

Perancangan *Gearbox* Transmisi untuk *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle*

Firhan Surya Herlambang¹, Bustami Ibrahim², Wiwik Purwadi³, Dadan Heryada W.⁴

¹ Mahasiswa Teknik Perancangan Manufaktur Polman Bandung

^{2,4} Dosen Teknik Perancangan Manufaktur Polman Bandung

³ Dosen Teknik Pengecoran Logam Polman Bandung

Email: bustami@polman-bandung.ac.id

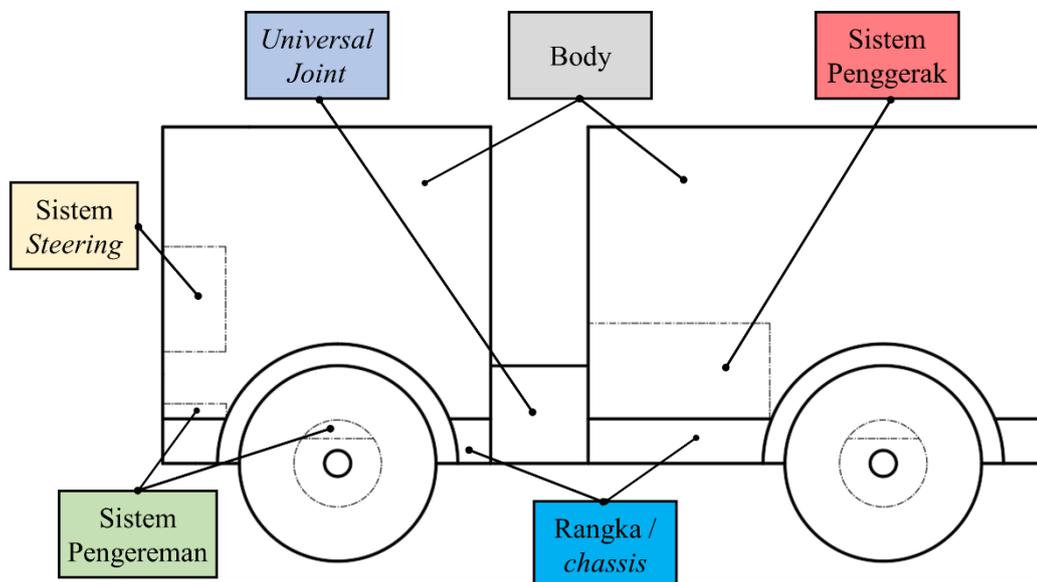
Informasi Artikel:	ABSTRAK
<p><i>Received:</i> 12 Maret 2023</p> <p><i>Accepted:</i> 01 Oktober 2023</p> <p><i>Available:</i> 15 Oktober 2023</p>	<p>Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan bencana alam yang cukup tinggi, sehingga diperlukan proses mitigasi bencana yang baik. <i>Amphibious Articulated All Terrain Vehicle (AAATV)</i> dirancang sebagai salah satu solusi dari sulitnya proses mitigasi tersebut. <i>Amphibious Articulated All Terrain Vehicle</i> merupakan sebuah kendaraan dengan kemampuan khusus yang mampu untuk melewati berbagai medan. <i>Amphibious Articulated All Terrain Vehicle</i> terdiri dari beberapa sistem, salah satunya adalah sistem penggerak. Pada sistem penggerak <i>Amphibious Articulated All Terrain Vehicle</i> terdapat salah satu sub-sistem yaitu <i>gearbox</i> transmisi. Proses perancangan in menggunakan metodologi VDI 2222. Proses perancangan dan validasi menggunakan software SOLIDWORKS dan KISSsoft. Dari hasil perancangan didapat bahwa kendaraan akan menggunakan mesin diesel jenis Kubota V2203 dengan daya sebesar 36,4 kW. Variasi kecepatan yang diinginkan tercapai dengan nilai 9,85 km/jam, 19,34 km/jam, 39,64 km/jam, dan 10,04 km/jam. Berat rancangan 58,73 kg dengan dimensi 346,1 mm x 260 x 347 mm.</p>
Kata Kunci:	ABSTRACT
<p>Mitigasi Bencana AAATV Sistem Penggerak <i>Gearbox</i> Transmisi VDI 2222</p>	<p><i>Indonesia is one of the countries with a high level of natural disaster vulnerability, so a good disaster mitigation process is needed. Amphibious Articulated All Terrain Vehicle (AAATV) is designed as one of the solutions to the difficulty of the mitigation process. Amphibious Articulated All Terrain Vehicle is a vehicle with special capabilities that are able to pass through various terrains. Amphibious Articulated All Terrain Vehicle consists of several systems, one of which is the propulsion system. In the Amphibious Articulated All Terrain Vehicle drive system, there is one sub-system, namely the transmission gearbox. This design process uses the VDI 2222 methodology. The design and validation process uses SOLIDWORKS and KISSsoft software. From the design results, it is found that the vehicle will use a Kubota V2203 type diesel engine with a power of 36.4 kW. The desired speed variation is achieved with values of 9.85 km/h, 19.34 km/h, 39.64 km/h, and 10.04 km/h. The design weight is 58.73 kg with dimensions of 346.1 mm x 260 x 347 mm.</i></p>

1 PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kerawanan bencana alam cukup tinggi. Berdasarkan data dari BNPB, pada tahun 2022 terjadi sebanyak 3544 bencana alam yang didominasi bencana hidrometrologi. Indonesia juga menduduki urutan ke-36 dengan indeks risiko 10,36 dari 172 negara paling rawan bencana alam di dunia berdasarkan data *World risk report* 2018. Kondisi tersebut disebabkan oleh keberadaan Indonesia secara tektonis yang menjadi tempat bertemunya tiga lempeng tektonik dunia (Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik) secara vulkanis sebagai jalur gunung api aktif yang dikenal dengan cincin api pasifik atau *Pacific ring of fire* [1]. Kondisi ini kemudian menjadi penyebab terjadinya bencana gempa bumi, tsunami, dan gunung meletus. Selain itu, secara hidroklimatologis Indonesia juga terdampak dengan adanya fenomena ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*) dan *La Nina* sehingga berimbas pada terjadinya bencana banjir, tanah longsor, kekeringan, dan angin puting beliung [2].

Pada setiap proses mitigasi dan penanganan bencana diperlukan mobilisasi yang handal untuk menjangkau daerah bencana. Kondisi topografis dan infrastruktur akibat bencana menjadi salah satu penghambat proses mitigasi. Maka dari itu, dirancanglah sebuah *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* yang diharapkan dapat menjadi salah satu solusi penanggulangan bencana di Indonesia.

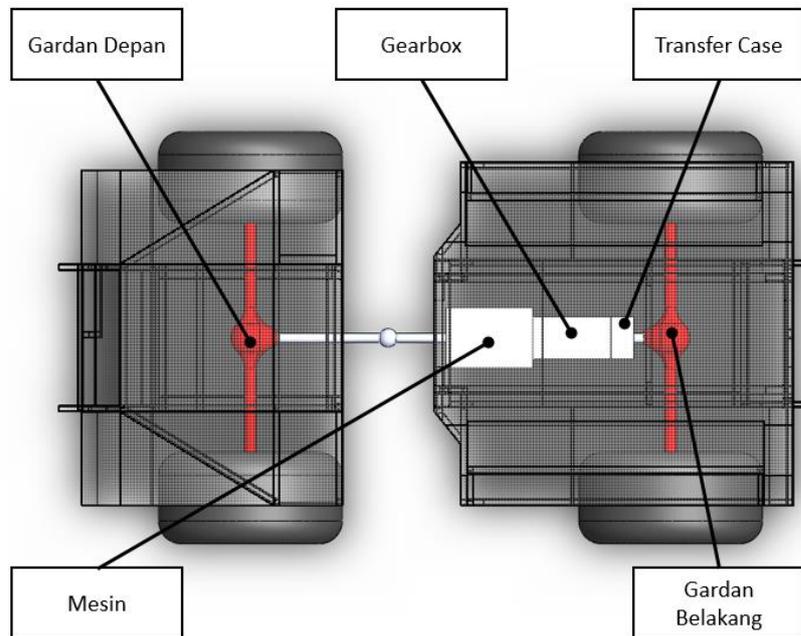
Amphibious Articulated All Terrain Vehicle ini merupakan sebuah kendaraan segala medan dengan kemampuan amfibi, serta mengaplikasikan sistem steering articulated, dimana kendaraan ini terbagi menjadi dua atau lebih segmen yang dihubungkan dengan sebuah joint antar segmen-nya. Pengendalian kendaraan tidak dilakukan dengan sistem pembelokan pada umumnya, melainkan dengan membelokkan keseluruhan bagian depan kendaraan.



Gambar 1. Skema Rancangan AAATV

Amphibious Articulated All Terrain Vehicle terdiri dari beberapa bagian sub-fungsi diantaranya yaitu, sistem penggerak, sistem steering, rangka (*chassis*), body, suspensi dan sistem pengereman. Salah satu sub-fungsi yang penting yaitu sistem

penggerak. Sistem penggerak memiliki fungsi utama sebagai pemindah tenaga yang dihasilkan mesin ke roda, sehingga mesin dapat menggerakkan kendaraan.



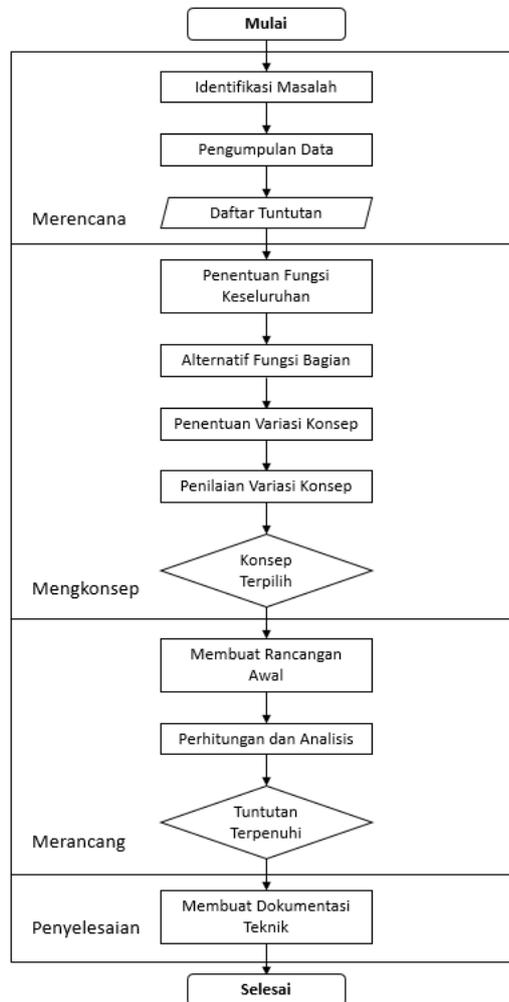
Gambar 2. Sistem Penggerak AAATV

Sistem penggerak *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* ini berbeda dengan sistem penggerak pada *all terrain vehicle* pada umumnya karena memakai sistem *steering articulated* dan juga mengaplikasikan sistem amfibi. Sistem penggerak harus mampu bergerak di medan licin dan lembek, sehingga dibutuhkan kemampuan traksi pada keseluruhan roda. Sistem *all wheel drive* diaplikasikan untuk memenuhi kemampuan tersebut. Sistem ini didapatkan dengan penggunaan differensial pada gardan depan dan belakang. Selain itu, karena kendaraan ini menggunakan sistem *steering articulated* dan sistem *all wheel drive* maka dibutuhkan sebuah *transfer case* yang dapat menyalurkan putaran ke bagian depan dan belakang kendaraan. Maka dari itu sistem penggerak ini terdiri dari beberapa sub-fungsi diantaranya *gearbox* transmisi, *transfer case*, *propeller shaft*, gardan dan *axle shaft*.

Salah satu yang menjadi fokus pada sistem penggerak *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* ini adalah *gearbox* transmisi. *Gearbox* transmisi memiliki peran penting dalam sistem penggerak untuk mengkonversi torsi yang dihasilkan mesin agar sesuai dengan kebutuhan kendaraan. Karena *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* dirancang untuk melewati berbagai medan dalam kondisi darurat kebencanaan, maka kendaraan ini membutuhkan torsi tinggi untuk memenuhi kebutuhan traksi kendaraan. Selain itu, torsi tinggi juga dibutuhkan untuk membuat kendaraan dapat melewati kondisi medan berair seperti daerah rawa ataupun danau tidak berombak besar.

2 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan yaitu VDI 2222 (*Verein Deutsche Ingenieuer 2222*). Metode perancangan *gearbox* transmisi pada sistem penggerak untuk *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* yang mengadopsi VDI 2222 seperti berikut.



Gambar 3. Metode Perancangan VDI 2222

2.1 Merencana

Tahapan pertama dalam metode perancangan VDI 2222 adalah merencana. Luaran proses merencana ini adalah berupa tuntutan yang didapat dengan mengidentifikasi permasalahan/kebutuhan dalam perancangan *gearbox* transmisi pada sistem penggerak untuk *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle*.

2.1.1 Identifikasi Masalah

Gearbox transmisi memiliki peran penting dalam sistem penggerak *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* untuk mengkonversi putaran yang dihasilkan mesin agar sesuai dengan kebutuhan kendaraan. *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* ini dirancang untuk melewati berbagai medan maka torsi pada *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* lebih penting, dibandingkan dengan kecepatannya, hal tersebut berpengaruh pada pemilihan rasio roda gigi yang terdapat pada

gearbox transmisi. Pemilihan rasio roda gigi harus tepat agar *gearbox* pada *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* ini dapat mencapai fungsinya dan kendaraan dapat melewati berbagai medan pada saat proses mitigasi bencana.

Kendaraan yang melewati kondisi segala medan umumnya memiliki kecepatan yang tidak terlalu tinggi. Begitu pula dengan *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* yang direncanakan memiliki kecepatan maksimal 40 km/jam. Kecepatan tersebut akan dibagi menjadi 4 variasi kecepatan, dengan 3 kecepatan maju dan 1 mundur. Kecepatan yang diinginkan pada setiap variasi adalah 40 km/jam, 20 km/jam, 10 km/jam, dan 10 km/jam (kecepatan mundur). Dalam memenuhi kecepatan yang diinginkan, kendaraan akan menggunakan *transfer case* dengan rasio 2 dan gardan dengan rasio 8,41 (gardan *Suzuki Carry*). Adapun berat total keseluruhan kendaraan yaitu 2 ton (2000 kg), sudah termasuk dengan penumpang dan peralatan-peralatan yang dibawa. Berat yang tersedia untuk *gearbox* pada kendaraan 100 kg dengan ukuran maksimum 510 mm x 280 mm x 360 mm.

2.2 Mengkonsep

Pada tahap mengkonsep, dilakukan pendefinisian fungsi utama dan fungsi bagian dari *gearbox* transmisi pada sistem penggerak *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle*. Kemudian dari fungsi-fungsi yang telah didefinisikan dibuat beberapa alternatif konsep rancangan yang telah diberi penilaian dari beberapa aspek untuk diambil keputusan yang paling optimal.

2.2.1 Daftar Tuntutan

Daftar tuntutan dapat diperoleh dari hasil identifikasi masalah pada tahap merencana. Tuntutan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu tuntutan utama (harus dipenuhi), tuntutan kedua (harus dipenuhi dengan batasan tertentu), dan tuntutan tambahan (tidak harus dipenuhi tetapi jika dipenuhi akan memberi nilai tambah). Daftar tuntutan untuk perancangan *gearbox* transmisi pada *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* sebagai berikut.

Tabel 1. D

Daftar Tuntutan

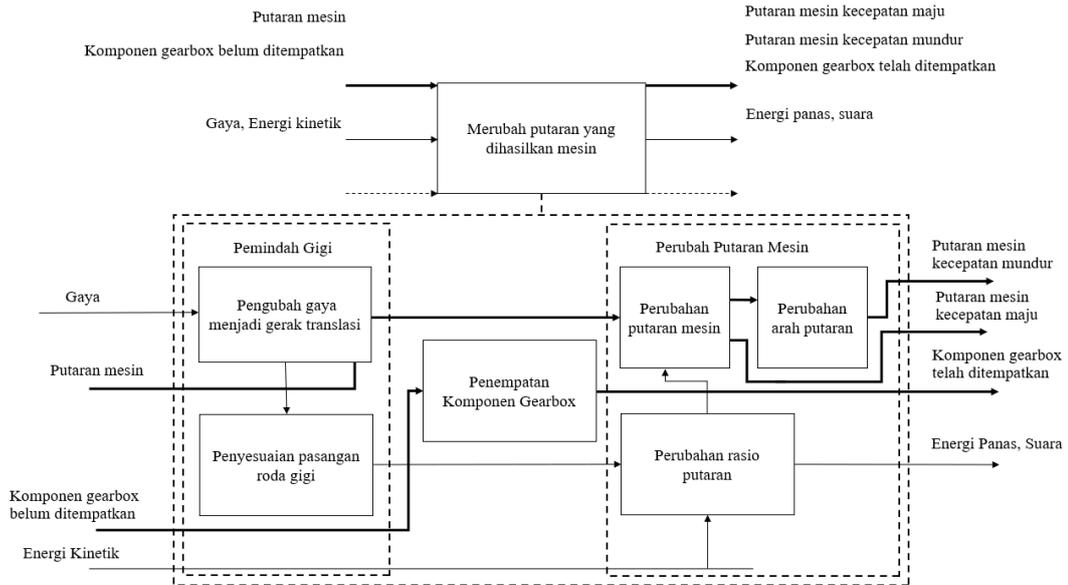
Tuntutan Primer	
No.	Daftar Tuntutan
1.	Penggerak (<i>Engine</i>)
2.	Kecepatan
3.	Rasio <i>transfer case</i>
4.	Rasio gardan
Tuntutan Sekunder	
No.	Daftar Tuntutan

	Keterangan
	Mesin diesel
	Kecepatan maksimum 40 km/jam
	3 Kecepatan 1 Mundur
	$V_1 = 10$ km/jam
	$V_2 = 20$ km/jam
	$V_3 = 40$ km/jam
	$V_R = 10$ km/jam (mundur)
	2
	8,41 (gardan <i>Suzuki Carry</i>)

1.	Berat <i>Gearbox</i>	≤ 100 kg
2.	Dimensi <i>Gearbox</i>	Maks. 510 mm x 280 mm x 360 mm

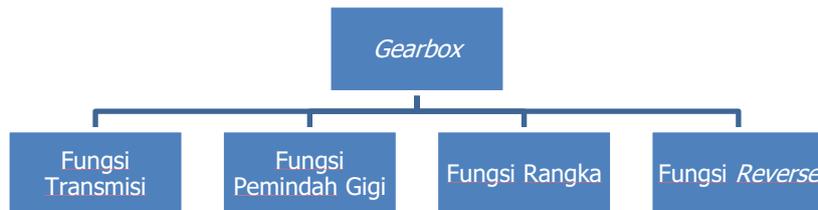
2.2.2 Diagram *Black Box*

Diagram black box disusun untuk mengklasifikasikan proses yang terjadi dalam gearbox transmisi untuk Amphibious Articulated All Terrain Vehicle. Diagram black box untuk gearbox transmisi pada Amphibious Articulated All Terrain Vehicle ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 4. *Black box* rancangan

2.2.3 Penguraian Fungsi Bagian

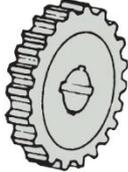
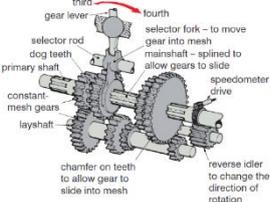
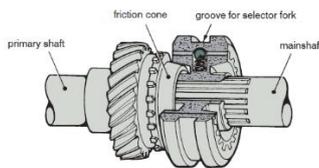
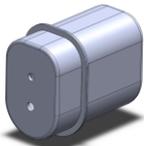


Gambar 5. Diagram Fungsi Bagian

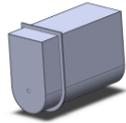
Pada perancangan gearbox transmisi untuk *Amphibious Articulated All Terrain Vehicle* ini terdapat beberapa komponen yang memegang peran penting dalam berfungsinya gearbox tersebut, antara lain: (1) Fungsi transmisi berfungsi untuk mentransmisikan putaran mesin dari poros *input* sampak dengan poros *output*. (2) Fungsi pemindah gigi berfungsi sebagai perubah tingkatan kecepatan sistem transmisi dengan cara menyesuaikan dengan pasangan roda gigi yang dipilih. (3) Fungsi rangka sebagai dudukan dari semua elemen pada *gearbox*. (4) Fungsi *reverse* difungsikan untuk merubah putaran yang dihasilkan mesin sehingga memungkinkan kendaraan dapat bergerak mundur.

2.2.4 Alternatif Fungsi Bagian

Tabel 2. Alternatif Fungsi Bagian

Alternatif Fungsi Bagian	Kelebihan	Kekurangan
Fungsi Transmisi		
<p><i>Spur Gear</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruksi lebih sederhana • Cocok untuk putaran rendah hingga menengah • Efisiensi Tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Bising pada putaran tinggi • Tingkat keausan tinggi
<p><i>Helical Gear</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Cocok untuk putaran tinggi • Tingkat kebisingan relatif rendah • Tingkat getaran lebih rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruksi relatif rumit
Fungsi Pemindah		
<p><i>Slide-mesh</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruksi lebih sederhana, • Tidak memerlukan banyak komponen tambahan • Prinsip kerja sederhana. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perpindahan roda gigi tidak dapat dilakukan secara langsung • Saat perpindahan gigi akan timbul suara kasar.
<p><i>Synchro-mesh</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Perpindahan gigi dapat dilakukan secara langsung, • Perpindahan gigi lebih halus 	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruksi relatif rumit • Prinsip kerja relatif rumit
Fungsi Rangka		
<p><i>Casting</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Cocok untuk produksi massal, • Kekuatan tinggi • Kemampuan meredam getaran tinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mahal

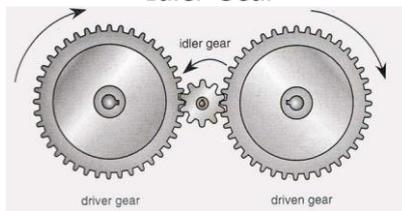
Welding



- Produksi murah,
- Cocok untuk produk dimensi besar.
- Tidak cocok untuk produksi massal,
- Diperlukan proses tambahan.

Fungsi Reverse

Idler Gear



2.2.5 Kotak Morfologi

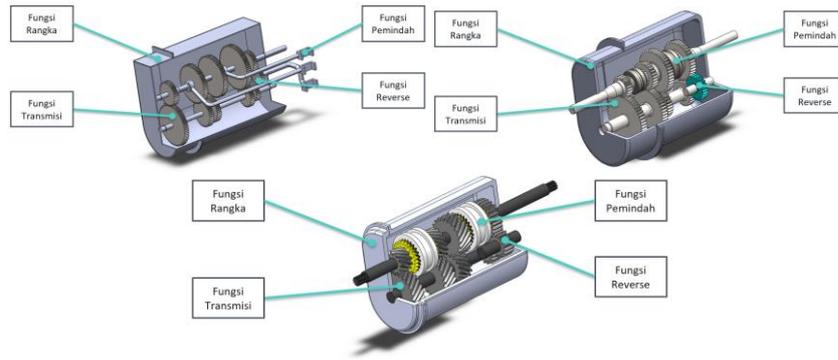
Alternatif fungsi bagian yang telah diuraikan di atas akan dikombinasikan menjadi beberapa variasi konsep. Variasi konsep yang dihasilkan akan dinilai berdasarkan aspek teknis dan ekonomis untuk kemudian dipilih variasi konsep yang paling ideal untuk dijadikan rancangan. Variasi konsep yang telah dikombinasikan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Kotak Morfologi

No.	Fungsi Bagian	Alternatif		
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1.	Fungsi Transmisi	A1	A2	
2.	Fungsi Pemindah Gigi	B1	B2	
3.	Fungsi Rangka	C1	C2	
4.	Fungsi <i>Reverse</i>	D1		
	Variasi Konsep	VK1	VK2	VK3

2.2.6 Variasi Konsep

Berikut adalah model dari masing-masing variasi konsep rancangan yang dihasilkan dari diagram morfologi.



Gambar 6. Variasi Konsep

2.2.7 Penilaian Variasi Konsep

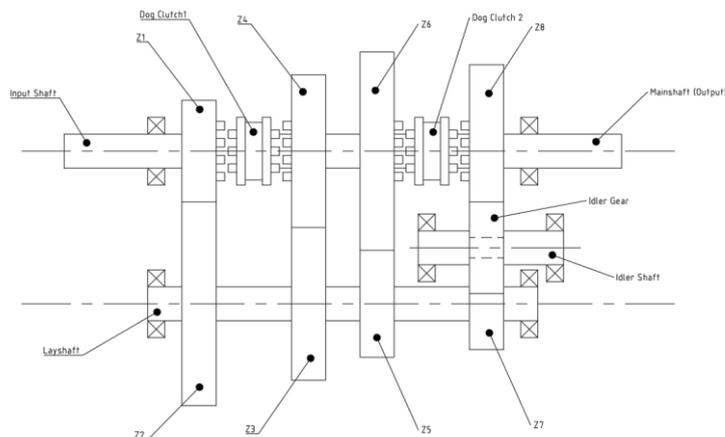
Tabel 4. Penilaian Aspek Keseluruhan

No.	Aspek yang dinilai	Bobot (%)	Variasi Konsep		
			1	2	3
1	Aspek Teknis	60	40%	50%	50%
2	Aspek Ekonomis	40	32%	24%	21%
Persentase Akhir			72%	74%	71%

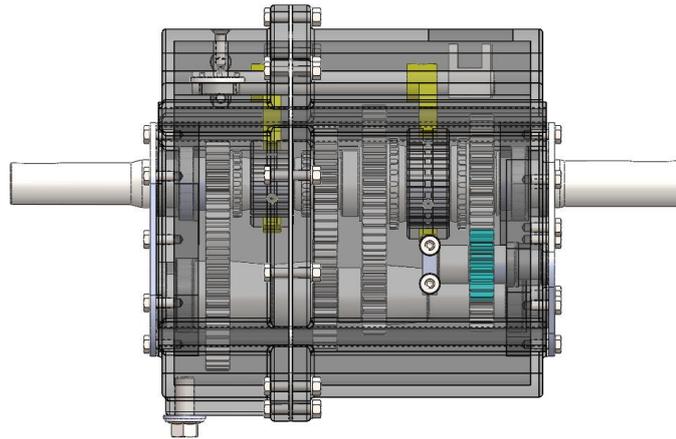
Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai dari variasi konsep yang paling mendekati nilai ideal adalah Variasi Konsep Rancangan 2, maka Variasi Konsep Rancangan 2 dipilih sebagai konsep rancangan yang akan dikembangkan.

2.3 Merancang

Setelah mendapatkan variasi konsep yang paling optimal, selanjutnya dibuat sketsa rancangan awal *gearbox* dan realisasi konsep dalam model 3D.



Gambar 7. Sketsa Rancangan Awal Gearbox



Gambar 8. Model 3D Rancangan

2.4 Penyelesaian

Tahap ini merupakan tahapan terakhir dari proses perancangan. Pada tahap ini dilakukan pembuatan *draft* dari rancangan

3 PERHITUNGAN DAN VALIDASI

3.1 Validasi Engine

Untuk menyatakan apakah daya yang disediakan *engine* mampu untuk memenuhi daya yang dibutuhkan konstruksi atau tidak, maka perlu dilakukan perhitungan daya konstruksi melalui perhitungan daya traksi dari roda. Berikut ini adalah perhitungan daya traksi yang dilakukan.

Tabel 5. Validasi Engine

Simbol	Variabel	Nilai	Satuan	Keterangan
W	Berat kendaraan	2000	Kg	Berat total keseluruhan kendaraan
X	Persentase berat kendaraan pada roda	100	%	Untuk kendaraan <i>all wheel drive</i>
μ	Koefisien gesek roda	0,02		Roda - tanah basah
θ	Kemiringan area kerja	35		Referensi dari <i>Amphibious Vehicle</i> yang sudah ada.
F_{T-max}	Gaya maksimum traksi	3214,353	N	$F_{T-max} = W \cdot \mu \cdot X \cdot \cos(\theta)$
V_{max}	Kecepatan maksimum	40	Km/jam	Daftar tuntutan
P	Daya Traksi	35,715	kW	$P = F_{T-max} \cdot v_{max}$

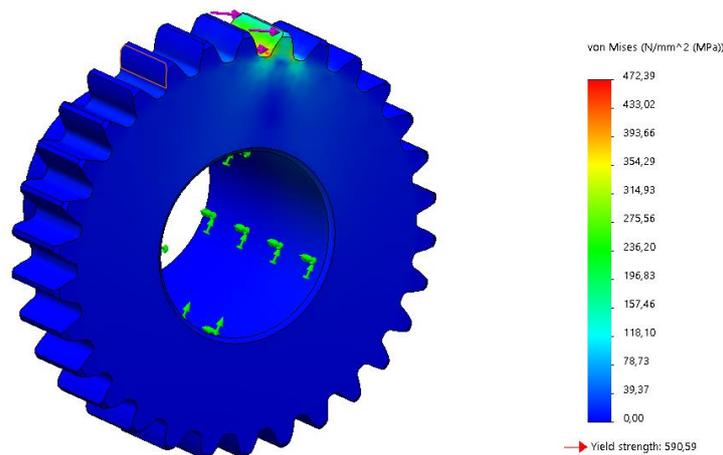
Dari hasil perhitungan validasi *engine*, daya traksi yang dibutuhkan kendaraan sebesar 35,715 kW. Maka dipilih mesin diesel Kubota V2203 untuk memenuhi kebutuhan tersebut dengan daya sebesar 36,4 kW.

3.2 Analisis Tegangan Roda Gigi dengan *Software* SOLIDWORKS

Pada penelitian ini, digunakan *software* SOLIDWORKS 2018 untuk melakukan validasi terhadap tegangan kaki gigi dan *safety factor* statis pada roda gigi yang ada dalam rancangan *gearbox*. Berikut hasil analisis menggunakan *software* SOLIDWORKS dengan perbandingan perhitungan *manual*.

Tabel 6. Analisis Tegangan Roda Gigi SOLIDWORKS

	Tegangan Kaki Gigi (N/mm ²)	
	Manual	Software
Z ₁	363,23	396,48
Z ₂	338,18	349,22
Z ₃	458,93	472,39
Z ₄	458,92	468,84
Z ₅	728,52	736,62
Z ₆	658,43	643,95
Z ₇	819,65	800,63
Z ₈	749,15	746,49



Gambar 9. Proses Analisis pada *Software* SOLIDWORKS

3.3 Perbandingan perhitungan manual dengan *Software* KISSsoft

Validasi terhadap tegangan kaki gigi dilakukan kembali menggunakan *software* KISSsoft. Selain tegangan kaki gigi, pada *software* ini juga dilakukan validasi terhadap tegangan permukaan kaki gigi. Berikut hasil analisis menggunakan *software* KISSsoft dengan perbandingan perhitungan *manual*.

Tabel 7. Analisis Roda Gigi Software KISSsoft

	Tegangan Kaki Gigi (SF)		Persentase	Tegangan Permukaan Kaki Gigi (SH)		Persentase
	Manual	Software		Manual	Software	
	Roda Gigi 1	1,38	1,42	2,82%	0,85	0,84
Roda Gigi 2	1,48	1,5	1,33%	0,85	0,89	4,49%
Roda Gigi 3	1,13	1,14	0,88%	0,82	0,8	2,44%
Roda Gigi 4	1,13	1,15	1,74%	0,82	0,81	1,22%
Roda Gigi 5	0,72	0,73	1,37%	0,63	0,58	7,94%
Roda Gigi 6	0,79	0,78	1,27%	0,63	0,63	0%
Roda Gigi 7	0,61	0,63	3,17%	0,55	0,5	9,09%
Roda Gigi 8	0,66	0,69	4,35%	0,55	0,56	1,79%

Berdasarkan hasil perbandingan diatas, dengan penggunaan faktor umur harapan yang sama antara software dan manual dapat dilihat bahwa perbedaan hasil yang terjadi tidak terlalu jauh. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa perhitungan yang dilakukan valid.

4 KESIMPULAN

Rancangan gearbox pada penelitian ini telah selesai dilakukan dan rancangan dinyatakan sesuai dengan daftar tuntutan yang diinginkan. Untuk mengukur tingkat kesesuaian rancangan terhadap daftar tuntutan yang diinginkan, berikut adalah tabel yang menyatakan spesifikasi dan gearbox terkait.

Tabel 8. Perbandingan Hasil terhadap Daftar Tuntutan

Daftar Tuntutan	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Engine	Mesin Diesel	Kubota V-2203	Terpenuhi
Kecepatan	V1 = 10 km/jam	V1 = 9,85 km/jam	Terpenuhi
	V2 = 20 km/jam	V2 = 19,34 km/jam	Terpenuhi
	V3 = 40 km/jam	V3 = 39,64 km/jam	Terpenuhi
	VR = 10 km/jam	VR = 10,04 km/jam	Terpenuhi
Rasio Transfer Case	2	2	Terpenuhi
Rasio Gardan	8,41	8,41	Terpenuhi
Berat Gearbox	≤ 100 kg	58,73 kg	Terpenuhi

Dimensi Gearbox	510 x 280 x 360 mm	346,1 x 260 x 347 mm	Terpenuhi
--------------------	--------------------	----------------------	------------------

5 REFERENSI

- [1] D. Hermon, *Geografi Bencana Alam*, Jakarta: Radja Grafindo Persada Press, 2012.
- [2] H. Hadi, S. Agustina, dan A. Subhani, "Penguatan Kesiapsiagaan Stakeholder dalam Pengurangan Risiko Bencana Gempa Bumi", *Jurnal Geodika*, vol. 3, no.1, pp 30-40, 2019.
- [3] BNPB. (1 Maret 2023). BNPB Website. [Online]. Tersedia: <https://bnpb.go.id/infografis/infografis-bencana-tahun-2022>
- [4] V. A .W. Hilliers dan N. Thornes, *Hillier's Fundamental of Motor Vehicle Technology* (6th ed), United Kingdom: Nelson Thornes Ltd., 2012.
- [5] G. M. Maitra, *Handbook of Gear Design* (2nd ed). New Delhi: McGraw-Hill, 1994.
- [6] H. Wiittel, D. Muhs, D. Jannasch, dan J. Voßiek, *Roloff/Matek Maschinenelemente* (21 Auf). Augsburg: Springer Vieweg, 2013.
- [7] Patel, Neeraj., & Gupta, Tarun., (2016). Methodology for Designing a Gearbox and its Analysis, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 5 Issue 01. P:780-792.
- [8] Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., & Vobiek, J. (2013). *Roloff/Matek Maschinenelemente*. (21. Auflage). Germany: Springer Vieweg (Chapter 11, 20, and 21).

Firhan Surya Herlambang, Bustami Ibrahim, Wiwik Purwadi, Dadan Heryada W.