

MODIFIKASI DAN PENGUJIAN *AUTOMATIC LANE BARRIER* DI GERBANG TOL CIAWI, CIBUBUR, DAN BOGOR

Rinaldi^{1*)}, Muhammad Fitri¹⁾

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

*e-mail: maldi599@gmail.com

ABSTRAK

Sistem *automatic lane barrier* adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk mengontrol lalu lintas kendaraan pada gerbang tol. Sistem ini bekerja dengan menggunakan sensor untuk mendeteksi kendaraan yang akan melewati area kontrol dan membuka atau menutup pintu *barrier* secara otomatis. Kecepatan operasi dari sistem ini sangat penting untuk memastikan bahwa lalu lintas kendaraan dapat berjalan lancar dan aman. Penggunaan *automatic lane barrier* di gerbang tol saat ini masih menggunakan tipe 0,5 detik kecepatan pada saat proses membuka atau menutup pintu *barrier*. Pengujian kecepatan *automatic lane barrier* dilakukan dengan menguji sistem pada kondisi yang berbeda-beda, seperti beban lalu lintas yang berbeda dan kecepatan kendaraan yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat beroperasi dengan kecepatan yang sesuai dengan kebutuhan dan dapat mengatasi situasi yang tidak terduga. Hasil dari modifikasi dan pengujian kecepatan *automatic lane barrier* menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan kecepatan 0,3 detik dan dapat mengatasi situasi yang tidak terduga. Dengan demikian, sistem ini dapat membantu mengontrol lalu lintas kendaraan dengan lebih efektif dan meningkatkan keamanan di gerbang tol.

Kata kunci : *automatic lane barrier; efektif; pengujian.*

ABSTRACT

The automatic lane barrier system is one of the technologies used to control vehicle traffic at toll gates. This system uses sensors to detect vehicles that will pass through the control area and automatically open or close the barrier doors. The operating speed of this system is essential to ensure that vehicle traffic can run smoothly and safely. Automatic lane barriers at toll gates still use the 0.5-second speed type during opening or closing the barrier gate. Automated lane barrier speed testing is carried out by testing the system under different conditions, such as traffic loads and vehicle speeds. This test aims to ensure that the system can operate at speed according to requirements and can cope with unexpected situations. The results of the modification and speed testing of the automatic lane barrier show that the system can operate with a speed of 0.3 seconds and overcome unexpected situations. Thus, this system can help control vehicle traffic more effectively and improve security at toll booths.

Keywords : *automatic lane barrier; effective; testing.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin canggih, kini telah banyak ditemukan *automatic lane barrier* atau biasa disebut dengan palang pintu otomatis. Seiring dengan perkembangan teknologi saat ini telah banyak mendorong perangkat jalan tol untuk mengembangkan teknologinya menjadi lebih efisien. Salah satu

contoh pengembangan teknologi yaitu pada *automatic lane barrier*, dimana hingga saat ini penggunaan *automatic lane barrier* (ALB) cenderung lebih banyak menggunakan tipe 1 - 0,5 detik pada umumnya. Dengan adanya teknologi tersebut proses transaksi pembayaran di gerbang tol dapat menekan angka kemacetan khususnya bagi pengguna jalan tol. Dalam hal ini telah menunjukkan bahwa pengembangan pada

palang pintu otomatis dapat mengefesiesikan pengguna jalan tol dalam melakukan proses transaksi pembayaran di gerbang tol.

Automatic lane barrier adalah salah satu teknologi yang digunakan untuk mengontrol lalu lintas kendaraan khususnya pada gerbang tol. Sistem ini bekerja dengan menggunakan sensor untuk mendeteksi kendaraan yang akan melewati area kontrol dan membuka atau menutup pintu *barrier* secara otomatis. Dengan menggunakan teknologi ini, pengendara kendaraan dapat dengan mudah dan aman melewati area kontrol tanpa perlu membuka pintu barrier secara manual.

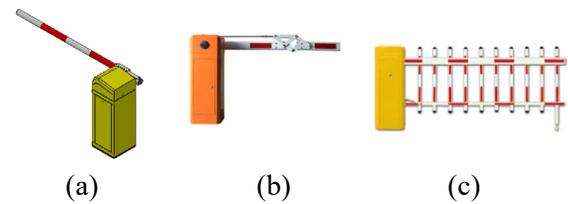
Pengujian kecepatan *automatic lane barrier* dilakukan dengan menguji sistem pada kondisi yang berbeda-beda, seperti beban lalu lintas yang berbeda dan kecepatan kendaraan yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat beroperasi dengan kecepatan yang sesuai dengan kebutuhan dan dapat mengatasi situasi yang tidak terduga (G. Pahl, K et.al., 2007).

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi dan pengujian kecepatan pada alat palang otomatis dengan menggunakan rem cakram sepeda motor (yamaha mio) dalam sistem pengeremannya dan motor BLDC sebagai penggerak utama, sehingga dapat mengejar kecepatan 0,3 detik pada proses membuka dan menutup *barrier*. Spesifikasi motor BLDC yang digunakan yaitu 48V 350W 3000rpm & *gearbox* dengan rasio 1:17,79 (penggerak utama), diharapkan mampu dalam melakukan proses buka tutup palang otomatis dengan kecepatan 0,3 detik. Sehingga dapat lebih menekan lagi angka kemacetan di gerbang tol khususnya pada jam-jam sibuk.

Boom Gate

Boom gate merupakan penghalang akses keluar pada suatu wilayah tertentu. *Boom gate* memiliki fungsi sebagai penjaga keamanan dari kendaraan bermotor (Karlos, V et.al., 2017). *Boom gate* juga memiliki fungsi untuk meningkatkan manajemen kendaraan yang masuk dan keluar suatu wilayah. *Boom gate* juga dikenal sebagai *car stopper*. Alat ini banyak digunakan di sekolah, tempat tinggal, pabrik, jalan raya, tempat parkir, jalan tol dan tempat umum lainnya. *Boom gate* dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan bentuk palang (*boom*)

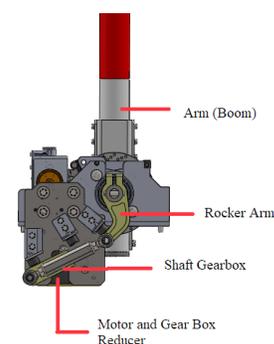
seperti berbatang lurus, lengan engkol dan tipe pagar seperti ditunjukkan pada Gambar 1. (Zhang, C. et.al., 2015)



Gambar 1. Boom Gate a) Lurus. b) Lengan Engkol. c) Pagar

Mekanisme Boom Gate

Boom gate beroperasi secara elektrik – mekanik menggunakan sebuah motor sebagai penggerak utamanya. Motor akan bekerja menggerakkan perangkat mekanik yang akan membuka akses apabila autentikasi terhadap kendaraan telah selesai dilakukan oleh sistem. *Boom gate* bekerja dengan mekanisme *rocker arm*/poros engkol dimana proses diawali dengan gerakan rotasi dari motor listrik yang kemudian akan direduksi kecepatannya oleh *gearbox* dengan tujuan untuk meningkatkan torsi. Poros *gearbox* akan menggerakkan poros engkol (*rocker arm*) sehingga menggerakkan palang (*boom*) dari 0 derajat ke 90 derajat (Zhang, C. et.al., 2015). Struktur mekanisme pada *Boom gate* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur mekanisme *boom gate*

Sistem penggerak palang menggunakan *gearbox* dengan torsi tinggi yang dikendalikan oleh *Variable Speed Drive* (VSD) motor pada *Boom gate*. *Boom gate* di desain agar dapat

membuka dan menutup palang tanpa bantuan dari perangkat tambahan (Mathieson, B., 2011). Sistem akan bergerak ketika *controller* motor menerima perintah atau sinyal yang dikirim oleh pengguna, kemudian *controller* motor akan mengaktifkan motor listrik dengan memberinya daya. Sensor akan membaca ketika palang sudah berputar sebesar 90 derajat (Rittenhouse, J. M., & Teich, R. M., 2006).

Motor Brushless DC

Motor listrik merupakan suatu perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik tersebut akan mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik yang menghasilkan torsi untuk menggerakkan beban palang *boom gate* dalam operasinya (Cunico, D. et. al, 2021). Salah satu jenis motor listrik yang sering digunakan adalah motor *Brushless DC (BLDC)*. Motor *BLDC* merupakan motor dengan arus searah yang biasanya digunakan untuk penyalaan torsi yang tinggi (Bagia, I. N., 2018). Motor *Brushless DC* digunakan dalam kebutuhan industri, medis, otomotif, maupun rumah tangga. Motor *Brushless DC* tidak menggunakan *brush* (sikat) seperti motor *DC*, sehingga tidak membutuhkan penggantian *brush* saat perawatan (Bagia, I. N., 2018). Motor *Brushless DC* memiliki beberapa keuntungan diantaranya memiliki kehandalan dan efisiensi yang tinggi, *noise* akustik yang rendah, dan memiliki *range* kecepatan yang tinggi (Arsya, N. R., 2016). Gambar 4 menampilkan visualisasi dari motor *DC*.



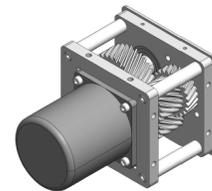
Gambar 4. Motor DC (Arsya, N. R., 2016)

Motor listrik *BLDC* memiliki kemampuan untuk melakukan *regenerative braking*. *Regenerative braking* adalah fungsi *brake* pada motor listrik yang membuat motor listrik dapat mengalami proses deakselerasi. Pada fase *regenerative brake*, *supply power* untuk motor di putus sehingga energi kinetik pada motor akan dialirkan menuju baterai atau kapasitor (Mahitha, R. et al., 2019). *Regenerative brake* motor ini dapat digunakan pada *Boom gate* untuk proses

pengeremannya (*brake*). Sehingga memungkinkan *boom gate* dapat berhenti di posisi yang tepat dengan kecepatan yang optimum. Fase pengereman (*braking phase*) atau deakselerasi biasanya berlangsung dengan tempo yang lambat sehingga saat proses terjadi tidak terlihat adanya perbedaan pada gerakan *boom gate* dan melindungi terjadinya kerusakan pada mekanik. Fase pengereman ini sangat mempengaruhi kecepatan operasi *boom gate* itu sendiri.

Gearbox

Gearbox atau yang biasa dikenal juga dengan transmisi merupakan sebuah unit sistem yang menggunakan *gear* atau susunan *gear* untuk mendapatkan perubahan kecepatan dan torsi dari sumber penggerak putar ke perangkat lain. *Gearbox* pada umumnya digunakan untuk menghasilkan sebuah output kecepatan atau banyak output. *Gearbox* yang merubah suatu sistem dengan kecepatan tinggi menjadi sebuah output disebut dengan *gearbox* satu tahap (*single stage*). Adapun *gearbox* yang merupakan sistem dengan kecepatan tinggi ke dalam beberapa output disebut dengan *gearbox* mutli kecepatan (*multispeed*). Pada *gearbox multi speed* dibutuhkan beberapa buah poros dan *gear*. Gambar 5 menampilkan komponen penyusun *gearbox* (Soneji, B., 2019).



Gambar 5. Komponen penyusun *gearbox*

Dalam Gambar 5 diperlihatkan komponen utama penyusun suatu *gearbox* terdiri dari gear, poros, *bearing*, *keyways* dan *housing gear*. Beberapa komponen tersebut merupakan suatu kesatuan sistem yang pada umumnya digerakkan oleh sumber penggerak putar contohnya motor listrik. Desain dari *gearbox* sangat bergantung pada pemilihan *bearing* untuk menahan gaya dari roda gigi. Setelah *bearing* ditentukan, diameter poros dapat dipilih dan diameter lubang roda gigi juga. Poros *gearbox* mentransmisikan torsi antara poros dan gear melalui *keyways*. *Keyways* merupakan komponen mesin berupa baja pejal yang akan mengisi ruang antara poros dengan

gear. *Keyways* pada sambungan antara poros dengan gear sangat krusial perannya karena apabila *keyways* tidak pas atau memiliki ukuran berbeda dengan lubangnya maka gear akan mengalami *speeling* atau *slide*. Pemilihan ukuran poros dapat diganti menyesuaikan dengan ukuran *bearing* yang dipilih namun penggantian ukuran poros maka akan mempengaruhi ukuran lubang gear dan *keyways*nya. Perubahan pada ukuran poros tidak akan mempengaruhi performa gear tersebut (Patel, H., 2015).

Pada *gearbox* terdapat susunan roda gigi yang memiliki sebuah rasio gigi. Rasio gigi merupakan perbandingan transmisi antara input dan *output gearbox*. Apabila nilai putaran roda pada gigi penggerak dinyatakan dengan n_1 (rpm) dan nilai putaran pada gear yang digerakkan dinyatakan dengan n_2 (rpm), diameter lingkaran jarak bagi d_1 dan d_2 (mm), dan jumlah gigi z_1 dan z_2 maka perbandingan rasio gear dapat dihitung dengan rumus 1 berikut (Sularso, & Suga, K., 2002):

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

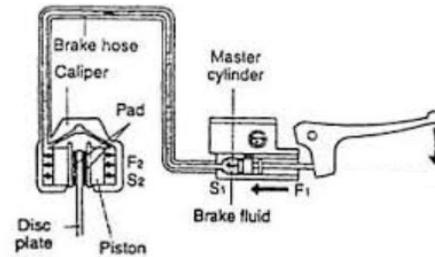
Dimana:

- i = rasio transmisi
- z = jumlah gigi roda gigi
- d = diameter lingkaran jarak (mm)
- n = putaran (rpm)

Sistem Rem Cakram

Sistem rem - cakram merupakan sebuah perangkat yang berfungsi untuk membantu proses deaklerasi suatu sistem/ benda berputar. Salah satu tipe rem cakram yang kerap digunakan yaitu tipe hidrolis. Sistem rem cakram menggunakan fluida berupa minyak rem sebagai pemindah gerak handel menjadi gerak *brake pad*. Saat tuas rem ditarik, piston yang berada di dalam master silinder akan terdorong dan membuat minyak rem tertekan keluar silinder, melalui selang rem fluida bertekanan ini kemudian diteruskan untuk mendorong piston yang berada di dalam silinder *caliper*. Dorongan yang disebabkan piston pada *caliper* ini mendorong pad untuk menjepit cakram dan mengakibatkan terjadinya pengereman. Saat tuas rem dibebaskan, maka fluida akan berbalik

kembali ke *reservoir*. Gambar 6 menampilkan komponen-komponen pada sistem rem – cakram.



Gambar 6. Sistem rem – cakram

Sistem rem cakram biasanya digunakan untuk rem bagian depan kendaraan bermotor. Karena pada saat rem digunakan sebagian besar beban dibebankan kebagian depan maka perlu menempatkan rem cakram pada rem depan (Rachmadi, D. T., 2014). Berdasarkan fungsinya sistem rem – cakram dapat digunakan di *boom gate*, di mana sistem ini berperan sebagai *external brake* atau rem luar yang mengandalkan gaya tekan dari piston untuk mendorong *brake pad* (kampas rem) untuk menjepit cakraannya. Sistem tersebut merubah energi mekanik menjadi energi panas pada saat gesekan terjadi yang pada penerapannya di *boom gate* akan berlangsung selama proses deakselerasi. Penggunaan sistem rem–cakram ini akan memberikan fungsi rem yang cepat sehingga membuat pergerakan *boom gate* dapat berhenti dalam sekejap. Penerapan rem–cakram pada *boom gate* diharapkan dapat membuat kecepatan buka tutup *Boom gate* menjadi lebih cepat hingga 0,3 detik.

Boom gate dengan kecepatan 0,3 detik digunakan dalam membantu aplikasi nirkontak di Indonesia sehingga meminimalisir adanya penumpukan kendaraan di gardu tol. Penggunaan rem cakram pada *boom gate* ini akan dibuktikan dengan perhitungan waktu pengereman yang dihasilkan oleh rem–cakram tersebut terhadap sistem *boom gate* menggunakan beberapa rumus berikut (Halliday, D. et al., 1972):

$$F = m \cdot a = m \frac{dv}{dt} = \frac{m(v_2 - v_1)}{(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

$$t = \frac{v_2 - v_1}{a} \quad (4)$$

Dimana:

- a = Percepatan linear (m/s²)
- v = Kecepatan linear (m/s)
- t = Waktu (s)

Perhitungan waktu pengereman dihitung berdasarkan besarnya gaya pengereman pada *brake pad* yang berlangsung selama proses deakslerasi. Untuk itu percepatan linear harus dicari terlebih dahulu dengan mengkonversi percepatan angular dari *boom gate* tersebut.

$$a = \omega^2 \cdot r \tag{5}$$

$$v = \omega \cdot r \tag{6}$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \tag{7}$$

$$t = \frac{(\omega_2 - \omega_1) \cdot r}{a^2} \tag{8}$$

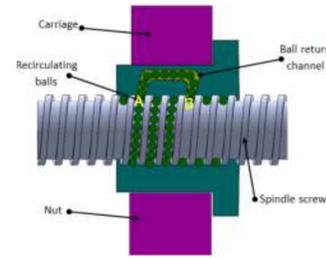
Dimana:

- ω = kecepatan sudut (rad/s)
- r = Jari jari lengan/ lintasan (m)
- v = kecepatan linear (m/s)
- a = percepatan linear (m/s²)

Aktuator Mekanik

Aktuator mekanis merupakan suatu sistem untuk merubah gerak mekanis (biasanya berputar) menjadi gerak linear menggunakan *screw* atau *gear* (Ali, M. H. et al., 2016). Aktuator mekanik memiliki *backlash* yang rendah dan kemampuan menahan beban yang tinggi. Kekurangan dari aktuator mekanik terletak pada akselerasi yang tidak terlalu cepat dan perlunya *guiding* jika menggunakan *stroke* yang panjang (Islam, T., 2016).

Salah satu jenis aktuator mekanik adalah *Ball screw*. *Ball screw* menggunakan bola-bola kecil yang akan berputar melintasi aluran ulir *screw* pada sistemnya. Sistem kerja *Ball screw* ialah memperkecil gesekan dan memaksimalkan efisiensinya. Design *Ball screw* sangat kompleks karena membutuhkan permukaan bantalan sebagai tempat sirkulasi bola yang baik dan presisi. Gambar 7 memperlihatkan komponen penyusun *ball screw*.



Gambar 7. Komponen penyusun *ball screw*

Ball screw terdiri dari sepasang *spindle screw* dan *carriage nut*. Bidang sentuh antara kedua komponen tersebut dihubungkan oleh bola. Dengan komponen yang berputar tersebut *Ball screw* memiliki koefisien gesekan yang sangat rendah namun efisiensi tinggi yang mencapai 90 persen. Gaya yang timbul di distribusikan ke banyaknya bola yang ada sehingga beban yang di peroleh oleh satu buah bola relative kecil (Dhaware, Y. et al., 2019).

Dalam proses kerjanya *ball screw* akan bekerja terus menerus sehingga menyebabkan permukaan kontak pada ulir *ball screw* terkikis hingga terdeformasi. Untuk memelihara umur pakai dari *ball screw* maka perlu dilakukannya pemberian pelumas (*grease*) pada permukaan bidang kontak *ball screw*. Pelumas berperan dalam mengurangi gesekan, tingkat korosi, suhu kerja *ball screw* dan memperpanjang usia kerja *ball screw* (Jin, W. et al., 2017).

Ball screw dapat bekerja pada kecepatan yang sangat tinggi dengan karakteristik kemungkinan kecepatan hingga 150.000 mm/min. Kecepatan linear secara teori dapat di hitung menggunakan persamaan 9. Namun pada praktiknya kecepatan linear yang dapat dicapai akan bergantung pada beberapa faktor seperti beban dan *duty cycle* motor penggeraknya (Bosch Rexroth, A., 2017).

$$V_{max} = \frac{150000 \frac{mm}{min} \cdot P}{d_0} \tag{9}$$

Dimana:

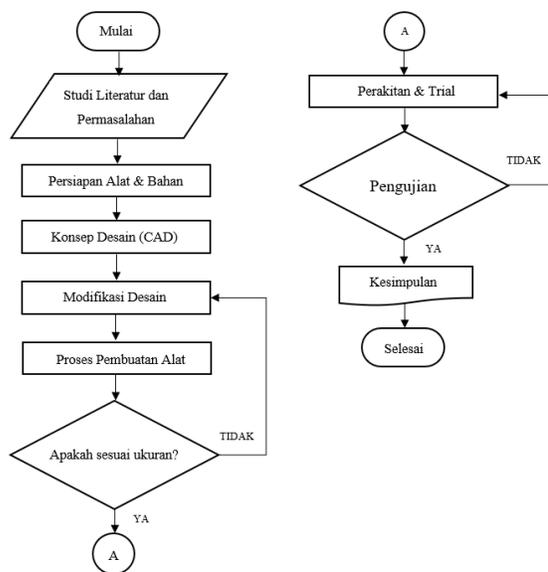
- V_{max} = Kecepatan Linear Maximal (mm/min)
- P = Lead (mm)
- d_0 = nominal screw diameter (mm)

METODE PENELITIAN

Studi literatur meliputi kegiatan mencari dan mempelajari bahan pustaka yang terkait dengan hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dan mencari bahan pustaka tentang penelitian yang sedang diteliti. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber yang mengacu pada referensi, publikasi-publikasi ilmiah/ jurnal, tugas akhir dan penelitian yang berkaitan. Sebelum melakukan penelitian, perlu adanya landasan teori yang harus dipahami oleh peneliti. Apabila sudah memahami teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini, maka dapat mempermudah pada saat dilakukannya pengujian. Dalam hal ini dilakukan pengujian fungsional dan ketahanan pada alat palang otomatis dengan kecepatan 0,3 detik pada saat proses buka-tutup.

Tempat penelitian ini dilakukan di *Workshop* dan Gerbang tol Ciawi, Ciburur, dan Bogor. Waktu pelaksanaannya di mulai pada bulan Maret 2022. Penelitian ini dilakukan untuk melihat peran rem – cakram dalam aplikasinya di perangkat *boom gate*. Data *boom gate* dan rem - cakram yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 1.

Tahapan kegiatan dalam proses penelitian ini dalam bentuk alur kerja seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



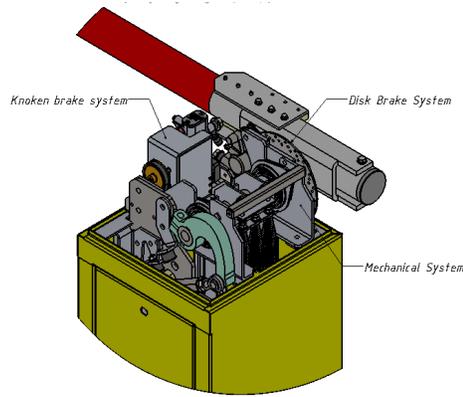
Gambar 8. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Spesifikasi *Boom gate*.

Tegangan Kerja	220 - 230 VAC / 50 - 60 Hz
Konsumsi Daya	75 - 450 Watt (Posisi Standby 5 Watt)
Panjang Palang	Customize (2.00 - 3.00 Meter)
Tipe Boom	Rounded / Rectangular
Kecepatan Buka	0.45 detik
Kecepatan Tutup	0.5 detik
Sinyal Input Trigger	Dry Contact 3.3 VDC - Ground (common)
Motor Penggerak	1. BLDC 350 Watt 48 VDC 3000 rpm (Used 30%)
	2. BLDC 62 Watt 24 VDC
Unit Kontrol	Mikrokontroler Palang 32 Bit
Berat	72 Kg
Fitur Tambahan	1. LED indikator RGB
	2. Sensor Deteksi Kendaraan
Kondisi Tambahan	-20°C - 80°C
Dimensi Total	P x L x T (360 x 360 x 1020) mm

Konsep Desain (CAD)

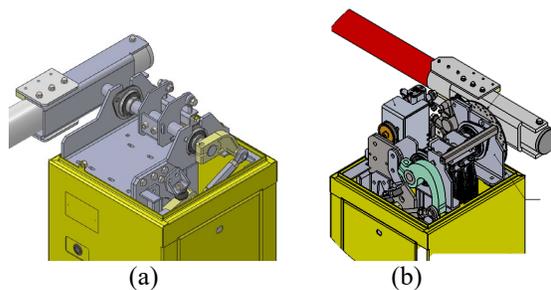
Pembuatan konsep desain alat palang otomatis menggunakan *software Solidworks*. Dalam penelitian ini perancang menambahkan beberapa komponen dari alat palang otomatis sebelumnya (tipe 0,5 detik) dengan tujuan agar dapat mengejar proses buka-tutup palang otomatis dengan kecepatan 0,3 detik. Salah satunya dengan adanya sistem *brake* pada alat palang otomatis yang mampu meningkatkan kecepatan buka tutup alat palang otomatis. Gambar 9 menunjukkan desain alat palang otomatis tipe 0,3 detik.



Gambar 9. Desain alat palang otomatis tipe 0,3 detik

Modifikasi Desain

Terdapat beberapa perbedaan pada mekanisme *automatic lane barrier* tipe 0,5 detik dengan mekanisme *automatic lane barrier* tipe 0,3 detik sebagaimana terlihat pada Gambar 10.



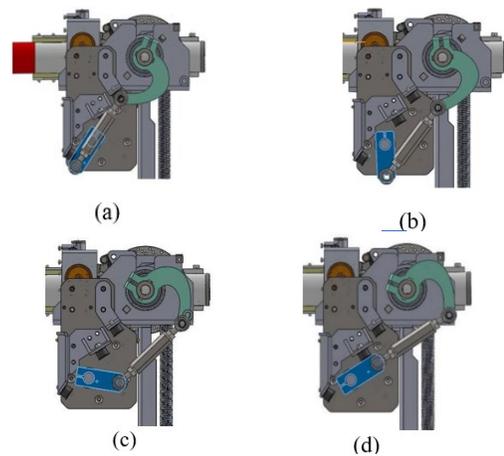
Gambar 10. (a). Mekanisme ALB 0,5 detik, (b). Mekanisme ALB 0,3 detik

Perbedaan pada *automatic lane barrier* seperti Gambar 10 yaitu pada *automatic lane barrier* tipe 0,5 detik tidak terdapat sistem *brake*. Sistem *brake* pada *automatic lane barrier* tipe 0,5 detik menggunakan sistem *brake* pada motor listrik sedangkan pada *automatic lane barrier* tipe 0,3 detik terdapat sistem *brake* khusus menggunakan sistem *brake* yang digunakan oleh sepeda motor (rem cakram).

HASIL DAN PEMBAHASAN

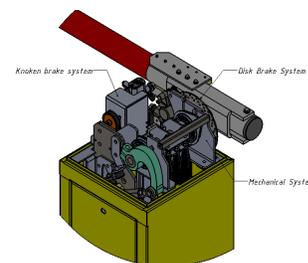
Modifikasi Desain

Perancangan desain 3D menggunakan *software Solidworks* dapat menunjukkan kemampuan sistem dalam beroperasi. Pada *software* ini dapat dilakukan pengecekan dengan cara menggerakkan tuas mekanik *boom gate* secara manual sehingga sistem tersebut akan bergerak dengan sempurna. Keberhasilan pergerakan mekanik tersebut mengindikasikan bahwa sistem *boom gate* hasil dari rancangan tersebut dapat bergerak dengan baik tanpa adanya hambatan. Hal tersebut diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. (a) Posisi Awal, (b) Posisi Engkol, (c) Posisi Akselerasi, (d) Posisi Akhir.

Adapun hasil modifikasi desain pada alat palang otomatis 0,3 detik pada Gambar 12 *Automatic Lane Barrier type High Speed 0,3 sec.*



Gambar 12. *Automatic Lane Barrier type High Speed 0,3 sec*

Hasil Evaluasi Varian

Tahapan ini merupakan hasil dari kombinasi varian yang telah ditentukan dari varian struktur fungsi yang mengacu pada kriteria dan parameter yang sudah ditentukan sebelumnya. Tujuan tahapan ini untuk menentukan sebuah rancangan terbaik dilihat dari segi biaya dan fungsi keseluruhan alat palang otomatis. Evaluasi terpilih ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Evaluasi varian 5

Kriteria	Wi (bobot)	Parameter	Vi (Nilai)	Wi x Vi
Konstruksi	0,1	Konstruksi alat Kuat tidak mudah rusak	8	0,8
Komponen	0,09	Menggunakan komponen yang mudah didapat di pasaran	7	0,63
Pembuatan Mudah Dirakit	0,1	Mudah dan biaya murah	8	0,8
	0,1	Mudah dalam perakitan dan pembongkaran alat	7	0,7
Pengoperasian	0,08	Mudah dipahami dalam pengoperasiannya	7	0,56
Biaya pembuatan	0,13	Anggaran rendah	8	1,04
Sesuai Fungsi	0,12	Waktu kecepatan buka tutup palang lebih cepat	9	1,08
Aman	0,11	Keamanan saat dioperasikan	7	0,77
Perawatan Mudah	0,07	Mudah dibersihkan	7	0,49
Transportasi	0,1	Alat mudah dipindahkan	8	0,8
TOTAL	1		76	7,67

Pada Tabel 2 terlihat bahwa evaluasi varian 5 yang dinilai dari kriteria dan parameter masing – masing memiliki nilai 1,00 dan 76, serta nilai *OWV (Overated Weight Value)* sebesar 7,67.

Mengukuhkan Varian Konsep

Berdasarkan beberapa penilaian varian konsep di atas, didapat hasil kriteria yang sebagian besar sesuai dengan keinginan alat yang dirancang penulis. Dari perhitungan evaluasi varian didapat rancangan yang tepat dan terbaik yaitu varian 5 dengan nilai *OWV (Overated Weight Value)* sebesar 7,67. Tabel 3 merangkum nilai evaluasi varian dari perhitungan yang dilakukan.

Tabel 3. Nilai evaluasi varian

Varian	Nilai (OWV)	Keterangan
1	7,38	Tidak sesuai keinginan dan kebutuhan
2	7,11	Tidak sesuai keinginan dan kebutuhan
3	7,12	Tidak sesuai keinginan dan kebutuhan
4	7,4	Tidak sesuai keinginan dan kebutuhan
5	7,76	Sesuai dengan kebutuhan, solusi ideal

Berdasarkan Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa varian 5 memiliki solusi ideal terbaik dari perancangan dengan nilai *OWV* tertinggi.

Perhitungan Boom Gate

Boom gate menggunakan motor BLDC sebagai penggerak utamanya, sehingga kecepatan sangat bergantung terhadapnya. Berdasarkan data spesifikasi motor bldc yang digunakan (Tabel 1), maka kecepatan *boom gate* dapat dihitung menggunakan persamaan 1, namun sebelum itu maka akan dihitung terlebih dahulu output motor yang sudah direduksi oleh *gearbox*. *Gearbox* yang digunakan merupakan *gearbox* dengan rasio 1: 17,79 maka output kecepatan yang dihasilkan oleh motor dapat dihitung:

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

Sehingga,

$$17,79 = \frac{3000_{rpm}}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{3000_{rpm}}{17,79} = 168,5 \text{ rpm}$$

Dengan putaran output yang telah didapatkan maka akan dihitung kecepatan sudut dari motor yang sudah disertai dengan beban mekanik dan *duty* motor sebesar 20 persen.

$$\omega = \frac{2\mu}{60} \cdot n$$

$$\omega = \frac{2\mu}{60} \cdot 168,5 = 17,645 \times 0,3 = 3,529 \text{ (rad/s)}$$

Kemudian untuk mencari waktu buka *boom gate* maka dapat ditentukan sehingga,

$$t = \frac{(\omega_1 - \omega_2) \cdot r}{\omega^2 \cdot r} = \frac{(\omega_{awal} - \omega_{akhir})}{(\omega_{awal})^2}$$

$$t = \frac{(3,529 - 0)}{(3,529)^2} = 0,28 s = 280 ms$$

Hasil Pengujian

Pengujian dilaksanakan pada tiga buah unit yang masing masing diletakkan pada gardu tol Ciawi, Cibubur dan Bogor. Ketiga pengujian tersebut dilaksanakan dalam kurun waktu dua bulan. Skema pengambilan data selama proses pengujian dilakukan setiap minggu. Data dilakukan pencatatan setiap minggunya hingga 10 minggu.

a. Pengujian pada Gardu Ciawi

Pengujian ini dilaksanakan di gerbang tol Ciawi 2. Pengujian ini dilakukan hingga unit mencapai siklus sebesar 100.000. Data hasil pengujian berupa kecepatan buka dan tutup unit ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data performa *boom gate* unit Ciawi Ciawi 2

Total Siklus per Minggu	Waktu Buka per siklus (ms)	Waktu Tutup per siklus (ms)
10.552	312	452
20.003 (+9451)	326	450
31.510 (+11507)	326	455
40.420 (+8910)	326	456
50.210 (+9790)	327	458
60.200 (+10010)	327	458
71.745 (+11545)	327	460
80.030 (+8285)	328	460
90.531 (10501)	328	460
100.054 (+9523)	329	461
Rata Rata	325,6	457

b. Pengujian pada Gardu Cibubur

Pengujian ini dilaksanakan di gerbang tol Cibubur 1. Pengujian ini dilakukan hingga unit mencapai siklus sebesar 100.000. Data hasil pengujian berupa kecepatan buka dan tutup unit ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data performa *boom gate* unit Cibubur

Cibubur 1		
Total Siklus per Minggu	Waktu Buka per siklus (ms)	Waktu Tutup per siklus (ms)
10.470	314	452
20.129 (+9659)	314	452
30.433 (+10304)	316	452
40.662 (+10229)	316	452
50.457 (+9795)	318	454
60.608 (+10.151)	319	456
71.001 (+10393)	319	456
80.475 (+9474)	320	459
90.770 (+10295)	329	458
100.894 (+10124)	330	460
Rata Rata	319,5	455,1

c. Pengujian pada Gardu Bogor

Pengujian ini dilaksanakan di gerbang tol Bogor 2. Pengujian ini dilakukan hingga unit mencapai siklus sebesar 100.000. Data hasil pengujian berupa kecepatan buka dan tutup unit ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data performa *boom gate* unit Bogor

Bogor 2		
Total Siklus per Minggu	Waktu Buka per siklus (ms)	Waktu Tutup per siklus (ms)
9.452	310	450
18.973 (+9521)	322	452
28.360 (+9387)	322	452
37.860 (+9500)	322	452
47.180 (+9320)	323	454
56.602 (+9422)	323	454
66.069 (+9467)	324	456

d. Pengujian pada *boom gate* sebelumnya

Pengambilan data dilakukan juga pada unit *boom gate* yang sudah terpasang atau *existing*. Unit yang diambil terletak pada gerbang tol

Ciawi 2. Data hasil pengujian berupa kecepatan buka dan tutup unit ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Data performa *boom gate* unit *existing*

Ciawi 2		
Total Siklus per Minggu	Waktu Buka per siklus (ms)	Waktu Tutup per siklus (ms)
8.352	565	670
16.874 (+8522)	572	680
25.120 (+8246)	560	652
33.860 (+8740)	552	686
41.280 (+7420)	589	662
49.210 (+7930)	575	669
57.965 (+8755)	571	652
64.110 (+6145)	558	658
72.712 (+8602)	562	674
81.128 (+8416)	575	679
Rata Rata	567,9	668,2

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian modifikasi dan pengujian pada *automatic lane barrier* adalah berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapat desain alat palang pintu otomatis dengan tipe *high speed* 0,3 detik dengan menggunakan motor *Brushless DC* kecepatan 3000 rpm, serta *gearbox* dengan rasio 1 : 17,79 dan sistem rem cakram (yamaha mio) sebagai sistem *brake* pada alat palang pintu otomatis.

Hasil dari pengujian *boom gate* dengan sistem rem cakram mengindikasikan bahwa penambahan sistem rem tersebut menghasilkan kenaikan performa operasi *boom gate*. Pada pengujian ini kecepatan buka *boom gate* meningkat dari rata rata 567,9 ms menjadi 317 – 325 ms. Selain itu waktu per siklus tutup *boom gate* juga meningkat dari 668,2 ms menjadi 453 – 455 ms. Berdasarkan data pengujian tersebut terbukti dapat meningkatkan efektifitas di gerbang tol menjadi lebih lancar akibat dari lebih cepatnya siklus yang didapat tiap menitnya.

SARAN

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian tentang modifikasi *Automatic Lane Barrier* ini adalah sebagai *Automatic Lane Barrier* ini dapat menjadi salah satu pilihan bagi para pengguna jalan tol. Khususnya pada kondisi jalanan yang terbilang cukup padat. Namun, alat palang otomatis ini tentunya belum sepenuhnya sempurna, diharapkan setelah penelitian ini dapat dikembangkan ke depannya baik dari sisi pelaporan maupun dari segi desain alat.

REFERENSI

- Ali, M. H., Katsuki, A., Sajima, T., Murakami, H., & Kurokawa, S. (2016). *Control strategy of developed mechanical actuator in measuring hole surface parameter*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 84, 777-786.
- Arsya, N. R., Suryoatmojo, H., & Anam, S. (2016). *Desain kontrol kecepatan motor brushless dc berbasis power factor correction (pfc) menggunakan single ended primary inductance converter (sepic)*. Proceeding Tugas Akhir Teknik Elektro Juni, 1.
- Bagia, I. N. (2018). *Motor-Motor Listrik. 1*(Bali).
- Bosch Rexroth, A. (2017). *Linear Motion Technology Handbook*. Bosch Rexroth AG, 2017(Germany), 1–50.
- Cunico, D., Cenedese, A., Zaccarian, L., & Borgo, M. (2022). *Nonlinear modeling and feedback control of boom barrier automation*. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 27(6), 4752-4763.
- Dhaware, Y., Palkuntwar, P., Narkhede, H., Meher, R., Chavan, P., & Gandevia, B. (2019). *Review on Comparative Analysis of Ball Screw & Lead Screw*. no. June, 769-772.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics*. John Wiley & Sons.
- Islam, M. T. (2016). *Design, development and control of a new generation high performance linear actuator for parallel robots and other applications* (Doctoral dissertation, Memorial University of Newfoundland).
- Jin, W., Chen, Y., & Lee, J. (2013, June). *Methodology for ball screw component health assessment and failure analysis*.

- In International Manufacturing Science and Engineering Conference (Vol. 55461, p. V002T02A031). American Society of Mechanical Engineers.
- Mathieson, B. (2011). *Traffic Boom Gate Mechanism*. 6004(12), 31–36.
- Pahl, G. Wallace, K. Blessing, L. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach* 3rd. London: Springer, 2007.
- Patel, T., Dubey, A., & Rao, L. B. (2019). *Design and analysis of an epicyclic gearbox for an electric drivetrain*. Int J Recent Technol Eng, 8(3), 6834-6842.
- Pranoto, H., Darmonoa, B., Arifin, Z., & Susanto, I. (2021). *Design and Wheel Torque Performance Test of the Electric Racing Car Concept E-Falco*. International Journal of Advanced Technology in Mechanical, Mechatronics and Materials, 2(2), 61-69.
- Rittenhouse, J. M., & Teich, R. M. (2006). *U.S. Patent No. 7,001,099*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- RACHMADI, D. T. The Wisanggeni Gas Engine Study Performance Braking System with Front Disc and With Rear Drum.
- Rommala, M., Gowthaman, B., & Mohanrajan, S. R. (2019). *Speed Control of Brushless DC Motor in Electric Vehicle with Regenerative Braking*. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 8(8).
- Soneji, B. (2019). *Machine Design – II Gearbox Design*. Indus University, MD-II.
- Sularso, & Suga, K. (2002). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*.
- Vasileios, K. A. R. L. O. S., Martin, L. A. R. C. H. E. R., & George, S. O. L. O. M. O. S. (2017). *Review On Vehicle Barrier Protection Guidance*.
- Zhang, C., Fu, L., Song, X., & Xu, M. (2015, August). *The Structural Design of the Barrier Gate and the Modal Analysis of its Box Body*. In 2015 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems (pp. 356-360). Atlantis Press.