BAB IV

HASIL DESAIN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil perancangan sistem kemudi

Setelah melakukan perancangan dan perakitan sistem kemudi untuk model *excavator* tipe *backhoe*, hasilnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Gambar 4.1 Sistem kemudi *excavator* yang sudah dirakit

Gambar di atas adalah komponen sistem kemudi yang sudah dirakit menjadi satu sistem kemudi utuh. Sistem kemudi ini biasanya disebut sistem kemudi konvensional, dimana semua tenaga yang dibutuhkan untuk berbelok ditransmisikan melalui sistem kemudi. Pada model sistem kemudi manual memiliki komponen yang sederhana, yang terdiri dari : *steering wheel*,

steering column, rack and pinion, tie rod. Apabila *steering wheel* diputar akan diteruskan melalui *steering column* ke *steering gear* dimana *steering gear* yang digunakan disini adalah tipe *rack and pinion*, dimana *rack and pinion* akan menggeser *tie rod* untuk menggerakan roda hingga berbelok.

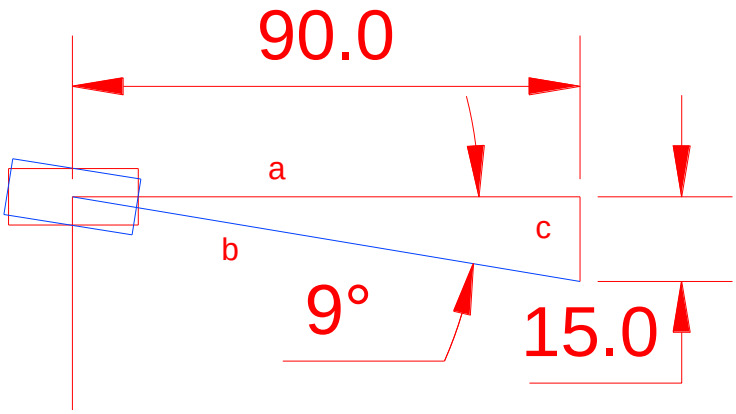
4.2. Hasil pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem kemudi pada model *excavator* tipe *backhoe* yang sudah dibuat bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian ini dapat dilakukan dengan cara menjalankan model *excavator* secara langsung. Berikut adalah data hasil pengujian sistem kemudi.

4.2.1. Hasil sudut belok

Pada pengujian sudut belok dilakukan dengan cara memutar kemudi ke arah kanan dengan beberapa besaran sudut putar dan membandingkannya dengan besaran sudut perpindahan roda depan sebelah kanan dan kiri.

Gambar 4.2 Pengukuran sudut belok roda



Gambar 4.3 perhitungan sudut belok roda dengan *AutoCAD*

Perhitungan sudut belok roda dilakukan dengan rumus trigonometri sederhana dan memastikannya dengan software *AutoCAD* 2013. Langkah pengukurannya adalah :

1. Membuat garis tegak lurus di permukaan jalan.
2. Menempatkan roda depan di atas perpotongan garis.
3. Menarik garis (a) sembarang sepanjang 90cm yang tegak lurus dengan garis tengah roda pada posisi awal steer.
4. Memutar *steer* sebesar 90°, kemudian menarik garis tengah roda (b) yang telah berubah posisi setelah steer diputar.
5. Tarik garis dari ujung garis (a) sampai berpotongan dengan garis (b) dan ukur panjang garis (c). panjang (c) = 15cm.
6. Hitung sudut belok roda dengan rumus trigonometri sederhana.

   $$a = arc\ tan \frac{c}{a}$$

$$a = arc\ tan\frac{15}{90}$$

$$a = arc\tan 0.167 = 9°$$

Di dapat sudut belok roda depan bagian kanan dengan putaran steer 90° adalah 9°.

7. Panjang garis (a) di tentukan 90cm agar mempermudah pengukuran.
8. Untuk ban kiri dilakukan hal yang sama.

Tabel 4.1 hasil pengukuran garis (c) pada roda kanan dan kiri dengan panjang garis (a) 90cm

Besar sudut putar steer	Panjang garis c	
	Roda kanan	Roda kiri
90°	15 cm	5 cm
180°	22.5 cm	8 cm
270°	33 cm	15 cm
360°	45 cm	20 cm
450°	60 cm	30 cm

Tabel 4.2. Hasil perhitungan sudut belok.

Besar sudut putar steer	Arah kanan	
	Roda kanan	Roda kiri
90°	9°	3°
180°	14°	5°
270°	20°	9.46°
360°	26.56°	12.52°
450°	33.6°	18.43°

4.2.2. Radius belok kendaraan

Karena kecepatan *excavator* yang rendah maka digunakan rumus radius belok ideal atau *ackerman* untuk menghitung radius belok dari

excavator, dimana pada perilaku *ackerman* sudut slip pada ban tidak ada, dengan syarat kendaraan berbelok dengan kecepatan yang sangat rendah.

$$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f^{\circ}} 57{,}29$$

1. Untuk sudut putar *steer* 90°, α = 9°, β = 3°.

   $\delta_f = \frac{\alpha+\beta}{2}$

   $\delta_f = \frac{9+3}{2}$

   $\delta_f = \frac{12}{2} = 6°$

   $R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f^{\circ}} 57{,}29$

   $R_{ack} = \frac{65+68.5}{6} 57{,}29 =$ 1274.7 cm = 12.74 m

   Untuk sudut putar *steer* 90° didapat radius belok ideal atau *ackerman* sebesar 12.74 m.

2. Untuk sudut putar *steer* 180°, α = 14°, β = 5°.

   $\delta_f = \frac{\alpha+\beta}{2}$

   $\delta_f = \frac{14+5}{2}$

   $\delta_f = \frac{19}{2} = 9.5°$

   $R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f^{\circ}} 57{,}29$

   $R_{ack} = \frac{65+68.5}{9.5} 57{,}29 =$ 805.07 cm = 8.05 m

Untuk sudut putar *steer* 180° didapat radius belok ideal atau *ackerman* sebesar 8.05 m.

3. Untuk sudut putar steer 270°, α = 20°, β = 9.46°.

$\delta_f = \frac{\alpha+\beta}{2}$

$\delta_f = \frac{20+9.46}{2}$

$\delta_f = \frac{29.46}{2} = 14.73°$

$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f^{\circ}} 57{,}29$

$R_{ack} = \frac{65+68.5}{14.73} 57{,}29 = 519.227$ cm = 5.19 m

Untuk sudut putar *steer* 270° didapat radius belok ideal atau *ackerman* sebesar 5.19 m.

4. Untuk sudut putar *steer* 360°, α = 26.56°, β = 12.52°.

$\delta_f = \frac{\alpha+\beta}{2}$

$\delta_f = \frac{26.56+12.52}{2}$

$\delta_f = \frac{39.08}{2} = 19.54°$

$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f^{\circ}} 57{,}29$

$R_{ack} = \frac{65+68.5}{19.54} 57{,}29 = 391.41$ cm = 3.91 m

Untuk sudut putar *steer* 360° didapat radius belok ideal atau *ackerman* sebesar 3.91 m.

5. Untuk sudut putar *steer* 450°, α = 33.6°, β = 18.43°.

$\delta_f = \frac{\alpha+\beta}{2}$

$\delta_f = \frac{33.6+18.43}{2}$

$\delta_f = \frac{52.03}{2} = 26.01°$

$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f^{\circ}} 57{,}29$

$R_{ack} = \frac{65+68.5}{26.01} 57{,}29 = 293.03$ cm = 2.93 m

Untuk sudut putar steer 450° didapat radius belok ideal atau *ackerman* sebesar 2.93 m.

Dari perhitungan diatas dapat dibuat tabel radius belok ideal atau *ackerman* sebagai berikut.

Tabel 4.3 tabel radius belok *ackerman*

Besar sudut putar steer	δf (sudut steer rata-rata)	R ack (m)
90°	6	12.74
180°	9.5	8.05
270°	14.73	5.19
360°	19.54	3.91
450°	26.01	2.93
rata-rata	15.156	6.564

Dari tabel diatas dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

1. Radius belok terbesar terjadi saat steer diputar sebesar 90 derajat.
2. Radius belok terkecil terjadi saat steer diputar sebesar 450 derajat.

3. *Excavator* tidak membutuhkan jalan yang lebar untuk melakukan u-turn.
4. Nilai rata-rata δ_f adalah 15.156 derajat.
5. Nilai rata-rata R_{ack} adalah 6.564 meter.

4.2.3. Perilaku arah kendaraan

Untuk mengetahui perilaku arah *excavator* dapat dicari dengan membandingkan sudut slip roda depan dan sudut slip roda belakang. Penulis menggunakan radius belok 2,9 m.

Tabel 4.4 Variabel kecepatan yang digunakan

No	Sampel	Kecepatan
1	V1	9 km/h = 2.5 m/s
2	V2	37 km/h = 10.2 m/s

Percepatan lateral pada kecepatan 2.5 m/s

- $a_{cy} = \frac{V^2}{R} \times \text{Cos}\ (\beta + (\beta \times \varphi)) + V \times \text{Sin}\ (\beta + (\beta \times \varphi)) - hr \times \theta^2 \times \text{Sin}\varphi$

  $a_{cy} = \frac{(2,5)^2}{2,9} \times \text{Cos}\ (8+(8\times13)) + 2,5\times\text{Sin}\ (8+(8\times13)) - 0,105\times(11)^2\times\text{Sin}13$

  $a_{cy} = \frac{6,25}{2,9} \times \text{Cos}\ (112) + 2,5\times\text{Sin}\ (112) - 0,105\times121\times0,22$

  $a_{cy} = 2,15 \times (-\ 0,37) + 2,5 \times 0,92 – 2,85$

  $a_{cy} = -1,34\ m/s^2$

- $a_{cx} = \frac{V^2}{R} \times \text{Sin}\ (\beta + \beta \times \varphi) + V \times \text{Cos}\ (\beta + \beta \times \varphi) - hr \times \theta^2 \times \text{Sin}\varphi$

  $a_{cx} = \frac{(2,5)^2}{2,9} \times \text{Sin}(112) + 2,5\times\text{Cos}(112) - 0,105 \times (11)^2\times\text{Sin}13$

  $a_{cx} = 2,15 \times 0,92 + 2,5 \times (-0,37) – 2,85$

a_{cx} = -1,79 m/s^2

Percepatan lateral pada kecepatan 10.2 m/s :

- $a_{cy} = \frac{V^2}{R} \times \text{Cos}\ (\beta + (\beta \times \varphi)) + V \times \text{Sin}\ (\beta + (\beta \times \varphi)) - hr \times \theta^2 \times \text{Sin}\varphi$

  $a_{cy} = \frac{(10,2)^2}{2,9} \times \text{Cos}(112) + 10,2 \times \text{Sin}(112) - 2,85$

  $a_{cy} = 35,87 \times (-0,37) + 10,2 \times 0,92 - 2,85$

  $a_{cy} = -6,73$ m/s^2

- $a_{cx} = \frac{V^2}{R} \times \text{Sin}\ (\beta + \beta \times \varphi) + V \times \text{Cos}\ (\beta + \beta \times \varphi) - hr \times \theta^2 \times \text{Sin}\varphi$

  $a_{cx} = \frac{(10,2)^2}{2,9} \times \text{Sin}(112) + 10,2 \times \text{Cos}(112) - 2,85$

  $a_{cx} = 35,87 \times 0,92 + 10,2 \times (-0,37) - 2,85$

  $a_{cx} = 29,13$ m/s^2

Perhitungan percepatan arah sumbu x ban pada kecepatan 2.5 m/s :

- $a_{tx3} = \frac{V^2}{R} \times \text{Sin}\ (\beta + \beta\varphi) + V\text{Cos}\ (\beta + \beta\varphi) + \frac{Tf}{2}$

  $a_{tx3} = \frac{(2,5)^2}{2,9} \times \text{Sin}\ 112 + 2,5 \times \text{Cos}\ 112 + \frac{0,8}{2}$

  $a_{tx3} = 2,15 \times 0,92 + 2,5 \times (-0,37) + 0,4$

  $a_{tx3} = 1,45$ m/s^2

Karena lebar track depan dan belakang sama, maka $a_{tx3} = a_{tx4}$.

Perhitungan percepatan arah sumbu y ban pada kecepatan 2.5 m/s :

- $a_{ty3} = \frac{V^2}{R} \times \text{Cos}\ (\beta + \beta\varphi) + V\text{Sin}\ (\beta + \beta\varphi) + \frac{Tf}{2}$

  $a_{ty3} = \frac{(2,5)^2}{2,9} \times \text{Cos}\ 112 + 2,5 \times \text{Sin}\ 112 + \frac{0,8}{2}$

  $a_{ty3} = 2,15 \times (-0,37) + 2,5 \times 0,92 + 0,4$

  $a_{ty3} = 1,9$ m/s^2

Karena lebar track depan dan belakang sama, maka $a_{ty3} = a_{ty4}$.

Perhitungan percepatan arah sumbu x ban pada kecepatan 10.2 m/s :

- $a_{tx3} = \frac{V^2}{R} \times \text{Sin}\ (\beta + \beta\varphi) + V\text{Cos}\ (\beta + \beta\varphi) + \frac{\text{Tf}}{2}$

  $a_{tx3} = \frac{(10,2)^2}{2,9} \times \text{Sin } 112 + 10,2 \times \text{Cos } 112 + \frac{0,8}{2}$

  $a_{tx3} = 35,87 \times 0,92 + 10,2 \times (-0,37) + 0,4$

  $a_{tx3} = 29,62\ m/s^2$

Perhitungan percepatan arah sumbu y ban pada kecepatan 10.2 m/s :

- $a_{ty3} = \frac{V^2}{R} \times \text{Cos}\ (\beta + \beta\varphi) + V\text{Sin}\ (\beta + \beta\varphi) + \frac{\text{Tf}}{2}$

  $a_{ty3} = \frac{(10,2)^2}{2,9} \times \text{Cos } 112 + 10,2 \times \text{Sin } 112 + \frac{0,8}{2}$

  $a_{ty3} = 35,87 \times (-0,37) + 10,2 \times 0,92 + 0,4$

  $a_{ty3} = -3,48\ m/s^2$

Perhitungan gaya sentrifugal sumbu x dan y pada kecepatan 2.5 m/s :

$F_{cgy} = \frac{Wt}{g} \times a_{cy}$

$F_{cgy} = \frac{2250}{10} \times -1,79$

$F_{cgy} = -402,7\ N$

$F_{cgx} = \frac{Wt}{g} \times a_{cx}$

$F_{cgx} = \frac{2250}{10} \times -1,34$

$F_{cgx} = -301,5\ N$

Perhitungan gaya sentrifugal sumbu x dan y pada kecepatan 10.2 m/s :

$F_{cgy} = \frac{Wt}{g} \times a_{cy}$

$F_{cgy} = \frac{2250}{10} \times -6{,}73$

$F_{cgy} = -1514{,}25$ N

$F_{cgx} = \frac{Wt}{g} \times a_{cx}$

$F_{cgx} = \frac{2250}{10} \times 29{,}13$

$F_{cgx} = 6554{,}25$ N

Perhitungan gaya lateral ban depan pada kecepatan 2.5 m/s :

$F_{L3} = \frac{Lf}{2L} F_{cgy} \text{Cos}\beta - \frac{F_{cgx}}{4} \text{Sin}\beta + \frac{W3}{g} a_{ty3} \text{Cos}\beta \times \frac{W3}{g} a_{tx3} \text{Sin}\beta$

$F_{L3} = \frac{0{,}68}{2(1{,}33)} \times (-402{,}7) \times \text{Cos}8° - \frac{-301{,}5}{4} \times \text{Sin}8° + \frac{40}{10} \times 1{,}9 \times \text{Cos}8° \times \frac{40}{10} \times 1{,}45 \times \text{Sin}8°$

$F_{L3} = 0{,}25 \times -402{,}7 \times 0{,}99 - (-75{,}37) \times 0{,}13 + 4 \times (1{,}9) \times 0{,}99 \times 4 \times (1{,}45) \times 0{,}13$

$F_{L3} = 84{,}19$ N

Perhitungan gaya lateral ban belakang pada kecepatan 2.5 m/s :

$F_{L4} = \frac{Lr}{2L} F_{cgy} \text{Cos}\beta - \frac{F_{cgx}}{4} \text{Sin}\beta + \frac{W4}{g} a_{ty4} \text{Cos}\beta \times \frac{W4}{g} a_{tx4} \text{Sin}\beta$

$F_{L4} = \frac{0{,}65}{2(1{,}33)} \times -402{,}7 \times \text{Cos}8° - \frac{-301{,}5}{4} \times \text{Sin}8° + \frac{40}{10} \times 1{,}9 \times \text{Cos}8° \times \frac{40}{10} \times 1{,}45 \times \text{Sin}8°$

$F_{L4} = 0{,}24 \times -402{,}7 \times 0{,}99 – (-75{,}37) \times 0{,}13 + 4 \times 1{,}9 \times 0{,}99 \times 4 \times 1{,}45 \times 0{,}13$

$F_{L4} = 80{,}21$ N

Perhitungan gaya lateral ban depan pada kecepatan 10.2 m/s :

$F_{L3} = \frac{Lf}{2L} F_{cgy} \text{Cos}\beta - \frac{F_{cgx}}{4} \text{Sin}\beta + \frac{W3}{g} a_{ty3} \text{Cos}\beta \times \frac{W3}{g} a_{tx3} \text{Sin}\beta$

$F_{L3} = \frac{0,68}{2(1,33)} \times -1514,25 \times Cos8° - \frac{6554,25}{4} \times Sin8° + \frac{40}{10} \times -3,48 \times Cos8° \times \frac{40}{10} \times 29,62 \times Sin8°$

$F_{L3} = 0,25 \times -1514,25 \times 0,99 - 1638,5 \times 0,13 + 4 \times -3,48 \times 0,99 \times 4 \times 29,62 \times 0,13$

$F_{L2} = 800$ N

Perhitungan gaya lateral ban belakang pada kecepatan 10.2 m/s :

$F_{L4} = \frac{Lr}{2L} F_{cgy} Cos\beta - \frac{F_{cgx}}{4} Sin\beta + \frac{W4}{g} a_{ty4} Cos\beta \times \frac{W4}{g} a_{tx4} Sin\beta$

$F_{L4} = \frac{0,65}{2(1,33)} \times -1514,25 \times Cos8° - \frac{6554,25}{4} \times Sin8° + \frac{40}{10} \times -3,48 \times Cos8° \times \frac{40}{10} \times 29,62 \times Sin8°$

$F_{L4} = 0,24 \times -1514,25 \times 0,99 - 1638,5 \times 0,13 + 4 \times -3,48 \times 0,99 \times 4 \times 29,62 \times 0,13$

$F_{L4} = 785$ N

Perhitungan sudut slip ban depan pada kecepatan 2.5 m/s :

$\alpha = 0,00301003 (F_L)^{1,207861}$

$\alpha_2 = 0,00301003 (84,19)^{1,207861}$

$\alpha_2 = 0,00301003 (211,56)$

$\alpha_2 = 0.63°$

Perhitungan sudut slip ban belakang pada kecepatan 2.5 m/s :

$\alpha_1 = 0,00301003 (F_L)^{1,207861}$

$\alpha_1 = 0,00301003 (80,21)^{1,207861}$

$\alpha_1 = 0,00301003 (199,54)$

$\alpha_1 = 0,6°$

Perhitungan sudut slip ban depan pada kecepatan 10.2 m/s :

$\alpha_2 = 0,00301003 (F_L)^{1,207861}$

$\alpha_2 = 0,00301003 (800)^{1,207861}$

$\alpha_2 = 0,00301003 (3210)$

$\alpha_2 = 9{,}6°$

Perhitungan sudut slip ban belakang pada kecepatan 10.2 m/s :

$\alpha_1 = 0{,}00301003\ (F_L)^{1{,}207861}$

$\alpha_1 = 0{,}00301003\ (785)^{1{,}207861}$

$\alpha_1 = 0{,}00301003\ (3137)$

$\alpha_1 = 9{,}4°$

Tabel 4.5 hasil perhitungan sudut slip

Kecepatan (m/s)	Sudut slip (°)	
	Ban depan	Ban belakang
2.5	0,63	0,6
10.2	9,6	9,4

Dari tabel di atas dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. sudut slip ban belakang lebih kecil daripada sudut slip ban depan.
2. *Excavator* memiliki prilaku *understeer* karena sudut slip ban belakang lebih kecil daripada ban depan.
3. Semakin tinggi kecepatan kendaraan maka semakin besar sudut slip yang terjadi.
4. Kendaraan dengan prilaku *understeer* adalah kendaraan yang sulit untuk berbelok, sehingga membutuhkan sudut belok yang lebih besar untuk belokan tertentu.

4.2.4. Batang kemudi dan *steer*

Pengujian komponen ini juga dilakukan secara manual, yaitu dilakukan dengan cara memutar batang kemudi dan *steer* ke kanan dan ke kiri dengan dua tangan. Apabila dapat batang kemudi dan steer dapat diputar dengan ringan dan mudah berarti komponen tersebut bekerja dengan baik dan tidak ada masalah. Apabila berat dan susah diputar berarti perlu dilakukan perbaikan.

Gambar 4.4 pengujian batang kemudi dan *steer*

4.2.5. *Rack and pinion*

Pengujian *rack* and *pinion* dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan memutar kemudi dan apabila *rack* and *pinion* bergeser dengan ringan dan tidak tersangkut maka *rack* and *pinion* bekerja dengan baik. Apabila saat diputar terasa berat atau tersangkut berarti perlu dilakukan perbaikan pada *rack* and *pinion*.

Gambar 4.5. pengujian *rack and pinion*

4.3. Perawatan sistem kemudi

Perawatan yang harus dilakukan agar sistem kemudi tetap bisa berjalan dengan baik dan lancar dan dapat berfungsi dengan baik dapat dilakukan dengan melakukan tindakan pencegahan kerusakan diantaranya adalah :

4.4.1. mengecat komponen sistem kemudi agar terlindungi dari korosi yang akhirnya akan merusak komponen sistem kemudi.

4.4.2. Memberikan pelumas pada bagian-bagian yang sering mengalami gesekan agar tidak cepat aus.

4.4.3. Apabila terjadi kerusakan pada komponen-komponen sistem kemudi segera dilakukan perbaikan supaya tidak terjadi kerusakan yang lebih besar lagi.