



Perancangan Unit Pencekam Ban pada Mesin Vulkanisasi Dingin Ban Truk dan Bus dengan metode VDI 2222

Ratmono Hari Widyatmoko¹, Jennifer Ongko Rahardjo², Stefanus Bharon Pradana³

Abstrak – Perancangan unit pencekam ban mesin vulkanisasi sangat penting dalam menentukan kapasitas produksi. Perancangan memiliki kesulitan karena banyaknya variasi ukuran ban. Rancangan yang compact, aman dan efisien dapat meningkatkan produksi ban vulkanisir. Perancangan unit pencekam ban menerapkan metode VDI 2222 dengan bantuan software CAD/CAE dilakukan pada bagian mekanisme pencekam dan frame penyangga. Proses analisis CAE dilakukan pada bagian frame pencekam dan frame penyangga samping. Tahapan perancangan dimulai dari requirement list yang diolah menjadi kriteria teknis, lalu dibuat morfologi untuk memilih beberapa alternatif konsep dan proses scoring untuk memilih konsep terbaik. Konsep terbaik akan melewati proses desain dengan bantuan software CAD dan analisis dengan software CAE. Rancangan akhir unit pencekam menggunakan dua buah chuck yang dapat berputar secara terpisah dan digerakkan oleh AC reversible motor yang dilengkapi dengan inverter dan encoder. Mekanisme pencekam disatukan oleh frame pencekam dan dapat berputar untuk perpindahan posisi. Waktu yang digunakan untuk proses pencekaman ban dan pengisian angin adalah 15 detik, putaran pencekam 100 detik dan putaran tiap chuck pencekam 135 detik. Bagian pendukung unit pencekam adalah frame penyangga samping. Parameter yang mempengaruhi kekuatan frame adalah material dan tegangan kerja. Selain aspek konstruksi, ergonomi merupakan faktor penting yang mempengaruhi kecepatan dan kinerja operator pada saat proses produksi. Berdasar pada hasil kajian konstruksi dan analisis, dapat disimpulkan bahwa rancangan pencekam bisa memenuhi kapasitas produksi vulkanisasi ban.

Kata kunci: ban, pencekam, vulkanisasi, VDI 2222

I. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan infrastruktur di Indonesia erat kaitannya dengan meningkatnya jumlah armada transportasi di Indonesia, di antaranya adalah truk dan bus. Pada tahun 2016 terdapat peningkatan cukup besar pada jumlah bus sebanyak 65.981 buah dan jumlah angkutan barang termasuk truk sebanyak 452.405 buah.

Ban merupakan sumber biaya operasional kendaraan terbesar kedua setelah bahan bakar [1]. Salah satu solusi untuk menghemat biaya operasional ban adalah dengan menggunakan ban vulkanisir sebagai ganti ban baru.

Pernyataan tersebut juga didukung oleh sebuah bengkel vulkanisasi ban truk dan bus di Solo, Jawa Tengah sebagai konsumen. Konsumen juga menyatakan minat pasar terhadap penggunaan ban vulkanisir tinggi. Permintaan ban vulkanisir setiap bulan di Sumatra mencapai maksimal 20.000 ban, sedangkan di Jawa hanya maksimal 2000 ban. Perbedaan yang besar antara jumlah permintaan area Jawa dan Sumatera disebabkan oleh beberapa hal, yaitu penggunaan ban

vulkanisir di pulau Jawa belum begitu populer sehingga perusahaan vulkanisasi ban truk dan bus kategori besar masih sedikit. Di pulau Sumatra, penggunaan ban vulkanisir lebih populer sehingga perusahaan vulkanisasi ban truk dan bus kategori besar sudah banyak. Perbedaan yang signifikan dan peningkatan jumlah kendaraan adalah peluang untuk mengembangkan pabrik ban vulkanisir di Jawa.

Prospek industri vulkanisir yang baik dan keinginan untuk meningkatkan kapasitas serta kualitas produksi, menjadi dasar untuk merancang alat bantu proses vulkanisasi dingin ban truk dan bus pada bagian pencekaman ban.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat pencekam untuk beberapa variasi ukuran ban yang efisien dan *compact*.

Penelitian ini mencakup perancangan beberapa konsep alat pencekam hingga pemilihan konsep pemenang.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

- 1) Untuk mendapatkan konsep alat pencekam ban yang terbaik.
- 2) Untuk menganalisis kelebihan dan kekurangan setiap konsep alat pencekam.

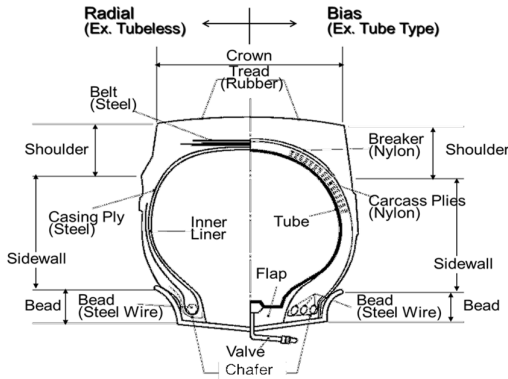
II. DASAR TEORI

A. Ban

Fungsi utama sebuah ban adalah menampung tekanan angin yang cukup supaya bisa memuat beban. Sebuah ban truk harus mampu memuat beban, meredam guncangan dalam kecepatan tinggi dan pada waktu yang bersamaan harus mampu memberi traksi (daya cengkram). Ban harus mampu menampung dan menahan tekanan angin tinggi berikut juga temperatur yang berbeda-beda. Ban juga harus bisa memberi kenyamanan dan kelenturan buat kendaraan dan muatannya disamping ketahanannya untuk perjalanan jarak jauh.

Ban truk dewasa ini terbuat dari beberapa bagian, dimana setiap bagian mempunyai fungsi tertentu. Ban truk modern ini bisa bertahan sampai puluhan hingga ratusan ribu kilometer. Ban terdiri dari 2 bagian dasar, yaitu badan ban (*casing*) dan telapak ban (*tread*). *Casing* adalah dasar dari semua jenis ban yang berfungsi menyimpan, mempertahankan, dan memelihara tekanan udara untuk menahan berat dan muatan kendaraan dari guncangan-guncangan serta memberi kenyamanan. *Tread* adalah telapak atau kulit luar dari ban yang berfungsi memberikan daya traksi dan melindungi casing dari bahaya kerusakan oleh benda-benda tajam di jalan. Daya traksi bertujuan untuk menjalankan kendaraan dan juga untuk menghentikan kendaraan jika diperlukan (*braking power*).

Perancangan Unit Pencekam Ban pada Mesin Vulkanisasi Dingin Ban Truk dan Bus dengan Metode VDI 2222



Gambar 1 Komponen Utama Sebuah Ban

Komponen-komponen utama sebuah ban adalah *crown*, *ply*, *shoulder*, *sidewall*, dan *bead*. Pembagian komponen-komponen pada ban dapat dilihat pada gambar 1.

B. Vulkanisasi

Vulkanisasi ban adalah sebuah proses pembuatan ulang motif telapak (*tread*) pada ban yang sudah tua dan usang dan menggantinya dengan motif telapak yang baru. Vulkanisasi dilakukan pada *casing* ban bekas setelah melalui proses inspeksi. Harga ban vulkanisir paling sedikit 40% lebih rendah daripada harga ban baru. Keefektifan biaya yang ditawarkan ban vulkanisir adalah salah satu faktor utama yang mendorong pertumbuhan pasar industri ban vulkanisir, yang kemudian didukung oleh pertumbuhan yang kuat dari industri transportasi. Terlebih lagi, ban vulkanisir adalah solusi yang ramah lingkungan dan karenanya mendapat dukungan dari berbagai badan regulasi yang mendorong penggunaan ban vulkanisir.

C. VDI 2222

VDI 2222 adalah standar acuan dari metode perancangan khususnya untuk perancangan konsep sistem. Proses perancangan menurut VDI 2222 dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu tahap perencanaan, tahap perancangan, tahap pengecekan, tahap revisi, dan tahap eksekusi konsep. Tahap perencanaan dimulai ketika muncul atau ditemukan suatu masalah dan diakhiri dengan tahap eksekusi konsep yang merupakan solusi dari masalah yang dihadapi [2], [3].

Tahap perencanaan terdiri dari beberapa aktivitas, yaitu identifikasi kebutuhan konsumen beserta tingkat kepentingannya, analisis karakteristik teknis yang disesuaikan dengan kebutuhan konsumen, dan pembuatan matriks hubungan. Tahap perancangan terdiri dari pengembangan konsep dengan metode desain morfologi, pendeskripsian alternatif konsep, dan penilaian konsep. Desain morfologi adalah metode perancangan konsep mesin dengan memberikan beberapa konsep alternatif desain. Desain morfologi bertujuan untuk mengetahui konsep dasar perencanaan, jenis-jenis perencanaan dan proses pelaksanaan perencanaan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Perencanaan

Perencanaan dimulai dengan melakukan identifikasi kebutuhan konsumen yang terdiri dari pembuatan daftar kebutuhan konsumen dan tingkat kepentingan kebutuhan. Tingkat kepentingan kebutuhan ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Tingkat Kepentingan dan Kebutuhan

Requirement List :		TK
1.	Unit dapat digunakan untuk beberapa variasi ukuran ban	5
2.	Durasi berputar unit maksimal 120 detik	4
3.	Unit dapat berputar pada sumbu X dan Y	3
4.	Ergonomis	3
5.	Putaran pencekam ban presisi	5
6.	Mudah dioperasikan	2

*TK : Tingkat Kepentingan

Keterangan: 5 = sangat penting
4 = penting
3 = rata-rata
2 = kurang penting
1 = tidak penting

Karakteristik teknis berisi informasi parameter teknis mesin yang akan dirancang untuk menjawab permintaan konsumen. Karakteristik teknis yang ditulis harus memiliki batasan ukur yang jelas dan berpengaruh secara langsung pada lebih dari satu kebutuhan konsumen. Daftar karakteristik teknis unit pencekam dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Teknis

Engineering Characteristic :	
1.	Kemampuan <i>frame</i> dan <i>shaft</i> menahan beban (N)
4.	Pengaturan waktu ban berputar di unit (s)
7.	Kemampuan mencekam ban (kg)
8.	Pengaturan tekanan udara (Pa)
13.	Kecepatan perpindahan antar proses (mm/sekon)
14.	Ukuran unit pencekam, meliputi PxLxT (mm)

Matriks kebutuhan bertujuan untuk menggambarkan hubungan antara daftar kebutuhan konsumen dengan karakteristik teknis mesin dalam sebuah matriks hubungan kebutuhan. Penentuan hubungan ditentukan berdasarkan tingkat pengaruh antara kebutuhan konsumen dengan karakteristik teknis mesin. Matriks hubungan dapat dilihat pada tabel 3.



Tabel 3. Matriks Hubungan

Engineering Characteristic	Nomor															
	Tingkat Kepentingan (1-5)															
Customer Needs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Ketahanan Beban (N)																
Ketebalan Cushion (mm)																
Suhu Cushion Gum (Celcius)																
Daya Rekat Cushion																
Kecapatan Putar Ban (rpm/sek)																
Panjang Maja Building Unit (mm)																
Spesifikasi Telapak (mm, kg)																
Lama Pengalangan Lem (sekon)																
Tekanan pada proses building (N)																
Tekanan pada Stapler (N)																
Gay a Tarik Envelope (N)																
Ukuran Envelope (lebar/dangkal/tepat)																
Kecapatan Pengalangan (rpm/sek)																
Jarak Antar Proses (mm)																
Harga Mesin (Rp/jah)																
Kapasitas Produksi	5	○			○									○	○	
One-line Production	5					△		○						○	○	
Dimensi Ruang untuk Mesin	4					○	△					△		○		
Listrik 3 phase/380 VAC, daya Listrik maksimal 30 kW	4			△				△				○	○			
Jumlah Operator 2-3 orang	3		△				○						○	○	○	
Kontak Maksimal 10% pada Permukaan Ban	3	○	○		○											
Efisien	4			○		○	○	○		○			○	○		
Ergonomis	3													○		
Standar Kualitas Output	4	○	○	○	○			○	○	△			○			
Mudah Perawatan	2	○				○				○				○		
Harga Mesin	3	○		△	△			○		○	○			○		
Mudah Dioperasikan	2						△					○		○		
Absolute Importance		63	71	56	86	77	127	26	121	48	24	48	50	172	204	122
Relative Importance (%)		4.9	5.5	4.3	6.6	5.9	9.8	2	9.3	3.7	1.9	3.7	3.9	13	16	9.4

Keterangan: ○ = hubungan kuat (9)
 ○ = hubungan sedang (4)
 △ = hubungan lemah (1)

B. Perancangan

Perancangan konsep unit pencekam bertujuan untuk mendapatkan rancangan unit pencekam yang dapat memenuhi kebutuhan konsumen, namun kebutuhan konsumen yang didapatkan belum dijelaskan dengan cukup detail untuk menyelesaikan masalah sehingga masih dibutuhkan perencanaan beberapa alternatif konsep desain. Beberapa kriteria pokok tiap alternatif rancangan yaitu input berupa ban bekas dengan ukuran yang bervariasi, unit terdiri dari 2 pencekam, kedua pencekam dapat berputar 360 secara terpisah, pencekam ban mampu menahan tekanan sebesar 0,8 MPa (8 bar), serta unit pencekam dapat dikombinasikan dengan cushion unit, building unit dan enveloping unit.

1) Desain Morfologi

Metode yang digunakan dalam membuat alternatif konsep desain adalah desain morfologi yang disajikan dalam bentuk tabel yang berisi beberapa pilihan konsep desain untuk tiap sub-fungsi. Tujuan dari desain morfologi adalah mendapatkan beberapa kombinasi konsep yang memungkinkan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Sub-fungsi desain morfologi unit pencekam meliputi pemilihan sistem pencekam, sistem penggerak pencekam, dan penggerak pemutar pencekam ban, dan penggerak kesatuan mekanisme pencekam. Desain morfologi unit pencekam dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Desain Morfologi

No.	Sub-Fungsi	Konsep A	Konsep B	Konsep C	Konsep D
1	Sistem Pencekam	Load & Unload Clamping 	Step Clamping 	Cone Clamping 	Clamping Kombinasi
2	Sistem Penggerak Pencekam	Pneumatik 	Mekanik-pneumatik 	Mekanik-elektrik 	
3	Penggerak Pemutar Pencekam Ban	Servo Motor 	Stepper Motor 	Motor Brake 	Motor Brake + Encoder
4	Penggerak Kesatuan Mekanisme Pencekam	3 Phase Reversible Motor Brake 	1 Phase Reversible Motor Brake 	1 Phase Induction Motor Brake 	
		Konsep 1	Konsep 3	Konsep 2	

2) Alternatif Konsep

Kombinasi dari sub-fungsi tiap bagain unit pencekam menghasilkan 3 alternatif konsep. Sub-fungsi tiap alternatif konsep terdiri dari sistem pencekam, sistem penggerak pencekam, penggerak pemutar pencekam ban, dan penggerak unit pencekam. Uraian mekanisme dan komponen yang digunakan pada tiap alternatif konsep ditunjukkan pada tabel 5. Analisis kelebihan dan kekurangan tiap konsep akan dijelaskan dalam deskripsi alternatif konsep.

Tabel 5. Alternatif Konsep

No.	Sub-Fungsi	Konsep 1	Konsep 2	Konsep 3
1	Sistem Pencekam	Cone Clamping	Clamping Kombinasi	Load & Unload Clamping
2	Sistem Penggerak Pencekam	Mekanik-pneumatik	Pneumatik	Mekanik-elektrik
3	Penggerak Pemutar Pencekam Ban	Motor Brake + Encoder	Servo Motor	Motor Brake
4	Penggerak Unit Pencekam	3 Phase Reversible Motor Brake	1 Phase Induction Motor Brake	1 Phase Reversible Motor Brake

a) Deskripsi Alternatif Konsep 1

Kelebihan dari unit pencekam pada konsep 1 adalah

Perancangan Unit Pencekam Ban pada Mesin Vulkanisasi Dingin Ban Truk dan Bus dengan Metode VDI 2222

pencekam ban berbentuk *cone* sehingga dapat menyesuaikan ukuran ban tanpa perlu mengganti pencekam, terdapat *encoder* untuk putaran ban yang presisi. Kekurangan dari unit pencekam pada konsep 1 adalah proses manufaktur pencekam lebih sulit dan operasional unit membutuhkan sumber listrik 3 *phase*.

b) Deskripsi Alternatif Konsep 2

Kelebihan dari unit pencekam pada konsep 2 adalah proses manufaktur pencekam lebih mudah, pemutar pencekam menggunakan motor servo sehingga hasil putaran ban presisi, dan dapat digunakan di lokasi dengan sumber listrik 1 *phase*. Kekurangan dari unit pencekam pada konsep 2 adalah penataan jalur kabel lebih rumit karena putaran unit searah.

c) Deskripsi Alternatif Konsep 3

Kelebihan konsep 3 unit pencekam adalah proses manufaktur dan perawatan pencekam mudah karena model lurus umum digunakan, dapat digunakan di lokasi dengan sumber listrik 1 *phase*, dan biaya pembuatan unit cenderung lebih murah. Kekurangan dari unit pencekam pada konsep 3 adalah putaran ban kurang presisi, waktu persiapan pemasangan ban yang berbeda ukuran lebih lama karena harus mengganti jenis pencekam.

3) Penilaian Konsep

Tahap penilaian konsep terdiri dari pembobotan faktor penilaian, penentuan kriteria penilaian, pemilihan konsep. Pembobotan faktor penilaian adalah dasar menilai konsep dan bertujuan untuk mengetahui bobot tiap faktor penilaian. Penentuan pembobotan faktor penilaian unit pencekam ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Pembobotan Faktor Penilaian

Kriteria Pembobotan	GRIPPER UNIT								
	Harga Gripper Unit	Kemudahan maintenance komponen	Kemudahan pengaturan pencekaman	Kerumitan konstruksi clamping	Akurasi putaran ban	Kecapatan proses & pemasangan ban	Kekuatan konstruksi pencekam & pemutar ban	Kesamanan pencekam, frame, & pemutar	Durability pencekam, frame, & pemutar
Harga Gripper Unit	1	0	0	0	2	2	2	2	1
Kemudahan maintenance komponen	2	1	2	2	2	2	2	2	1
Kemudahan pengaturan pencekaman	2	0	1	2	2	2	2	2	1
Kerumitan konstruksi clamping	2	0	0	1	1	2	2	2	2
Akurasi putaran ban	0	0	0	1	1	2	0	1	0
Kecapatan proses & pemasangan ban	0	0	0	0	0	1	1	2	0
Kekuatan konstruksi pencekam & pemutar ban	0	0	0	0	2	1	1	2	0
Kesamanan pencekam ban	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Durability pencekam, frame, & pemutar	1	1	1	0	2	2	2	2	1
Total	8	2	4	6	13	14	12	16	6
Bobot	0.5	0.13	0.25	0.38	0.81	0.88	0.75	1	0.38

Kriteria penilaian adalah standar acuan yang digunakan untuk penilaian konsep. Standar acuan didapatkan dari diskusi, pengalaman, dan ketentuan teknis. Penentuan kriteria penilaian unit pencekam ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Kriteria Penilaian

No	Kriteria	GRIPPER UNIT				
		5	4	3	2	1
1	Harga	<70 juta	70-80 juta	80-90 juta	90-100 juta	>100 juta
2	Kemudahan maintenance	Automatic Maintenance	Tidak membutuhkan alat khusus dan alat bantu	Membutuhkan alat bantu, tanpa alat khusus	Membutuhkan alat khusus, tanpa alat bantu	Membutuhkan alat khusus dan alat bantu
3	Kemudahan pengaturan pencekaman	Auto Gripping	Push Button Operated Gripping	Tidak membutuhkan alat khusus	Membutuhkan alat khusus	Membutuhkan alat khusus, operator > 1
4	Kerumitan konstruksi	Σ komponen < 20, 1 assy < 4 jam, tanpa alat khusus	Σ komponen 20 - 30, 1 assy 4 - 6 jam, tanpa alat khusus	Σ komponen 30 - 40, 1 assy 6 - 8 jam, tanpa alat khusus	Σ komponen 40 - 50, 1 assy 8 - 10 jam, tanpa alat khusus	Σ komponen > 50, 1 assy > 10 jam, alat khusus
5	Kualitas hasil (akurasi)	Ada inverter, sensor putaran, ada motor brake	Tanpa inverter, ada sensor putaran, ada motor brake	Tanpa inverter, tanpa sensor putaran, ada motor brake	Tanpa mekanik khusus, ada motor brake	Tanpa mekanik khusus, motor induksi
6	Kecapatan produksi	Auto Gripping, t < 5s	Manual Gripping, alat bantu unnecessary, t = 5-10 s	Manual Gripping, alat bantu necessary, t = 10-15 s	Manual Gripping, alat bantu necessary, t = 15-20 s	Manual Gripping, alat bantu necessary, t > 20s
7	Kekuatan konstruksi	Aman menahan beban > 4000 kg	Aman menahan beban 3000 - 4000 kg	Aman menahan beban 2000 - 3000 kg	Aman menahan beban 1000 - 2000 kg	Aman menahan beban < 1000 kg
8	Kesamanan	Ada ruang khusus, ada pengaman EMG	Ada area sensor, ada pengaman EMG	Ada line area, ada pengaman EMG	tanpa line area, ada pengaman EMG	tanpa line area, tanpa pengaman EMG
9	Durability	Rata-rata umur pakai komponen ≥ 10 tahun	Rata-rata umur pakai komponen 8 - 10 tahun	Rata-rata umur pakai komponen 6 - 8 tahun	Rata-rata umur pakai komponen 4 > 6 tahun	Rata-rata umur pakai komponen < 4 tahun

Pemilihan konsep ditentukan berdasarkan hasil hitungan pada tabel penilaian konsep yang mendapatkan nilai tertinggi. Hitungan pada tabel penilaian konsep didapatkan dari bobot tiap kriteria yang didapatkan dari tabel 6 yang dikalikan dengan nilai yang didapatkan oleh tiap alternatif konsep. Proses dan hasil perhitungan nilai tiap alternatif konsep unit pencekam ditunjukkan pada tabel 8.

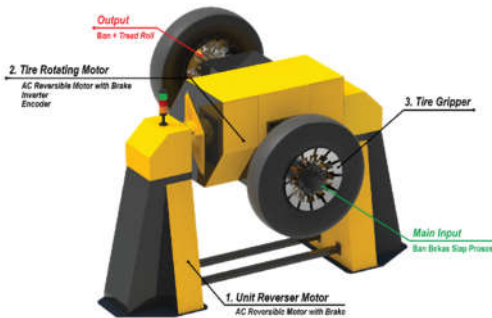
Tabel 8. Penilaian Konsep

No	Kriteria	Bobot	GRIPPER UNIT					
			Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3	
			Nilai	Total	Nilai	Total	Nilai	Total
1	Harga Gripper Unit	0.5	5	2.5	3	1.5	4	2.0
2	Kemudahan maintenance	0.1	3	0.4	2	0.3	3	0.4
3	Kemudahan pencekaman	0.3	3	0.8	2	0.5	4	1.0
4	Kerumitan konstruksi	0.4	5	1.9	3	1.1	2	0.8
5	Akurasi putaran ban	0.8	5	4.1	3	2.4	3	2.4
6	Kecapatan proses	0.9	3	2.6	2	1.8	3	2.6
7	Kekuatan konstruksi	0.8	3	2.3	4	3.0	2	1.5
8	Kesamanan pencekaman	1.0	3	3.0	3	3.0	2	2.0
9	Durability konstruksi	0.4	3	1.1	3	1.1	2	0.8
TOTAL		5.1	33.0	18.6	25.0	14.7	25.0	13.4
PERINGKAT			1		3		4	

Berdasar pada peringkat dari tabel 8, didapatkan konsep 1 sebagai konsep terpilih.

C. Penyelesaian

Unit pencekam berfungsi untuk mencekam ban dengan beberapa ukuran. Rancangan unit pencekam dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 2 Rancangan Unit Pencekam

Unit pengecam menggunakan mekanisme *chuck* yang berbentuk tirus agar dapat menyesuaikan ukuran ring ban yang dibutuhkan. Pengecaman ban pada unit pengecam dapat dilakukan pada kedua sisi untuk mempercepat proses produksi. Unit pengecam dirancang agar dapat berputar. Spesifikasi mesin ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Spesifikasi Unit Pencekam

Dimensi Mesin (PxLxT)	2950 x 2100 x 1850 mm	
Kelistrikan	Sumber	3 phase 380 VAC
	Frekuensi	50 Hz
	Power	450 Watt
Tekanan Udara	0,6 MPa – 0,8 Mpa (6,5 bar – 8 bar), <i>filtered with 5 micron filter and dried with refrigeration air dryer</i>	
Kapasitas Mesin	2 ban / proses	

Pemasangan ban pada unit pengecam menggunakan alat bantu berupa *crane* atau *hanger* ban. Alat bantu ini penting untuk mengurangi resiko kecelakaan kerja, khususnya pada aktivitas angkat berat. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Abdillah (2013) menyatakan bahwa BLS (Biro Statistik Tenaga Kerja) melaporkan jumlah kecelakaan muskuloskeletal selama angkat berat pada pekerjaan mencapai hingga 52% [4]. Massa sebuah ban truk atau bus berkisar antara 40-60 kg, sedangkan massa yang aman menurut OWAS untuk pekerja dibatasi pada beban maksimal 10 kg [5].

Prinsip pengecaman pada unit merupakan pengembangan dari mekanisme *collet chuck*. Prinsip dasar *collet chuck* adalah efek baji. Efek baji memanfaatkan gerakan axial *collet* agar rahang *chuck* mengembang dan meningkatkan gaya gesekan dan torsi, sehingga kontraksi *chuck* dapat menciptakan gerakan menjepit [6]. Pengembangan yang dilakukan pada unit pengecam adalah menggantikan fungsi *collet* dengan pegas yang dipasang pada tiap rahang *chuck*. Sumber tenaga penggerak yang digunakan adalah pneumatik.

Unit pengecam dapat berputar pada 2 sumbu, yaitu sumbu X dan Y pada mesin berdasarkan koordinat kartesian. Tenaga

penggerak pemutar menggunakan motor reversibel 100 Watt dengan sistem transmisi *belt*. Pemilihan sistem transmisi *belt* daripada *gear* bertujuan untuk menghindari keausan, gesekan, kesulitan dalam perakitan dan pemeliharaan [7].

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

Perhitungan pada unit pengecam yaitu perhitungan motor, perhitungan poros, perhitungan belt dan analisis *frame*. Motor yang dibutuhkan adalah *reversible motor with brake*.

A. Perhitungan Motor

Motor terdiri dari unit *reversing motor* dan *tire rotating motor*. Perhitungan motor bertujuan untuk mencari torsi motor.

1) Unit Reversing Motor

Diketahui:

- Waktu *Reversing (treverse)* = 20 sekon
- Ø Maksimal (ØMax) = 2130 mm
- Ø *Pulley* Unit (ØPulley B) = 200 mm
- Ø *Pulley* Motor (ØPulley K) = 70 mm
- Massa Total (mTot) = 1.010 kg
- Putaran Motor (n1) = 1750 rpm
- Angka Keamanan (V) = 2

Hitungan:

Mencari Rasio *Pulley* (i_{pulley})

$$i_{pulley} = \frac{\phi_{Pulley B}}{\phi_{Pulley K}} = \frac{200}{70} = 2,86$$

Mencari Putaran *Output* Motor (n_2)

$$n_3(Pulley Out) = \frac{60}{t_{reverse}} \times 1 \text{ putaran} = \frac{60}{20} = 3 \text{ rpm}$$

$$n_2(Motor Out) = n_3 \times i_{pulley} = 3 \times 2,86 = 8,58 \text{ rpm}$$

Mencari Torsi Motor

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1750}{8,58} = 203,96$$

$$F = m_{Tot} \times g = 1.010 \times 9,81 = 9.908,1 \text{ N}$$

$$TL = \frac{F \times \phi_{Max}}{2} = \frac{9.908,1 \times 2130}{2} = 1.055.216,5 \text{ Nmm}$$

$$T'L = TL \times V = 1.055.216,5 \times 2 = 21.104.253 \text{ Nmm}$$

Perancangan Unit Pencekam Ban pada Mesin Vulkanisasi Dingin Ban Truk dan Bus dengan Metode VDI 2222

$$\begin{aligned}
 TM &= \frac{TL}{i} \\
 &= \frac{21.104.253}{203,96} \\
 &= 103.472,51 \text{ Nmm} \\
 &= 103,47 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

2) Tire Rotating Motor

Diketahui:

Waktu <i>Cushioning</i> (t_c)	= 121,5 sekon
Ø Ban Maksimal (\varnothing_{BM})	= 1050 mm
Ø Pulley Besar ($\varnothing_{P.ban}$)	= 350 mm
Ø Pulley Kecil ($\varnothing_{P.motor}$)	= 70 mm
Massa Total (m_{Tot})	= 420 kg
Putaran Motor (n_1)	= 950 rpm
Angka Keamanan (V)	= 2,5
$\sum n_1 \text{ proses}$	= 1

Hitungan:

Mencari Rasio *Pulley* (i_{pulley})

$$\begin{aligned}
 i_{pulley} &= \frac{\varnothing_{Pulley B}}{\varnothing_{Pulley K}} \\
 &= \frac{350}{70} \\
 &= 5
 \end{aligned}$$

Mencari Putaran *Output* Motor (n_2)

$$\begin{aligned}
 n_3(\text{Pulley Out}) &= \frac{60}{t_c} \times \sum n \\
 &= \frac{60}{121,5} \times 1 \\
 &= 0,49 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n_2(\text{Motor Out}) &= n_3 \times i_{pulley} \\
 &= 0,49 \times 5 \\
 &= 2,47 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Mencari Torsi Motor

$$\begin{aligned}
 i &= \frac{n_1}{n_2} \\
 &= \frac{950}{2,47} \\
 &= 384,62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F &= m_{Tot} \times g \\
 &= 420 \times 9,81 \\
 &= 4.120,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 TL &= \frac{F \times \varnothing_{BM}}{2} \\
 &= \frac{4.120,2 \times 1.050}{2} \\
 &= 2.163.105 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T'L &= TL \times V \\
 &= 2.163.105 \times 2,5 \\
 &= 5.407.762,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 TM &= \frac{T'L}{i} \\
 &= \frac{5.407.762,5}{384,62} \\
 &= 14.060,01 \text{ Nmm} \\
 &= 14,06 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

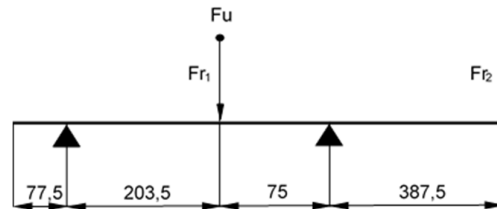
B. Perhitungan Poros

Poros utama pada unit pencekam adalah *shaft* pencekam

dan *hinge shaft*. Perhitungan poros bertujuan untuk mencari diameter minimal poros untuk pembebanan kontinu.

1) Shaft Pencekam

Diketahui:



Gambar 3 Diagram Batang *Shaft* Pencekam

Material	= St.60
σ_{bw}	= 300 N/mm ²
$V_s (2,5 - 3,0)$	= 2,5
P	= 0,25 kW
n	= 10 rpm
σ_{sch}	= 230 N/mm ²
b_1	= 0,93
b_2	= 0,81
β_k	= 1,7
γ	= 3
d_0 (<i>pulley</i> 1)	= 350 mm
m_1	= 30 kg
m_2	= 250 kg

Hitungan:

Mencari Diameter *Shaft*

$$\begin{aligned}
 \sigma_{sementara} &= \frac{\sigma_{bw}}{V (2,5 - 3,0)} \\
 &= \frac{300}{2,5} \\
 &= 120 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MT &= 9550 \times \frac{P}{n} \\
 &= 9550 \times \frac{0,25}{10} \\
 &= 238.750 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_0 &= \frac{\sigma_{bw}}{1,73 \sigma_{sch}} \\
 &= \frac{300}{1,73 \times 230} \\
 &= 0,754
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Fu_1 &= \frac{2 \times MT}{d_0(\text{pulley } 1)} \\
 &= \frac{2 \times 238 \times 750}{350} \\
 &= 1.364 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Fr_1 &= m_1 \times g \\
 &= 30 \times 9,81 \\
 &= 294,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Fr_2 &= m_2 \times g \\
 &= 250 \times 9,81 \\
 &= 2.452,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$Mb_{Ax1} = Fu_1 \times L_a$$



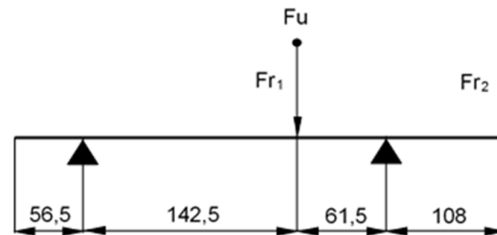
$$\begin{aligned}
 &= 1.364,286 \times 203,5 \\
 &= 277,632 \text{ Nmm} \\
 M_{b_{Ay1}} &= F_{r1} \times L_{2a} \\
 &= 294,3 \times 203,5 \\
 &= 59.890,05 \text{ Nmm} \\
 M_{b_{RA1}} &= \sqrt{M_{b_{Ax1}}^2 + M_{b_{Ay1}}^2} \\
 &= \sqrt{277,632^2 + 59.890,05^2} \\
 &= 59.890,694 \text{ Nmm} \\
 M_{b_{Bx1}} &= F_{u1} \times L_{1a} \\
 &= 1.364,286 \times 75 \\
 &= 102,321 \text{ Nmm} \\
 M_{b_{By1}} &= F_{r1} \times L_{2a} \\
 &= 294,3 \times 75 \\
 &= 22.072,5 \text{ Nmm} \\
 M_{b_{RB1}} &= \sqrt{M_{b_{Bx1}}^2 + M_{b_{By1}}^2} \\
 &= \sqrt{102,321^2 + 22.072,5^2} \\
 &= 22.072,5 \text{ Nmm} \\
 M_{b_{Ay2}} &= F_{r2} \times L_{2b} \\
 &= 2.452,5 \times 666 \\
 &= 5.120,82 \text{ Nmm} \\
 M_{b_{RA2}} &= \sqrt{M_{b_{Ax2}}^2 + M_{b_{Ay2}}^2} \\
 &= \sqrt{0^2 + 5.120,82^2} \\
 &= 1.633.365 \text{ Nmm} \\
 M_{b_{By2}} &= F_{r2} \times L_{2b} \\
 &= 2.452,5 \times 387,5 \\
 &= 950.343,75 \text{ Nmm} \\
 M_{b_{RB2}} &= \sqrt{M_{b_{Bx2}}^2 + M_{b_{By2}}^2} \\
 &= \sqrt{0^2 + 950.343,75^2} \\
 &= 950.343,75 \text{ Nmm} \\
 M_{b_A \text{ total}} &= M_{b_{RA1}} + M_{b_{RA2}} \\
 &= 59.890,694 + 1.633.365 \\
 &= 1.693.256,69 \text{ Nmm} \\
 M_{b_B \text{ total}} &= M_{b_{RB1}} + M_{b_{RB2}} \\
 &= 22.072,5 + 950.343,75 \\
 &= 972.416,5 \text{ Nmm} \\
 M_v &= \sqrt{M_b \text{ max}^2 + (0,75)(\alpha_0 \times MT)^2} \\
 &= \sqrt{1.693.256^2 + (0,75)(0,565 \times 238.750)^2} \\
 &= 1.693.255,701 \text{ Nmm} \\
 d_{k \text{ sementara}} &= \sqrt[3]{\frac{M_v}{0,1 \times \sigma_{\text{sementara}}}} \\
 &= \sqrt[3]{\frac{1.693.255,701}{0,1 \times 120}} \\
 &= 52,061 \text{ mm} \\
 \sigma_{\text{sebenarnya}} &= \frac{\sigma_{bw} \times b_1 \times b_2}{\beta k \times \gamma} \\
 &= \frac{300 \times 0,93 \times 0,81}{1,7 \times 3} \\
 &= 44,312 \text{ N/mm}^2 \\
 d_{k \text{ sebenarnya}} &= \sqrt[3]{\frac{M_v}{0,1 \times \sigma_{\text{sebenarnya}}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt[3]{\frac{1.693.255,701}{0,1 \times 44,312}} \\
 &= 72,566 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Diameter minimal yang diperlukan *shaft* pencahak untuk menahan beban kerja kontinu adalah 72,6 mm.

2) Hinge Shaft

Diketahui:



Gambar 4 Diagram Batang Hinge Shaft

Material	= VCL
σ_{bw}	= 340 N/mm ²
$V_s (2,5 - 3,0)$	= 2,5
P	= 0,1 kW
n	= 5,7 rpm
σ_{sch}	= 260 N/mm ²
b ₁	= 0,91
b ₂	= 0,805
βk	= 1,25
V	= 3
d ₀ (pulley 1)	= 200 mm
m ₁	= 30 kg
m ₂	= 300 kg

Mencari Diameter Shaft

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{sementara}} &= \frac{\sigma_{bw}}{V_s (2,5 - 3,0)} \\
 &= \frac{340}{2,5} \\
 &= 136 \text{ N/mm} \\
 MT &= 9550 \times \frac{P}{n} \\
 &= 9550 \times \frac{0,1}{5,7} \\
 &= 167,544 \text{ Nmm} \\
 \alpha_0 &= \frac{\sigma_{bw}}{1,73 \times \sigma_{sch}} \\
 &= \frac{340}{1,73 \times 260} \\
 &= 0,756 \\
 F_{u1} &= \frac{2 \times MT}{d_0 \text{ (pulley 1)}} \\
 &= \frac{2 \times 167,544}{200}
 \end{aligned}$$

Perancangan Unit Pencekam Ban pada Mesin Vulkanisasi Dingin Ban Truk dan Bus dengan Metode VDI 2222

$$\begin{aligned}
 &= 1,675 \text{ N} \\
 Fr_1 &= m_1 \times g \\
 &= 30 \times 9,81 \\
 &= 294,3 \text{ N} \\
 Fr_2 &= m_2 \times g \\
 &= 300 \times 9,81 \\
 &= 2.943 \text{ N} \\
 Mb_{Ax1} &= Fu_1 \times L_{1a} \\
 &= 1,675 \times 142,5 \\
 &= 238,75 \text{ Nmm} \\
 Mb_{Ay1} &= Fr_1 \times L_{2a} \\
 &= 294,3 \times 142,5 \\
 &= 41.937,75 \text{ Nmm} \\
 Mb_{RA1} &= \sqrt{Mb_{Ax1}^2 + Mb_{Ay1}^2} \\
 &= \sqrt{238,75^2 + 41.937,75^2} \\
 &= 41.938,43 \text{ Nmm} \\
 Mb_{Bx1} &= Fu_1 \times L_{1a} \\
 &= 1,675 \times 61,5 \\
 &= 103,039 \text{ Nmm} \\
 Mb_{By1} &= Fr_1 \times L_{2a} \\
 &= 294,3 \times 61,5 \\
 &= 18.099,45 \text{ Nmm} \\
 Mb_{RB1} &= \sqrt{Mb_{Bx1}^2 + Mb_{By1}^2} \\
 &= \sqrt{103,39^2 + 18.099,45^2} \\
 &= 18.099,743 \text{ Nmm} \\
 Mb_{Bx2} &= Fu_2 \times L_{1b} \\
 &= 0 \times 41,5 \\
 &= 0 \text{ Nmm} \\
 Mb_{By2} &= Fr_2 \times L_{2b} \\
 &= 2943 \times 108 \\
 &= 317.844 \text{ Nmm} \\
 Mb_{RB2} &= \sqrt{Mb_{Bx2}^2 + Mb_{By2}^2} \\
 &= \sqrt{0^2 + 317.844^2} \\
 &= 317.844 \text{ Nmm} \\
 Mb_{A \text{ total}} &= Mb_{RA1} + Mb_{RA1} \\
 &= 41.938,43 + 0 \\
 &= 41.938,43 \text{ Nmm} \\
 Mb_{B \text{ total}} &= Mb_{RB1} + Mb_{RB2} \\
 &= 18.099,743 + 317.844 \\
 &= 335.943,7 \text{ Nmm} \\
 Mv &= \sqrt{Mb \text{ max}^2 + (0,75)(a_0 \times MT)^2} \\
 &= \sqrt{335.943,7^2 + (0,75)(0,756 \times 167,544)^2} \\
 &= 41.938,573 \text{ Nmm} \\
 dk \text{ sementara} &= \sqrt[3]{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_{\text{sementara}}}} \\
 &= \sqrt[3]{\frac{41.938,73}{0,1 \times 136}} \\
 &= 14,555 \text{ mm} \\
 \sigma_{\text{sebenarnya}} &= \frac{\sigma_{bw} \times b1 \times b2}{\beta k \times \gamma} \\
 &= \frac{340 \times 0,91 \times 0,805}{1,25 \times 3} \\
 &= 66,418 \text{ N/mm}^2 \\
 dk \text{ sebenarnya} &= \sqrt[3]{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_{\text{sebenarnya}}}} \\
 &= \sqrt[3]{\frac{41.938,73}{0,1 \times 66,418}} \\
 &= 18,483 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Diameter minimal yang diperlukan *hinge shaft* untuk menahan beban kerja kontinu adalah 18,5 mm.

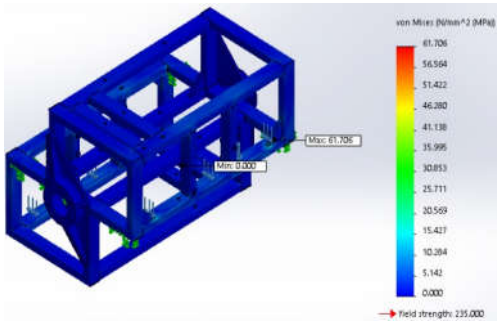
C. Simulasi

Penerapan *software* CAE untuk melakukan analisis FEA pada konstruksi mekanis yang rumit dapat mempermudah dan mempercepat proses untuk mendapatkan beberapa data terkait kekuatan statis, batas patah, atau faktor keamanan dengan hasil yang valid [6].

Software analisis CAE yang digunakan adalah *Solidwork Simulation* dan bertujuan untuk mendapatkan data tegangan maksimal yang terjadi pada konstruksi dengan gaya yang diberikan berasal dari massa beban beserta angka keamanan. Simulasi dilakukan pada unit pencekam *frame* dan *side stand* unit pencekam *frame*.

1) *Frame* Unit Pencekam

Nama Simulasi	: <i>Stress</i> 1
Jenis Simulasi	: Von Mises <i>Stress</i>
Min	: 0 N/mm ² (MPa)
Max.	: 61,7064 N/mm ² (MPa)

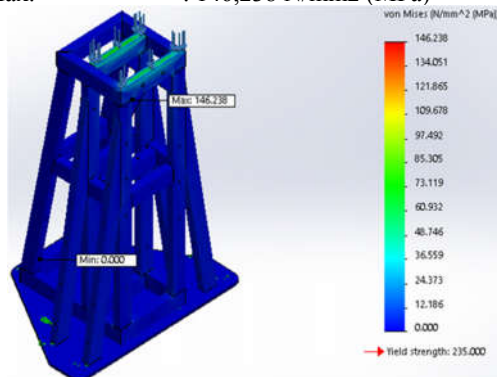


Gambar 5 Analisis Tegangan Von Mises Maksimal pada *Frame* Unit Pencekam

Gambar 5 adalah hasil analisis CAE dengan pembebanan yang diberikan sebesar 3000 N dari arah atas. Tegangan maksimum yang diterima adalah 61.706 N/mm², dengan tegangan maksimum yang dapat diterima sebesar 235 N/mm². Hasil analisis defleksi dari beban maksimum adalah 0,1 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa *frame* kuat untuk menahan beban kerja.

2) *Frame* Penyangga Samping Unit Pencekam

- Nama Simulasi : Stress 1
- Jenis Simulasi : Von Mises Stress
- Min : 0 N/mm² (MPa)
- Max. : 146,238 N/mm² (MPa)



Gambar 6 Analisis Tegangan Von Mises Maksimal pada *Frame* Penyangga Samping Unit Pencekam

Gambar 6 adalah hasil analisis CAE dengan *software Solidwork Simulation*. Pembebanan total yang diberikan sebesar 5000 N dari arah atas. Tegangan maksimum yang diterima adalah 146.238 N/mm², dengan tegangan maksimum yang dapat diterima sebesar 235 N/mm². Hasil analisis defleksi dari beban maksimum adalah 0,2 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa *frame* kuat untuk menahan beban kerja.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Hasil konsep rancangan didapatkan melalui metode VDI 2222 dengan mengacu pada kebutuhan konsumen. Hasil perancangan konsep unit pencekam ban pada mesin

vulkanisasi dingin adalah sebuah unit pencekam yang dapat berputar bolak-balik 180 pada sumbu X mesin dan pencekam ban dapat berputar 360 bolak-balik pada sumbu Y mesin. Putaran unit pencekam dibatasi oleh sensor *proximity* untuk menghindari kabel yang terbelit.

Desain pencekam ban dibuat tirus agar dapat digunakan untuk mencekam ban dengan beberapa jenis ukuran ban sesuai dengan kebutuhan konsumen. Pencekam juga dilengkapi dengan jalur udara dan seal sehingga unit pencekam dapat mengisi mengkondisikan ban yang dicekam seperti keadaan ban ketika dipasang di kendaraan.

Kontrol unit berbasis PLC Siemens S7-1200 dengan teknologi HMI untuk memudahkan pengoperasian unit pada mesin. Pengaturan waktu putaran pencekam ban dilakukan dengan mengatur kecepatan putar menggunakan *inverter*, sedangkan untuk mendapatkan hasil putaran yang presisi digunakan *encoder*. Durasi total 1 putaran unit adalah 100 detik.

Desain unit disesuaikan dengan ukuran tubuh laki-laki dewasa Asia dengan ukuran total panjang 2950 mm, lebar 2100 mm, dan tinggi 1850 mm.

B. Saran

- 1) Perancangan konsep unit pencekam yang dilengkapi dengan alat bantu untuk *balancing* bentuk silindris dan kerataan pada saat pemasangan ban.
- 2) Penambahan alat bantu pemasangan ban yang kompatibel dengan unit pencekam.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zulkifli Ramadhan. "Analisis Perhitungan dan Perbandingan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) Bus Rapid Transit (BRT) Transmusi Jenis Mercedes Benz OH-1521 dan Hino RK8-235". *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2:118-124, 2014.
- [2] Damien Motte, Robert Bjärnemo, Bernard Yannou. "On The Interaction between The Engineering Design and The Development Process Models – Part 1: Elaborations On The Generally Accepted Process Models". 2011. Page 89-90.
- [3] J. Jänsch, H. Birkhofer. "The Development of The Guideline VDI 2221 – The Change of Direction". *International Design Conference*. 2006. Page 46-48.
- [4] M. Arip Wahyudi, Wike A. P. Dania, Rizky L. R. Silalahi. "Work Posture Analysis of Manual Material Handling Using OWAS Method". 2014. Page 196-198.
- [5] K3LH. "Analisis Postur Kerja: OWAS". Artikel, Indonesia, 2016. Diakses dari <http://ergonomi-fit.blogspot.com/2012/01/analisis-postur-kerja-owas.html>, 2018.
- [6] Qinghua Song, Zhangqiang Liu, Yi Wan, Xing Ai. "Instability of Internal Damping due to Collet Chuck Holder for Rotating Spindle-Holder-Tool System" *Mechanism and Machine Theory*. Accepted 2016.
- [7] Davood Farhadi Macheqposhti, N. Tolou, J. L. Herder. "A Statically Balanced Fully Compliant Power Transmission Mechanism between Parallel Rotational Axes". *Mechanism and Machine Theory*. Accepted 2017.
- [8] N. F. Timerbaev, A. R. Sadrtidinov, R. G. Safin. "Software Systems Application for Shafts Strength Analysis in Mechanical Engineering". *International Conference on Industrial Engineerin, ICIE 2017*. submitted for publication.

Perancangan Unit Pencekam Ban pada Mesin Vulkanisasi Dingin Ban Truk dan Bus dengan Metode VDI 2222