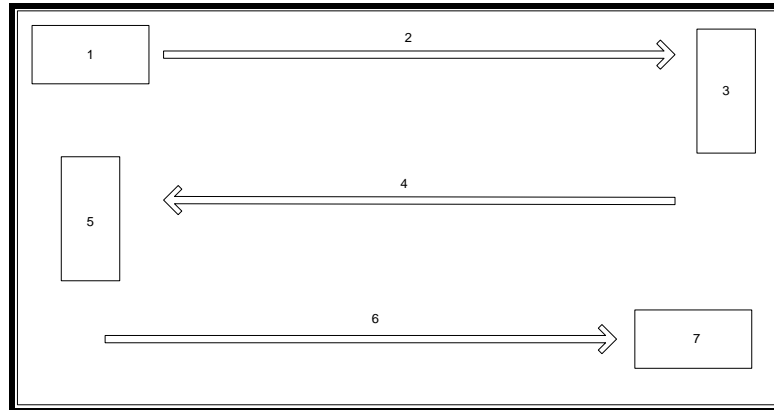
Gaya gesek statik untuk tanpa pembersih dalam keadaan diam menempel pada dinding pada posisi *horizontal* sebesar  $\mu_s = 0,41$  dan untuk posisi *vertical*  $\mu_s = 0,2$ . Saat mobil pembersih kaca ini berjalan maka akan menghasilkan gaya gesek kinetik pada roda. Nilai gaya gesek kinetik pada roda saat posisi *horizontal* adalah maju  $\mu_k = 0,024$  – mundur  $\mu_k = 0,026$ . Dan untuk nilai gaya gesek kinetik pada roda saat posisi *vertical* adalah naik  $\mu_k = 0,23$  – turun  $\mu_k = 0,215$ .

Gaya gesek static untuk dengan pembersih dalam keadaan diam menempel pada dinding pada posisi *horizontal* sebesar  $\mu_s = 0,44$  dan untuk posisi *vertical*  $\mu_s = 0,29$ . Saat mobil pembersih kaca ini berjalan maka akan menghasilkan gaya gesek kinetik pada roda. Nilai gaya gesek kinetik pada roda saat posisi *horizontal* adalah maju  $\mu_k =$

0,015 – mundur  $\mu_k = 0,017$ . Dan untuk nilai gesek kinetic pada roda saat posisi *vertical* adalah naik  $\mu_k = 0,24$  – turun  $\mu_k = 0,25$ .

### 3.4 Analisa Lintasan

*Trajectory* (lintasan) yang akan dilakukan robot pembersih kaca ini adalah posisi robot menempel pada kaca, dan untuk proses pembersihan/pergerakan dari robot dapat dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 9. Lintasan robot

Robot pembersih kaca menempel pada kaca yang diletakkan pada ujung kiri atas pada kaca, robot berjalan lurus maju sesuai lintasan, lalu melakukan pergerakan setengah lingkaran menuju ke arah bawah, proses pergerakan robot ini dilakukan secara terus-menerus hingga selesai.

### 3.5 Analisa Manuverability

Analisa *manuverability* ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari robot pembersih kaca ini untuk melakukan *manuver*/belok pada sebuah lintasan. Desain kendali dari mobil pembersih kaca ini tidak dapat berbelok, sehingga agar mobil pembersih kaca ini dapat *bermanuver*/belok maka harus menggunakan perbedaan kecepatan antara roda luar dan roda dalam.

Untuk pengujian *manuverability* ini adalah dengan membuat sebuah lintasan yang berbentuk setengah lingkaran pada meja datar dengan variasi radius 0.3, 0.5, 0.75, 1 m, dan dengan variasi kecepatan sebesar 0.11, 0.17, dan 0.22 m/s. Setelah mengetahui lintasan yang akan dilalui oleh mobil pembersih kaca, maka dilakukan perhitungan kecepatan motor pada mobil pembersih kaca agar dapat melewati lintasan tersebut.

Tabel 1. Hasil pengujian *maneuverability* untuk variasi kecepatan rendah yaitu 0,11 m/s

Vrendah	R teori (m)	R real (m)	RPM dalam	PWM dalam	RPM luar	PWM luar
0.11 m/s	0,3	8,481	38	51 / 52	60	63 / 66
	0,5	16,960	43	53 / 56	56	61 / 63
	0,75	20,083	45	54 / 57	54	59 / 62
	1	20,083	46	55 / 56	53	59 / 61

Tabel 2. Hasil pengujian *maneuverability* untuk variasi kecepatan sedang yaitu 0,17 m/s

Vsedang	R teori (m)	R real (m)	RPM dalam	PWM dalam	RPM luar	PWM luar
0.17 m/s	0,3	6,786	57	61 / 65	91	88 / 90

	0,5	16,957	64	66 / 69	84	81 / 85
	0,75	16,067	67	68 / 72	81	78 / 81
	1	26,777	69	69 / 74	79	77 / 80

**Tabel 3.** Hasil pengujian *maneuverability* untuk variasi kecepatan tinggi yaitu 0,22 m/s

Vtinggi	R teori (m)	R real (m)	RPM dalam	PWM dalam	RPM luar	PWM luar
0.22 m/s	0,3	4,243	76	74 / 79	121	138 / 143
	0,5	8,481	85	82 / 89	112	116 / 120
	0,75	13,389	90	87 / 95	108	110 / 117
	1	11,477	92	89 / 98	105	105 / 114

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan dalam pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa :

- Hasil pusat massa pada mobil pembersih kaca , untuk tanpa pembersih dengan posisi *horizontal* adalah  $x = 99,13$  dan  $y = 47,5$ . Pada posisi *vertical* adalah  $x = 47,5$  dan  $y = 99,13$ . Dan untuk dengan adanya pembersih dan posisi *horizontal* adalah  $x = 121,18$  dan  $y = 47,5$ , pada posisi *vertical* adalah  $x = 47,5$  dan  $y = 121,8$ .
- Hasil koefisien gesek pada mobil pembersih kaca tanpa pembersih, dalam keadaan diam dengan posisi *horizontal* dan *vertical* didapatkan  $\mu_s = 0,41$  dan  $\mu_s = 0,2$ , dalam posisi *horizontal* dengan bergerak maju-mundur didapatkan  $\mu_k = 0,024$  dan  $\mu_k = 0,026$ , dan dalam posisi *vertical* dengan bergerak naik-turun didapatkan  $\mu_k = 0,23$  dan  $\mu_k = 0,215$ .  
Untuk nilai koefisien gesek pada mobil pembersih kaca dengan pembersih, dalam keadaan diam dengan posisi *horizontal* dan *vertical* didapatkan  $\mu_s = 0,44$  dan  $\mu_s = 0,29$ , dalam posisi *horizontal* dengan bergerak maju-mundur didapatkan  $\mu_k = 0,015$  dan  $\mu_k = 0,017$ , dan dalam posisi *vertical* dengan bergerak naik-turun didapatkan  $\mu_k = 0,24$  dan  $\mu_k = 0,25$ .
- Hasil pengujian *suctioning* pada mobil pembersih kaca dengan keadaan tanpa adanya pembersih mempunyai beban  $W = 4,081$  N, untuk posisi *horizontal* membutuhkan  $F_{suction} = 10,026$  N, dan posisi *vertical* membutuhkan  $F_{suction} = 17,403$ . Dengan adanya tambahan pembersih pada mobil pembersih kaca mempunyai beban  $W = 4,768$  N, untuk posisi *horizontal* membutuhkan  $F_{suction} = 10,693$  N, dan posisi *vertical* membutuhkan  $F_{suction} = 16,284$  N,
- Mobil pembersih kaca ini bermanuver dengan kecepatan 0,22 m/s. RPM bagian dalam sebesar 76 dan RPM bagian luar sebesar 121. Radius teori yang akan dilakukakn adalah sebesar 0,3 m. setelah dilakukan pengujian dengan kecepatan tersebut, ternyata radius realnya itu sebesar 4,243 m.

#### 5. REFERENSI

- [http://perpustakaan\\_cyber.blogspot.com/2013/01/hukum-newton-berat-gaya-normal-tegangan-gaya-gesekan-dinamika-gerak.html](http://perpustakaan_cyber.blogspot.com/2013/01/hukum-newton-berat-gaya-normal-tegangan-gaya-gesekan-dinamika-gerak.html). diakses tanggal 26 November 2013.
- [http://teguhsasmitosdp1.files.wordpress.com/2010/05/06\\_bab54.pdf](http://teguhsasmitosdp1.files.wordpress.com/2010/05/06_bab54.pdf), diakses tanggal 26 November 2013.
- <http://bebas.vlsm.org/v12/sponsor/Sponsor-Pendamping/Praweda/Fisika/0272%20Fis-1-3a.htm>, diakses tanggal 1 Desember 2013.
- <http://www.tugasku4u.com/2013/04/vacuum-cleaner.html>, diakses tanggal 10 Desember 2013,.
- <http://fisikastudycenter.com/fisika-xi-sma/39-dinamika-tikungan>, diakses tanggal 26 November 2013.
- Xiao, J. , Saldegh, A. , 2010, “*City-Climber: A New Generation Wall-Climbing Robots*”, The City College, City University of New York, USA.
- Warolumenta, R. , 2011, “DIKTAT KULIAH Eletronika Industri & Otomasi (IE-204)”, Universitas Kristen Marantha, Bandung, Indonesia.
- Ogata, K. , 2010, “*Modern Control Engineering Fifth Edition*”. UTeM, London.