

RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR KERUCUT LALU-LINTAS SEMI-OTOMATIS

Christiand*, Reinaldo Khowanto, Makdin Sinaga

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Tangerang, 15345

*christiand@atmajaya.ac.id

Diterima: 15-10-2018

Direvisi: 29-10-2018

Disetujui: 01-12-2018

ABSTRAK

Pengaturan (aktifitas pengambilan dan peletakan) kerucut lalu lintas (KLL) pada umumnya masih dilakukan secara manual, yaitu dengan memanfaatkan tenaga manusia. Hal tersebut menyebabkan kecepatan dan efisiensi pengaturan KLL sangat bergantung pada kekuatan, stamina, maupun keahlian operator yang melakukannya. Bahkan pada kasus pengaturan KLL di jalan tol, banyaknya jumlah KLL yang harus diatur memungkinkan ketidakseragaman kecepatan pada setiap aktifitas pengaturan dikarenakan stamina operator yang menurun. Upaya untuk meningkatkan kecepatan serta efektivitas proses pengaturan KLL tentunya sangat diperlukan. Tujuannya agar meringankan tenaga yang harus dikeluarkan operator serta mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk kegiatan pengaturan KLL. Penggunaan motor listrik dengan kendali otomatis serta desain mekanik yang tepat merupakan salah satu cara untuk mendapatkan proses pengaturan KLL yang cepat dan efektif. Pada penelitian ini, sebuah alat pengatur KLL semi-otomatis telah dirancang dan dibangun untuk menjawab tantangan yang ada. Alat pengatur KLL ini menggunakan Motor DC untuk mengurangi penggunaan tenaga manusia serta menggunakan kendali semi-otomatis untuk mengurangi peran manusia dalam urutan kerja pengaturan KLL. Desain mekanik sangat diperhatikan dalam perancangan alat dengan mempertimbangkan pilihan jenis kendaraan pengangkut, serta kekuatan material yang digunakan, tanpa melupakan filosofi desain yang diinginkan yaitu sederhana dan kuat. Desain alat dibuat fleksibel untuk dapat dioperasikan di sisi kanan maupun di sisi kiri pada kendaraan jenis bak terbuka. Dari hasil eksperimen, kecepatan maksimal gerak mobil pengangkut dalam proses pengaturan adalah ± 10 km/jam.

Kata kunci: pengambilan, peletakan, KLL, mobil bak terbuka

ABSTRACT

The management (pick and place activities) of traffic cones (KLL) is generally performed in traditional way where the operator of KLL management picks and places KLL by using their body power. Therefore, the speed and efficiency of the task greatly depends on the power, stamina, and skill of the operator. Furthermore, in the case of KLL management at toll roads, the speed of task completion may vary because of stamina decreasing and huge number of KLL. Improving the speed and efficiency of the task is absolutely needed. One of the goals is to reduce the time of task completion as well as the power consumption of the operator. Electric motor may be used as the solution to achieve faster and effective KLL management. In this research work, a semi-automatic KLL pick-n-place machine is proposed to solve the problem. This machine uses DC motor to reduce the human power. In addition, a semi-automatic controller is designed to reduce the human role in the work sequence of KLL pick-n-place machine. Mechanical design of the machine is carefully formulated by taking into account the aspects of carrier (truck) type and the strength of build-material. The concept of the design is simple yet tough. The machine is designed to be flexible in mounting position whether it is mounted in the left or right side of the carrier deck. From the experiment, the maximum speed of the carrier when managing the KLL was ± 10 km/hour.

Keywords: pick-n-place, traffic cone, pickup trucks.

PENDAHULUAN

Kerucut lalu lintas (*KLL*) adalah sebuah kerucut yang terbuat dari plastik yang disusun sedemikian rupa dalam jumlah banyak untuk mengatur pembagian area-area di jalan umum. Area-area yang dibatasi oleh *KLL* itu pada dasarnya terkait fungsi kelancaran lalu-lintas di jalan umum, misal : pembagian jalan menjadi dua atau beberapa bagian, pembatasan area parkir, pembatasan badan jalan, maupun pengalihan arus lalu lintas [1]. Selain fungsi kelancaran lalu lintas, *KLL* juga seringkali digunakan untuk menjaga keselamatan pejalan kaki bilamana trotoar yang tersedia lebarnya tidak cukup untuk menjamin keselamatan pejalan kaki [2]. Pada jalan tol, *KLL* umumnya digunakan dalam jumlah dan baris yang banyak untuk mengatur arus lalu-lintas mobil seperti pada pintu masuk maupun pintu keluar tol. Petugas tol seringkali harus mengubah pengaturan baris-baris *KLL* karena dinamika lalu-lintas yang terjadi setiap waktunya, misal : karena beban jumlah kendaraan per-ruas gerbang tol.

Dalam penggunaan *KLL*, umumnya *KLL* diatur (diletakkan, dibariskan, dan diambil) dengan menggunakan tenaga manusia sehingga kecepatan proses pengaturan *KLL* sangat bergantung pada kekuatan, stamina, serta keahlian operator yang melakukannya. Untuk jumlah *KLL* yang banyak seperti di jalan tol, kegiatan pengaturan ini menjadi monoton dan tentunya menguras banyak tenaga dari operator yang melakukannya. Upaya peningkatan efektifitas dan kecepatan proses pengaturan *KLL* tentunya sangat diperlukan untuk meringankan tenaga yang harus dikeluarkan oleh operator serta lebih jauh lagi bahwa jika dibutuhkan perubahan skema lalu-lintas di jalan umum, hal tersebut dapat dilakukan dengan cepat.

Beberapa upaya peningkatan efektifitas maupun kecepatan pengaturan *KLL* telah dilakukan oleh beberapa peneliti maupun perusahaan. Sebuah alat pengatur *KLL* menggunakan lengan robot telah dibuat dalam bentuk prototipe lab oleh Siti Noor Aishah dari Universiti Tun Husein Onn [3]. Alat yang dibuat menekankan aspek otomasi melalui penggunaan *computer vision* yang digabungkan dengan robot lengan *pick-and-place* untuk memindahkan *KLL* satu persatu. Namun, alat

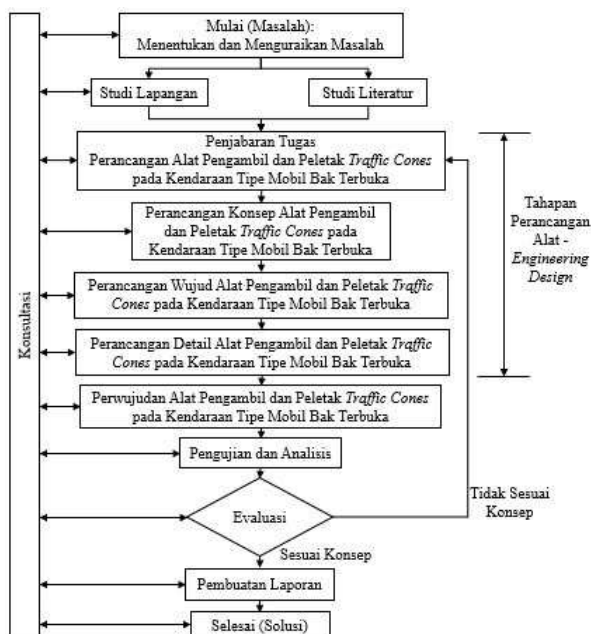
yang dibuat masih berupa prototipe laboratorium. Sebuah alat pengatur *KLL* yang telah memanfaatkan teknologi otomasi telah juga dibuat sebagai bagian dari penelitian oleh Lee dkk. [4]. Alat yang dinamakan *automated cone machine* (*ACM*) mampu untuk melakukan aktifitas pengambilan dan peletakan *KLL* hanya dengan seorang operator yang juga merupakan pengemudi kendaraan pembawanya. Alat tersebut diklaim tidak membutuhkan *setup* yang sulit dan juga semua operasionalnya dapat dikendalikan dari ruang kemudi kendaraan pembawa. Walaupun begitu, konstruksi sistemnya terbilang kompleks dikarenakan penggunaan conveyor belt serta mekanisme pengambil yang berupa *retrieval arm* serta komponen-komponen pendukung lainnya membutuhkan pemasangan secara tetap pada kendaraan yang didedikasikan. Proses pindah-pasang alat ke kendaraan lain tidak dimungkinkan. Berbagai jenis alat pengatur *KLL* otomatis (*automated placement and retrieval of traffic cones*) telah di review oleh Theiss dkk [5]. Banyak dari alat-alat pengatur *KLL* otomatis tersebut memiliki konstruksi yang kompleks serta menggunakan truk yang besar. Dalam hal ini, jika penggunaan alat pengatur ditujukan untuk negara Indonesia maka penyesuaian perlu dilakukan. Khususnya, penyesuaian bisa dalam hal penggunaan kendaraan yang lebih kecil seperti mobil bak terbuka 1300 cc serta konstruksi yang sederhana dan murah untuk di fabrikasi. Terkait pilihan apakah perlu otomatis penuh atau semi-otomatis bisa juga menjadi bahan pertimbangan, dikarenakan secara umum penerapan otomatis penuh membutuhkan komponen-komponen tambahan yang pada akhirnya menaikkan biaya fabrikasi alat.

Dari beberapa upaya peningkatan pengaturan *KLL* sebelumnya, secara umum dapat dilihat bahwa kebanyakan alat yang dibangun telah menerapkan sistem otomasi dimana hanya supir kendaraan pengangkut alat yang diperlukan untuk proses pengaturan *KLL*. Walaupun begitu, tingginya tingkat otomasi yang diaplikasikan membuat biaya pembuatan alat tentunya menjadi tinggi dikarenakan sensor maupun alat keras dan lunak yang diperlukan semakin banyak dan canggih. Level otomasi yang tinggi belum tentu juga mampu menghadapi segala situasi pengaturan *KLL*. Sebagai contoh, seringkali barisan *KLL* yang

awalnya dipasang rapih dan lurus karena tertiuap angin atau tersenggol kendaraan lewat menjadi tidak segaris dan lurus. Dalam hal ini, otomasi bisa tidak bekerja dengan baik dan pada akhirnya tetap dibutuhkan operator yang secara manual menyelesaikan permasalahan tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini, diusulkan sebuah alat pengatur KLL dengan konsep semi-otomatis dan memiliki filosofi desain sederhana, kuat, dan murah. Konsep yang diusung dapat dengan tepat menyelesaikan masalah pengaturan KLL secara efektif dan cocok untuk pengaplikasian di Indonesia.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian rancang bangun alat pengatur KLL, alur kerja ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Alur kerja penelitian rancang bangun alat pengatur KLL

PROSES RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR KLL

Dalam mewujudkan alat pengatur KLL yang diusulkan, tahapan pembuatan dibagi menjadi beberapa bagian : a) penentuan spesifikasi fungsi dan desain, b) perhitungan aspek mekanik dan material, dan c) fabrikasi alat.

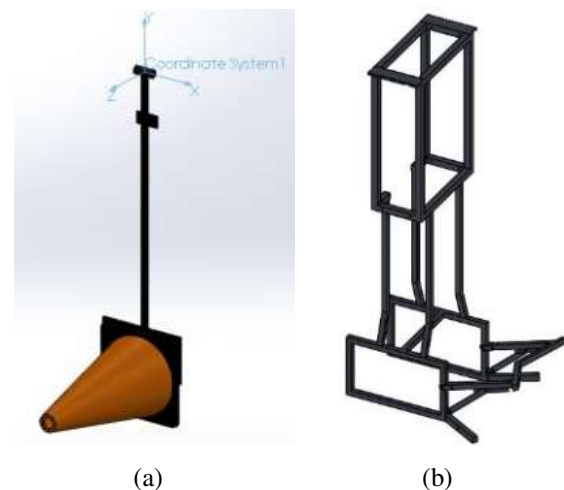
A) Penentuan spesifikasi fungsi dan desain

Tahapan ini dilakukan untuk mendefinisikan fungsi-fungsi operasional yang harus dimiliki oleh alat pengatur KLL serta terkait bentuk alat. Tiga hal mendasar yang menjadi syarat adalah :

- Kendaraan pengangkut alat KLL adalah jenis bak terbuka yang umum di Indonesia.
- KLL memiliki dimensi tinggi 45 cm dan massa kurang dari 1.6 kg
- Alat pengatur KLL dioperasikan semi-otomatis oleh operator.

A.1 Fungsi pengangkat KLL

Alat harus memiliki fungsi secara semi-otomatis mengangkat KLL ke operator (ke atas bak terbuka). Fungsi ini diwujudkan melalui mekanisme mendorong KLL sampai jatuh rebah sehingga KLL dapat diangkat secara otomatis dengan cara mengungkit lubang bawah KLL dengan batang yang digerakan secara otomatis oleh motor DC (gambar 2). Operator mengumpulkan semua KLL yang diangkat otomatis menjadi tumpukan-tumpukan KLL.



Gambar 2. Desain mekanisme (a) pengambil dan (b) penabrak KLL

A.2 Fungsi peletak KLL

Alat juga harus memiliki fungsi untuk mampu meletakkan kembali KLL yang tersusun menjadi barisan. Dalam hal ini, dipilih metode *sliding rail* untuk meletakkan KLL kedalam barisan. KLL cukup diluncurkan/dijatuhkan dari atas bak terbuka menggunakan *sliding rail*

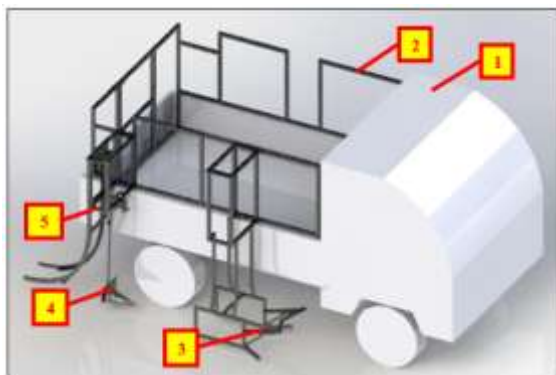
dengan memanfaatkan gravitasi (gambar 3). Seiring mobil berjalan maka barisan KLL akan terbentuk. Mekanisme ini dipilih agar sederhana dan tidak menggunakan energi listrik atau apapun. *Sliding rail* memiliki tinggi yang didesain ergonomis untuk menyesuaikan tinggi rata-rata orang Indonesia dewasa yaitu 155 cm dengan *range* 145-175 cm [6].



Gambar 3. Desain mekanisme peletakkan KLL

A.3 Desain pemasangan alat ke rangka dasar

Alat harus bisa dipasang di kendaraan jenis terbuka baik dari sebelah kiri maupun kanan dimana proses pemasangan harus dibuat mudah agar jika diperlukan penukaran posisi tidak memakan waktu yang lama. Pada mobil bak terbuka dipasangkan rangka dasar yang kedua sisinya menjadi kandidat untuk dudukan alat KLL (Gambar 4).



Gambar 4. Desain pemasangan alat pengatur KLL. (1) mobil bak terbuka (2) rangka dasar (3) penabrak (4) pengangkat (5) peletak

A.4 Fungsi kendali

Untuk menjalankan fungsi-fungsi yang ada pada alat, operator membutuhkan sebuah kendali (*controller*). Karena aktuatur yang

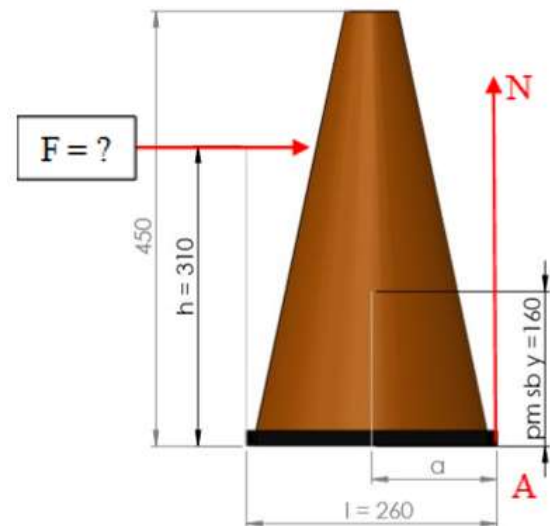
digunakan pada alat hanya sebuah motor DC, maka untuk mengendalikan arah putaran motor cukup digunakan rangkaian *H-Bridge* dan sebuah *Hoist Switch*. Melalui *Hoist Switch*, operator dapat mematikan, menghidupkan, membalik arah putaran batang pengungkit KLL (gambar 5).



Gambar 5. Kendali fungsi alat berupa hoist switch

B) Perhitungan aspek mekanik dan material

Perhitungan dilakukan untuk memastikan mekanisme yang dirancang adalah benar secara analisis gaya. Dari perhitungan juga didapatkan spesifikasi minimum torsi motor DC yang digunakan.



Gambar 6. Kerucut lalu lintas (KLL) beserta dimensi (satuan mm) dan diagram gaya yang bekerja ketika akan dijatuhkan

B.1 Gaya pendorong KLL

Dalam mode pengambilan KLL, harus dipastikan bahwa KLL jatuh rebah ketika ditabrak oleh alat pengatur KLL. Untuk hal tersebut, dibawah ini merupakan analisis gaya

kritis yang diperlukan. Gaya kritis (F) adalah gaya minimal yang dibutuhkan untuk membuat KLL jatuh. Jika titik **A** (gambar 6) adalah titik pusat rotasi yang menyebabkan KLL terjatuh oleh gaya F , maka gaya F minimal yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan kesetimbangan momen (persamaan 1).

$$F = \frac{m \cdot g \cdot a}{h} \quad (1)$$

Jika pada kondisi minimal nilai $\alpha = 0,5l = 0,13m$ dan massa KLL sebesar 1,6 kg maka didapatkan $F = 6,58N$. Dengan menggunakan mobil bak terbuka berkapasitas mesin 1300 cc, maka gaya minimal untuk menjatuhkan KLL dapat dicapai dengan mudah. Mekanisme penabrak telah didesain memiliki batang penyangga di kedua sisi, sehingga KLL pasti jatuh rebah tepat ke satu sisi bebas atau tidak menyimpang (gambar 2.a.).



Gambar 7. Perhitungan momen inersia menggunakan software Solidworks.

B.2 Torsi pengangkat KLL

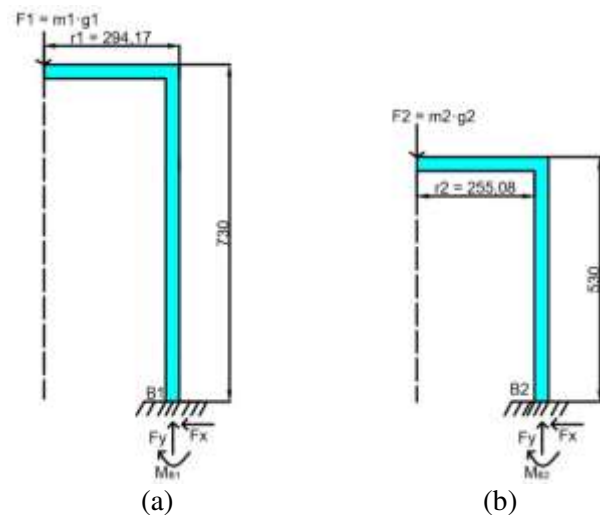
Setelah KLL jatuh rebah, batang pengungkit dioperasikan operator untuk mengangkat KLL ke atas bak terbuka untuk dikumpulkan. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan torsi motor DC yang digunakan

(persamaan 2). Untuk menghitung torsi yang dibutuhkan momen inersia dihitung dengan asumsi sumbu putar adalah sumbu-x dan menggunakan model yang dibuat di software Solidworks (gambar 7). Diasumsikan, proses pengangkatan dengan percepatan sudut konstan (persamaan 3), sudut yang akan dicapai (θ) adalah 90° , posisi awal dengan kecepatan sudut awal (ω_0) adalah 0, momen inersia terhadap sumbu-x (I_{xx}) adalah $3,15 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, kecepatan sudut angkat yang diinginkan (ω) adalah $102^\circ / s$. Maka dengan menggunakan persamaan (2)(3)(4) [3], didapatkan nilai torsi (τ) minimal motor DC yang dibutuhkan adalah $3,17 \text{ Nm}$.

$$\tau = I_{xx} \alpha \quad (2)$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \theta \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\theta} \quad (4)$$



Gambar 8. Diagram benda bebas gaya-gaya yang bekerja pada struktur pengangkat digabung peletak dan penabrak.

B.3 Simulasi pembebanan komponen pengangkat digabung peletak terhadap rangka dasar

Kekuatan material alat disimulasikan menggunakan software Solidworks. Diagram benda bebas untuk menyederhanakan perhitungan ditunjukkan pada gambar 8. Perhitungan kekuatan material dilakukan untuk

komponen pengangkat dan peletak KLL yang dapat dipindah-pasangkan pada rangka dasar (gambar 4).

$$\sum M_{B1} = 0(cw\oplus) \quad (5)$$

$$M_{B1} = m_1 \cdot g \cdot r_1 \quad (6)$$

$$\sum M_{B2} = 0(cw\oplus) \quad (7)$$

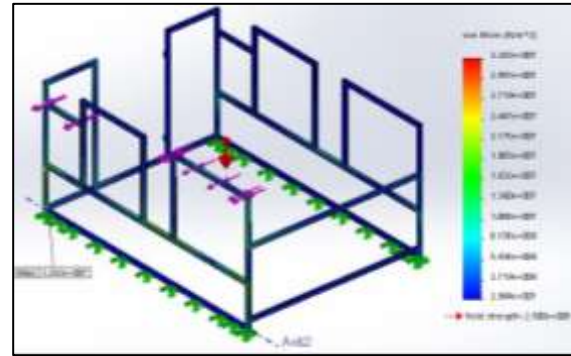
$$M_{B2} = m_2 \cdot g \cdot r_2 \quad (8)$$

Dengan massa mekanisme penabrak (m_1) sebesar 21,57 kg dan massa pengangkat (m_2) 22,49 kg, maka didapatkan pembebanan momen gaya M_{B1} sebesar 61,67 Nm dan M_{B2} sebesar 62,9 Nm. Simulasi pembebanan pada rangka dasar akibat komponen pengangkat dan penabrak dapat dilihat pada gambar 9. Nilai tegangan tertinggi yang terjadi yaitu $3,263 \times 10^7$ N/m². Diasumsikan menggunakan material ASTM A36, nilai yield strength yang didapat dari penggunaan material yaitu $2,5 \times 10^8$ N/m². Bila *safety factor* yang digunakan sebesar 2, maka desain dinyatakan aman karena memenuhi persamaan (9).

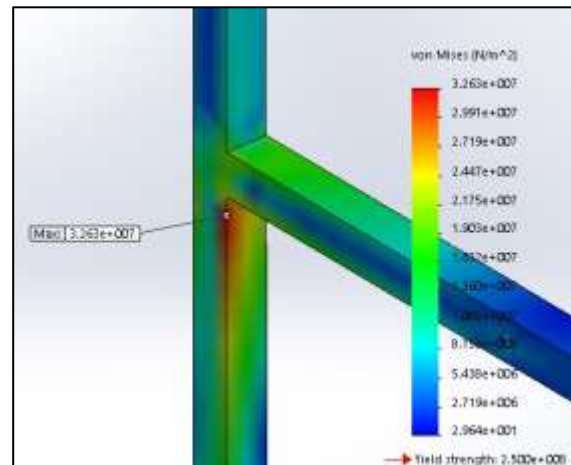
$$2 \cdot (3,263 \times 10^7) \leq 2,5 \times 10^8 \quad (9)$$

C) Fabrikasi rangka dasar, pengangkat, peletak, dan penabrak KLL.

Fabrikasi komponen merupakan tahap dimana rancangan diwujudkan secara nyata kedalam benda yang dipakai pada alat. Rangka dasar, pengangkat, peletak, dan penabrak dibuat dari material baja ASTM A36 yang termasuk kategori baja *low-carbon* dengan profil persegi *hollow* ukuran 25 x 25 mm dan 30 x 30 mm. Secara umum, proses fabrikasi yang telah dilakukan meliputi : *bending, boring, welding, finishing, dan painting*. Dokumentasi proses fabrikasi dapat dilihat pada gambar 10.



(a)



(b)

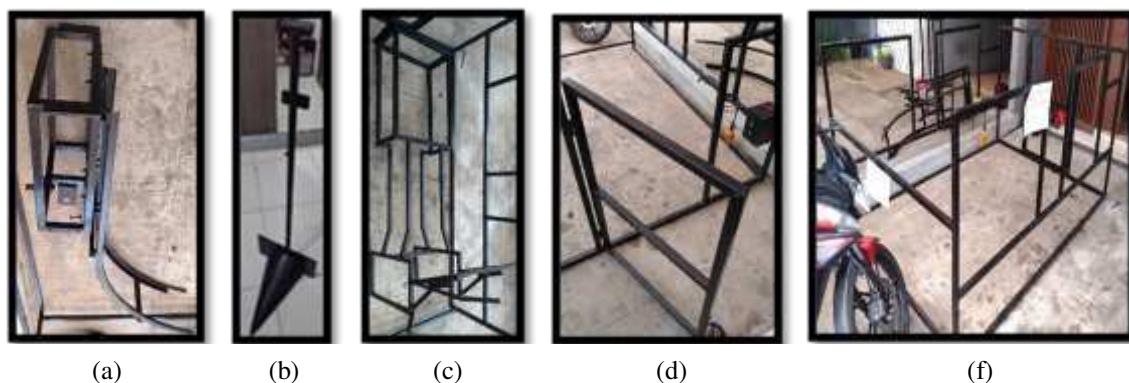
Gambar 9. Hasil simulasi pembebanan momen gaya pada rangka dasar, (a) keseluruhan, (b) lokasi tegangan maksimal.

D) Perakitan alat pengatur KLL

Proses perakitan pada alat ini dilakukan secara tidak permanen, dalam artian posisi alat pengatur KLL dapat dipasang di empat posisi pada rangka dasar. Proses perakitan memakan waktu kurang lebih 18 menit. Tahapan proses perakitan alat mengikuti gambar proses perakitan alat yang terdapat pada perancangan detail.

EKSPERIMEN DAN ANALISA HASIL RANCANG BANGUN ALAT PENGATUR KLL

Eksperimen dilakukan untuk mengevaluasi performa alat pengatur KLL yang dirancang-bangun serta mengkarakterisasi alat



Gambar 10. Perwujudan : (a) peletak, (b) batang pengangkat, (c) rangka penabrak, (d) pintu pada rangka dasar, (e) rangka dasar

dalam beberapa parameter yang dianggap penting, seperti : kecepatan maksimum mobil pembawa alat pengatur KLL, kecepatan *handling* operator. Dokumentasi kegiatan eksperimen ditunjukkan pada gambar 11.

A) Eksperimen aktivitas pengambilan KLL

Pada setiap sesi eksperimen pengambilan KLL, digunakan 5 buah KLL dan jarak antar KLL dibuat beragam yaitu : 6 m, 12 m, 25 m, 36 m. Hal tersebut untuk merepresentasikan kondisi aktual yang mungkin terjadi bahwa KLL dibariskan kedalam banyak variasi jarak. Untuk jarak 6 m, mobil dijalankan dengan kecepatan sebesar 5 km/jam. Sedangkan untuk variasi jarak lainnya, kecepatan yang digunakan adalah 10 km/jam. Dari observasi, penggunaan kecepatan diatas 10 km/jam dinilai tidak aman bagi operator dan pengemudi mobil sulit untuk mengarahkan komponen penabrak agar tepat mengenai KLL. Oleh karena itu, eksperimen hanya menggunakan dua variasi kecepatan. Hasil eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Handling time* aktivitas pengambilan KLL

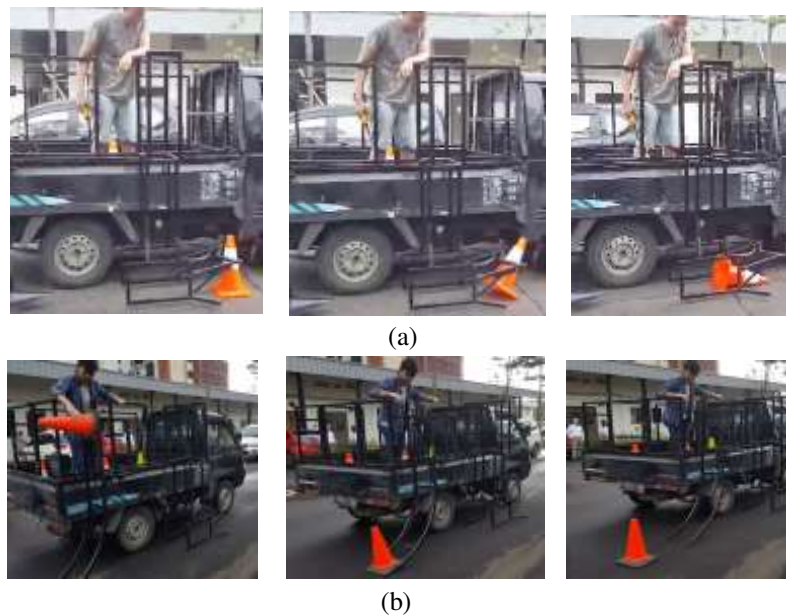
No	V (km/jam)	S (meter)	T (detik)
1	5	6	28
2	10	12	29
3	10	25	59
4	10	36	84

Dari data eksperimen nomor 2 pada Tabel 1, dengan kecepatan 10 km/jam dan jarak 12 m, *handling time* yang dibutuhkan adalah 29 detik. Artinya dibutuhkan waktu 5,8 detik untuk

mengangkat dan menaruh satu buah KLL di bak terbuka. Secara teoritis berdasarkan spesifikasi desain, waktu minimal yang dibutuhkan oleh operator untuk mengangkat satu KLL hingga meletakkan pada bak mobil adalah sebesar 3,88 detik (waktu batang pengangkat naik dan kemudian turun kembali ditambah dengan waktu operator memindahkan KLL ke tumpukan). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa walaupun dengan kecepatan 10 km/jam, operator sangat mungkin untuk menyelesaikan pekerjaan pengaturan KLL dengan lengkap karena waktu yang tersedia lebih cepat dari pada waktu teoritis untuk menyelesaikan siklus aktifitas pengangkatan. Jika pekerjaan pengaturan KLL tersebut dilakukan secara tradisional (tanpa menggunakan alat pengatur semi-otomatis), tentunya kecepatan berjalan manusia rata-rata (1.33 m/detik [8]) ditambah dengan beban tumpukan KLL tidak dapat menandingi kecepatan jalan mobil yang 10 km/jam. Sehingga tentunya penyelesaian proses pengaturan KLL menggunakan mobil bak terbuka dan alat pengatur semi-otomatis adalah lebih cepat dan efisien.

B) Eksperimen aktivitas peletakan KLL

Eksperimen peletakan KLL dibagi menjadi empat sesi, dimana untuk setiap sesi kecepatan gerak mobil dan jarak antar KLL yang diinginkan bervariasi. Parameter eksperimen dapat dilihat pada Tabel 2. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk mengetahui



Gambar 11. Eksperimen kinerja alat pengatur KLL : (a) pengambilan, (b) peletakan

handling time serta feasibilitas alat dalam hal peletakan.

Tabel 2. *Handling time* aktivitas peletakan KLL

No	V (km/jam)	S (meter)	T (detik)
1	4	5 ~ 7	32
2	8	11 ~ 13	34
3	10	24 ~ 26	54
4	10	35 ~ 37	78

Hasil barisan KLL dinyatakan dalam rentang (*range*) jarak antar KLL dikarenakan operator sulit untuk meletakkan secara akurat posisi KLL ketika dijatuhkan. Namun dipastikan rentang jarak antar KLL di tiap sesi eksperimen tidak saling berpotongan satu sama lain. Dari hasil eksperimen dapat dilihat bahwa dengan menggunakan kecepatan 10 km/jam (eksperimen nomor 3) bahwa waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan 5 KLL adalah 54 detik untuk jarak antar KLL 24 ~ 26 m. Jika hal tersebut dilakukan secara tradisional, maka untuk meletakkan 5 buah KLL dengan jarak diasumsikan 24 m dan kecepatan jalan manusia membutuhkan waktu *handling time* sebesar 90,22 detik. Kecepatan jalan manusia normal rata-rata adalah 80 m/menit atau 1,33 m/detik [8]. Tentunya dalam hal ini penggunaan alat pengatur KLL semi-otomatis adalah lebih cepat dari cara tradisional. Lebih daripada itu, cara tradisional membutuhkan energi yang lebih besar dikarenakan operator harus membawa

tumpukan KLL dan menurunkan satu persatu. Jika menggunakan kendaraan bak terbuka sekalipun, peletakan KLL secara langsung tidak bisa cepat dikarenakan ada kemungkinan KLL terjatuh jika dipasang dengan cara dijatuhkan langsung dari atas bak terbuka.

KESIMPULAN

Sebuah alat pengatur kerucut lalu lintas telah dirancang dan dibangun. Perancangan telah menggunakan konsep desain sederhana dan kuat. Melalui perhitungan gaya dan analisis kekuatan material menggunakan *software* Solidworks dinyatakan desain aman dan memenuhi fungsi yang telah ditetapkan. Fabrikasi alat telah dilakukan dan dihasilkan sebuah alat pengatur KLL yang berfungsi secara lengkap. Ekperimen untuk mengkarakterisasi performa alat pengatur KLL telah dilakukan.

Dari hasil eksperimen didapatkan kecepatan maksimal mobil pengangkut alat adalah 10 km/jam untuk aktifitas pengambilan dan peletakan. Dalam hal aktifitas pengambilan, *handling time* yang didapatkan lebih cepat dari cara tanpa menggunakan mobil. Lebih daripada itu, dengan gerak mobil yang lebih cepat daripada kecepatan normal jalan manusia, alat pengatur KLL semi-otomatis masih dapat menghasilkan *handling time* yang lebih cepat namun tetap *feasible* untuk dilakukan oleh operator. Dalam hal aktifitas peletakan, *handling time* sebesar 54 detik dengan kecepatan mobil 10 km/jam dan jarak antar

KLL 24 m, tentunya lebih cepat daripada teoritis *handling time* sebesar 90,22 detik yang dibutuhkan jika menggunakan cara tradisional. Lebih jauh lagi, cara tradisional membutuhkan energi operator yang lebih besar dikarenakan harus membawa tumpukan KLL.

Eksperimen mendetail terkait variabel lain yang prospektif untuk diukur seperti konsumsi energi manusia dapat menjadi arah kerja penelitian selanjutnya. Rancang bangun alat KLL pada kerja penelitian ini diharapkan menjadi kontribusi peningkatan kualitas pengaturan KLL pada banyak area pekerjaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pranoto, T. 2011. *Desain dan Pembuatan Kerucut Lalu Lintas dari Bahan Polymeric Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Repositori USU. Medan : Universitas Sumatera Utara
- [2] U.S. Fire Administration. 2012. *Traffic Incident Management System*. Emmitsburg, U.S. Departement of Homeland Security FEMA
- [3] Aishah, S. N. 2014. *An Automatic Traffic Cones Dispenser and Collector System*. Project Report for Master Degree Award. Malaysia : Universiti Tun Hussein Onn
- [4] Lee, Y. C., White, W. A., Velinsky, S. A. 2004. *Integration and Testing of A Multistack Automated Cone Machine*. Project Report California AHMCT Research Center. California : AHMCT Research Center.
- [5] Theiss, L., Ullman, G. L. 2017. *Automated Placement and Retrieval of Traffic Cones*. Project Report Colorado Department of Transportation. Colorado : Colorado Department of Transportation
- [6] Djojodibroto, D. 2003. *Seluk Beluk Pemeriksaan Kesehatan*. Edisi kedua. Jakarta : Pustaka Populer Obor.
- [7] Hibbeler, R., C. 2013. *Engineering Mechanic Dynamics*. 13th Edition. New Jersey : Pearson.
- [8] Anderson, F. C., Pandy, M. G. 2001. *Dynamic Optimization of Human Walking*. Journal of Biomedical Engineering. Vol. 123. ASME.