KAJIAN TERAMEKANIKA PENDARATAN KENDARAAN AMPHIBIOUS RIG M3 PADA TEPIAN SUNGAI TERJAL DAN JENIS LEMPUNG MELALUI STUDI KASUS LATIHAN DI GEDEBAGE BANDUNG

TERRAMECHANICAL STUDY OF AMPHIBIOUS RIG M3 VEHICLE LANDING ON STEEP RIVERBANKS AND CLAY TYPES THROUGH A CASE STUDY OF EXERCISES IN GEDEBAGE BANDUNG

Akil Suwandi[1], Susilo Adi Purwantoro[2], Gita Amperiawan[3], Sovian Aritonang[4]

[1,2,3] PROGRAM STUDI TEKNOLOGI DAYA GERAK, FAKULTAS TEKNOLOGI PERTAHANAN, UNIVERSITAS PERTAHANAN REPUBLIK INDONESIA
akilnangsuwandi1799@gmail.com, susiloap89@yahoo.com, gitaamperiawan@yahoo.com, sovian.aritonang@idu.ac.id

Abstrak – Kendaraan Amphibious RIG M3 merupakan salah satu alutsista TNI AD yang digunakan dalam misi penyeberangan sungai pada Operasi Militer Perang (OMP) maupun mitigasi kebencanaan pada Operasi Militer Selain Perang (OMSP). Titik kritis pertama penggunaan kendaraan amfibi adalah ketersediaan landasan agar proses pendaratan dapat berjalan dengan aman. Aspek topografis berupa lereng terjal dan geologis berupa daya dukung tanah yang buruk akan menjadi masalah bagi kendaraan amfibi untuk melakukan pendaratan. Pembahasan pada penelitian ini untuk mengetahui proses teramekanika kendaraan amfibi pada saat melakukan pendaratan di landasan berupa tanah berjenis lempung sehingga dapat memberikan gambaran seberapa besar kemiringan landasan yang akan menyebabkan No Go bagi kendaraan amfibi untuk mendarat. Karakteristik sungai bertepian terjal dan berjenis tanah lempung sebagai tinjauan masalah dalam pendaratan amfibi mengambil contoh pada studi kasus latihan simulasi penyeberangan sungai dengan menggunakan kendaraan Amphibious RIG M3 oleh Batalyon Zeni Tempur 9 Lang Lang Bhuwana Kostrad di Gedebage Bandung. Pembahasan mempergunakan bidang ilmu teramekanika yaitu menitikberatkan pada interaksi muka ban dan tanah dengan menggunakan metode Wong melalui benchmark pada hasil penelitian Tison (2019). Hasil perhitungan menunjukkan jenis tanah lempung (clay) merupakan faktor penghambat dalam proses pendaratan, kemiringan landasan pendaratan sebesar 13,75% pada jenis tanah tersebut mengakibatkan kendaraan Amphibious RIG M3 tidak dapat melakukan pendaratan (No Go), sehingga diperlukan sebuah alat, metode dan material bantu. Proses ketidakmampuan kendaraan amfibi dalam melakukan pendaratan disebabkan oleh terjadinya sinkage (roda terbenam) pada interaksi antar muka roda dan tanah.

Kata Kunci: Teramekanika Pendaratan, Lempung, Amphibious RIG M3, Penyeberangan, Karakteristik Sungai.

Abstract–*Amphibious RIG M3 vehicle is one of the army equipment used in river crossing missions in Military War Operations (OMP) as well as disaster mitigation in Military Operations Other than War (OMSP). The first tipping point for the use of amphibious vehicles is the availability of a runway for the landing process to run safely. Topographical aspects of steep and geological slopes in the form of poor land carrying capacity will be a problem for amphibious vehicles to make landfalls. The discussion of this study is to find out the process of terramechanic amphibious vehicles when landing on the runway in the form of clay-type soil to give an idea of how big the slope of the runway will cause No Go for amphibious vehicles to land. Characteristics of steep-sided rivers and clay soil types as a review of problems in amphibious landings take an example on the case study of simulating river crossing*

exercises using Amphibious RIG M3 vehicles by the Engineering Corp Battalion 9 Lang Lang Bhuwana Kostrad in Gedebage Bandung. The discussion uses the field of teramechanika science, which focuses on the interaction of tire and soil face by using the Wong method through benchmarks in the results of Tison's research (2019). The results of the calculation showed the type of clay soil is an inhibitory factor in the lending process, the slope of the landing pad by 13.75% on the type of soil resulted in the Amphibious RIG M3 vehicle being unable to make a landing (No Go), so a tool, method and auxiliary material are needed. The process of the inability of amphibious vehicles to landing is caused by the occurrence of sinkage (sunset wheels) in the interaction between the face of the wheel and the ground.

Keywords: *Landing Terramechanics, Clay, Amphibious RIG M3, Crossings, Characteristics of rivers*

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak antara 6° LU – 11° LS dan 95° BB – 141° BT, memiliki jumlah pulau sebanyak 16.056 dengan luas total sebesar 1.916.906,77 km² (Badan Pusat Statistika, 2020). Jumlah seluas itu mengharuskan kesiapsiagaan seluruh komponen bangsa untuk melaksanakan pembelaan Negara terhadap berbagai macam ancaman oleh sebab itu pemerintah negara Indonesia menerapkan sistem pertahanan dengan melibatkan seluruh komponen bangsa (Sishankamrata). Bentuk ancaman yang akan dihadapi disamping berupa ancaman militer melalui invasi dari negara agresor maupun berupa sparatisme dari sebagian komponen bangsa yang tidak loyal kepada pemerintahan yang syah, juga dapat berbentuk ancaman dari fenomena alam misalnya bencana banjir. Mengantisipasi dan mengatasi ancaman tersebut, maka TNI selaku komponen utama akan menggelar bentuk operasi militer yaitu Operasi Militer Perang (OMP) dan Operasi Militer Selain Perang (OMSP).

Dalam gelaran operasi, TNI akan mempergunakan sejumlah peralatan untuk mendukung keberhasilan operasi tersebut, dimana salah satunya adalah kendaraan Amfibi. Kendaraan amfibi adalah kendaraan khusus yang merupakan kolaborasi antara fungsikendaraan serba guna, dimana penggunaannya dapat untuk tujuan komersialisasi, maupun operasi militer serta dapat juga digunakan untuk misi penyelamatan ketika terjadi bencana (Abdurahman et al., 2020).

Pada lingkup operasi yang dilaksanakan oleh TNI AD, konsep OMP dan OMSP dengan mempergunakan kendaraan amfibi dilaksanakan untuk misi

penyeberangan sungai bagi konvoi kendaraan perang maupun dalam misi mitigasi ketika terjadi sebuah bencana banjir, untuk itu TNI AD telah dilengkapi dengan alutsista berupa kendaraan Amphibious RIG M3 yang berdasarkan keterangan pada situs resmi *General Dynamic* (https://www.gdels.com/m3.php) memiliki kemampuan menyeberangkan alutsista darat sampai dengan bobot 85 ton (Military Load Capacity/ MLC 85).

Terdapat permasalahan yang komplek dalam penggunaan kendaraan amfibi pada misi penyeberangan maupun mitigasi diantaranya bagaimanakah pengaruh arus air sungai terhadap proses pendaratan dan bagaimana kondisi tepian dari sungai ditinjau dari topografi berupa kemiringan landasan dan daya dukung tanah serta vegetasi pada lapisan permukaan tanah agar kendaraan amfibi bisa turun ke sungai / area genangan air dan kembali lagi kedaratan. Penelitian ini membahas pada fenomena masalah kemampuan mendaki kendaraan amfibi pada kemiringan landasan jenis tanah lempung, dengan membatasi pada proses teramekanika kendaraan amfibi pada saat melakukan pendaratan yaitu interaksi antar muka ban dengan landasan permukaan tanah berjenis lempung yang memiliki kemiringan pada permukaannya.

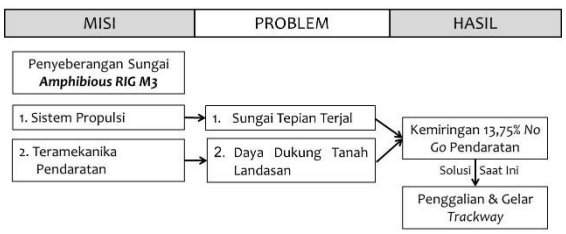
Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode observasi, yaitu melaksanakan pengamatan dari tahapan-tahapan dalam penggunaan kendaraan Amphibious RIG M3 dalam misinya menyeberangkan pasukan manuver ketika berhadapan dengan rintangan berupa sungai. Pada penelitian ini rintangan sungai diperanggapkan oleh area berupa embung (danau buatan) yang memiliki karakteristik tepian / bantaran dengan dinding yang terjal, serta berjenis tanah lempung. Untuk mendapatkan gambaran dari kemampuan kendaraan amfibi dapat melakukan pendaratan, maka dilaksanakan perhitungan analisis numerik menggunakan metode Wong, serta benchmark terhadap hasil penelitian Tison (2019). Perhitungan tersebut akan memberikan informasi terkait Go / No Go kendaraan tersebut saat melakukan pendaratan. Data primer bersumber dari observasi dan studi literarur terhadap kendaraan Amphibious RIG M3 yang meliputi bentuk geometrik serta kemampuan propulsinya. Sedangkan data lainnya / sekunder seperti data tanah diperoleh melalui

benchmark terhadap hasil penelitian dari peneliti sebelumnya.

Penelitian dilaksanakan di embung Gedebage Bandung bersamaan dengan kegiatan latihan simulasi penyeberangan yang dilaksanakan oleh Batalyon Zeni Tempur 9 Kostrad / Lang Lang Bhuwana dengan mempergunakan kendaraan Amphibious RIG M3 pada tanggal 20 s.d 24 Oktober 2021.

Pembahasan kemampuan kendaraan Amphibious RIG M3 dalam melakukan pendaratan pada aspek teramekanika yaitu interaksi antar muka roda dengan permukaan tanah landasan dimulai dengan pembahasan misi kendaraan Amphibious RIG M3, masalah pada pendaratan dan perhitungan numerik kemampuan kendaraan melakukan pendaratan sehingga dapat diketahui Go / No Go pada proses pendaratan tersebut, seperti terlihat pada gambar 1.

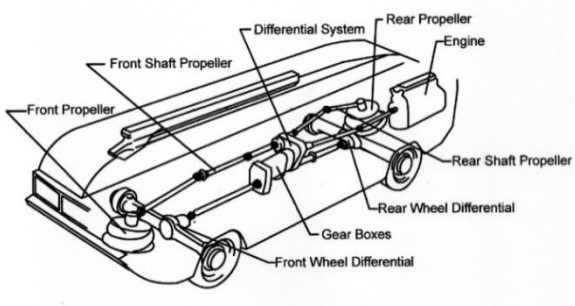


Gambar 1. Alur Pembahasan.
Sumber diolah penulis, (2021)

Karakteristik *Amphibious RIG M3*

Berdasarkan studi literature dari manual operasional Amphibious RIG M3 yang diterbitkan oleh produsennya yaitu *General Dynamic* Jerman, spesifikasi dari geometrik kendaraan maupun kemampuan dari mesinnya dideskripsikan yaitu berdimensi panjang 13.033 mm, lebar 3,350 mm dan tinggi 3,937 mm. Kecepatan di darat max 80 km/jam, dan diperairan 7,5 knots melalui 2 unit propeller di bagian depan dan belakang yang dihasilkan dari mesin berkapasitas daya 300 KW (General Dynamic, 2019).

Berat 28.200 kg sehingga masing-masing roda memiliki tekanan gandar (pg) 7.050 kg seperti ditunjukkan pada gambar 2.

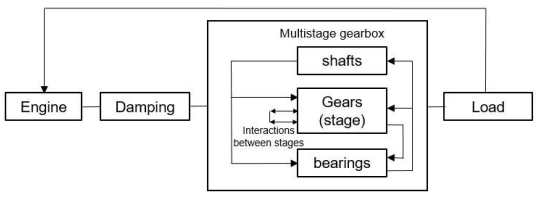


***Gambar* 2.** Sketsa Propulsi *Amphibious RIG M3.*
Sumber: diolah penulis, berdasarkan studi literatur (2021).

Powertrain kendaraan terdiri dari komponen utama yang menghasilkan tenaga dan mentransfer ke permukaan perkerasan serta perairan maupun udara, yang meliputi mesin dan drivetrain (Chen, 2020). Gambar 2 di atas merupakan

kondisi dan posisi instalasi dari powertrain yang dimiiliki oleh kendaraan Amphibious RIG M3 dimulai dari mesin sampai dengan roda dan propeller.

Drivetrain terdiri dari banyak elemen yang bertugas mentransmisikan mesin daya ke roda penggerak (Reif & Dietsche, 2014). Pada gambar 2 tersebut, Amphibious RIG M3 memiliki rangkaian powertrain yaitu mesin sebagai sumber tenaga yang terinstal pada bagian buritan dengan tujuan diantaranya efektifitas penempatan saluran gas buang yang memberikan keuntungan untuk menghindarkan mesin mati akibat saluran gas buang kemasukkan air. Torsi yang dihasilkan mesin selanjutnya melalui shaft disalurkan ke komponen gear boxes, untuk diteruskan ke roda maupun propeller. Gear boxes merupakan rangkaian komponen / elemen yang terdiri dari roda gigi, kemudian rangkaian roda gigi digunakan untuk memberikan konversi kecepatan dan torsi dari sumber daya yang berputar ke perangkat lain (Liang et al., 2018). Prinsip dan kemampuan kerja dari gearbox ditunjukan pada gambar 3.



Gambar 3. Interaksi elemen gearbox.
Sumber: Bartelmus (2011).

Gear boxes pada Amphibious RIG M3 memilik konstruksi yang spesifik yaitu terangkai dengan differential system yang mengatur perubahan penyaluran torsi dari gear boxes ke propeller maupun ke roda. Kondisi ini sesuai dengan misi asasinya yaitu dapat berjalan di darat dan dapat bergerak di perairan.

Propeller / baling-baling pada kendaraan Amphibious RIG M3 diistilahkan dengan pump jets (General Dynamic, 2019). Saat pump jets berputar terdapat air yang memberikan tenaga dorongan (trhust) melalui proses interaksi antara bilah baling-baling dengan air sehingga menghasilkan putaran aliran turbulen pada air yang selanjutnya mendorong kendaraan amfibi untuk bergerak di perairan. Pada saat kendaraan amfibi melakukan pendaratan, komponen baling-baling masih dalam kondisi bekerja yaitu mendorong kendaraan amfibi pada saat roda depan mulai berinteraksi dengan permukaan tanah.

Perencanaan propeller atau baling-baling umumnya disesuaikan atau memperhitungkan bentuk lambung dan kecepatan kapal yang diperlukan. Tujuan terpenting dari desain baling-baling

adalah penggunaan daya minimum (efisiensi optimal) dari mesin melalui desain bentuk baling-baling, sehingga kecepatan putaran baling-baling dapat optimal. Selain itu putaran baling-baling pada skala kecepatan penuh tidak menyebabkan kerusakan berupa pengikisan dan mengakibatkan getaran yang berlebih. Pada skala kecepatan, daya dorong baling-baling pada umumnya sulit diukur (Kuiper, 2010). Amphibious RIG M3 memiliki 2 unit Propeller (pump jets) yang terinstal di bagian haluan dan buritan, dimana posisi dan lokasinya adalah tegak lurus sumbu horizontal kendaraan. Kondisi ini dapat dilakukan penelitian lainnya yaitu bagaimana pengaruhnya posisi dan lokasi tersebut terhadap kestabilan landasan pendaratan.

Amphibious RIG M3 Pada Karakteristik Sungai

Sesuai dengan fenomena pada penggunaan kendaraan amfibi di sungai, maka perlu di bahas karakteristik sungai yang akan menjadi area dari operasi dari kendaraan ini. Menurut (Randa et al., 2017) karakteristik dari pada sungai adalah iklim dan fisiografi daerah di wilayah sungai, dengan pembagian besarnya terdiri dari topografi Daerah Aliran Sungai (DAS), formasi batuan, daerah tangkapan hujan dan vegatasi, yang akan mengalami perubahan diantaranya bentuk geometri, jenis, sifat dan perilaku sungai dengan segala aspek dan perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu. Terkait dengan perubahan yang terjadi dan bagaimana kaitannya dengan pembahasan penelitian ini adalah adanya perubahan bentuk dari landasan yang sebelumnya ideal untuk sebuah pendaratan kendaraan amfibi, dapat berubah menjadi permasalahan bagi kendaraan amfibi untuk melaksanakan pendaratan. Dari penjelasan (Randa et al., 2017) terkait fisiografi daerah di wilayah sungai, dapat dikemukakan 2 (dua) permasalahan pada pendaratan kendaraan amfibi yaitu kemiringan dari bantaran sungai dan daya dukung tanahnya. Terkait dengan kemiringan dari bantaran sungai, Rosgen (1996) menggambarkan pola karakteristik sungai yang beragam pada satu daerah aliran sungai yaitu terdapat tepian yang landai dan juga tepian sungai yang terjal (Starr, 2009). Menurut Van Zuidam, (1989) dalam (Kalay & Lopulissa, 2018) klasifikasi kemiringan lereng didasarkan pada kriteria lereng datar 0-3 %, lereng landai 3-8 %, lereng miring 8- 14 %, lereng

sangat miring 14-21 %, lereng curam 21-56 %, lereng sangat curam 56-140 % dan lereng terjal > 140 % .

Formasi batuan dari bantaran sungai merupakan kemampuan daya dukung landasan pendaratan bagi kendaraan amfibi.

Penelitian yang dilaksanakan Tison, (2019) membahas tentang fenomena kemampuan kendaraan amfibi dalam melakukan pendaratan dengan variabel hambatannya adalah kemiringan landasan sedangkan daya dukung tanah diperanggapan baik. Penelitian dilaksanakan dengan mensimulasikan pendaratan kendaraan amfibi berbobot 30 ton (1,8 ton lebih berat dari Amphibious RIG M3) menggunakan aplikasi Computer Fluid Dynamic (CFD) dan metode Wong. Hasil penelitian menyimpulkan hanya kemiringan 25° (46% / lereng curam) yang mampu di daki oleh kendaraan amfibi (Tison, 2019). Metode maupun hasil yang diperoleh selanjutnya akan menjadi benchmark dalam penelitian ini dengan penyesuaian analisis pada jenis tanah landasannya yaitu tanah berjenis lempung (clay).

Pada uji coba dan latihan pengoperasionalan Amphibious RIG M3 di embung Gedebage Bandung, karakteristik tepian dari embung gedebage mewakili sungai dengan tepian terjal dan berjenis lempung (clay).

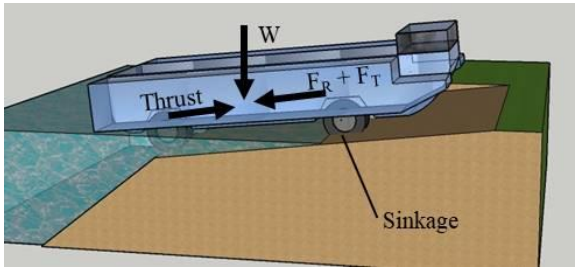
Kondisi ini memberikan permasalahan yaitu tidak mampunya Amphibious RIG M3 melakukan pendaratan khususnya dari perairan ke daratan. Pada latihan tersebut untuk mengatasi hambatan berupa kondisi bantaran terjal dan berjenis tanah lempung dilaksanakan penggalian sampai dengan didapatkan kemiringan dengan kriteria landai yaitu 13,75 % (1,1 / 8 x 100%), dan menggelar track way (hamparan tikar baja) untuk meningkatkan daya dukung tanah seperti ditunjukkan pada gambar 4.

Gambar 4. Landasan Pendaratan.

Sumber: dokumentasi observasi (2021)

Penelitian ini membatasi peristiwa teramekanika yaitu untuk mengetahui interaksi antara muka ban dan permukaan tanah landasan, sedangkan kemampuan *track way* dalam meningkatkan daya dukung tanah tidak masuk dalam pembahasan. Analisis akan menghitung *Go / No Go* kendaraan *Amphibious RIG M3* pada permukaan tanah lempung tanpa *trackway*, yaitu hanya memperhitungkan kemiringan

landasan dan daya dukung tanah. Proses pendaratan kendaraan amfibi dimulai dengan mendaki landasan, dimana sistem propulsi kendaraan amfibi yang dipergunakan untuk mendorong badan kendaraan yaitu *stroke* roda, mengayuh crawler, dan pendorong baling-baling serta propulsi jet air (Jing et al., 2014), seperti ditunjukkan pada gambar 5. *Propeller* / *pump jets* pada kendaraan *Amphibious RIG M3* maupun kendaraan amfibi lainnya tetap aktif dan memberikan dorongan / *thrust* awal bagi kendaraan untuk memulai pendakian dengan mempergunakan propulsi darat.



Gambar 5. Ilustrasi Pendaratan Amfibi.
Sumber: diolah penulis, berdasarkan observasi (2021)

Masalah selanjutnya adalah seberapa besar kondisi daya dukung tanah yang berpengaruh terhadap *GO* / *NO GO* kendaraan amfibi.

Pada gambar 4 kemampuan dorong dari propulsi kendaraan dipengaruhi oleh interaksi antar muka roda dan tanah meliputi tahanan ban (F_R) dan traksi ban (F_T) akibat kemiringan dan jenis permukaan.

Karakteristik Struktur Tanah

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat / butiran dan mineral padat yang memiliki sifat adhesif maupun kohesif dengan sifat fisik tanah berupa butiran padat atau lepas. Menurut Terzaghi, (1996) dalam (Nina Fahrriana, Yuliana Ismina, Ellida Novita Lydia, 2019) tanah membagi bahan - bahan yang menyusun kerak bumi secara garis besar menjadi dua kategori yaitu tanah (soil) dan batuan (rock).

Interaksi antar muka roda dan tanah berdasarkan gaya normal (N) akan menghasilkan sinkage, dimana masing-masing jenis tanah akan memiliki besarnya sinkage yang berbeda. Terdapat dua macam sinkage yaitu sinkage elastis dan sinkage plastis (He et al., 2019).

Penelitian ini mengambil studi kasus pada latihan penggunaan kendaraan Amphibious RIG M3 di Gedebage Bandung oleh Batalyon Zeni Tempur 9 Kostrad / Lang Lang Bhuwana, dimana jenis tanah di area latihan adalah berjenis lempung.

Fakta ini selaras dengan hasil penelitian (Siska & Yakin, 2016) yang

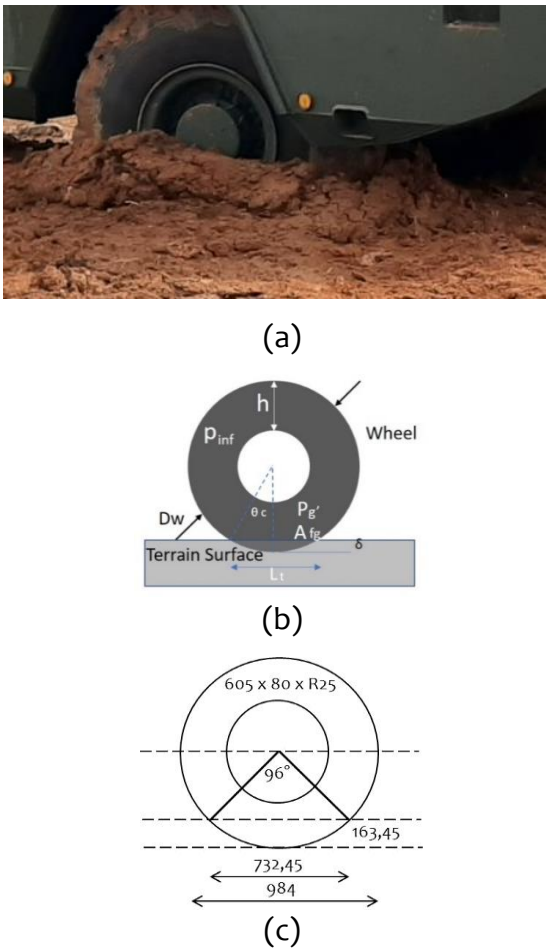
mengklasifikasikan wilayah Gedebage digolongkan tanah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (fat clay) dan lanau tak organik atau pasir halus diatomase, lanau elastis.

Sifat plastis yang tinggi mengakibatkan tanah bersifat kohesif yaitu memiliki lekatan yang kuat antara butirannya. Semakin besar sifat kohesivitas tanah, maka semakin besar batas cair hal ini memungkinkan daya dukung landasan akan semakin buruk ketika kadar air tanah semakin tinggi. Kondisi ini akan menjadi permasalahan bagi sebuah kendaraan saat melintas, terlebih bagi kendaraan amfibi pada saat melakukan pendaratan.

Gaya Hambat Kendaraan Di Landasan Pendaratan

Pada saat kendaraan amfibi akan mencapai titik pendaratan, bekerja sebuah tahanan dari luas permukaan basah pada lambung yang lebih besar, mengakibatkan tahanan viskos meningkat (Nakisa et al., 2017). Roda merupakan bagian komponen yang melekat pada suspensi, dan digunakan untuk mendorong kendaraan amfibi pada pergerakan di darat melalui interaksi antar muka roda dengan lingkungan (perkerasan, tanah, jalan, vegetasi).

Pada saat roda mulai menapaki permukaan tanah seberapa besar roda terbenam dalam tanah dapat ditunjukan pada gambar 5 a, b dan c.



Gambar 5. Interaksi Antar Muka Roda Dan Tanah.
Sumber: Hasil Observasi (2021), dan Benchmark Tison, (2019)

Berdasarkan persamaan dalam metode Wong (Tison, 2019) gaya hambat terdiri dari gaya tahanan ban saat berotasi (F_R) yang dirumuskan dalam persamaan 1 ditambah dengan gaya traksi ban (F_T) yang dirumuskan dalam persamaan 2, 3 dan 4.

$$F_R = 3{,}581\, b_{ti} D_w^{\,2} p_g \varepsilon \frac{(0{,}0349\, \vartheta_{c.deg} - \sin(2\vartheta_c))}{2\vartheta_{c.deg}(R_w - \delta)} + R_w b_{ti} \int_{\theta_c}^{\theta_1} p \sin\vartheta \, d\theta \quad (1)$$

Dimana :

b_{ti} adalah lebar ban (605 mm), D_w adalah diameter luar ban (984 mm) dan R_w adalah jari-jari, $p_g(F_N, A_{fp})$ adalah tekanan normal ban (7.716,33 kg)ke tanah pada kemiringan 13,75%;

ε (h) adalah parameter resistensi gerak deformasi ban yang diakibatkan oleh adanya kohesi pada tanah. Angka kohesi tanah lempung berpasir antara 1,24 s.d 1,51 (Nurdian et al., 2015);

$\theta_c(\delta)$ adalah setengah sudut kompresi ban /defleksi (48°), δ adalah defleksi ban atau besarnya sinkage (163,45 mm) dan l_t (δ) adalah bagian defleksi kontak ban (732,45 mm). Sehingga besarnya F_R = 1.509,34 kg m^2 pada sepanjang muka kontak ban, dan pada titik tekan roda sebesar 2.060,67 kgf m (1.509,34/0,73245).

Roda kendaraan selama berotasi untuk mendorong kendaraan menyebabkan resistensi terhadap ban dan memberikan konsekuensi hilangnya sebagian dari energi sebagai akibat dari gesekan permukaan ban dengan permukaan tanah.

Ketika kendaraan menapaki landasan tanah, roda akan tergelincir / slip yang disebabkan oleh ketidakstabilan permukaan tanah terhadap putaran roda. Besarnya slip (i) mengikuti persamaan 2:

$$i = 1 - \frac{u}{R_w \omega} \quad (2)$$

Dimana

u merupakan kecepatan awal kendaraan, yaitu kecepatan dorong kendaraan amfibi pada saat berada di air sampai dengan roda mulai menyentuh permukaan (7,5 knots / 13,89 km/jam), R_w adalah jari-jari roda (0,492) dan ω adalah kecepatan rotasi roda pada saat kendaraan harus mendaki (5.000 rpm / asumsi maximum). Sehingga besarnya *i* = 0,059.

Kondisi slip akan mengalami akumulasi yang dipengaruhi oleh bobot kendaraan serta tingkat pegas dari ban. Kondisi slip maksimum (*Wheel critical slip*, i_c) mengikuti persamaan 3:

$$i_c = \frac{F_N}{k_t l_t^{\,2}} \quad (3)$$

Dimana;

F_N (m_L, δ, k_N) adalah gaya normal ban (7.050 kg), k_t adalah Tingkat pegas tangensial ban (400.000 kgm / *benchmark Tison 2019*). Sehingga besarnya i_c = 0,0245

Gaya traksi ban (F_T) merupakan gaya dorong/tarik yang dihasilkan torsi dari mesin yang disalurkan ke roda (Dewanto & Sudarsono, 2003). Kendaraan amfibi agar dapat berjalan (*GO*) harus dapat melawan gaya traksi akibat slip yang terjadi, yaitu mengikuti persamaan 4:

$$F_T = F_N \left[\mu_p \left[1 - \frac{\mu_p F_N}{2 i k_t l_t^2} \right] \frac{(1-i)}{(1-i_c)} + \mu_s \frac{(i-i_c)}{(1-i_c)} \right]$$

Dimana;

μ_p Koefisien adhesi Tanah (0,6 / *benchmark Tison 2019*), μ_s Koefisien geser adhesi (0,6 / *benchmark Tison 22019*). Sehingga besarnya F_T = 6.288,08 kgf m.

Koefisien adhesi, μ, digunakan sebagai konstanta proporsionalitas antara gaya normal dan traksi roda terhadap permukaan tanah.

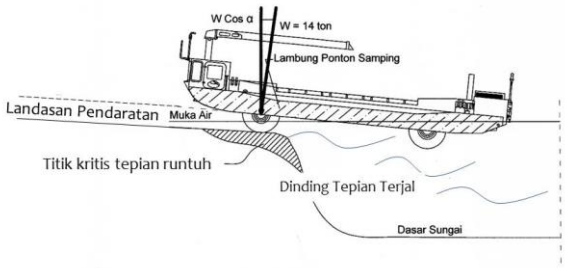
Nilai yang membatasi gaya traksi secara tepat untuk skenario kasus pembatasan tertentu (misalnya, permukaan basah dan licin) pada pendaratan amfibi air yang terbawa oleh badan maupun hempasan kendaraan akan menyebabkan kondisi tanah selalu dalam keadaan basah dan licin.

Kesimpulan, Rekomendasi Dan Pembatasan

Melalui perhitungan diperoleh besarnya nilai gaya hambat (F_R + F_T) adalah 8.348,75 Kgfm, sedangkan kemampuan mesin menyalurkan torsi pada masing-masing roda untuk menghasilkan gaya dorong (*thrust*) adalah maksimum 300 Kw x 100,58 : 4 = 7.543,50 Kgf m, dimana besarnya 1Kw = 100,58 Kgf m. Hasil ini dapat menunjukkan bahwa pada kemiringan tanah 13,75 % berjenis lempung kendaraan amfibi tidak dapat melakukan pendaratan (*NO GO*). Penggunaan material *track way* dapat membantu memperbaiki daya dukung sejauh material ini tidak mengalami *sinkage* akibat tanah bertambah basah.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah analisis seberapa banyak intensitas *GO* yang diperoleh ketika alat bantu *track way* terbenam akibat semakin tinggi kadar air dalam tanah lempung dan analisis terjadinya keruntuhan tanah akibat tekanan gandar dari kendaraan *Amphibious RIG M3* dan tekanan *pump jets* pada saat roda menjejaki permukaan tanah seperti

diperlihatkan pada gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Titik Kritis Pendaratan.
Sumber: Hasil Observasi (2021)

Daftar Pustaka.

Abdurahman, Harsono, G., Prihanto, Y., & Gultom, R. A. G. (2020). *Implementation of Support Systems for Determination of Amphibious Vehicle Landing in Disaster Emergency Response Using Fuzzy Takagi Sugeno.* Journal of Physics: Conference Series, 1577(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1577/1/012007

Badan Pusat Statistika. (2020). *Statistik Indonesia 2020*. *Statistical Yearbook of Indonesia*, *April*, 192.

Chen, W. J. (2020). *Research of North Pole Amphibious Vehicl 'S Technologies and Powertrain Simulation*.

Dewanto, J., & Sudarsono, B. (2003). *Pemodelan Sistem Gaya Dan Traksi Roda. Jurnal Teknik Mesin*, *5*(2), 64-69–69. ttps://doi.org/10.9744/jtm.5.2.pp.64-69

Dynamic, G. (2019). *Amphibious Bridging / Ferrying*. General Dynamics.

He, R., Sandu, C., Khan, A. K., Guthrie, A. G., Schalk Els, P., & Hamersma, H. A. (2019). *Review of terramechanics models and their applicability to real-time applications*. *Journal of Terramechanics*, *81*,3–22. https://doi.org/10.1016/j.jterra

Jing, F. J., Liu, Y. J., & Liu, G. K. (2014). *An overview on dynamic research of amphibious vehicles. Applied Mechanics and Materials*, *635–637*, 112–116. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.635-637.112

Kalay, D. E., & Lopulissa, V. F. (2018). *Coastline Slope Analysis and Sediment Distribution of Waai Village Waters , District of Salahutu , Maluku Province* . 10–18.

Kuiper, G. (2010). *New developments and propeller design*. *Journal of Hydrodynamics*, *22*(5 SUPPL. 1), 7–16. https://doi.org/10.1016/S1001-6058(09)60161-X

Liang, X., Zuo, M. J., & Feng, Z. (2018). *Dynamic modeling of gearbox faults: A review*. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *98*, 852–876. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.05.024

Nakisa, M., Maimun, A., Ahmed, Y. M., Behrouzi, F., & Tarmizi, A. (2017). *Numerical estimation of shallow water effect on multipurpose amphibious vehicle resistance. Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, *14*(1), https://doi.org / 10.3329 / jname.v14i1.26523

Nina Fahrriana, Yuliana Ismina, Ellida Novita Lydia, H. A. (2019). *Analisis Klasifikasi Tanah Dengan Metode Uscs*. *Jurnal Ilmiah Jurutera*, *6 (2)*, 005–013. https://ejurnalunsam.id/index.php/jurutera/article/view/1622/1284

Nurdian, S., Setyanto, & Afriani, L. (2015). *Korelasi Parameter Kekuatan Geser Tanah dengan Tanah Lempung Substitusi Pasir*. *Jrsdd*, *3*(1), 13–26.

Randa, K., Sutikno, S., & Sujatmoko, B. (2017). *Analisis Perubahan Morfologi Sungai Rokan Berbasis Sistem Informasi Geografis Dan Penginderaan Jauh.*

Reif, K., & Dietsche, K. (2014). *Automotive Handbook*. 1534.

Siska, H. N., & Yakin, Y. A. (2016). *Karakterisasi Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage*. RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil, 2(4), 44.

Starr, R. R. (2009). *Stream Assessment Protocol. Anne Arundel County, Maryland*, *January*.

Sutarno. (2019). *VICADHA*. *Penerangan Divif 2 Kostrad*.

Tison, N. (2019). *Test & Validation Amphibious Vehicle Water Egress Modeling and Simulation Using CFD and Wong ' s Methodology*.